

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

JAQUELINE AKIKO SAKAMOTO

**Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Pequenas e
Médias Comunidades Brasileiras Considerando Aspectos
Ambientais**

**VERSÃO CORRIGIDA
São Carlos
2013**

JAQUELINE AKIKO SAKAMOTO

Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Pequenas e Médias Comunidades Brasileiras Considerando Aspectos Ambientais

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento.

Orientadora: Prof^a. Dr^a.
Lyda Patricia Sabogal Paz

São Carlos
2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

S158s Sakamoto, Jaqueline Akiko
Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Pequenas e Médias Comunidades Brasileiras Considerando Aspectos Ambientais / Jaqueline Akiko Sakamoto; orientador Lyda Patricia Sabogal Paz. São Carlos, 2013.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

1. Impacto ambiental. 2. Tratamento de água. 3. Seleção de tecnologia. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **JAQUELINE AKIKO SAKAMOTO**.

Título da dissertação: "Seleção de tecnologias de tratamento de água para pequenas e médias comunidades brasileiras considerando aspectos ambientais".

Data da defesa: 27/08/2013

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profa. Dra. **Lyda Patricia Sabogal Paz (Orientadora)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado.

Prof. Dr. **Marcelo Montaña**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof. Dr. **Marcelo Libânio**
(Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG)

Aprovada

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:

Profa. Assoc. **Maria Bernadete A. Varesche Silva**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

À minha querida família por ser o meu porto seguro,
que me apoiou e incentivou em todos os momentos.

Minha gratidão, admiração e amor eternos.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha família, especialmente aos meus pais, Alberto e Justina, pelos sacrifícios e apoio sempre que precisei e à minha nê (irmã) Rafaela, pelo exemplo de determinação e superação. A cada dia, vocês me mostram que a união da família é a base de tudo.

À minha bá (avó) Toshiko, pelos ensinamentos e carinho desde sempre.

Aos meus tios, Paulo e Irene, meus segundos pais; Livia, Flávia e Kendi, mais que primos, meus irmãos. Por me darem o prazer de ter uma grande família (literalmente), “muito unida e também muito ouriçada...”

À minha orientadora, Prof^a Dr^a. Lyda Sabogal Paz, pela dedicação, paciência e confiança. Por estar sempre presente e disposta a me orientar quando foi preciso. Por suas ideias, sugestões e críticas, imprescindíveis ao bom andamento da pesquisa e crescimento profissional. Obrigada, Lyda, por me contagiar com seu entusiasmo como pesquisadora e por ter tornado possível essa pesquisa.

Ao Prof. Dr. Marcelo Montaña, desde a banca de qualificação, pelas orientações, ideias e por me auxiliar nos momentos de dúvidas e dificuldades. Suas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento dessa dissertação.

Aos docentes que contribuíram com seus conhecimentos na aplicação dos questionários, os quais, a finalização deste trabalho não seria possível.

À minha irmã de coração, Cibele (Tyonga), que mesmo a quilômetros de distância, sempre me apoiou. Por me mostrar que uma amizade, independente do tempo e da distância, pode ser fortalecida. Obrigada por me amparar nas minhas crises existenciais, estresses e pelos valiosos conselhos.

Às minhas amigas Juliana (Jú), Kássia, Gabriele e Tiemi, pelos encontros sempre regados de muitas risadas e lembranças boas.

Aos amigos durante o mestrado, pela parceria não só acadêmica, mas principalmente, nos momentos de tensão, solidão e saudades da família. Pelas n-reuniões sempre com muitas risadas e delícias gastronômicas. Vanessa (Vanis), Amanara (Poty), Guilherme (Gui), Thyago (Thy), Rafaella (Rafa), Nayara (Nay), Natália Fischer, Rodrigo, Natália Benatto, Priscila e Cássia, muito obrigada pela oportunidade de conhecê-los e de conviver com vocês. Essa fase da vida será marcada não só pela conquista deste título, mas também, pelas boas lembranças e das amizades conquistadas.

Aos funcionários da EESC-USP, especialmente ao pessoal do departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento, por todo suporte e apoio.

À CAPES, pela bolsa concedida.

A todas as demais pessoas que, apesar de não serem explicitamente citadas, mas que contribuíram de alguma forma, muitíssimo obrigada. Tenho a certeza que muitos “anjos” intercederam e emanaram energias positivas pela realização deste trabalho.

RESUMO

SAKAMOTO, J. A.. (2013) **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Pequenas e Médias Comunidades Brasileiras Considerando Aspectos Ambientais**. 2013. 161p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

As estações de tratamento de água – ETAs são fundamentais para a melhoria do saneamento ambiental de um país. No Brasil, a avaliação dos impactos ambientais negativos em ETAs se limita normalmente aos resíduos gerados no tratamento da água. As alterações ambientais decorrentes da construção e operação são desconsideradas na escolha das tecnologias, fato que podem prejudicar o alcance da sustentabilidade ambiental. O trabalho desenvolveu um método baseado na adaptação do Método *Battelle-Columbus* visando a seleção das tecnologias de tratamento de água e dos seus resíduos conforme o critério de impacto ambiental mínimo. O método é válido para comunidades brasileiras de pequeno e médio porte, as quais podem ser beneficiadas com vazões de projeto das ETAs entre 10 L/s e 100 L/s. As combinações dos processos e operações de tratamento nas ETAs e estações de tratamento dos resíduos – ETRs para cinco diferentes vazões de projeto (10, 20, 40, 70 e 100 L/s) possibilitaram a avaliação de 205 projetos – 180 projetos extraídos de Sabogal Paz (2007; 2010) e 25 elaborados nesta pesquisa com o filtro ascendente em areia grossa na ETA de dupla filtração (DF₂). Apenas os impactos ambientais negativos foram considerados na avaliação ambiental. A estimativa da magnitude de cada aspecto ambiental foi baseada nos quantitativos referentes à construção (requerimentos de área, concreto, chapa de aço, meio filtrante e camada suporte) e operação (consumo de energia elétrica e produtos químicos, geração de resíduos líquidos e sólidos) das ETAs e ETRs. Os resultados foram condizentes com a literatura, pois as ETAs menos robustas apresentaram um menor potencial de degradação e as tecnologias com maior área de implantação e consumo de energia elétrica foram mais impactantes. De fácil interpretação, o método é uma ferramenta que auxilia na tomada de decisão das ETAs a serem instaladas nos municípios brasileiros e que contribui para a mudança na abordagem normalmente adotada na seleção das tecnologias de tratamento de água. Com a questão ambiental como parte integrante do processo de escolha, uma visão mais abrangente e sustentável é alcançada para o setor de saneamento no país.

Palavras-chave: Impacto ambiental. Tratamento de água. Seleção de tecnologia.

ABSTRACT

SAKAMOTO, J. A.. (2013). **Technologies Selection For Drinking Water Treatment For Small And Medium Brazilian Communities Considering Environmental Aspects**. 2013. 161p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

The water treatment plants (WTPs) are fundamental for the improvement of the environmental sanitation in a country. In Brazil, the negative environmental impacts assessment is usually limited in to the sludge produced in water treatment processes. Environmental impacts that occur during construction and operation of water treatment plants are not considered in the selection of technologies, what might prejudice the achievement of environmental sustainability. This research has developed a method based on the adaptation of the Method *Battelle-Columbus* to select the technologies for water treatment and sludge, according to the minimum environmental impact criteria. The method is effective for small and medium Brazilian communities of the country that can benefit with project flows that uses project flows of WTP between 10 and 100 L/s. Combinations of treatment processes and operations in WTPs and in waste treatment plants, for five different project flows (10, 20, 40, 70 and 100 L/s) enabled the evaluation of 205 projects – 180 projects according to Sabogal Paz (2007, 2010) and 25 projects were elaborated in this research with coarse sand upflow filter on the WTP of double filtration (DF₂). Only the negative environmental impacts have been considered in the environmental assessment. The estimation of the magnitude of each environmental aspect was based on quantitative concerning the construction (area requirements, concrete, steel, filter media and support layer) and operation (electric energy consumption and chemicals, liquid and solid residue generation) of WTPs and waste treatment plants. The results were consistent with the literature because the less robust WTPs had a lower potential of degradation and the technologies with greater implantation area and electric energy consumption were more impactful. Easy to be interpreted, the method is a tool that can assist in decision making of WTPs to be installed in Brazilian municipalities and contributes to the change in the approach usually adopted in the technologies selection. On the integration of environmental issues as part of the selection process, a more comprehensive and sustainable solution is achieved to the sanitation sector in the country.

Keywords: Environmental impact. Water treatment. Technology selection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Esquema de aplicação dos conceitos fundamentais em ETAs – múltiplas barreiras, tratamento integrado e por objetivos. Fonte: SABOGAL PAZ (2007).	27
Figura 3.2 – Principais tecnologias de tratamento de água para abastecimento público, adotadas no Brasil. Fonte: SABOGAL PAZ (2007).	28
Figura 3.3 – Fluxograma esquemático do CC, com sedimentação ou flotação.	28
Figura 3.4 – Número de ETAs no Brasil com tecnologias de tratamento convencional ou de filtração direta. Fonte: DI BERNARDO et al. (2003).	30
Figura 3.5 – Fluxograma esquemático da FDD, com ou sem floculação.	31
Figura 3.6 – Fluxograma esquemático da FDA.	32
Figura 3.7 – Fluxograma esquemático da DF.	34
Figura 3.8 – Fluxograma esquemático da FF.	35
Figura 3.9 – Fluxograma esquemático da FiME.	36
Figura 3.10 – Tanque de regularização de vazão	39
Figura 3.11 – Diferentes Tipos de Adensadores.	41
Figura 3.12 – Diferentes Tipos de Adensadores.	42
Figura 3.13 – Decantadores Centrífugos da (a) Pieralisi ® e (b) Alfa Laval®.	43
Figura 3.14 – Leitões de drenagem (a) e Leito de secagem (b).	46
Figura 3.15 – Lagoas de Lodo.	48
Figura 3.16 – Membranas de Geotêxtil.	49
Figura 3.17 – Representação do conceito de impacto ambiental.	54
Figura 3.18 – Parâmetros ambientais do Método Battelle-Columbus.	59
Figura 3.19 – Função de transformação para um parâmetro qualquer.	60
Figura 3.20 – Método de interação de fatores, variáveis e indicadores de seleção de tecnologias de tratamento de água e de tratamento dos resíduos gerados nos sistemas.	63
Figura 4.1 – Fluxograma das principais etapas envolvidas na pesquisa.	68
Figura 4.2 – Análise ambiental com foco na estimativa dos impactos ambientais sobre o meio ambiente provocados pelas atividades envolvidas na construção e operação dos sistemas de tratamento ETA+ETR.	73
Figura 4.3 – Obtenção dos modelos de quantitativos.	74
Figura 5.1 – Análise de “Entradas e Saídas” do sistema, com os aspectos ambientais mais relevantes envolvidos na construção e operação das ETAs e ETRs.	82
Figura 5.2 – Categorias e indicadores ambientais a serem avaliados.	83
Figura 5.3 – Área requerida para ETAs conforme o tipo de ETR, em função das vazões de projeto.	86

Figura 5.4 – Área requerida para as ETRs conforme o tipo de ETA, em função da vazão de projeto.....	87
Figura 5.5 – Escavações para ETAs, em função da vazão de projeto.....	88
Figura 5.6 – Escavações para as ETRs considerando o tipo de ETA, em função da vazão de projeto.....	90
Figura 5.7 – Consumo de concreto para as ETAs conforme o tipo de ETR, em função da vazão de projeto.	91
Figura 5.8 – Consumo de concreto para as ETRs segundo o tipo de ETA, em função da vazão de projeto.	93
Figura 5.9 – Consumo de chapa de aço das ETAs, em função da vazão de projeto.....	94
Figura 5.10 – Consumo de chapa de aço na ETR ₃ segundo o tipo de ETA, em função da vazão de projeto.	94
Figura 5.11 – Consumo de meio filtrante e camada suporte para as ETAs, em função da vazão de projeto.	95
Figura 5.12 – Consumo mensal de energia elétrica para as ETAs, em função da vazão de projeto.....	96
Figura 5.13 – Consumo mensal de energia elétrica para as ETRs considerando o tipo de ETA, em função da vazão de projeto.	97
Figura 5.14 – Consumo mensal de produtos químicos para as ETAs, em função da vazão de projeto.....	98
Figura 5.15 – Consumo mensal de produtos químicos nas ETR ₄ e ETR ₅ segundo o tipo de ETA, em função da vazão de projeto.	99
Figura 5.16 – Resíduos líquidos gerados nas ETAs, em função da vazão de projeto.	100
Figura 5.17 – Resíduos sólidos gerados anualmente nas ETRs segundo o tipo de ETA, em função da vazão de projeto.....	101
Figura 5.18 – Quantitativos de área requerida para as ETAs de todos os projetos considerados no estudo.....	103
Figura 5.19 – Quantitativos de área requerida para as ETRs de todos os projetos considerados no estudo.....	104
Figura 5.20 – Quantitativo de escavações para as ETAs de todos os projetos considerados no estudo.....	105
Figura 5.21 – Quantitativo de escavações para as ETRs de todos os projetos considerados no estudo.....	107
Figura 5.22 – Quantitativo de consumo de concreto para as ETAs de todos os projetos considerados no estudo.....	108
Figura 5.23 – Quantitativo de consumo de concreto para as ETRs de todos os projetos considerados no estudo.....	109

Figura 5.24 – Quantitativo de consumo de chapa de aço para as ETAs e ETRs de todos os projetos considerados no estudo.	110
Figura 5.25 – Quantitativo de consumo de meio filtrante e/ou camada suporte para as ETAs e ETRs de todos os projetos considerados no estudo.	112
Figura 5.26 – Quantitativo de consumo mensal de energia elétrica para as ETAs de todos os projetos considerados no estudo.	113
Figura 5.27 – Quantitativo de consumo mensal de energia elétrica para as ETRs de todos os projetos considerados no estudo.	114
Figura 5.28 – Quantitativo de consumo mensal de cloreto férrico nas ETAs de todos os projetos considerados no estudo.	115
Figura 5.29 – Quantitativo de consumo mensal de sulfato de alumínio nas ETAs de todos os projetos considerados no estudo.	116
Figura 5.30 – Quantitativo de consumo mensal de ácido fluorsilícico nas ETAs de todos os projetos considerados no estudo.	116
Figura 5.31 – Quantitativo de consumo mensal de hipoclorito de sódio nas ETAs de todos os projetos considerados no estudo.	117
Figura 5.32 – Quantitativo de consumo mensal de polímeros na ETR4 e ETR5 de todos os projetos considerados no estudo.	118
Figura 5.33 – Quantitativo de geração mensal de água de lavagem das ETAs de todos os projetos considerados no estudo.	119
Figura 5.34 – Quantitativo de geração anual resíduos sólidos das ETRs de todos os projetos considerados no estudo.	120
Figura 5.35 – Funções de transformação dos indicadores área requerida e escavações com seus valores de qualidade ambiental (QA) em função da magnitude ambiental, para as ETAs e ETRs – válidas para ETAs com vazões de projeto entre 10 L/s e 100 L/s.	122
Figura 5.36 – Funções de transformação dos indicadores consumo de concreto e chapa de aço com seus valores de qualidade ambiental (QA) em função da magnitude ambiental, para as ETAs e ETRs – válidas para ETAs com vazões de projeto entre 10 L/s e 100 L/s.	123
Figura 5.37 – Funções de transformação dos indicadores consumo de meio filtrante e camada suporte em ETAs e produtos químicos em ETRs com seus valores de qualidade ambiental (QA) em função da magnitude ambiental – válidas para ETAs com vazões de projeto entre 10 L/s e 100 L/s.	124
Figura 5.38 – Funções de transformação do indicador consumo de produtos químicos com seus valores de qualidade ambiental (QA) em função da magnitude ambiental, para as ETAs – válidas para ETAs com vazões de projeto entre 10 L/s e 100 L/s.	125

Figura 5.39 – Funções de transformação dos indicadores consumo de energia elétrica e geração de resíduos com seus valores de qualidade ambiental (QA) em função da magnitude ambiental, para as ETAs e ETRs. – válidas para ETAs com vazões de projeto entre 10 L/s e 100 L/s.	126
Figura 5.40 – Indicadores ambientais com seus respectivos UIPs e as categorias, com seus valores de $UIA_{i,sp}$ definidos.	132
Figura 5.41 – Impacto ambiental global (IAG) representado pela variação da UIA_{icp} dos sistemas ETA+ETR avaliados em relação ao Cisp, com aplicação para vazão de projeto de 40 L/s.	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Vantagens e desvantagens das tecnologias de filtração direta em relação ao ciclo completo.....	30
Tabela 3.2 – Vantagens e Desvantagens dos Métodos de Adensamento (continua).....	41
Tabela 3.3 – Vantagens e Desvantagens do Desaguamento dos Resíduos da ETA por Centrifugação	44
Tabela 3.4 – Vantagens e Desvantagens do Tratamento por Leitões de Drenagem.....	46
Tabela 3.5 – Vantagens e Desvantagens do Uso de Lagoas de Lodo.	48
Tabela 3.6 – Vantagens e Desvantagens do Desaguamento dos Resíduos por Membranas de Geotêxtil	50
Tabela 3.7 – Principais ferramentas utilizadas nas avaliações de impactos ambientais.....	57
Tabela 3.8 – Trabalhos com abordagem de Avaliação de Ciclo de Vida em ETAs	64
Tabela 4.1 – Estações de Tratamento de Água (ETAs) e Estações de Tratamento de Resíduos (ETRs) avaliadas	69
Tabela 4.2 – Características gerais da água bruta a ser tratada pelas tecnologias.....	70
Tabela 4.3 – Operação-padrão das ETAs.....	71
Tabela 4.4 - Condições de funcionamento adotadas na DF_2	72
Tabela 5.1 – Aspectos ambientais selecionados de acordo com a fase de construção e operação das ETAs e ETRs.....	79
Tabela 5.2 – Principais impactos ambientais correspondentes aos aspectos ambientais avaliados	84
Tabela 5.3 – Funções de transformação obtidas correspondentes à magnitude dos quantitativos dos indicadores ambientais considerados.....	128
Tabela 5.4 – Pesos atribuídos por especialistas da área na duas rodadas de consulta com base do Método Delphi	129
Tabela 5.5 – Obtenção da unidade de impacto ambiental sem a implantação do sistema ETA+ETR – $UIA_{isp}(C_{isp})$	131
Tabela 5.6 – Unidade de impacto ambiental com a realização dos projetos – UIA_{icp} das tecnologias para o sistema ETA+ETR e seus respectivos valores de Impacto Ambiental Global - Aplicação para vazão de 40 L/s.....	133
Tabela 5.7 – Tecnologias adotadas no sistema ETA+ETR de menor e maior impacto ambiental.....	135

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV:	Análise do Ciclo de Vida
ADH:	Adensador dinâmico helicoidal
AEM:	Avaliação Ecológica do Milênio
AWWA:	American Water Works Association
AIA:	Avaliação de Impacto Ambiental
CC:	Tecnologia de ciclo completo
CC ₁ , CC ₂ :	Opções da tecnologia de ciclo completo.
CEN:	Centrífuga
CETESB:	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA:	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAT:	Decantador de alta taxa ascendente de placas
DES:	Desinfecção com hipoclorito de sódio
DF:	Tecnologia de Dupla filtração
DF ₁ , DF ₂ :	Opções da tecnologia de dupla filtração
DFIs:	Descargas de fundo intermediárias
DLD:	Desaguamento por leito de drenagem
DLL:	Desaguamento por lagoa de lodo.
ETA:	Estação de tratamento de água
ETR:	Estação de Tratamento de resíduos
FA:	Filtro ascendente
FAAG:	Filtro ascendente em areia grossa
FAP:	Filtro ascendente em pedregulho
FDA:	Tecnologia de filtração direta ascendente
FDA ₁ :	Opção da tecnologia de filtração direta ascendente
FDD:	Tecnologia de filtração direta descendente
FDD ₁ :	Opções da tecnologia de filtração direta descendente
FF:	Tecnologia de floto-filtração
FF ₁ :	Opção da tecnologia de floto-filtração
FHCEH:	Floculador hidráulico de chicanas de escoamento horizontal.
FiME:	Tecnologia de filtração em múltiplas etapas
FiME ₁ ,	Opções da tecnologia de filtração em múltiplas etapas.
FiME ₂ :	
FLU:	Fluoração com ácido fluossilícico

FL:	Filtração lenta
FLAC:	Filtro lento em areia, a taxa constante.
FMEVTI:	Floculador mecânico de eixo vertical de turbina com paletas inclinadas
FRAAGC:	Filtração rápida ascendente em areia grossa, a taxa constante.
FRD:	Filtro rápido descendente
FRDC:	Filtração rápida descendente em areia, a taxa constante.
GEO:	Global Environmental Outlook
GEOT:	Filtração em geotêxtil
IAG:	Impacto ambiental global
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC:	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, na sigla em inglês
M:	Magnitude ambiental
M _q :	Magnitude do quantitativo
MRHIM:	Mistura rápida hidráulica com injetor e malha de fios.
MRHVR:	Mistura rápida hidráulica com vertedor retangular.
NBR:	Norma brasileira
OD:	Oxigênio dissolvido
PFD:	Pré-filtro dinâmico de pedregulho, a taxa constante.
PFVAC:	Pré-filtro vertical ascendente em camadas, a taxa constante.
PNSB:	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PNUMA:	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROSAB:	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
QA _i :	Índice de qualidade ambiental de um parâmetro i
RIMA:	Relatório de Impacto Ambiental
SST:	Sólidos suspensos totais
ST:	Sólidos totais
TCA:	Tanque de clarificação / adensamento por gravidade
TRR:	Tanque de recepção e regularização de vazão
UIA _i :	Unidade de impacto ambiental do parâmetro
UIP _i :	Unidade de importância do parâmetro
WMO:	Organização Meteorológica Mundial, na sigla em inglês

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	23
2. OBJETIVOS	24
2.1 OBJETIVO GERAL	24
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
3 REVISÃO DA LITERATURA	25
3.1 PANORAMA DO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO NO BRASIL.....	25
3.1.1 Tratamento de água para abastecimento público de pequenas e médias comunidades.....	25
3.2 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO BRASIL.....	26
3.2.1 Ciclo completo (CC)	28
3.2.2 Tecnologias de Filtração Direta	29
3.2.3 Floto-filtração (FF).....	34
3.2.4 Filtração em Múltiplas Etapas (FiME)	35
3.3 TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS GERADOS EM ETAs	36
3.3.1 Principais tecnologias de tratamento dos resíduos.....	38
3.3.2 Principais alternativas de aproveitamento e disposição dos resíduos de ETAs.....	50
3.4 CENÁRIO AMBIENTAL E INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS ...	50
3.5 GESTÃO AMBIENTAL	52
3.5.1 Viabilidade Ambiental	54
3.5.2 Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)	54
3.5.3 Métodos para Avaliação de Impactos Ambientais	56
3.6 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	62
3.7 ESTUDOS COM ABORDAGEM AMBIENTAL EM OBRAS DE SANEAMENTO	64
4. MATERIAIS E MÉTODOS	67
4.1 IDENTIFICAÇÃO E OBTENÇÃO DOS QUANTITATIVOS dos ASPECTOS AMBIENTAIS.....	67
4.1.1 Revisão da Literatura	67
4.1.2 Definição das Tecnologias Avaliadas	67
4.1.3 Identificação dos Aspectos Ambientais Mais Relevantes	72

4.1.4 Cálculo dos Quantitativos dos Aspectos Ambientais	73
4.1.5 Análise da Tendência dos Quantitativos.....	75
4.2 ELABORAÇÃO DO MÉTODO DE SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA A PARTIR DA PERSPECTIVA AMBIENTAL	75
4.2.1 Elaboração do Método em Função do Critério de Impacto Ambiental Mínimo – Adaptação do Método <i>Battelle-Columbus</i>	75
4.2.2 Cálculo do impacto ambiental global	76
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
5.1 IDENTIFICAÇÃO E OBTENÇÃO DOS QUANTITATIVOS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS.....	78
5.1.1 Elaboração dos Projetos Básicos da DF ₂	78
5.1.2 Identificação dos Aspectos Ambientais mais Relevantes	78
5.1.3 Cálculo dos Quantitativos dos Aspectos Ambientais	84
5.1.4 Análise da Tendência dos Quantitativos.....	102
5.2 ELABORAÇÃO DO MÉTODO DE SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA A PARTIR DA PERSPECTIVA AMBIENTAL	121
5.2.1 Elaboração do Método em Função do Critério de Impacto Ambiental Mínimo – Adaptação do Método <i>Battelle-Columbus</i>	121
5.2.2 Cálculo do Impacto Ambiental Global	130
6. CONCLUSÕES	137
7. RECOMENDAÇÕES	139
REFERÊNCIAS	141
APÊNDICES	151
ANEXOS	157

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

As estações de tratamento de água - ETAs são fundamentais para a melhoria do saneamento ambiental de um país, pois, quanto maior for sua cobertura territorial com qualidade, melhores serão as condições e expectativas de vida da população. No Brasil, conforme divulgado na Pesquisa Nacional de Saneamento básico – PNSB 2008 (IBGE, 2010), a distribuição de água parcialmente tratada ou sem nenhum tratamento ainda é uma realidade para 12,4 % dos municípios, em sua grande maioria, de até 50 mil habitantes.

Na América Latina, o funcionamento inadequado dos sistemas de tratamento de água é uma situação comum. Gandini e Galvis (2000) ressaltam que tal problema é devido, principalmente, às falhas no processo de seleção das tecnologias. Apenas a abordagem de engenharia tradicional ou de tendência (sistema “padrão”) é considerada, ignorando outros elementos – como aspectos ambientais, econômicos e sociais – que por fazerem parte do processo, podem influenciar no sucesso dos sistemas propostos.

Os impactos ambientais negativos causados pelas ETAs acabam sendo esquecidos no processo de seleção das tecnologias. No entanto, como qualquer outro empreendimento, a avaliação da viabilidade ambiental é necessária, pois tais sistemas acarretam mudanças no meio ambiente decorrentes, direta ou indiretamente, das intervenções com as atividades de construção e operação.

Ao longo dos anos foram desenvolvidas algumas metodologias de seleção de tecnologias e estudos dos danos ambientais provocados pelos resíduos gerados no tratamento da água. Entretanto, ainda são escassos os trabalhos que analisam todas as atividades envolvidas em ETAs que acarretam impactos negativos no meio ambiente, assim como a avaliação conjunta de tecnologias para estações de tratamento dos resíduos – ETRs.

Frente a essa problemática, este trabalho desenvolveu um método baseado na adaptação do Método *Battelle-Columbus*, que permite a seleção das tecnologias de tratamento de água e dos seus resíduos conforme o critério de impacto ambiental mínimo. Isto é feito a partir da avaliação da magnitude de cada aspecto ambiental em função dos quantitativos obtidos referentes às fases de construção e operação do sistema ETA+ETR.

O método é uma ferramenta que permite orientar os profissionais responsáveis pela elaboração dos projetos na seleção da tecnologia menos impactante. Contribui para uma mudança de visão na tomada de decisão com a questão ambiental como parte integrante do processo. Além disso, beneficia comunidades brasileiras de pequeno e médio porte – de 5.000 a 45.000 habitantes, as quais apresentam os maiores problemas de abastecimento de água no país segundo o IBGE (2010).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar um método que permita a seleção de tecnologias de tratamento de água, para atendimento de pequenas e médias comunidades, a partir da perspectiva ambiental.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Identificação e avaliação dos aspectos ambientais mais relevantes envolvidos nas fases de construção e operação das ETAs e que acarretam impactos ambientais negativos;
- ✓ Adaptação do Método *Battelle-Columbus* para a seleção de tecnologias em função do critério de impacto ambiental mínimo;
- ✓ Aplicação do método.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 PANORAMA DO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO NO BRASIL

Com as políticas e incentivos governamentais para o setor de saneamento básico, uma evolução na cobertura dos serviços prestados à sociedade foi observada no Brasil. Conforme divulgado na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB 2008 do IBGE (2010), o serviço de abastecimento de água por rede de distribuição apresentou um crescimento anual médio de 3,5% ao longo de 19 anos (entre 1989 e 2008) e em 2008, alcançou a marca de 99,4% dos municípios brasileiros.

No entanto, tais números infelizmente não implicam necessariamente na melhoria da qualidade do serviço prestado. Muitas vezes, devido às operações e manutenções precárias ou ineficientes dos sistemas de tratamento, a água produzida pode não atender o padrão de potabilidade vigente.

Além disso, uma maior cobertura não garante o acesso à água potável de 100% da população dos municípios pesquisados, pois, 12,4% ainda têm como realidade a distribuição de água parcialmente tratada ou sem nenhum tratamento. A Região Nordeste é onde se concentram os municípios que não dispunham de rede geral de distribuição de água em nenhum de seus distritos, em que a população fica sujeita ao abastecimento de água por formas alternativas, como: carros-pipa, poços particulares, bicas, minas e cisternas (IBGE, 2010).

O tratamento de água para abastecimento público ainda apresenta limitações territoriais, sendo a Região Norte a mais deficiente. Os Estados do Pará e Amazonas foram os que apresentaram as maiores proporções (40%, aproximadamente) dos municípios onde a população não recebia água tratada.

3.1.1 Tratamento de água para abastecimento público de pequenas e médias comunidades

A universalização do tratamento de água ainda é um grande desafio a ser superado, principalmente em pequenas e médias comunidades onde normalmente há falta de investimentos ou até mesmo, de verbas suficientes. Dentre os municípios que forneciam

água por rede geral sem nenhum tratamento, 99,7% tinham população com até 50 mil habitantes e densidade demográfica menor que 80 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2010).

Segundo a PNSB 2008, do total de municípios brasileiros (5166) em 2008, 92,8% apresentavam algum tipo de tratamento na água, tais como: o convencional (ou ciclo completo) e o não convencional (clarificador de contato, estação de tratamento de água – ETA compacta, filtração direta e dessalinização).

Além disso, existe a “simples desinfecção” em que a água bruta passa apenas por uma desinfecção (normalmente com cloro) antes de ser distribuída à rede. No entanto, de acordo com Di Bernardo et al. (2003) esse processo não é mais admitido pela legislação brasileira que regula o Padrão de Potabilidade, em se tratando de águas superficiais.

Há a predominância de pequenas a médias comunidades, que conforme o último Censo do IBGE (2011) corresponde a aproximadamente 89% dos municípios brasileiros.

3.2 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

As ETAs foram criadas para produzir água de qualidade satisfatória – no caso do Brasil, de acordo com o Padrão de Potabilidade, Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde. Impurezas são transformadas, separadas e removidas através da combinação de processos e operações de tratamento.

A máxima proteção contra contaminantes e agentes de veiculação hídrica é garantida em ETAs quando três conceitos fundamentais são satisfeitos: *múltiplas barreiras, tratamento integrado e por objetivos*, segundo

Figura 3.1. O primeiro conceito sugere que a eficiência tende a ser maior conforme o número de etapas que compõem o sistema; por sua vez, o *tratamento integrado* refere-se à combinação das barreiras de remoção a fim de alcançar um produto com a qualidade esperada (água potável). Por último, a estratégia de tratamento *por objetivos* considera que cada etapa deve ter uma meta específica de remoção a ser cumprida de modo que sejam obtidas condições de baixo risco da água para consumo humano (GALVIS e VARGAS, 1998; SABOGAL PAZ, 2007).

Em muitas ETAs brasileiras é verificado o comprometimento do desempenho dos processos e operações unitárias de tratamento devido às falhas tanto na seleção adequada da tecnologia de tratamento quanto na elaboração de um projeto criterioso

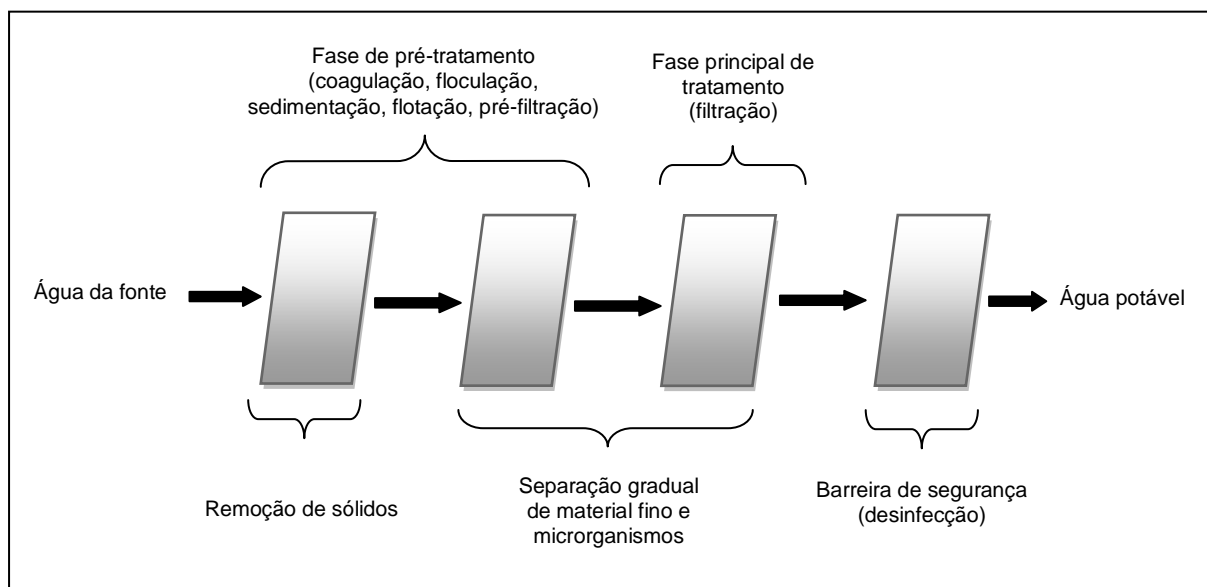


Figura 3.1 – Esquema de aplicação dos conceitos fundamentais em ETAs – múltiplas barreiras, tratamento integrado e por objetivos. Fonte: SABOGAL PAZ (2007).

De acordo com a pesquisa de Bastos et al. (2000), ao realizar uma avaliação de desempenho de ETAs através da comparação de parâmetros reais e teóricos, falhas hidráulicas foram observadas como o dimensionamento de flocladores e decantadores. Mesmo sendo eficientes na remoção de turbidez, correções hidráulicas e um melhor controle operacional na ETA podem garantir a otimização do processo de tratamento e uma maior segurança na qualidade da água distribuída.

Em função apenas da qualidade da água bruta, as tecnologias de tratamento de água podem ser resumidas em duas categorias: i) sem coagulação, como a filtração em múltiplas etapas – FiME, que tem como etapa principal a filtração lenta; e ii) com coagulação, em que a filtração rápida é a etapa fundamental para a clarificação da água (BRASIL, 2006; DI BERNARDO et al., 2012). Neste segundo grupo, estão inseridas as tecnologias de filtração direta ascendente – FDA, filtração direta descendente – FDD, dupla filtração – DF, floto-filtração – FF e ciclo completo – CC (comumente denominado de tratamento convencional).

Portanto, as ETAs no Brasil se dividem basicamente em seis diferentes tecnologias conforme Figura 3.2.

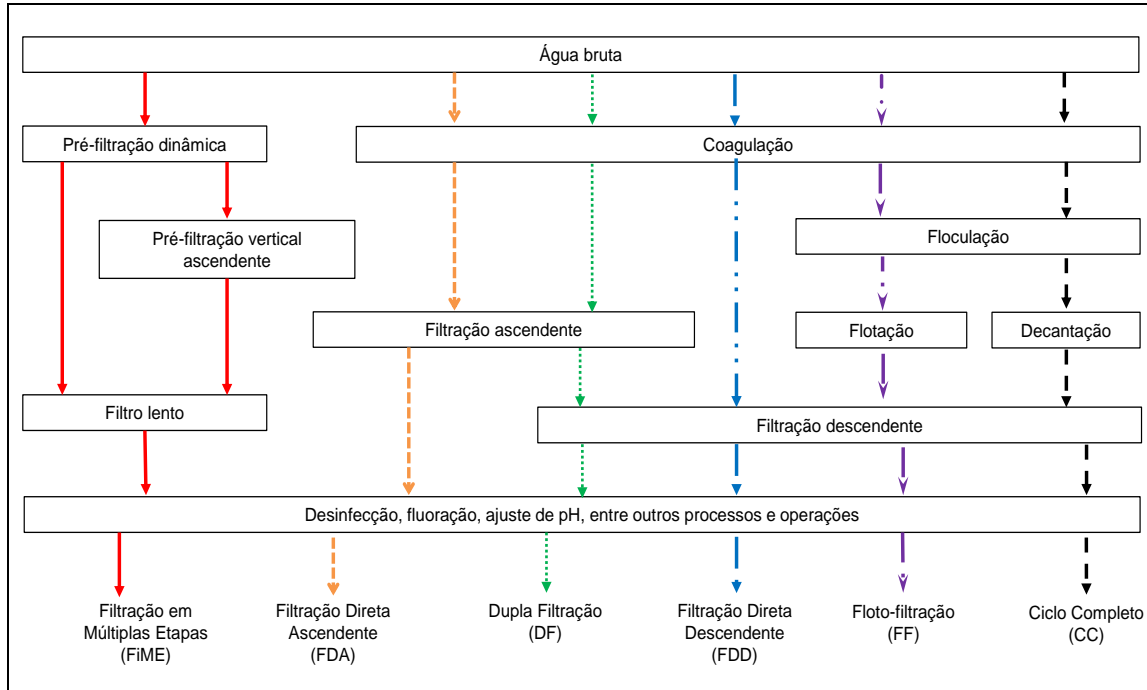


Figura 3.2 – Principais tecnologias de tratamento de água para abastecimento público, adotadas no Brasil. Fonte: SABOGAL PAZ (2007).

3.2.1 Ciclo completo (CC)

No Brasil, a tecnologia de tratamento de água para abastecimento público de ciclo completo, comumente denominado de tratamento convencional, é a mais aplicada, correspondendo a aproximadamente 69% do volume de água tratada e distribuída por rede geral (IBGE, 2010).

As ETAs de CC incluem todas as etapas tradicionais de tratamento: i) unidades de pré-tratamento (coagulação, floculação e decantação ou flotação); ii) filtração rápida; e iii) desinfecção e fluoretação. A Figura 3.3 apresenta, de forma esquemática, as principais unidades de tratamento.

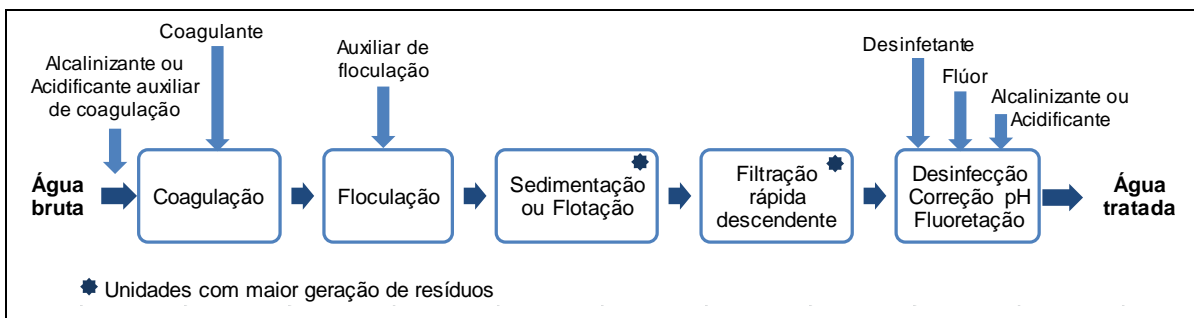


Figura 3.3 – Fluxograma esquemático do CC, com sedimentação ou flotação. Fonte: Adaptado de BRASIL (2006).

Conforme o esquema anterior, o ciclo completo pode apresentar duas variações: a mais antiga e comum, com o emprego de unidades de sedimentação na etapa de clarificação; e a alternativa mais recente, com a substituição dos decantadores por unidades de flotação por ar dissolvido em algumas situações. A flotação é especialmente adequada em relação à decantação quando há a presença de algas e/ou valores elevados de cor verdadeira (RICHTER, 2009). As principais unidades geradoras de resíduos são os decantadores (ou flotadores), de acordo com a Figura 3.3.

O tratamento convencional é adequado para a tratabilidade de águas turvas, com microrganismos, cor verdadeira, algas, entre outros parâmetros. O mecanismo de coagulação adotado é o de varredura, em que são formados precipitados de alumínio ou de ferro, em excesso, nos quais as impurezas são aprisionadas (DI BERNARDO E SABOGAL PAZ, 2008; RICHTER, 2009).

Quando a água bruta apresenta valores relativamente baixos de turbidez e cor verdadeira, a ETA de CC se torna muitas vezes ineficiente, pois, mesmo com a adição de coagulantes em excesso, os flocos formados apresentam baixa velocidade de sedimentação que dificulta a remoção na decantação. Assim, além de tornar tal etapa ineficiente, acaba ocorrendo sobrecarga aos filtros e desperdício de produtos químicos com uma maior geração de resíduos (DI BERNARDO et al., 2003; RICHTER, 2009). Devido a tais limitações surgiram as tecnologias de filtração direta.

3.2.2 Tecnologias de Filtração Direta

As tecnologias de filtração direta foram desenvolvidas para o tratamento de água bruta de melhor qualidade, apresentando sistemas mais simplificados onde as etapas de sedimentação ou flotação são eliminadas e em alguns casos, os floculadores podem não ser necessários.

A filtração direta utiliza o mecanismo de coagulação de adsorção/neutralização de cargas que permite que os filtros sejam eficientes na retenção do material em suspensão (DI BERNARDO et al., 2003; SABOGAL PAZ, 2007; DI BERNARDO et al., 2012).

A Tabela 3.1 apresenta as principais vantagens e desvantagens das tecnologias de filtração direta quando comparadas com a de ciclo completo.

Tabela 3.1 – Vantagens e desvantagens das tecnologias de filtração direta em relação ao ciclo completo

Vantagens	Desvantagens
i) Redução da área em planta devido ao menor número de unidades envolvidas.	i) Diminuição da eficiência no tratamento de água bruta com valores elevados de alguns parâmetros de qualidade da água.
ii) Menor consumo de produtos químicos devido à redução nas dosagens de coagulantes	ii) Não é indicada para o tratamento de água bruta que apresente variações bruscas de qualidade
iii) Diminuição nos resíduos gerados.	iii) Curto tempo de detenção da água na ETA, fato que dificulta a realização oportuna de medidas corretivas quando necessárias.
iv) Menores investimentos iniciais (redução de até 70% conforme a tecnologia)	

Fonte: DI BERNARDO et al. (2003); REALI et al. (2013); United States Environmental Protection Agency – US EPA

Segundo levantamentos realizados pelo Projeto – Edital 3 do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB (Di Bernardo et al., 2003) foram constatadas mais de 500 ETAs de filtração direta distribuídas no território brasileiro, conforme Figura 3.4.

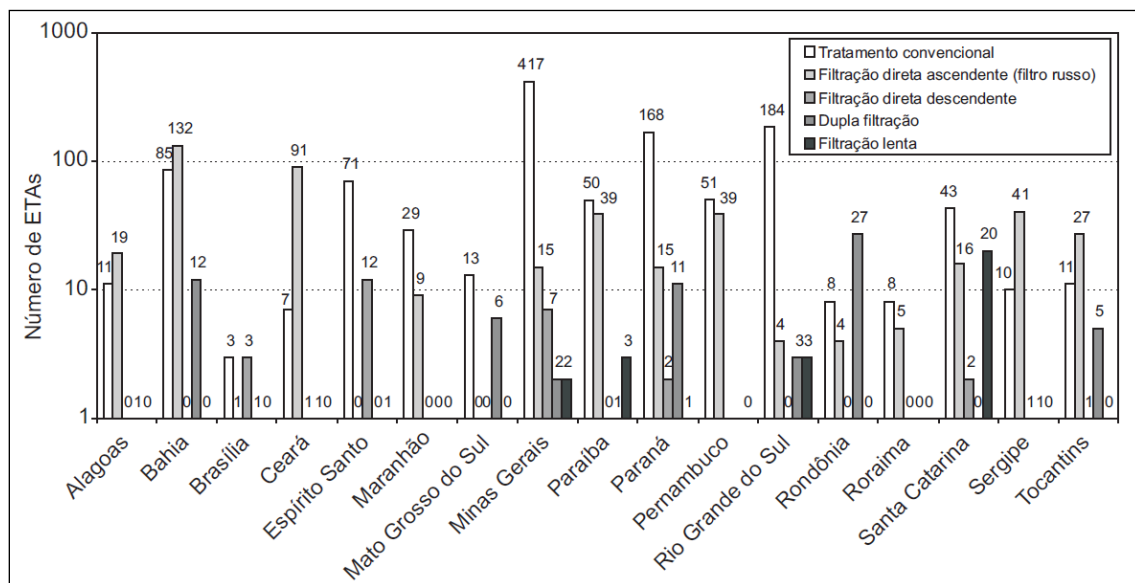


Figura 3.4 – Número de ETAs no Brasil com tecnologias de tratamento convencional ou de filtração direta. Fonte: DI BERNARDO et al. (2003).

As tecnologias de filtração direta podem apresentar três configurações básicas: descendente, ascendente e dupla filtração.

3.2.2.1 Filtração Direta Descendente (FDD)

A filtração direta descendente - FDD é composta pelas etapas de coagulação, floculação (em algumas situações) e filtração (Figura 3.5).

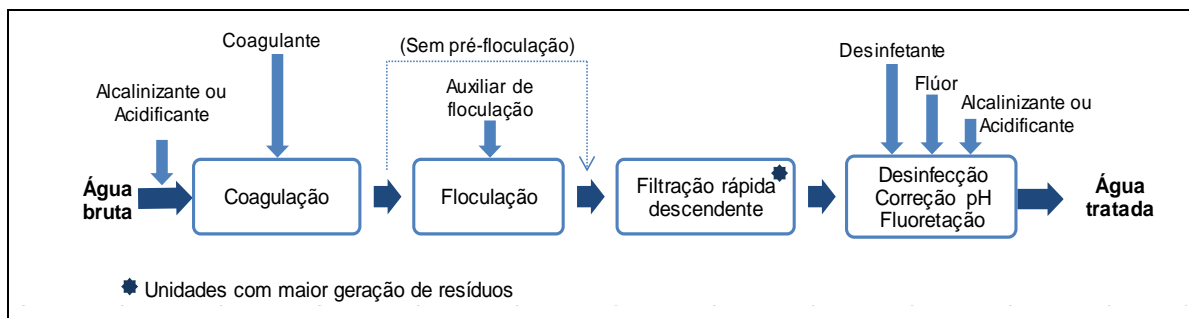


Figura 3.5 – Fluxograma esquemático da FDD, com ou sem floculação.

Fonte: Adaptado de BRASIL (2006).

O emprego da floculação depende da qualidade da água bruta (quando há predominância de partículas com tamanhos menores que $5\mu\text{m}$, é recomendada); das características do meio filtrante e da taxa de filtração adotada (DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008; REALI et al., 2013).

Quando a configuração adotada é a FDD com unidade de floculação, alguns cuidados devem ser tomados em relação à entrada e distribuição de água floculada aos filtros para evitar quedas de água que provoquem a ruptura dos flocos formados, fenômeno que acaba sobrecarregando o filtro e que conseqüentemente, reduz a eficiência da tecnologia (REALI et al., 2013). A aplicabilidade da FDD apresenta valores-limite dos parâmetros de qualidade da água bruta. Di Bernardo e Sabogal Paz (2008) podem ser consultados para maiores detalhes.

Além das características da água bruta, a eficiência da FDD também é influenciada por fatores de projeto, operação e manutenção, tais como: i) tipo e dosagem de coagulante; ii) gradiente de velocidade e tempo de agitação na unidade de mistura rápida; iii) granulometria do meio filtrante, taxa de filtração e método de operação (taxa constante ou declinante); iv) eficiência da lavagem do filtro; e v) monitoramento (DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008).

Pelo fato da coagulação empregada na FDD ser realizada pelo mecanismo de adsorção/neutralização de cargas, esta requer baixas dosagens de coagulante (REALI et al., 2013). De acordo com alguns autores, o processo de coagulação torna-se fundamental, ou seja, quanto maior o número de ensaios de tratabilidade, mais eficiente será a retenção de partículas (SANTOS et al., 2007).

Na FDD, as impurezas existentes devem ser totalmente retidas no filtro rápido descendente (FRD). A seleção das características do meio filtrante deve ser bem definida através de estudos prévios para que sejam adotados os materiais mais adequados (granulometria e espessura das camadas); a fim de obter uma maior distribuição de impurezas em profundidade com a garantia de uma carreira de filtração mais longa (DI BERNARDO et al., 2003).

A lavagem dos FRD, na FDD, é realizada com água ou com água e ar em sentido oposto à filtração, sendo os resíduos gerados na lavagem dos filtros (DI BERNARDO et al., 2012).

3.2.2.2 Filtração Direta Ascendente (FDA)

Na filtração direta ascendente – FDA, a água coagulada é conduzida à câmara de carga de cada filtro, do qual ela sai e entra pelo fundo, passa a camada suporte (pedregulho) e encontra as primeiras camadas do meio filtrante (areia) – nessa região ocorre a floculação das impurezas com retenção de até 40% delas.

Durante a filtração, a água percorre o meio filtrante com progressiva remoção das impurezas até o topo; assim, ocorre um maior aproveitamento do leito filtrante durante o processo e, portanto, é possível obter carreiras de filtração mais longas – fato que não ocorre nos filtros de escoamento descendente (DI BERNARDO et al., 2003; REALI et al., 2012). Finalmente, a água filtrada é coletada por calhas e encaminhada para a unidade de desinfecção e de ajuste de pH. A Figura 3.6 apresenta um esquema da tecnologia de FDA.

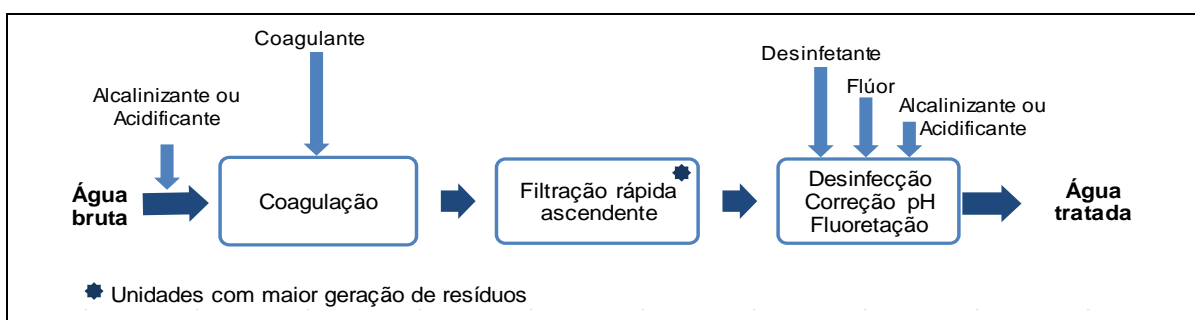


Figura 3.6 – Fluxograma esquemático da FDA.

Fonte: Adaptado de BRASIL (2006).

Além dos fatores de projeto, operação e manutenção citados na FDD, a tecnologia de FDA deve considerar a execução de descargas de fundo intermediárias – DFIs nos filtros (DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008).

Na interface entre a areia e pedregulho existe grande acúmulo de impurezas. Devido à dificuldade da retirada dos sólidos nesta região, é necessária a realização de descargas de fundo intermediárias – DFIs. Na interface pedregulho/areia deve-se injetar água através de um sistema de tubulações perfuradas para evitar a formação de vácuo nessa região. O vácuo causaria prejuízo à qualidade da água filtrada após reinício da filtração (DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008; REALI et al., 2013).

A adoção de DFIs pode proporcionar aumentos significativos na duração da carreira de filtração devido à recuperação de carga hidráulica, sem causar prejuízo substancial na qualidade da água filtrada após o filtro ser recolocado em operação. Igualmente possibilita o tratamento de águas com valores maiores de turbidez e cor (se comparada à FDD), com capacidade de absorver picos e mudanças bruscas nas características da água bruta (DI BERNARDO et al., 1999a; DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008).

A lavagem do filtro requer aplicação de água com uma vazão que permita a expansão adequada do meio filtrante para liberação das impurezas retidas. Como o meio filtrante é constituído de areia com grãos maiores que no caso da filtração descendente, o consumo de água para lavagem é maior (DI BERNARDO et al., 2003; REALI et al., 2013). Considerando que a coleta de água de lavagem e de água filtrada é, usualmente, realizada pela mesma calha, cuidados devem ser tomados para se evitar contaminação da água filtrada. Os resíduos gerados na FDA são provenientes das descargas de fundo (intermediária e final) e lavagem da unidade de filtração.

3.2.2.3 Dupla Filtração (DF)

A dupla filtração – DF consiste na associação de filtros ascendentes e descendentes e surgiu como alternativa para reduzir as limitações da FDD e FDA. As principais vantagens da DF em relação à FDD e FDA são: i) tratabilidade de água com pior qualidade – valores maiores que os recomendados para a FDD e FDA; ii) permite maior segurança do ponto de vista operacional em relação às variações bruscas de qualidade, isto pelo fato da água permanecer por um tempo maior no sistema (DI BERNARDO et al., 2003; DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008). Esses resultados se mostraram atraentes de modo a competir, em alguns casos, com o tratamento por ciclo completo.

Na DF, a água bruta coagulada pelo mecanismo de adsorção/neutralização de cargas, é encaminhada à câmara de carga e depois para o filtro ascendente. Após a pré-filtração, a água é coletada por calhas e conduzida ao filtro descendente, responsável na remoção de impurezas remanescentes. Posteriormente, a água filtrada é encaminhada às

unidades seguintes para desinfecção, fluoreação e estabilização (DI BERNARDO et al., 2003; REALI et al., 2013). A Figura 3.7 apresenta as etapas principais da tecnologia de DF.

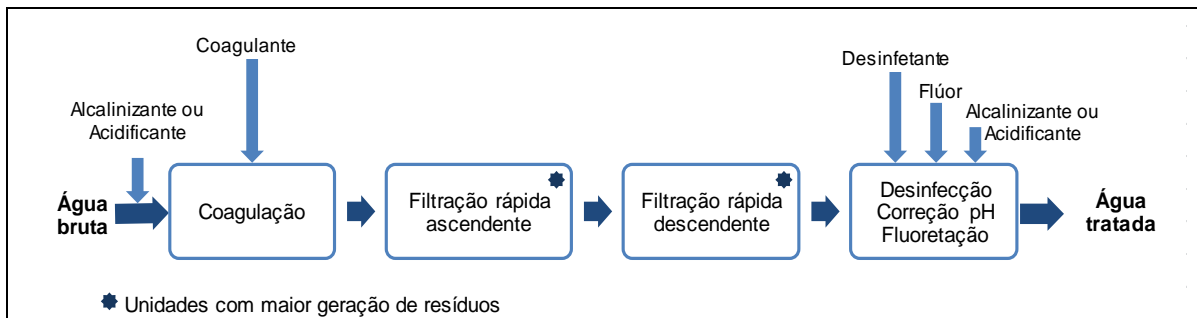


Figura 3.7 – Fluxograma esquemático da DF.
Fonte: Adaptado de BRASIL (2006).

O filtro ascendente – FA pode ser composto por pedregulho ou areia grossa e no FD, areia ou antracito e areia, podendo funcionar tanto com taxa constante como declinante (SABOGAL PAZ, 2007).

No caso do FA, as duas possíveis configurações – filtro ascendente em areia grossa (FAAG) e filtro ascendente em pedregulho (FAP) – devem ser analisadas criteriosamente na seleção do tipo de pré-filtro, pois existem diferenças nos fatores de projeto e operação que devem ser ponderadas.

Assim, ao comparar o FAAG com o FAP, verifica-se que: i) a qualidade da água filtrada geralmente é melhor e suporta mudanças na qualidade da água bruta; ii) a taxa de filtração é maior e a área em planta requerida na filtração diminui; iii) a carga hidráulica disponível necessária para a filtração é mais elevada; iv) a duração da carreira de filtração é menor; e v) a geração de resíduos é mais elevada porque são necessários maior vazão e tempo de lavagem. Os resíduos gerados na DF são constituídos pelas descargas de fundo (intermediária e final) e águas de lavagem dos FAs e FRDs.

3.2.3 Floto-filtração (FF)

O tratamento por floto-filtração (FF) envolve a realização de flotação por ar dissolvido e filtração em uma única unidade. Na tecnologia, a água bruta é coagulada no mecanismo próximo ao de varredura e, em seguida, é submetida à agitação lenta (geralmente mecânica) até que os flocos alcancem tamanhos suficientes para que sejam flotados mediante a introdução de água de recirculação pressurizada (proporção de até 10% da vazão de projeto). O material sólido flota com a mesma taxa com que o subnadante é

filtrado (a taxa de filtração é igual à taxa de flotação). Portanto, caso seja adotado apenas um desses parâmetros, acarretará em um funcionamento ineficiente da ETA (DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008). A Figura 3.8 apresenta um esquema da tecnologia de FF.

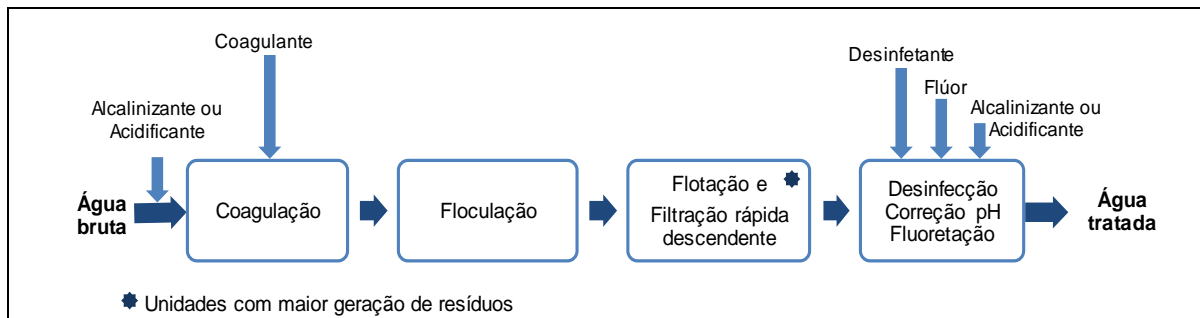


Figura 3.8 – Fluxograma esquemático da FF.

Com o intuito de evitar a desestabilização do lodo flotado pela interferência da chuva, vento e de gradientes de temperatura, é recomendável o uso de cobertura na unidade de floto-filtração. Em relação aos resíduos gerados, estes são provenientes da remoção superficial de lodo flotado e da lavagem do filtro (DI BERNARDO et al., 2012).

Normalmente, a floto-filtração é indicada no tratamento de águas que possuem elevados valores de algas e cor verdadeira. Para o bom funcionamento deste tipo de tratamento, a água captada deve ter turbidez menor que 100 uT em 100% do tempo e cor verdadeira inferior que 200 uH em 100% do tempo (SABOGAL PAZ, 2007).

3.2.4 Filtração em Múltiplas Etapas (FiME)

A filtração lenta (FL) é uma solução viável no tratamento de água pouco poluída porque não utiliza coagulação. Entretanto, com a degradação da qualidade dos mananciais, a FL passou a ser substituída por outras tecnologias (DI BERNARDO et al., 1999b; REALI et al., 2013).

Para reduzir as restrições da FL, unidades de pré-tratamento (constituídos por filtros de maior granulometria – pré-filtros dinâmicos e pré-filtros ascendentes em pedregulho) foram associadas. A combinação foi denominada filtração em múltiplas etapas – FiME.

A tecnologia de FiME pode ser adotada no tratamento de águas com valores elevados de microrganismos e medianos de turbidez e de densidade de algas, porém não é adequada para águas que contenham, entre outros parâmetros, cor verdadeira elevada. No

Brasil, essa tecnologia é atraente para regiões carentes porque não requer pessoal qualificado para a operação e manutenção do sistema (REALI et al., 2013).

Na FiME, a água passa por diferentes filtros com progressiva remoção das impurezas presentes conforme o princípio básico de que cada unidade condicione seu efluente para ser submetido ao tratamento posterior. Primeiro, a água é encaminhada para os pré-filtros dinâmicos (PFD), que são utilizados, principalmente, para a remoção de material grosseiro. Em seguida, a água é conduzida para os pré-filtros verticais ascendentes (PFVA) antes de ser encaminhada aos filtros lentos, que é a última etapa da tecnologia FiME, responsável em fornecer água conforme o padrão de potabilidade (DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008). A Figura 3.9 ilustra as principais unidades envolvidas na FiME.

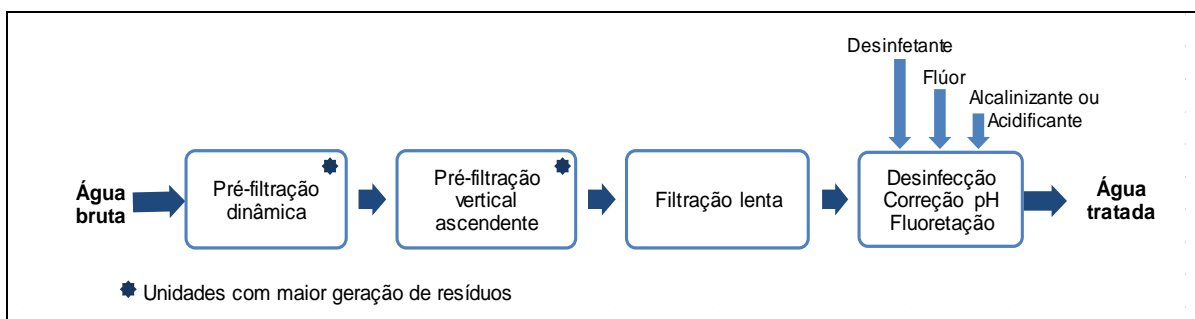


Figura 3.9 – Fluxograma esquemático da FiME.

Fonte: Adaptado de BRASIL (2006).

Um das desvantagens da FiME quando comparada com outras ETAs, para uma mesma vazão, é que ela sempre ocupará maior área em planta devido às baixas taxas de filtração adotadas. Portanto, em função do elevado investimento inicial envolvido, a tecnologia é recomendada para vazões de projeto de até 40L/s (CINARA, 2001).

Na FiME, pelo fato de não serem usados produtos químicos para a coagulação, as características dos resíduos gerados resultam distintos daqueles observados nas ETAs com coagulação, principalmente, na concentração de metais e no volume de sólidos.

3.3 TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS GERADOS EM ETAs

Se por um lado, houve um avanço no setor de saneamento básico no Brasil ao proporcionar melhores condições de vida à população; por outro, as próprias estações de tratamento de água são fontes pontuais de poluição devido à geração de resíduos que normalmente são dispostos *in natura* no ambiente.

Com o crescimento populacional há um aumento na demanda de água para abastecimento público; no entanto, os mananciais nos quais a água bruta é captada se encontram cada vez mais comprometidos. Esse fator implica no aumento do consumo de produtos químicos, o que acarreta em um maior volume de resíduos (CORDEIRO, 1999a; PAGANINI, 2009).

A maioria das ETAs brasileiras não dispõe adequadamente os resíduos – classificados como Classe II-A pela NBR 10.004/04. Na maioria dos casos, eles são lançados diretamente nos corpos hídricos; um procedimento inadequado do ponto de vista ambiental, operacional e legal (PAGANINI, 2009).

De acordo com as legislações vigentes – Resolução CONAMA n.º 430/11, Lei n.º 9.433/97 da Política Nacional dos Recursos Hídricos, Lei n.º 9.605/98 de crimes ambientais, Lei Estadual nº 12.300/06 – tal prática é ilegal; exigindo uma mudança de postura dos dirigentes das estações de tratamento de água. Uma visão mais abrangente do problema deve ser avaliada visando a preservação do meio ambiente (RITCHER, 2001; PAGANINI, 2009; DI BERNARDO et al., 2012; SILVEIRA, 2012).

Achon et al. (2005) e Barroso e Cordeiro (2002) verificaram os impactos ambientais decorrentes do lançamento dos resíduos direta ou indiretamente nos corpos d' água, dos quais pode-se citar: i) depleção na concentração de oxigênio dissolvido – OD; ii) aumento na concentração de metais no sedimento que é prejudicial à camada bentônica; iii) interferência econômica e social das populações que se beneficiam do recurso hídrico afetado; iv) presença de compostos orgânicos tóxicos removidos ou formados nas unidades de tratamento da ETA; v) elevada quantidade de organismos patogênicos nos resíduos que alteram a qualidade do corpo receptor e; vi) possibilidade de contaminação do lençol freático pela presença de lixiviados provindos do resíduo disposto de forma inadequada no solo, etc.

De acordo com o Relatório do Seminário Nacional sobre Tratamento, Disposição e Usos Benéficos dos Lodos de ETAs, realizado em 2008 pelo Instituto de Engenharia de São Paulo (2008), o tratamento de água deve ser visto como uma indústria, que usa matéria-prima (água bruta), insumos (produtos químicos e energia) para gerar um produto (água tratada), e em contrapartida, acabam produzindo resíduos. Nesta visão, não se deve preocupar apenas com a qualidade da água tratada, mas também com a água bruta e insumos necessários, a fim de se ter a otimização do processo produtivo e adoção de reciclagem/reuso dos resíduos, ações estas que seguem a tendência internacional.

As características quantitativas e qualitativas dos resíduos de ETAs dependem de diversos fatores relacionados às ETAs, com destaque: i) qualidade da água bruta; ii) tecnologia de tratamento de água; iii) eficiência das unidades; iv) características da coagulação, como o tipo e dosagens dos produtos químicos empregados e; v) as condições de operação (método de limpeza das unidades e lavagem dos filtros) e manutenção, etc.

(CORDEIRO,1999a; DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008; DI BERNARDO et al., 2012). Os resíduos de tratamento de água estão constituídos basicamente de sólidos em suspensão, produtos químicos da coagulação e microrganismos (CHEN et al., 2002).

Devido às influências diretas dos fatores citados anteriormente, os resíduos podem ter características diversas, o que torna muito complexa a escolha das alternativas de tratamento e de disposição final. Portanto, estudos prévios se mostram sempre necessários na procura da alternativa mais adequada. Na análise, devem-se levar em consideração todos os custos envolvidos e o pessoal para operação e manutenção da estação de tratamento de resíduos de ETAs – ETR.

De acordo com Reali (1999), também se torna pertinente considerar, na seleção da tecnologia para a ETR, fatores como: área disponível; clima local e; condições socioeconômicas, culturais e ambientais da região onde se pretende implantar o sistema de tratamento.

3.3.1 Principais tecnologias de tratamento dos resíduos

As técnicas comumente utilizadas no tratamento dos resíduos de ETAs consideram: equalização/regularização, condicionamento, adensamento, desaguamento e; em alguns casos, secagem, incineração.

3.3.1.1 Regularização de vazão

Todos os resíduos gerados na ETA são encaminhados a um tanque de recepção e regularização de vazão – TRR, provido de agitadores. O objetivo do tanque é equalizar a vazão e uniformizar a concentração de sólidos antes de serem bombeados até a alternativa selecionada para tratamento ou disposição (Figura 3.10).



Figura 3.10 – Tanque de regularização de vazão
Fonte: SABOGAL PAZ (2007).

No dimensionamento dos tanques, o projetista deve estar atento às características de operação das unidades de tratamento de água, ou seja, a frequência com que as atividades de descargas dos decantadores (ou flotadores) e lavagem dos filtros são realizadas. No primeiro caso, os resíduos apresentam maior concentração de sólidos com menor volume; no segundo, há maior volume de resíduos com menor concentração de sólidos (DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008).

3.3.1.2 Condicionamento

O condicionamento dos resíduos é fundamental na ETR, especialmente se forem utilizadas unidades mecanizadas de tratamento. Tal procedimento gera as condições necessárias para a remoção da água (REALI, 1999).

As técnicas de condicionamento podem ser de dois tipos: físico ou químico. O condicionamento físico, que implica no congelamento/descongelamento dos resíduos, o qual é mais viável (técnica e economicamente) em climas temperados onde pode ser realizado de forma natural. Como não é a realidade do Brasil, a técnica de condicionamento químico tem sido mais utilizada na remoção da água dos resíduos. Este condicionamento consiste na adição de produtos químicos ao resíduo, tais como cal e polímeros sintéticos. Nas ETAs brasileiras, o condicionamento químico com polímeros catiônicos, aniônicos ou não iônicos tem sido utilizado (SABOGAL PAZ, 2007).

No estudo realizado por Scalize e Di Bernardo (1999), amostras distintas da água de lavagem dos filtros de uma ETA foram analisadas com a caracterização do sobrenadante e do sedimento, considerando a adição ou não de polímero catiônico. Os pesquisadores

verificaram que os sobrenadantes decorrentes da clarificação com polímero apresentaram menor turbidez, coliformes e concentração de SST, que possibilitariam a sua recirculação ao início da ETA. Com o aumento da dosagem do condicionante químico, também foi observado uma maior concentração de SST, metais e microrganismos nos sedimentos, assim, estes devem ser adequadamente dispostos no ambiente pelo risco à saúde pública.

Através de ensaios de clarificação da água de lavagem dos filtros e das DFIs de uma ETA de FDA, Di Bernardo et al. (1999a) verificaram que com a aplicação de polímero, o sobrenadante apresentou uma melhor qualidade e com menor tempo de sedimentação em relação ao sobrenadante sem uso do condicionante.

O condicionamento através de polímeros se mostra muito eficiente, mas conforme as ressalvas feitas por Teixeira e Ferreira Filho (1999), a escolha do condicionante deve ser feita após a realização de testes preliminares com os diversos tipos de polímeros para a definição de sua dosagem ótima, a qual proporcione o melhor tratamento do resíduo. Caso contrário, de acordo USA EPA (1987)¹ e Vesilind (1979)², a má seleção do polímero e seus custos pode representar um peso significativo, podendo exceder 50% das despesas do tratamento total dos resíduos (apud BACHE e PAPAVALOPOULOS, 2000).

3.3.1.3 Adensamento

O adensamento (ou espessamento) é uma das operações mais importantes no processo de tratamento de resíduos de ETA, especialmente quando se utiliza desidratação mecanizada. Tem a finalidade de aumentar o teor de sólidos no resíduo gerado de modo que garanta uma concentração de sólidos da ordem de 2% (REALI e PATRIZZI, 1999). O adensamento também é importante quando se pretende extrair o clarificado obtido com o intuito de recirculá-lo na ETA.

As alternativas para realização do adensamento basicamente são de três tipos: por gravidade, por flotação e mecanizado, apresentando diversas vantagens e desvantagens, conforme Tabela 3.2, Figura 3.11 e Figura 3.12.

¹ Vesilind P. A. (1979). **Treatment and Disposal of Wastewater Sludges**, 2nd ed. Ann Arbor Science Publishers Inc, Michigan.

² US Environmental Protection Agency. (1987). **Design Manual. Dewatering Municipal Wastewater Sludges**. EPA-652/1-87-014, Cincinnati, Ohio.

Tabela 3.2 – Vantagens e Desvantagens dos Métodos de Adensamento (continua)

Vantagens	Desvantagens
Gravidade (Batelada)	
i) A técnica não requer pessoal qualificado, comparada aos outros métodos de adensamento; ii) A alternativa é recomendada para lodos provenientes do abrandamento da água, os quais sedimentam com facilidade (RICHTER, 2001).	i) A técnica precisa de maiores áreas de implantação, comparada com outras técnicas de adensamento.
Flotação	
i) A técnica é eficiente na remoção de <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i> (EDZWALD, 1995); ii) A unidade pode operar com maiores taxas de aplicação de sólidos, permitindo unidades mais compactas.	i) O uso da unidade não foi verificado em ETAs brasileiras; entretanto, existem pesquisas em escala piloto. ii) O sistema apresenta alta taxa de recirculação (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). iii) A unidade tem altos custos de implantação, operação e manutenção.
Adensamento Mecânico	
i) A técnica precisa de menores áreas de implantação, comparada aos outros métodos de adensamento. ii) O método apresenta: i) uso reduzido de condicionante químico e ii) menor tempo para adensamento do resíduo (AWWA & ASCE, 1998).	i) A unidade precisa de energia e de manutenção especializada. ii) Os custos de implantação podem ser altos, comparados os outros métodos de adensamento. iii) A limpeza do equipamento pode ser complicada (AWWA & ASCE, 1998). iv) O controle da dosagem do condicionante químico pode ser difícil (MENDES <i>et al</i> 2001).

Fonte: SABOGAL PAZ (2007).



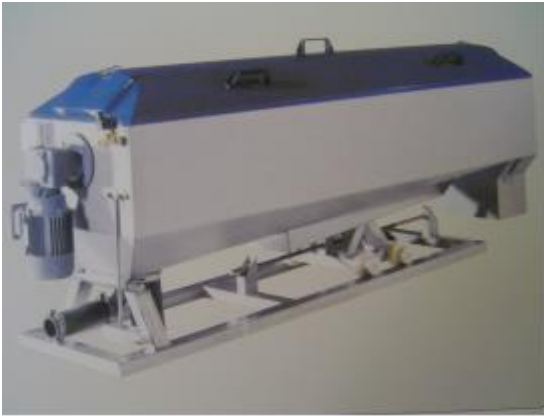
(a) Adensamento por Gravidade



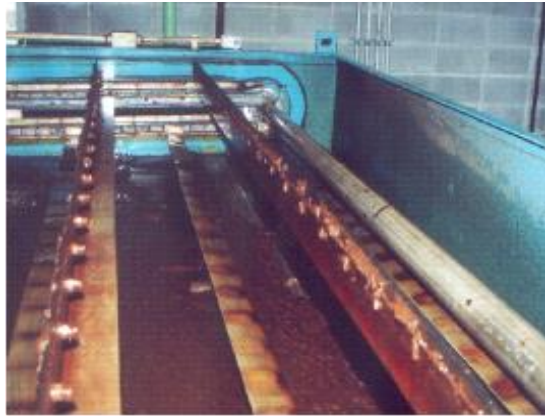
(b) Adensador de Disco

Figura 3.11 – Diferentes Tipos de Adensadores.

Fonte: SABOGAL PAZ (2007).



(a) Adensamento Dinâmico Helicoidal



(b) Adensador Mecânico de Esteira



(c) Adensamento por Tambor Rotativo



(d) Adensador de Peneira

Figura 3.12 – Diferentes Tipos de Adensadores.

Fonte: SABOGAL PAZ (2007).

A seleção do adensador depende previamente de estudos técnicos e econômicos, atentando-se às características dos resíduos, que varia caso a caso e também, às dosagens dos polímeros e às técnicas posteriores que serão adotadas na ETR.

3.3.1.4 Desaguamento

A técnica de desaguamento, também denominada de desidratação, consiste na remoção de água dos resíduos com o objetivo de reduzir o seu volume para facilitar o transporte para posterior aproveitamento ou disposição final. O desaguamento pode ser efetuado mecanicamente utilizando centrifugas, filtro prensa de esteiras, filtro prensa de placas e filtro a vácuo, ou por técnicas naturais como leitos de secagem, leitos de drenagem, lagoas de lodo e tecido especial (geotêxtil).

Independentemente da técnica, é recomendável que a torta (como a mistura com elevado teor de sólidos é usualmente denominada) gerada no desaguamento tenha uma

concentração de SST superior a 200g/L – ou teor de SST maior que 20% em massa/massa (DI BERNARDO et al., 2012).

No presente estudo não serão abordadas as técnicas que utilizam filtro prensa de esteiras, filtro prensa de placas, filtro a vácuo e leitos de secagem, assim, essas alternativas de desaguamento não serão abordadas nesta revisão. Para maiores detalhes, Cordeiro (1999b, 1999c), Miki (1998), Sabogal Paz (2007), Di Bernardo e Sabogal Paz (2008) e Vanzetto (2012) podem ser consultados.

3.3.1.4.1 Centrífuga

As centrífugas vêm sendo utilizadas há algum tempo na separação de fases em diversos setores das indústrias alimentícias, farmacêuticas e de bebidas. A aplicação de tal alternativa foi mais recente na remoção de água dos resíduos de saneamento, iniciando-se na desidratação de resíduos de ETE e, posteriormente, com experiências no tratamento de resíduos de ETAs (REALI e PATRIZZI, 1999).

A centrifugação é uma operação de separação de fases extremamente acelerada através da ação do campo de forças centrífugas que surge quando se rotaciona um recipiente cilíndrico (tambor) contendo o material que se deseja separar (Figura 3.13). Em função da influência do tamanho das partículas, as maiores atingem mais rapidamente as paredes das centrífugas onde são capturadas e removidas; caso contrário, quando os resíduos apresentam partículas muito finas, a eficiência torna-se baixa (REALI et al., 1999; SABOGAL PAZ, 2007).



(a)



(b)

Figura 3.13 – Decantadores Centrífugos da (a) PIERALISI® e (b) Alfa Laval®.
Fonte: SABOGAL PAZ (2007).

No caso de desidratação de resíduos de ETAs, com partículas de diferentes tamanhos (desde materiais muito finos até os gelatinosos), usualmente é necessário realizar o condicionamento químico (polímeros sintéticos), o qual confere maior coesão entre os sólidos, facilitando a remoção dos sólidos do equipamento (REALI et al., 1999). Algumas vantagens e desvantagens do método de centrifugação são apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Vantagens e Desvantagens do Desaguamento dos Resíduos da ETA por Centrifugação

Vantagens	Desvantagens
i) O método é adequado para ETAs com limitação de espaço (RÍCHTER, 2001). ii) A técnica não depende das condições meteorológicas da região, comparada com os métodos naturais de tratamento. iii) O desaguamento do lodo é realizado em poucos minutos.	i) O equipamento pode apresentar abrasão do tambor. ii) A unidade requer lavagem, com abundância de água, das partes em contato direto com o lodo, com o intuito de evitar problemas operacionais gerados pelos sólidos secos acumulados (CORNWELL et al. 1987). iii) O desaguamento por centrifuga requer pré-tratamento por adensamento (CORNWELL et al. 1987). iv) O uso da centrifuga não deve ser contínuo – 24 h/dia (CORNWELL, et al. 1987). v) O método é sensível quando existe variação da vazão e das características do resíduo, especialmente na dosagem do condicionante químico. Segundo Reali (1999), verifica-se certa dificuldade por parte dos operadores, na obtenção da dosagem ótima de polímero a ser aplicada no lodo. vi) O sistema pode apresentar problemas de barulho e vibrações provocadas pelo funcionamento de bombas e motores. vii) A técnica tem elevado consumo de energia elétrica e alto custo de implantação e de funcionamento, comparada com métodos naturais. Assim, possivelmente não seja sustentável em comunidades de pequeno porte. viii) O uso do equipamento se centra em ETAs de grande porte, não sendo possível verificar sua conveniência em pequenos sistemas.

Fonte: SABOGAL PAZ (2007)

No estudo realizado por Guimarães e Brandão (2008), através da comparação de resíduos provenientes de duas ETAs localizadas no Distrito Federal, uma limitação do método de centrifugação foi verificada. Os resultados obtidos com a desidratação dos resíduos predominantemente orgânicos (ETA – Brasília/DF) – devido à presença de algas – foram sensivelmente inferiores aos obtidos na desidratação dos resíduos de caráter inorgânico (ETA – Descoberto/DF).

O adequado funcionamento da centrífuga necessita que a alimentação seja feita com resíduo adensado e concentração de SST de, no mínimo, 2% em massa/massa. Normalmente, a quantidade de polímero utilizado varia de 2 a 5g/kg de SST (DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008).

3.3.1.4.2 *Sistemas naturais de desaguamento*

Os sistemas naturais de remoção da água livre dos resíduos de ETAs são os leitos de secagem e drenagem e as lagoas de lodo, os quais são indicados geralmente para pequenas estações, com vazão de projeto de até 200 L/s (FONTANA, 2004).

No Brasil existem regiões com disponibilidade de área e condições climáticas favoráveis que permitem a aplicação de dispositivos de secagem natural (CORDEIRO, 1999a).

- **Leitos de Secagem e Leitos de Drenagem**

O leito de secagem é um dos métodos de desaguamento mais antigos e mais usados no tratamento de resíduos. Normalmente, os lodos são descarregados no leito sem nenhuma adição de condicionantes. A remoção de água dos resíduos se dá através da decantação, percolação (drenagem) e evaporação, sendo que durante as primeiras 72 horas, a drenagem é a responsável pela eliminação da maior parte da água (água livre) – mecanismo que cessa quando o resíduo atinge umidade de 80% aproximadamente. Depois desse período, o lodo adquire uma consistência pastosa e menor umidade devido à evaporação superficial (PEDROZA et al., 2001; DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008).

Os leitos de secagem, que na sua essência funcionam como filtros granulares de bateladas, são constituídos por: i) tanques rasos; ii) sistema de drenagem e; iii) duas ou três camadas de areia com granulometrias diferentes com cerca de 30 cm de espessura.

O desaguamento ainda depende de diversos fatores, com destaque à temperatura e umidade do ar, viscosidade do lodo adensado e ação de ventos. No caso de ETAs que empregam sulfato de alumínio na coagulação, quando tais condições são favoráveis para um bom funcionamento do sistema, recomenda-se o preenchimento do leito até atingir uma espessura de camada de resíduos de 50 cm (DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008).

Os leitos de drenagem surgiram da otimização de leitos de secagem (Figura 3.14) com o emprego de uma manta de geotêxtil sobre a camada filtrante; essa nova configuração possibilita a remoção efetiva da água livre dos lodos com melhoria na sua qualidade e menor tempo de drenagem (BARROSO et al., 2006). A Tabela 3.4 apresenta algumas vantagens e desvantagens dos sistemas de leito de drenagem e leitos de secagem.

Tabela 3.4 – Vantagens e Desvantagens do Tratamento por Leitos de Drenagem

Leitos de Drenagem	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> i) As unidades normalmente requerem baixo investimento inicial, comparadas às lagoas de lodo (CORDEIRO, 1999a). ii) As atividades de operação e manutenção das unidades não requerem pessoal qualificado. iii) Os leitos não apresentam consumo de energia. iv) As unidades geralmente dispensam o uso de produtos químicos no tratamento. v) Os leitos podem gerar uma alta concentração de sólidos se as características climáticas da região forem favoráveis. vi) As unidades permitem a recuperação de água clarificada, a qual pode ser utilizada no início do tratamento, caso seja prevista essa atividade. vii) Os leitos são indicados para pequenas ETAs, usualmente, com capacidade inferior a 200 L/s considerando os custos do terreno (RICHTER, 2001). viii) As unidades têm baixa sensibilidade às variações quantitativas e qualitativas do lodo (GARCÉS <i>et al</i> 1996). ix) A remoção de água livre é mais eficiente, comparada com lagoas de lodo. Nos leitos, o lodo demora dias para secar e não meses como nas lagoas; entretanto, o desempenho depende das características climáticas da região (ACHON <i>et al</i>. 2004). x) As unidades apresentam pouca tendência ao entupimento do leito, comparadas com leitos de secagem (FONTANA, 2004). xi) Os leitos de drenagem podem gerar maior concentração de lodos, comparados com leitos de secagens. 	<ul style="list-style-type: none"> i) Os leitos necessitam de maior área de implantação, comparados aos métodos mecânicos de desaguamento. ii) O lodo não pode ser armazenado indefinidamente no leito, assim, deve ser removido para o local de disposição ou de aproveitamento. A atividade de retirada do resíduo pode exigir intenso trabalho. iii) O tratamento de resíduos com concentrações altas de matéria orgânica poderia precisar de estabilização antes do tratamento. iv) O projeto da unidade requer o conhecimento do clima da região.
Leitos de Secagem	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> i) Aplicam-se as vantagens 1 a 8 dos leitos de drenagem 	<ul style="list-style-type: none"> i) A unidade apresenta problemas de entupimento da camada filtrante. ii) Aplicam-se todas as desvantagens dos leitos de drenagem.

Fonte: SABOGAL PAZ (2007)



(a)



(b)

Figura 3.14 – Leitos de drenagem (a) e Leito de secagem (b).

Fonte: SABOGAL PAZ (2007).

Com o objetivo de avaliar uma tecnologia para a redução do volume de lodo dos decantadores de ETAs que utilizam cloreto férrico como coagulante, SILVA et al. (2007) construíram um sistema de leitos de drenagem. Com o preenchimento dos leitos com uma altura de lâmina de 0,3 m, os autores obtiveram eficiência com o drenado final apresentando concentração de SST de 2 mg/L, turbidez de 1,27 uT e cor de 5 uC; atingindo padrões que possibilitaria a sua recirculação na ETA.

No trabalho desenvolvido por Oliveira (2010), além da secagem do lodo através de centrífugas, foram estudadas as alternativas de leitos de secagem pilotos convencionais e alternativos (geotêxtil não tecido bidim e geotecido). Como resultados, após 30 dias, para os leitos convencionais foram obtidos teores de sólidos totais – ST de até 40%. Para o mesmo período, os leitos alternativos com bidim atingiram valores de ST 17 a 27% e os leitos alternativos com geotecido conseguiram 5 a 7% de ST. As características da água drenada nos leitos mostraram que o sistema possui excelente condição de clarificação.

Ainda em relação ao trabalho anterior, para uma melhor avaliação das alternativas, foram consultados dados climatológicos diários que permitiram concluir que a predominância de baixas temperaturas, altos índices de umidade e grande volume de precipitação não favorecem a secagem natural do lodo.

Na fase de secagem no leito de drenagem, Silveira (2012) obteve um aumento do teor de sólidos da torta mesmo sem proteção às intempéries de inverno, com duração de 5 a 13 dias, chegando a valores de teor da mesma ordem de grandeza que os obtidos por desaguamentos mecanizados.

- Lagoas de Lodo

Neste sistema, a desidratação ocorre em três fases: drenagem, evaporação e transpiração; mostrando-se uma alternativa atraente particularmente em regiões onde a taxa de evaporação é superior à de precipitação para que não reste efluente líquido no resíduo quando este for removido (CORDEIRO, 1999c; DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008).

A técnica é viável em ETAs de pequena capacidade e quando o custo da terra não for elevado, pois há necessidade de grandes áreas (Figura 3.15). O projeto de lagoas inclui: sistema de tubulações de entrada de lodo e de saída do clarificado, sistema de bombeamento do clarificado (se necessário) e equipamentos de remoção do resíduo (SABOGAL PAZ, 2007). A Tabela 3.5 apresenta algumas vantagens e desvantagens do uso de lagoas no tratamento dos resíduos.



Figura 3.15 – Lagoas de Lodo.
Fonte: SABOGAL PAZ (2007).

Tabela 3.5 – Vantagens e Desvantagens do Uso de Lagoas de Lodo.

Vantagens	Desvantagens
i) As unidades não têm consumos de energia elétrica. ii) As lagoas não requerem pessoal qualificado para operar e manter o sistema. iii) O número de limpezas por ano é reduzido, comparado aos leitos de secagem ou de drenagem (ACHON <i>et al.</i> 2003). iv) As lagoas têm baixa sensibilidade às variações quantitativas e qualitativas do lodo (GARCÊS <i>et al.</i> , 1996). Por isso, as unidades suportam picos de descarga de sólidos com maior facilidade que os leitos de drenagem (CORDEIRO, 1999a).	i) O projeto de lagoas requer o conhecimento das condições climáticas e do solo da região. ii) As lagoas, dependendo da profundidade e da porcentagem de sólidos contida no lodo, podem apresentar longos períodos de desaguamento, pois na camada superior existe a possibilidade de formação de uma crosta que evita a secagem das camadas inferiores (CORNWELL <i>et al.</i> 1987; HUBBS <i>et al.</i> 1974). iii) O lodo não pode ser armazenado indefinidamente, sendo depois de seco, removido para outro local de disposição. Assim, a acumulação do lodo em lagoa, apenas adia sua disposição final. iv) O tempo de desaguamento é maior, comparado com leitos de secagem. v) As unidades exigem maiores áreas de implantação, comparadas aos outros métodos de desaguamento.

Fonte: SABOGAL PAZ (2007).

De acordo com Di Bernardo e Sabogal Paz (2008), para que seja evitada a contaminação do subsolo devido à infiltração dos resíduos, é recomendada a impermeabilização tanto do fundo da lagoa quanto dos taludes com revestimento (por exemplo, com pintura asfáltica, argamassa, camada de argila ou manta de geotêxtil)

Algumas experiências insatisfatórias foram apresentadas por Achon e Cordeiro (2003; 2004), que estudaram a aplicação das lagoas de lodo em uma ETA de Rio Claro-SP. No estudo, verificaram que não houve a redução do volume de resíduos conforme planejado. Não ocorreu a secagem completa do resíduo devido à percolação da água pluvial através das rachaduras que surgem quando a lagoa começa a secar, formando uma

camada impermeável de partículas de resíduos e dificultando a retirada da água que se acumula sob o resíduo seco.

3.3.1.4.3 Membrana Geotêxtil

A técnica tem sido amplamente utilizada no exterior para o desaguamento de resíduos de ETAs e ETEs e mais recentemente foi introduzida no Brasil, passando a ser mais uma alternativa atraente para o tratamento adequado dos resíduos de saneamento (GIORDANI e MISTURINI³, 2009 apud OLIVEIRA, 2010).

As membranas de geotêxtil são costuradas formando sacos ou “bags”. Fabricadas de diferentes tamanhos (conforme o volume a ser desaguado) e materiais (sintéticos, permeáveis e flexíveis); suas características garantem alta resistência para suportar altas pressões na fase de enchimento. Os pequenos poros presentes no geotecido permitem a drenagem da água e retenção dos sólidos contidos nos resíduos condicionados, ocorrendo a desidratação progressiva e redução do volume original (MIKKI et al., 2006; DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008).

Na operação ocorrem frequentes enchimentos seguidos de diminuição do volume até que se atinja sua capacidade máxima; após sua vida útil, o *bag* deve ter uma disposição final adequada (MIKKI et al., 2006). O enchimento e retenção dos sólidos podem ser observados na Figura 3.16 e a Tabela 3.6 apresenta algumas vantagens e desvantagens das membranas geotêxtil no tratamento dos resíduos.



Figura 3.16 – Membranas de Geotêxtil.
Fonte: SABOGAL PAZ (2007).

³ GIORDANI, S & MISTURINI, M. Avaliação do desempenho de *bag* nacional para deságüe de lodo de ETA. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 25, 2009, Recife-PE, **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 200p.

Tabela 3.6 – Vantagens e Desvantagens do Desaguamento dos Resíduos por Membranas de Geotêxtil

Vantagens	Desvantagens
i) Facilidade de manuseio. ii) Diminuição do potencial para derramamentos. iii) Aplicável para qualquer tipo de lodo, inclusive com areia e/ou pedra. iv) Pouca ou nenhuma manutenção.	i) Não é reutilizável. ii) Custo elevado.

Fonte: Adaptado de VANZETTO (2012).

3.3.2 Principais alternativas de aproveitamento e disposição dos resíduos de ETAs

Diversos estudos vêm sendo desenvolvidos na busca das alternativas mais adequadas a serem adotadas no aproveitamento e disposição final dos resíduos de ETAs, considerando a viabilidade técnica, econômica e ambiental.

As opções de aproveitamento dos resíduos das ETAs após o tratamento são: i) incorporação na fabricação de cimento, concreto, tijolos e blocos cerâmicos; ii) aplicação no solo para fins agrícolas e; iii) como cobertura de aterros. As técnicas de disposição comumente utilizadas são: i) aterro sanitário e, ii) encaminhamento para estações de esgoto ou para o manancial mais próximo.

3.4 CENÁRIO AMBIENTAL E INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS

Desde a Revolução Industrial, ao Homem tem sido atribuída a responsabilidade de ser o principal indutor das mudanças ambientais globais. Intensificada durante o último século, a crescente dependência de combustíveis fósseis e formas industrializadas pelas atividades antrópicas atingiram níveis que podem causar danos aos sistemas que mantêm o equilíbrio da Terra, com consequências prejudiciais e até mesmo catastróficas (ROCKSTRÖM et al., 2009; OLIVEIRA e VECCHIA, 2013). Nenhum país está livre independente do nível de desenvolvimento econômico e social.

Muitos estudos e relatórios foram elaborados ao longo dos últimos anos, como resultado de esforços conjuntos de vários especialistas ambientais. Os resultados obtidos mostram cenários pouco animadores.

A Avaliação Ecosistêmica do Milênio – AEM (2005), com base na literatura científica e consulta a especialistas, apresenta uma síntese de informações das consequências das mudanças nos ecossistemas (“serviços ambientais”) sobre o bem estar humano. O estudo verificou que cerca de 60% dos serviços dos ecossistemas avaliados têm sido degradados ou utilizados de forma insustentável, como: fornecimento e purificação de água, tratamento de resíduos, regulação da qualidade do ar, do clima local e regional, dentre outros.

Outros estudos que vêm tecendo cenários das consequências das pressões exercidas nos últimos tempos pelas atividades humanas sobre o meio ambiente são os publicados pelo órgão “Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas” (IPCC, na sigla em inglês). Criado em 1988 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, na sigla em inglês), com membros de 195 países, o IPCC tem publicado diversos documentos e pareceres temáticos regularmente. Um deles é a publicação especial dedicada às mudanças climáticas e à água, que segundo o IPCC (2008), ambas possuem uma inter-relação complexa em que as alterações em qualquer uma delas podem implicar em vulnerabilidades, gerando diversas preocupações na sociedade e outras espécies.

Rockstrom et al. (2009) analisaram vários resultados de estudos e indicaram que os sistemas, subsistemas e processos biofísicos do planeta – antes capazes de regular naturalmente as mudanças ambientais que ocorriam – podem atingir níveis críticos. Isto devido às pressões que as ações humanas vêm exercendo e, caso sejam extrapolados, mudanças ambientais irreversíveis podem ocorrer, comprometendo as condições de desenvolvimento e sobrevivência do Homem.

Tais pesquisadores encontraram nove processos para os quais acreditam que é necessário definir “limites planetários”: mudança climática; taxa de perda de biodiversidade (terrestre e marinho); interferência com os ciclos de nitrogênio e fósforo; esgotamento do ozônio estratosférico, acidificação dos oceanos; consumo mundial da água doce; mudança no uso da terra; poluição química e carga de aerossóis atmosféricos. De acordo com as avaliações, três sistemas-processos (mudança climática, perda de biodiversidade e interferência com ciclo de nitrogênio) já ultrapassaram os limites seguros estabelecidos.

O crescimento populacional e urbanização remetem ao setor de construção civil. Em relação à questão ambiental é preocupante devido às principais matérias-primas serem responsáveis pelo consumo de 15 a 50% dos recursos naturais extraídos para a produção dos materiais de construção civil (JOHN⁴,1999 apud BETAT et al., 2009). Dentre as perturbações que a produção destes pode causar no meio ambiente, estão: alterações da

⁴ JOHN, V.M.(1999). Panorama sobre reciclagem de resíduos na construção civil. In: **2º Seminário sobre Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil**, São Paulo, 1999, Comitê Técnico CT 206 – Meio Ambiente – IBRACON, 1999.

paisagem, supressão da vegetação, lançamento de efluentes e consumo de fontes energéticas.

Um problema que tem preocupado o desenvolvimento humano e que pode ser um entrave para o crescimento econômico e industrial é a escassez de água. De acordo com a AEM (2005), a redução no nível das águas doces superficiais para irrigação, consumo doméstico e industrial dobrou nos últimos 40 anos, sendo que 5-20% da água utilizada excede o fornecimento sustentável e é compensada pela exploração insustentável dos lençóis freáticos.

Com o crescimento populacional, há uma maior necessidade de obras de saneamento a fim de proporcionar uma melhor qualidade de vida. Assim, com o aumento do uso da água superficial para diversos fins (como por exemplo, abastecimento humano, descarte de esgotos domésticos e efluentes industriais, irrigação, navegação, etc.) os recursos hídricos acabam sendo afetados em termos qualitativos e quantitativos.

No Brasil, o processo *Global Environmental Outlook* – GEO foi adotado no relatório temático sobre o estado e as perspectivas dos recursos hídricos no país – GEO Brasil Recursos (ANA, 2007). De acordo com o relatório, apesar de o país ser ricamente abastecido por recursos hídricos, estes não estão bem distribuídos territorialmente. Em alguns lugares existem problemas como: escassez de água de qualidade nas grandes metrópoles (maior demanda) devido à poluição e; falta de água para atendimento das populações nas regiões semiáridas brasileiras.

No Estado de São Paulo, conforme o Relatório Ambiental 2012 (São Paulo, 2012), a maior demanda (m³/s) para o uso da água em 2010 foi a área urbana (41%), seguida pela industrial (28%) e rural (23%) – sendo que 85% da demanda total foi atendida por águas superficiais. Até o ano de 2020, o Estado enfrentará conflitos pelo uso dos recursos hídricos segundo o projeto ambiental estratégico “Cenários Ambientais 2020” da Secretaria do Meio Ambiente (SÃO PAULO, 2009).

3.5 GESTÃO AMBIENTAL

A questão ambiental passou a ser incorporada pela gestão pública na tomada de decisão devido aos impactos do modelo econômico predatório ao meio ambiente adotado no século passado. Para que a sustentabilidade (relacionamento harmonioso entre crescimento econômico e qualidade ambiental) seja alcançada, é fundamental que as variáveis ambientais estejam em primeiro plano no momento de avaliar propostas de desenvolvimento (MONTAÑO e RANIERI, 2013).

O Relatório “*Sustentabilidade e equidade: Um futuro melhor para todos*”, divulgado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD (2011) enfatiza muito bem o desafio e a necessidade do progresso sustentável e equitativo para a garantia do futuro do planeta e do direito das gerações futuras a uma vida saudável e gratificante.

Com essa tendência mundial de sustentabilidade, há uma busca por planejamento e gestão que visem o desenvolvimento sem causar danos ambientais ou ao menos, que tenha sua minimização e uso racional dos recursos naturais. Fato este que não deve ser ignorado na tomada de decisão nos serviços de tratamento de água e abastecimento, pois as ETAs funcionam analogamente a uma indústria de transformação (REALI et al., 2013).

Em ETAs, através das entradas de matéria-prima (água bruta), de insumos e recursos humanos, são realizadas diversas transformações com saídas do produto final (água potável) e de subprodutos indesejados como os resíduos sólidos e líquidos (PARSEKISIAN, 1998). Assim, como qualquer outro empreendimento, um sistema de tratamento de água pode produzir alterações (favoráveis ou não) de forma direta ou indireta no meio ambiente; ou seja, efeitos denominados de *impactos ambientais* (CONESA FDEZ-VITORA, 2003).

Na literatura, dentre as várias definições de impacto ambiental em que a maioria está em consenso quanto aos elementos básicos envolvidos, é interessante mencionar as definições de Munn (1975, p.22) e Wathern (1988, p. 7). De acordo com Sánchez (2008), ambos seguiram uma mesma linha de raciocínio na formulação, em que introduziram a dimensão dinâmica dos processos do meio ambiente (mudança dos parâmetros ambientais) como base do entendimento das alterações ambientais (impactos). Na Figura 3.17 é apresentada a representação de tal conceito.

De acordo com o conceito de Munn e Wathern, se um empreendimento vier a derrubar a vegetação ambiental, seu impacto deveria ser avaliado não comparando a possível situação futura (área sem vegetação) com a atual, mas comparando duas situações futuras hipotéticas: aquelas sem a presença do empreendimento proposto com a situação decorrente de sua implantação (SÁNCHEZ, 2008).

Com a função de incitar os responsáveis a conceber projetos ambientalmente menos agressivos, de modo que sejam compatíveis com a capacidade do meio em assimilar os efeitos sem prejuízos aos níveis de qualidade ambiental, surgiu o conceito de *viabilidade ambiental* (MONTAÑO e RANIERI, 2013).

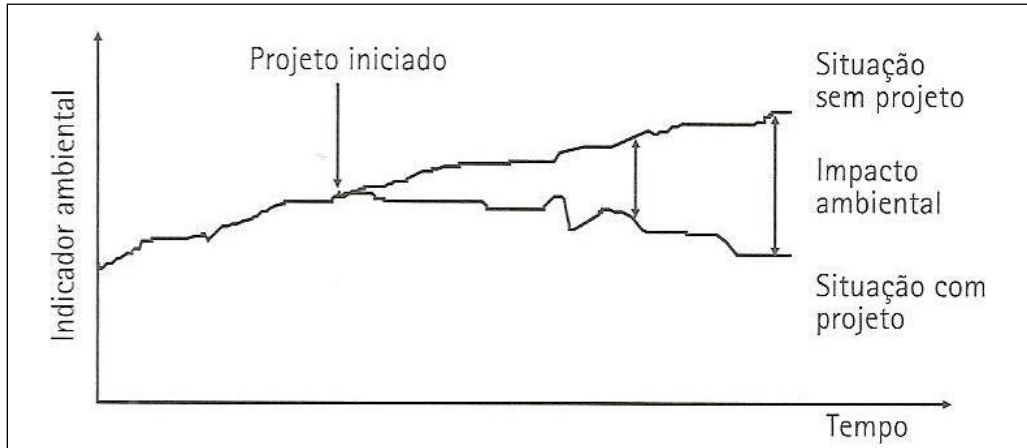


Figura 3.17 – Representação do conceito de impacto ambiental.
Fonte: SÁNCHEZ, 2008.

3.5.1 Viabilidade Ambiental

O conceito de viabilidade ambiental, segundo Montaño e Ranieri (2013), “é um elemento essencial ao processo de análise das condições a serem observadas para a tomada de decisões relativas à implementação de atividades”. A análise de viabilidade ambiental apresenta uma estreita relação com os requisitos de desempenho a serem incorporados pelos projetos (viabilidade técnica) e conseqüentemente, também com a viabilidade econômica. O conceito possibilita elencar os efeitos potencialmente negativos e identificar as medidas de mitigação e controle para chegar a uma “alternativa” em que os impactos ambientais possam ser considerados admissíveis.

3.5.2 Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)

De acordo com Sánchez (2008) e Conesa Fdez-Vitora (2003), a *Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)* pode ser definida como um instrumento e/ou procedimento com a finalidade de antever as possíveis conseqüências de uma decisão através da interpretação dos resultados. Ou seja, de considerar os impactos ambientais antes de se tomar qualquer decisão que possa acarretar significativa degradação da qualidade do meio ambiente. A elaboração de uma AIA envolve um conjunto de atividades e procedimentos organizados sequencialmente.

Diferentes impactos podem ocorrer no meio ambiente. É possível um impacto pertencer, ao mesmo tempo, a dois ou mais grupos tipológicos, que podem ser definidos conforme a variação da qualidade ambiental (impacto positivo ou negativo); pela extensão (impacto pontual ou parcial) ou por intensidade (impacto notável/muito alto, mínimo/baixo ou médio e alto). Este último comumente é considerado em estudos de impactos ambientais, pois permite avaliar os empreendimentos em relação ao grau de destruição ou alterações/efeitos modificadores do meio ambiente, dos recursos naturais e como ocorrem essas inter-relações (CONESA FDEZ-VITORA, 2003)

Nos estudos ambientais voltados para a identificação e quantificação dos impactos causados pelas ações humanas predomina-se o modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) em que a *resposta* do meio é descrita em termos das alterações sofridas (impactos ambientais) a partir de uma ação exercida por um agente externo ao sistema (*pressão*). Assim, a magnitude dos impactos é definida conhecendo-se o *estado* em que o meio se encontra (condições e características) e as características da atividade/empreendimento responsável pela pressão exercida (MONTAÑO e RANIERI, 2013).

Quando ocorrem possíveis interações de elementos de atividades, produtos ou serviços com o meio ambiente estes são denominados de *aspectos ambientais*, os quais podem ser entendidos como mecanismos ou processos pelos quais as ações humanas podem causar impactos ambientais (SÁNCHEZ, 2008).

3.5.2.1 Indicadores de Impactos Ambientais

Devido a sua complexidade, a qualidade ambiental passou a ser medida e descrita com a determinação e adoção de padrões, indicadores e índices que pudessem retratar, descrever e controlar as condições do meio ambiente (MAIA e LESJAK, 1997).

Os *indicadores de impactos ambientais* convenientemente escolhidos são úteis em várias partes dos estudos de impacto, tais como: no diagnóstico, previsão de impactos e monitoramento. Os indicadores representam os processos ambientais ou situação do meio ambiente e fornecem uma interpretação dos dados a fim de simplificar as informações (SÁNCHEZ, 2008).

De acordo com Conesa Fdez-Vitora (2003), um *indicador de impacto ambiental* é todo item ou conceito associado a um fator que possibilita estabelecer a qualidade ambiental em função da magnitude do impacto ambiental. Sua medida, pelo menos em seu aspecto qualitativo, pode ser expressa por valores qualitativos, tais como – excelente, bom, regular, etc.- ou numericamente.

Em um conceito mais amplo, um *índice ambiental* é a categorização numérica ou descritiva de uma grande quantidade de dados ambientais ou informações, com o principal objetivo de simplificá-los de modo a auxiliarem os tomadores de decisão e de serem úteis a diversos setores públicos (CANTER, 1996). De acordo com Sánchez (2008), os índices ambientais (que combinam diferentes parâmetros ou indicadores) têm sido adotados quando existem situações em que em um mesmo local, diferentes tipos de poluentes podem interagir e gerar possíveis efeitos combinados.

3.5.3 Métodos para Avaliação de Impactos Ambientais

De acordo com Conesa Fdez-Vitora (2003), existem vários modelos e métodos para avaliação de impactos no meio ambiente. Alguns consideram uma abordagem mais geral, outros são mais específicos. Ainda existem os métodos qualitativos, os que operam com amplos bancos de dados ou com sofisticadas ferramentas computacionais como os *softwares*.

Apesar das inúmeras ferramentas, Conesa Fdez-Vitora (2003) enfatiza que a maioria dos métodos existentes foi elaborada para projetos concretos, ou seja, se referem a fatores ambientais afetados e impactos ambientais específicos, o que dificulta a generalização.

A escolha e aplicação de determinado método é válido para projetos similares à sua origem e finalidade, buscando-se fazer analogias. Para Sánchez (2008), tais instrumentos foram desenvolvidos para facilitar o trabalho dos analistas. Os métodos não podem ser considerados como um “pacote” acabado ou uma “fórmula” perfeita, pois para que haja uma boa identificação dos impactos, é necessária a colaboração de uma equipe multidisciplinar que tenha bons conhecimentos dos projetos ou do tipo de empreendimento, assim como dos componentes envolvidos na dinâmica socioambiental e econômica.

As principais ferramentas utilizadas nas avaliações de impactos ambientais de projetos são: i) Métodos espontâneos (*Ad Hoc*); ii) listagens de controle (*Check lists*); iii) matrizes de impacto; iv) redes de interação (*Networks*); v) método quantitativo *Battelle-Columbus*; vi) Análise do Ciclo de Vida – ACV; vii) análise multicriterial e; viii) sistemas cartográficos – *overlays*. A Tabela 3.7 apresenta sucintamente as principais características desses métodos.

Tabela 3.7 – Principais ferramentas utilizadas nas avaliações de impactos ambientais

Listagem de Controle (Check-lists)
<ul style="list-style-type: none"> • Listagem prática e simples dos impactos relevantes sobre os fatores ambientais potencialmente afetados com o projeto; • Normalmente utilizada em avaliações preliminares e; • Não considera as relações causa-efeito entre os impactos.
Matrizes de Impacto
<ul style="list-style-type: none"> • Compostas de duas listas bidimensionais de informação, dispostas na forma de linhas e colunas; • Considera as interações das ações/atividades indutoras de impactos e os fatores ambientais afetados – preservam as relações causa-efeito; • A matriz de Leopold et al. (1971) é a mais conhecida; • Dificuldade em distinguir os impactos diretos dos indiretos e; • Não considera a dinâmica dos sistemas ambientais.
Redes de Iteração (Networks)
<ul style="list-style-type: none"> • Também denominada de análise de causa e efeito; • Utiliza o raciocínio lógico-dedutivo; • Inferem-se seus possíveis impactos ambientais com relações sequenciais de causa e efeito (cadeias de impactos) a partir de uma ação; • Possibilita evidenciar impactos indiretos; • As redes podem ser muito extensas e com cenários de difícil aplicabilidade e; • Fundamentação metodológica no trabalho de Sorensen (1971).
Análise de Ciclo de Vida (ACV)
<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação de impactos ambientais no meio empresarial e industrial; • Permite avaliar todos os impactos associados a um determinado produto ou serviço, desde a sua concepção até sua implementação e; • Método com grande potencial para ser empregado em estudos de alternativas tecnológicas.
Análise Multicriterial
<ul style="list-style-type: none"> • Orienta a escolha da melhor alternativa (desempenho) locacional e/ou tecnológica; • Os pesos para a importância dos impactos (de acordo com a relevância de cada questão em função do contexto em que estão inseridos) devem ser definidos e; • Pode ser aplicado em conjunto com outros métodos - por exemplo, o <i>Método Battelle Columbus</i> para estabelecimento quantitativo dos <i>scores</i>.
Sistemas cartográficos
<ul style="list-style-type: none"> • Superposição de informações/ cartas e mapas temáticos – <i>overlays</i>, relativas aos fatores ambientais para análise conjunta; • Fácil visualização de impactos derivados da combinação de restrições adotadas; • Atualização das informações empregadas é facilitada; • Impossibilita representação de fatores ambientais não mapeáveis e; • Altos investimentos econômicos e tempo são necessários para a elaboração de um banco de dados com informações básicas.

Fonte: Conesa Fdez-Vitora (2003), Sánchez (2008), Pimpão (2011) e Montañó e Ranieri (2013).

A seguir, serão descritas sucintamente as principais ferramentas consideradas na pesquisa.

3.5.3.1 Métodos espontâneos (*Ad Hoc*)

O método *Ad Hoc* pode ser aplicado em diversas situações e em diferentes etapas da AIA, como na coleta de dados, análise e seleção de alternativas tecnológicas e locais, previsão de impactos e identificação de medidas mitigadoras.

Com a consulta e julgamento de especialistas no assunto, o método permite a identificação prévia dos pontos mais relevantes para ter uma visão integrada da questão ambiental. Informações rápidas em relação aos impactos prováveis podem ser obtidas, baseado no conhecimento individual e na sistematização das observações de cada especialista.

Em contrapartida, o *Ad Hoc* tem como desvantagem a vulnerabilidade a subjetividades e resultados tendenciosos de acordo com o conjunto de especialistas participantes. O *Método Delphi* tem sido empregado como importante ferramenta para diminuir tais limitações e para lidar com problemas complexos.

O *Método Delphi* envolve a aplicação sucessiva de questionários a um grupo de especialistas ao longo de várias rodadas, com análises estatísticas e compilação dos resultados entre os intervalos de cada rodada até que obtenha o mais confiável consenso entre os especialistas (KAYO e SECURATO, 1997).

3.5.3.2 Método *Battelle-Columbus*

Diferentemente dos métodos tradicionais de avaliação de projetos, como a análise de custo-benefício, o Método *Battelle-Columbus* é um dos poucos estudos consolidados sobre avaliação quantitativa de impacto ambiental que existem atualmente (CONESA FDEZ-VITORA (2003). Inicialmente, foi desenvolvido pelo laboratório *Battelle Columbus* para agências federais norte-americanas para subsidiar a avaliação de projetos de planejamento da gestão recursos hídricos, mas pode ser aplicado também em outros projetos.

De acordo com García Leyton (2004), o Método *Battelle Columbus* se baseia em uma lista de indicadores de impacto com 78 parâmetros ou fatores ambientais pré-definidos, representando os aspectos do ambiente que merecem serem considerados e cuja avaliação expressa o impacto ambiental derivado das ações ou projetos. Tal método quantitativo propõe a aplicação de diferentes escalas/pesos aos parâmetros em função de sua maior ou menor contribuição à situação do ecossistema considerado e que forneça uma imagem coerente.

Conforme sua relevância, o peso do indicador (expresso em *unidade de importância do parâmetro* – UIP_i) é fixado *a priori*. Os parâmetros da lista são comparados através de pareamento e classificados em diferentes graus de importância de acordo com os critérios adotados, ou seja, evidentemente a UIP_i deverá ser modificada se o método for aplicado a outro tipo de projeto ou em contextos socioeconômicos diferentes (CANTER, 1996; LA ROVERE, 2001).

A técnica de ponderação utilizada pelos desenvolvedores do método foi baseada em técnicas de escala sociopsicológica, como por exemplo, o *Método Delphi* para a consulta prévia de especialistas, que permite uma comparação consistente e que auxilia na convergência dos julgamentos.

Assim, no Método *Battelle-Columbus* um total de 1000 unidades (conforme sua relevância) foram designados aos parâmetros; primeiramente, pela sua distribuição a 4 categorias (ecologia, contaminação ambiental, aspectos estéticos e de interesse humano), em seguida para 18 componentes e finalmente, para os 78 parâmetros ambientais (CANTER, 1996). Portanto, os níveis progressivos de informação requeridos são: categorias → componentes → parâmetros, conforme Figura 3.18.

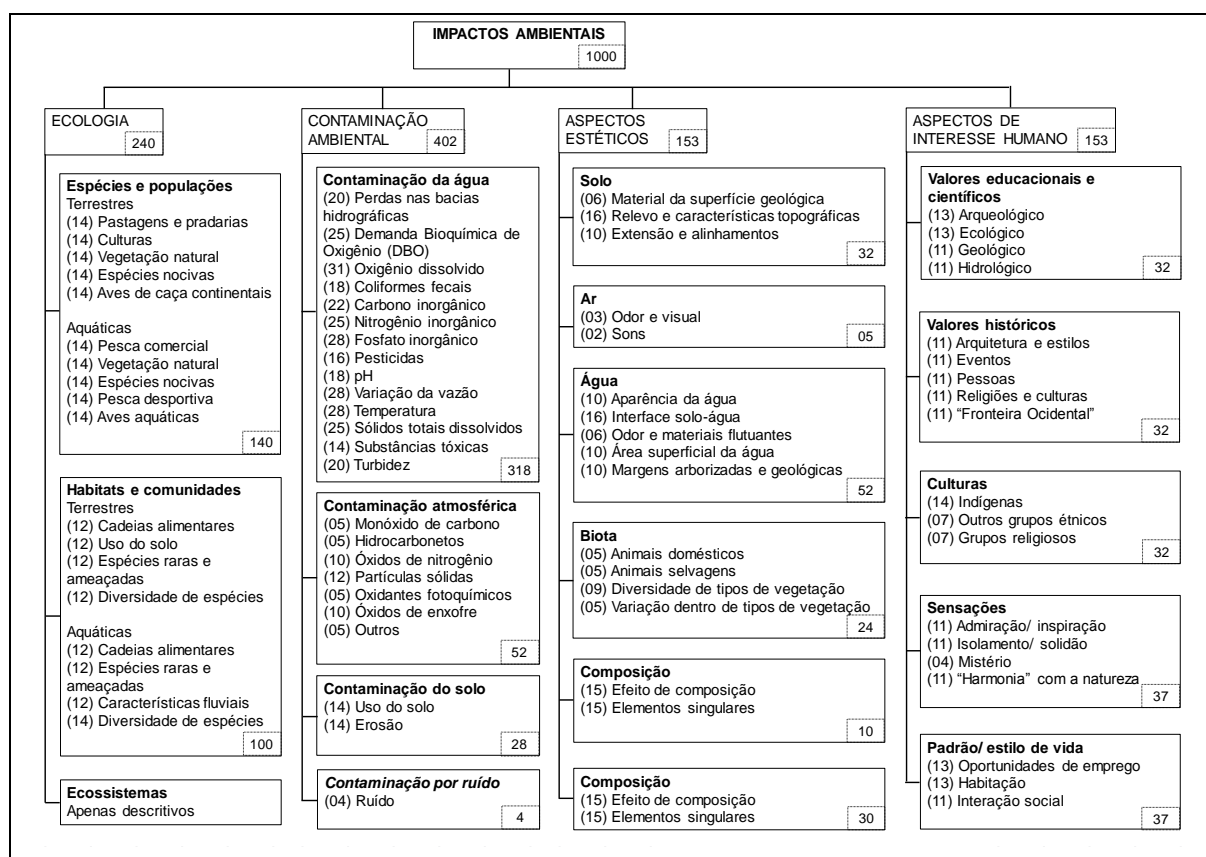


Figura 3.18 – Parâmetros ambientais do Método Battelle-Columbus.
 Fonte: Adaptado de CONESA FDEZ-VITORA (2003); CANTER (1996).

Em relação aos valores dos parâmetros, estes foram determinados através de medições reais representativas da qualidade ambiental, cada qual com unidades diferentes. A avaliação e comparação dos mesmos serão possíveis quando forem transformados em unidades comparáveis (comensuráveis), ou seja, em valores ambientais correspondentes (CONESA FDEZ-VITORA, 2003; GARCÍA LEYTON, 2004).

Os parâmetros são convertidos em uma mesma unidade através da aplicação de funções características de cada fator ambiental considerado e que pode ser expresso em termos numéricos, em uma escala de zero (ambiente extremamente degradado) a um (alta qualidade ambiental) (GARCÍA LEYTON, 2004; KLING, 2005). De acordo com Conesa Fdez-Vitora (2003), é possível a obtenção de inúmeras funções de transformação pelo fato dos fatores ambientais serem ilimitados e seus comportamentos serem diferentes e particulares para cada caso.

O índice de qualidade ambiental de um parâmetro i - QA_i é definido por uma função de transformação em termos de sua magnitude (M_i), ou seja, $QA_i = f(M_i)$. Na Figura 3.19 está representada a relação da magnitude de um fator ambiental com a qualidade ambiental (esta expressada em função do QA) para um parâmetro qualquer.

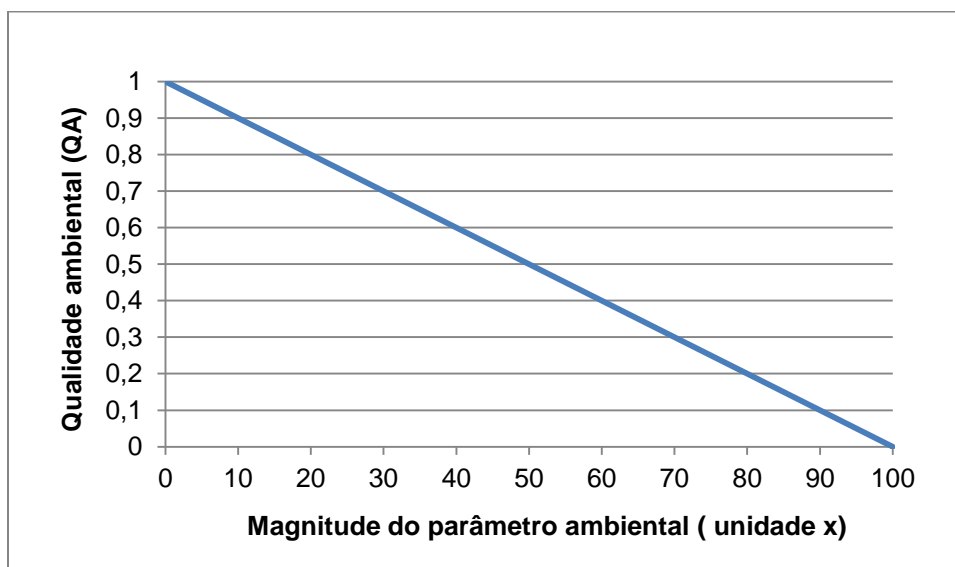


Figura 3.19 – Função de transformação para um parâmetro qualquer.

Definidos a UIP_i , e QA_i para a determinação do grau de impacto para cada parâmetro ambiental, ou seja, da *unidade de impacto ambiental* – UIA_i , a Equação 3.1 deve ser adotada:

$$UIA_i = QA_i \times UIP_i$$

Equação 3.1

Em que:

UIA_i : Unidade de impacto ambiental para o parâmetro ambiental i ;

QA_i : Índice de qualidade ambiental de um parâmetro ambiental i - calculado conforme a função de transformação associada ao parâmetro i ;

UIP_i : Unidade de importância do parâmetro, peso do parâmetro i .

Resumidamente, para transformar os dados em *UIAs* deve-se: i) transformar os dados em seu correspondente índice de qualidade ambiental para o parâmetro correspondente; ii) ponderar a importância do parâmetro considerado segundo sua relevância dentro do ambiente e; iii) expressar o impacto como resultado da multiplicação do índice de qualidade ambiental do parâmetro por seu peso.

Com a aplicação do método em duas situações – quando o projeto é realizado e situação contrária (sem projeto), para cada parâmetro, é possível obter um valor cuja diferença indicará o impacto ambiental líquido do projeto para o parâmetro i , conforme Equação 3.2.

$$UIA_{idp} = UIA_{icp} - UIA_{isp}$$

Equação 3.2

Em que:

UIA_{idp} : Unidade de impacto ambiental *do projeto* para o parâmetro i ;

UIA_{icp} : Unidade de impacto ambiental *com projeto* para o parâmetro i ;

UIA_{isp} : Unidade de impacto ambiental *sem projeto* para o parâmetro i .

Como a *UIA* de cada parâmetro é comensurável, então, o *impacto ambiental global* das distintas alternativas de um projeto pode ser definida pela sua somatória, conforme a Equação 3.3.

$$IAG = \sum_{i=1}^{i=78} (UIA)_{idp}$$

Equação 3.3

Portanto, para aplicar o Método *Battelle-Columbus*, o primeiro passo é definir os fatores ambientais e índices de impacto relativos ao projeto e depois estabelecer a ponderação dos parâmetros.

3.6 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Teoricamente, água de qualquer qualidade pode adquirir características satisfatórias para consumo humano quando tratada, no entanto, outras variáveis envolvidas – como os investimentos necessários para implantação – podem inviabilizar o uso de cursos de água poluídos como de fontes de abastecimento (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

A seleção de tecnologia para sistemas de tratamento de água é uma etapa fundamental para a garantia da sustentabilidade dos mesmos. Nesse processo, em função das características da área de estudo, devem ser ponderadas as interações entre os três aspectos (ambiente, tecnologia e comunidade/cultura) da sustentabilidade e os contextos político, legislativo, institucional e econômico (GANDINI; GALVIS, 2000; SABOGAL PAZ, 2007).

De acordo com Gandini e Galvis (2000), tecnologias sustentáveis em ETAs devem atender os padrões de qualidade da água para consumo humano e suas demandas, de modo que a exploração do meio ambiente (fonte) seja sempre abaixo dos limites físicos para que não ocorra sua deterioração. Os mesmos autores consideram como critério de sustentabilidade ambiental a condição de que a demanda social (consumo de água) não ultrapasse a oferta ambiental (meio ambiente) para que uma tecnologia seja considerada ambientalmente sustentável.

Conforme Di Bernardo e Sabogal Paz (2008), uma tecnologia sustentável em uma área de estudo é determinada pela avaliação de sete requisitos que progressivamente “filtram” as opções segundo as condições de cada nível de seleção, conforme Figura 3.20. No caso, um nível de seleção opera como um filtro que “retém” as alternativas não sustentáveis e permite a passagem das tecnologias viáveis em função das condições estabelecidas.

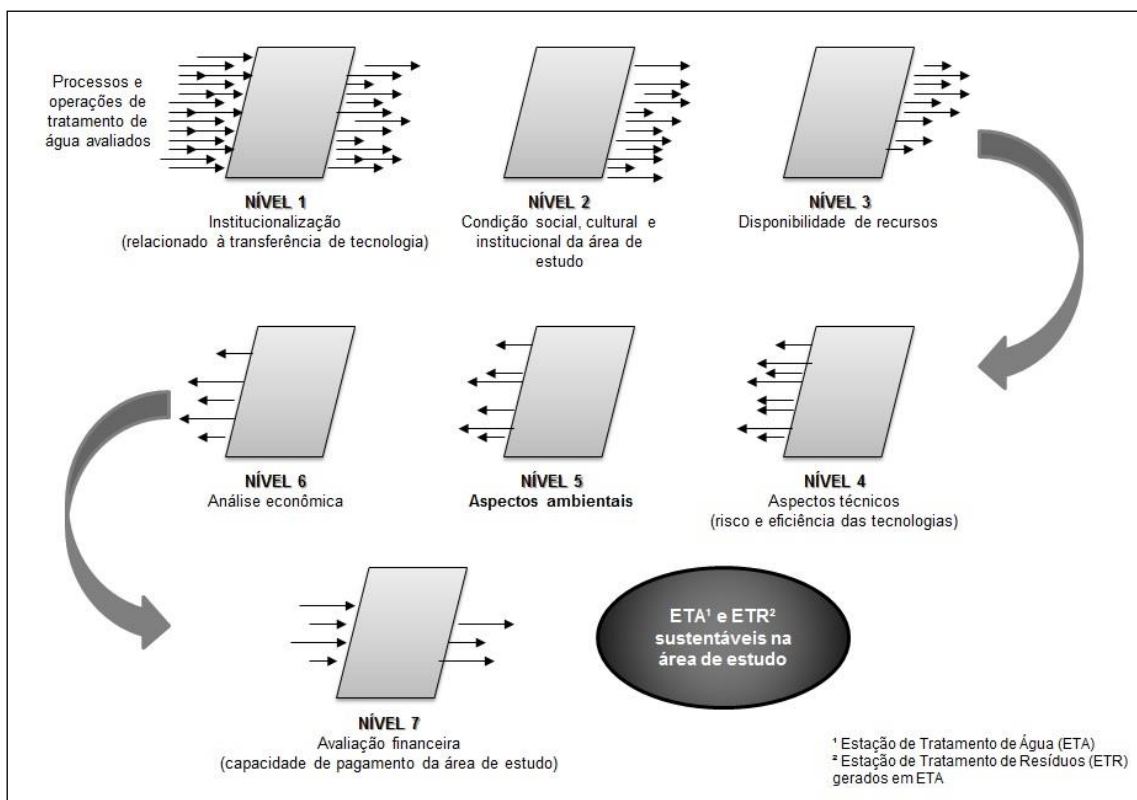


Figura 3.20 – Método de interação de fatores, variáveis e indicadores de seleção de tecnologias de tratamento de água e de tratamento dos resíduos gerados nos sistemas.

Fonte: Adaptado de Di Bernardo e Sabogal Paz (2008).

Vários modelos conceituais foram estruturados para facilitar a escolha das ETAs, normalmente complexa, como nos trabalhos de Brikké et al. (1997), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS (1990), CINARA (2001), Gandini e Galvis (2000) e Sabogal Paz (2007).

Outra abordagem que deve ser considerada na seleção de tecnologias é a chamada otimização robusta, que procura por uma solução com características “perto” do melhor em todas as condições e cenários possíveis. Essa abordagem multiobjetiva do problema em questão possibilita a minimização dos custos globais e variabilidade do desempenho do sistema em torno do ideal (AFONSO, P. M e DA CONCEICÃO CUNHA, 2007).

A eficácia da tecnologia adotada no tratamento de água também depende de uma infraestrutura resiliente, ou seja, que tenha maior capacidade de antecipar, absorver, adaptar-se e/ou recuperar rapidamente de um evento potencialmente perturbador (NIAC⁵, 2009 apud SMITH, 2012).

⁵ NIAC (2009), Critical Infrastructure Resilience: Final Report and Recommendations , National Infrastructure Advisory Committee, Washington DC.

3.7 ESTUDOS COM ABORDAGEM AMBIENTAL EM OBRAS DE SANEAMENTO

Aproximadamente desde a década de 1970, trabalhos nacionais e internacionais têm sido desenvolvidos a respeito da avaliação dos resíduos gerados em ETAs. No entanto, são escassos, os estudos que avaliam todas as atividades (fases de construção e operação) que podem causar impactos ambientais negativos nestes sistemas.

Existem poucos estudos desenvolvidos no Brasil e no exterior que tenham considerado a abordagem ambiental na seleção de ETAs. Destaca-se que alguns trabalhos foram desenvolvidos para estações de tratamento de esgoto.

A abordagem de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) tem sido muito utilizada para o desenvolvimento de ferramentas que contribuam na determinação de limitações dos processos de produção de água potável em contextos específicos, conforme apresentado na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Trabalhos com abordagem de Avaliação de Ciclo de Vida em ETAs

Autores	País	Objetivo	Fonte de abastecimento	Metodologia	Resultados
Stokes e Horvath (2006)	Estados Unidos	Desenvolver uma ferramenta sustentável através de dois métodos conhecidos em um híbrido para informar as decisões de planejamento e fornecimento de água.	Águas superficiais e de mar	Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) por meio de ferramentas do Microsoft Office Excel	A energia elétrica foi o maior contribuinte nos efeitos ambientais aos sistemas de tratamento de água, seguido pelos materiais de construção
Vince et al. (2008)	França	Desenvolver uma ferramenta para a avaliação ambiental de cenários de abastecimento de água potável	Águas subterrâneas, de mar e superficiais	Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) por meio de <i>software Gabi</i>	Impactos elevados com consumo de energia, produtos químicos para a coagulação e remineralização;
Bonton et al. (2011)	Canadá	Comparar o tratamento de água para abastecimento humano convencional com o tratamento por nanofiltração	Águas superficiais	Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) por meio de <i>software SimaPro</i>	Destacaram a importância da escolha de produtos químicos utilizados durante o tratamento e a fonte de energia.

O uso de *software*, Vince et al. (2008) estudaram cenários desde o tratamento convencional de águas subterrâneas e superficiais até os sistemas alternativos (ultrafiltração, nanofiltração, osmose reversa e destilação térmica associada à água transferência). A demanda de energia na planta representou a principal contribuição na

geração de impactos, seguida da produção de produtos químicos para coagulação e remineralização. Com isso, conforme a ACV do trabalho, devido ao maior consumo de energia e produtos químicos, as tecnologias alternativas geraram maiores impactos do que o tratamento convencional de recursos hídricos.

No entanto, a ACV comparativa (por meio de *software*) entre uma ETA de nanofiltração e de ciclo completo, indicou que o tratamento convencional obteve maior potencial de danos ambientais (saúde humana, mudança climática, esgotamento de recursos naturais e qualidade do ecossistema). Tal resultado pôde ser explicado principalmente pelo uso do carvão ativado granular na ETA convencional, pois contribui para o esgotamento de recursos naturais e lançamento de poluentes atmosféricos durante o processo produtivo; e em termos de qualidade do ecossistema, devido à utilização de sais alumínio como coagulante. Na ACV, dentre as fases consideradas – construção, operação e desativação – a operação foi a que provocou maiores impactos ambientais.

Como se pode observar, a maioria dos trabalhos acima utilizaram *softwares* e o método de ACV, mas por se tratarem de países desenvolvidos, as tecnologias de tratamento abordadas são avançadas e fogem um pouco da realidade de países em desenvolvimento.

Gandini e Galvis (2000) desenvolveu uma metodologia para avaliação da dimensão ambiental em ETAs ao considerar os impactos negativos gerados nas fases de construção e operação. A metodologia permite hierarquizar as alternativas tecnológicas de acordo com o critério de impacto ambiental mínimo através da identificação de fatores ambientais e quantificação de variáveis e indicadores ambientais envolvidos em um caso qualquer.

Através de visitas técnicas, Achon (2008) conseguiu avaliar o funcionamento dos sistemas de tratamento de ciclo completo pelos critérios de ecoeficiência. Verificou que nenhum dos sistemas analisados foi considerado ecoeficiente, ou seja, mais um resultado que aponta para uma falha no planejamento, ineficiência na sistematização e definição de metas, peças fundamentais para estabelecimento de um parâmetro balizador para outros sistemas. Portanto, os resultados apontaram para a necessidade de uma nova visão, com projetos executivos de sistemas de tratamento de água considerando fundamentalmente o manancial, o entorno e os resíduos gerados durante todo processo de tratamento.

Wiecheteck e Cordeiro (2002), por meio de uma matriz de interação entre os fatores ambientais e as ações impactantes nas fases de projeto, implantação e operação, verificaram que a qualidade da água bruta, os produtos químicos utilizados em uma ETA e o tipo de tratamento são fatores determinantes das características e quantidades de resíduos gerados.

Através de um modelo de análise ambiental elaborado por Hasegawa (2007), duas ETAs de médio porte no Estado de Minas Gerais foram avaliadas. O método em questão se mostrou útil na coleta de informações e na detecção de irregularidades operacionais. Os

resultados da pesquisa indicaram que os sistemas de gestão nas duas unidades ainda não estão preparados para lidar com assuntos ambientais. Isto porque apresentam problemas relacionados à falta de investimentos na modernização e ampliação das ETAs, ausência de funcionários devidamente treinados e conscientizados, e falta de política ambiental de compromisso com o meio ambiente.

Com vistas à aplicação de formas de gerenciamento em ETAs, Parsekisian (1998) consultou e visitou 11 ETAs (com as mais variadas tecnologias de tratamento) no Estado de São Paulo para a coleta de informações. Com o desenvolvimento do trabalho, o autor pôde concluir que, de maneira geral, a qualidade dos mananciais não é uma grande preocupação por parte dos sistemas gerenciadores; os produtos químicos são adquiridos de acordo com o menor custo e não pela eficiência e os resíduos gerados nos decantadores e filtros são descartados nos cursos d' água nas proximidades das ETAs.

No trabalho de Pimpão (2011), através de uma matriz de impacto foi possível a identificação dos aspectos e impactos ambientais mais significativos das principais atividades realizadas e envolvidas em uma ETE de Cuiabá/MT. A fim de verificar a magnitude dos impactos, indicadores ambientais foram definidos, passando por uma avaliação de especialistas. Do total de 11 possíveis impactos identificados, 8 são negativos, estando associados aos processos e operações relacionadas ao tratamento do esgoto, sendo os indicadores ambientais mais expressivos a eficiência do sistema, índice de resíduos sólidos e índice de incomodo causado pelos odores.

Uma metodologia foi desenvolvida por Vanzetto (2012) para a realização da análise tecnológica das alternativas de desaguamento de lodos produzidos em ETEs, tendo como base uma abordagem multiobjetivo e multicritério. O emprego dos métodos com tais abordagens permitiu acrescentar na análise do problema as perspectivas econômicas, ambientais, sociais e técnicas; mostrando-se uma ferramenta promissora para aplicações em outras ETEs, podendo ser aperfeiçoada a cada nova aplicação.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido segundo o fluxograma apresentado na Figura 4.1. As principais etapas foram divididas em duas fases: a primeira, para identificação e obtenção dos quantitativos dos aspectos ambientais; e a segunda, para elaboração do método proposto.

4.1 IDENTIFICAÇÃO E OBTENÇÃO DOS QUANTITATIVOS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS

4.1.1 Revisão da Literatura

Para conhecer os impactos ambientais negativos envolvidos na construção e operação de estações de tratamento de água e de resíduos foi realizada uma revisão da literatura em relação: i) às tecnologias de tratamento de água aplicáveis para pequenas a médias comunidades; ii) aos métodos voltados para identificação e quantificação dos impactos ambientais causados pelas ações humanas e; iii) às experiências nacionais e internacionais em seleção de estações de tratamento de água que consideraram os aspectos ambientais nas fases de construção e operação.

4.1.2 Definição das Tecnologias Avaliadas

Seis tecnologias de tratamento de água adotadas no Brasil foram avaliadas, juntamente com cinco diferentes estações de tratamento de resíduos – ETRs.

As combinações dos processos e operações de tratamento nas ETAs e ETRs para cinco diferentes vazões de projeto (10, 20, 40, 70 e 100 L/s) permitiram avaliar 205 projetos (Tabela 4.1), dos quais 25 foram elaborados na pesquisa com ETAs de dupla-filtração com filtro ascendente em areia grossa – DF₂ (em destaque).

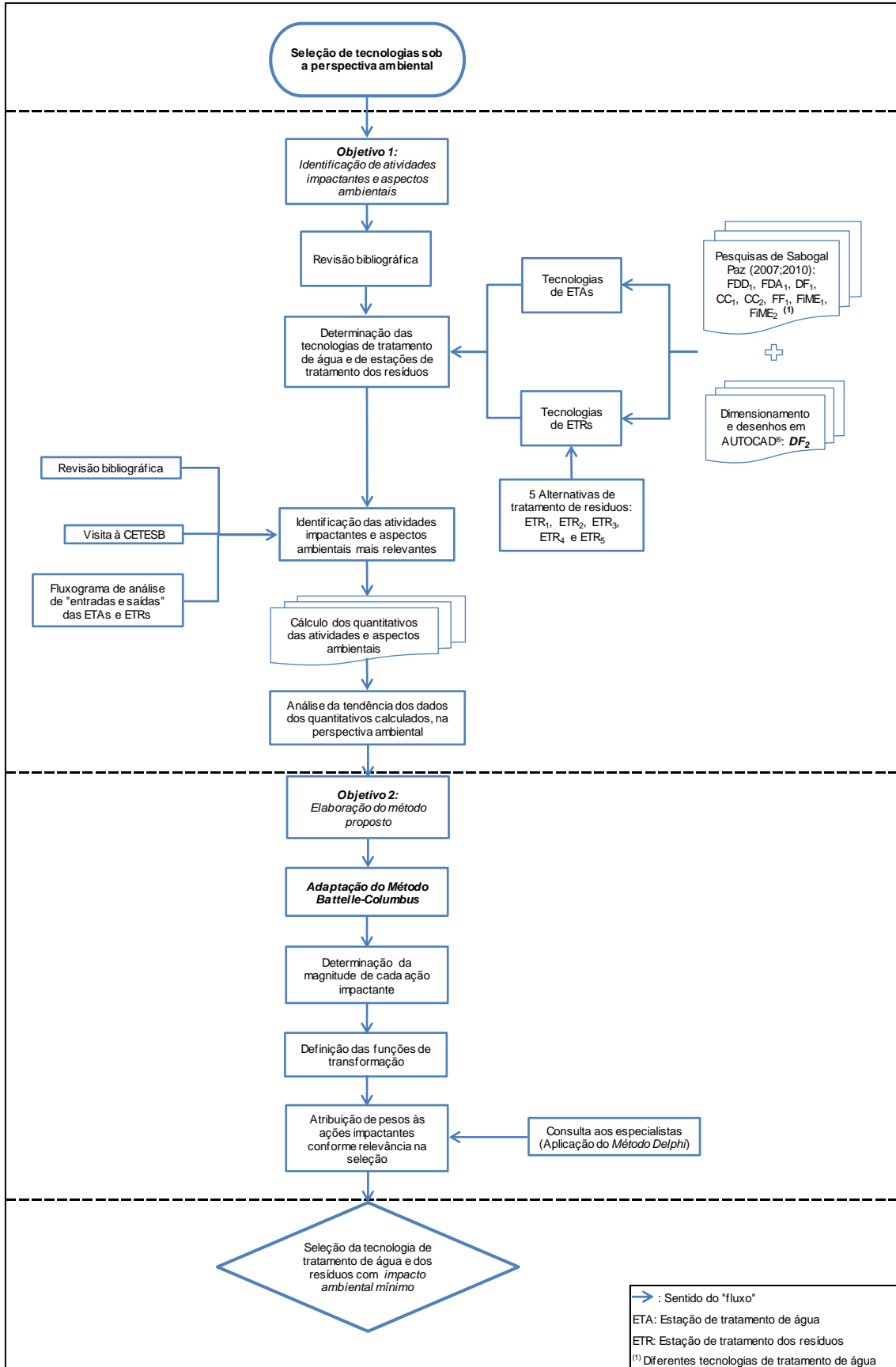


Figura 4.1 – Fluxograma das principais etapas envolvidas na pesquisa.

Tabela 4.1 – Estações de Tratamento de Água (ETAs) e Estações de Tratamento de Resíduos (ETRs) avaliadas

Tecnologia	Variações da Tecnologia	Processos e operações	Vazões de projeto (L/s)
Estações de Tratamento de Água - ETAs			
Ciclo completo	CC ₁	MRHVR + FHCEH + DAT + FRDC + DES + FLU	10, 20, 40, 70, 100
	CC ₂	MRHVR + FMEVTI + DAT + FRDC + DES + FLU	10, 20, 40, 70, 100
Filtração Direta Ascendente	FDA ₁	MRHIM + FAAG + DES + FLU	10, 20, 40, 70, 100
Filtração Direta Descendente	FDD ₁	MRHIM + FRDC + DES + FLU	10, 20, 40, 70, 100
Dupla Filtração	DF ₁	MRHIM + FAP + FRDC + DES + FLU	10, 20, 40, 70, 100
	DF₂	MRHIM + FAAG + FRDC + DES + FLU	10, 20, 40, 70, 100
Floto-Filtração	FF ₁	MRHVR + FMEVTI + FAD + FRDC + DES + FLU	10, 20, 40, 70, 100
Filtração em Múltiplas Etapas -	FiME ₁	PFD + FLAC + DES + FLU	10, 20, 40
	FiME ₂	PFD + PFVAC + FLAC + DES + FLU	
Estações de Tratamento dos Resíduos – ETRs			
Tecnologia	Variações da Tecnologia	Processos e operações	
	ETR ₁	TCA + DLD	
	ETR ₂	DLL	
	ETR ₃	TER	
	ETR ₄	TCA + ADH + CEN	
ETR ₅	TCA + GEOT		

MRHVR: mistura rápida hidráulica com vertedor retangular.
 FHCEH: floculador hidráulico de chicanas de escoamento horizontal.
 DAT: decantador de alta taxa ascendente de placas.
 FRDC: filtração rápida descendente em areia, a taxa constante.
 DES: desinfecção com hipoclorito de sódio.
 FLU: fluoração com ácido fluossilícico.
 FMEVTI: floculador mecânico de eixo vertical de turbina com paletas inclinadas
 MRHIM: mistura rápida hidráulica com injetor e malha de fios.
 FAAG: filtração rápida ascendente em areia grossa, a taxa constante.
 FAP: filtração rápida ascendente em pedregulho, a taxa constante.
 FAD: flotação por ar dissolvido com pressurização da recirculação.
 PFD: pré-filtro dinâmico de pedregulho, a taxa constante.
 FLAC: filtro lento em areia, a taxa constante.
 PFVAC: pré-filtro vertical ascendente em camadas, a taxa constante.
 CC₁, CC₂: opções da tecnologia de ciclo completo.
 FDA₁: opção da tecnologia de filtração direta ascendente
 FDD₁: opções da tecnologia de filtração direta descendente
 DF₁, DF₂: opções da tecnologia de dupla filtração
 FF₁: opção da tecnologia de floto-filtração
 FiME₁, FiME₂: opções da tecnologia de filtração em múltiplas etapas.
 TCA: tanque de clarificação / adensamento por gravidade
 DLD: desaguamento por leito de drenagem
 DLL: desaguamento por lagoa de lodo.
 TRR: tanque de recepção e regularização de vazão
 ADH: adensador dinâmico helicoidal
 CEN: centrífuga
 GEOT: filtração em geotêxtil

Fonte: Adaptado de Sabogal Paz (2007; 2010).

Em relação às outras tecnologias adotaram-se os projetos das pesquisas de Sabogal Paz (2007; 2010), cujas informações sobre os critérios de construção se encontram no ANEXO A. Como o trabalho é voltado para atendimento de pequenas e médias comunidades, foram consideradas configurações mais apropriadas para a realidade em questão.

Nos projetos com tecnologias de Filtração em Múltiplas Etapas (FiME₁ e FiME₂) foram adotadas vazões de até 40 L/s, pois segundo estudos de CINARA (2001) e Sabogal Paz (2010) essas alternativas se tornam insustentáveis economicamente para vazões mais elevadas.

4.1.2.1 Critérios de Projeto das ETAs e ETRs

Os projetos básicos das ETAs e ETRs foram elaborados conforme a qualidade da água bruta e as características dos resíduos, orientando os critérios adotados para concepção das unidades.

Como garantia de um produto com qualidade esperada (água potável) e máxima proteção para a população, foi necessária a adoção de dois tipos de água bruta como critério técnico, pois as ETAs com tecnologias menos robustas – mais restritivas pelo conceito de múltiplas barreiras – são eficientes apenas no tratamento de água bruta de melhor qualidade comparada aos sistemas com um maior número de unidades (barreiras).

Portanto, em relação à água bruta a ser tratada, considerou-se a “Água tipo 1” e “Água tipo 2” com características distintas de acordo com o trabalho de Sabogal Paz (2007) – (Tabela 4.2). Os sistemas de FDD₁, FDA₁ e FiME₁ foram projetados considerando a qualidade da água do Tipo 1 e o restante, com o Tipo 2.

Tabela 4.2 – Características gerais da água bruta a ser tratada pelas tecnologias

Variáveis	Água Tipo 1	Água Tipo 2
Turbidez (uT)	100% ≤ 25; 95% ≤ 15	100% ≤ 100; 95% ≤ 50
Cor Verdadeira (uH)	100% ≤ 20; 95% ≤ 15	100% ≤ 20; 95% ≤ 15
Ferro Total (mg/L)	100% ≤ 2; 95% ≤ 1,5	100% ≤ 5; 95% ≤ 4
Manganês Total (mg/L)	100% ≤ 0,7; 95% ≤ 0,5	100% ≤ 1; 95% ≤ 0,6
Coliformes Totais (NMP/100mL)	100% ≤ 2500; 95% ≤ 1500	100% ≤ 5000; 95% ≤ 2500
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	100% ≤ 1000; 95% ≤ 750	100% ≤ 1500; 95% ≤ 1000

Fonte: Adaptado de Sabogal Paz (2007).

No estudo, adotou-se funcionamento das ETAs de 24 h/dia. As operações de limpeza envolvidas nas ETAs, que geram os resíduos, estão indicadas na Tabela 4.3, exceto para a DF₂ que será descrita posteriormente.

No que diz respeito às características dos resíduos a serem tratados nas ETRs, estas foram fixadas conforme a qualidade da água bruta nos projetos das ETAs e as

programações das operações-padrão de limpeza das unidades. Os critérios de limpeza foram considerados os mesmos dos projetos desenvolvidos por Sabogal Paz (2007; 2010).

Tabela 4.3 – Operação-padrão das ETAs

Operação dos decantadores				
Descarga do decantador, em função da concentração de sólidos suspensos totais na água bruta e do volume do poço de lodos da unidade			Tempo aproximado da descarga	
Ciclo completo	Cada 2, 4 e 8 horas			< 1 min
	Cada 3, 6 e 11 horas			
	Cada 4, 8 e 15 horas			
Operação dos flotadores				
Floto-filtração	Raspagem contínua do lodo com dispositivo rotativo que funciona 24 horas por dia com velocidade de deslocamento de 1 m/min.			
Operação dos filtros				
Tecnologia	Tipo de filtro	Duração da carreira de filtração	Períodos para descargas de fundo intermediárias - DFIs	Tempo aproximado de lavagem do filtro e/ou das DFIs
Ciclo completo	<i>Filtro rápido descendente</i>	24h	(-)	10 min para lavagem do filtro
Floto-filtração	<i>Filtro rápido descendente</i>	24 h	(-)	
Filtração direta descendente	<i>Filtro rápido descendente</i>	24 h	(-)	
Filtração direta ascendente	<i>Filtro ascendente em areia grossa</i>	36 h	12 h	10 min para lavagem do filtro e 1 min para DFIs
Dupla Filtração	<i>Filtro ascendente em pedregulho</i>	1 semana	6 h, 12 h e 24h (em função da turbidez)	5 min para lavagem do filtro e 2 min para DFIs
	<i>Filtro rápido descendente</i>	24 horas	(-)	10 min para lavagem do filtro.
Filtração em múltiplas etapas	<i>Pré-filtro dinâmico</i>	1 semana	24 h	3 min para DFIs e 10 min para lavagem do filtro
	<i>Pré-filtro vertical ascendente em pedregulho</i>	1 mês	1 semana	5 min para DFIs e 30 min para lavagem do filtro.
	<i>Filtro lento em areia</i>	2 meses	(-)	Somente o tempo para limpeza da areia raspada, que oscilava entre 2,6 e 3,5 horas por filtro, em função do volume de areia retirada.

(-): não aplica

Fonte: Sabogal Paz (2007).

4.1.2.2 Elaboração dos Projetos Básicos das Unidades da DF₂ e ETRs

No dimensionamento das unidades da DF₂ foram adotadas as condições de funcionamento apresentadas na Tabela 4.4. Tais critérios foram adaptados de projeto de ETAs em escala real com porte semelhante às avaliadas na pesquisa, em conjunto com estudos encontrados na revisão bibliográfica.

Tabela 4.4 - Condições de funcionamento adotadas na DF₂

Condições de operação dos filtros					
Tecnologia	Tipo de filtro	Taxa média de filtração	Duração da carreira de filtração	Períodos para descargas de fundo intermediárias - DFIs	Tempo aproximado de lavagem do filtro e/ou das DFIs
Dupla Filtração – DF2	<i>Filtro ascendente em areia grossa - FAAG</i>	180 m ³ /m ² dia	36 horas	6 h, 18 h, 12h e 24h (em função da turbidez)	15 min para lavagem do filtro e 1 min para DFIs
	<i>Filtro rápido descendente - FRD</i>	180 m ³ /m ² dia	24 horas	(-)	10 min para lavagem do filtro.

(-): não aplica

Os memoriais de cálculo das ETAs e ETRs foram elaborados em planilhas eletrônicas do programa Microsoft Office Excel[®]. Os desenhos dos projetos foram realizados através do *software* AUTOCAD[®]. Todas as ETAs projetadas consideraram os seguintes componentes: unidades de tratamento, edificações (casa de química, laboratórios e escritórios) e obras externas (cercado, rua e calçada, etc.).

4.1.3 Identificação dos Aspectos Ambientais Mais Relevantes

4.1.3.1 Visita ao Órgão Ambiental - CETESB

Uma visita foi realizada ao acervo da biblioteca do órgão ambiental – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) – para consulta dos Relatórios de Impactos Ambientais (RIMAs) disponíveis referentes às estações de tratamento de água.

O acesso a tais documentos auxiliaram no levantamento e definição dos aspectos ambientais envolvidos na construção e operação de tais obras de saneamento, assim como, dos possíveis impactos ambientais.

4.1.3.2 Análise de "Entradas e Saídas" do Sistema

Através de informações obtidas com a consulta aos RIMAs de projetos de ETAs e revisão bibliográfica, os aspectos ambientais mais relevantes envolvidos na construção e operação das ETAs e ETRs foram selecionados.

Os elementos do sistema ETA+ETR foram esquematizados conforme uma análise de “entradas e saídas”. Foi possível obter uma análise ambiental com a identificação das inter-relações dos componentes, assim como as interações com os fatores ambientais.

Com o intuito de facilitar a elaboração do método, partiu-se do pressuposto da instalação do sistema ETA+ETR de todos os projetos considerando uma única área (com as mesmas condições e características físicas, químicas e biológicas), exceto em relação aos mananciais de captação da água bruta, que se diferem conforme as tecnologias (“Água tipo 1” e “Água tipo 2”).

Assim, conforme o modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) – Figura 4.2 – os impactos ambientais (respostas) foram estimados na pesquisa unicamente pela intensidade das pressões exercidas sobre o meio ambiente. Ou seja, através da maior ou menor magnitude dos aspectos ambientais, representados pelos seus quantitativos.

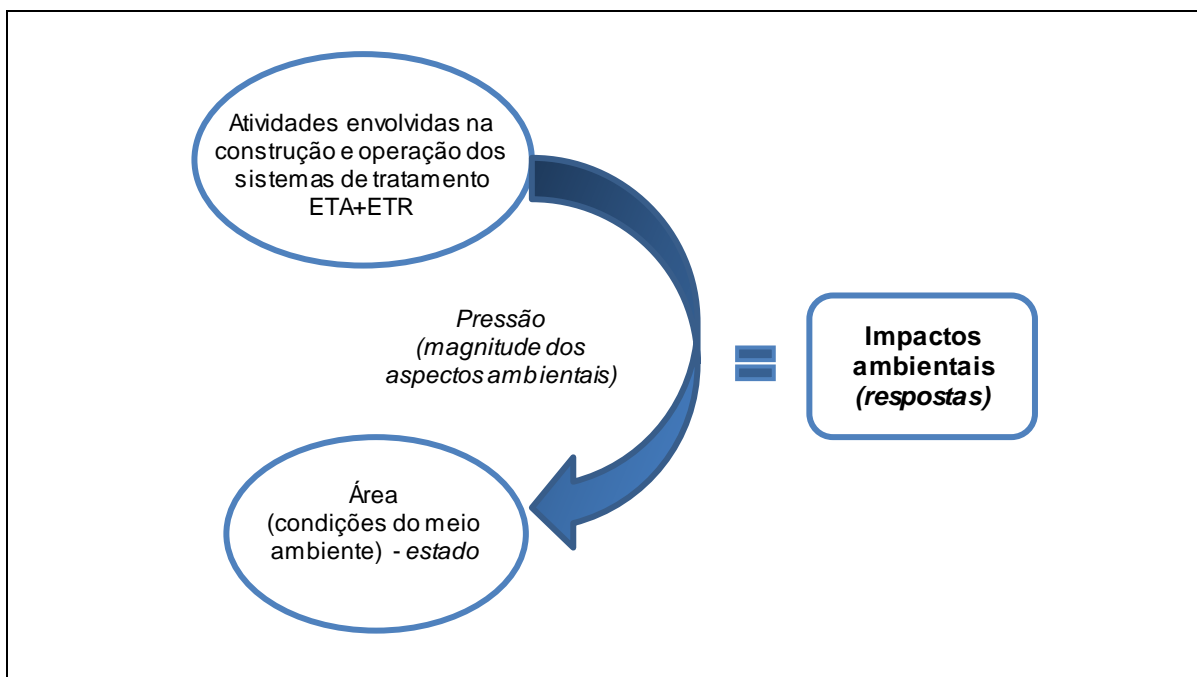


Figura 4.2 – Análise ambiental com foco na estimativa dos impactos ambientais sobre o meio ambiente provocados pelas atividades envolvidas na construção e operação dos sistemas de tratamento ETA+ETR.

4.1.4 Cálculo dos Quantitativos dos Aspectos Ambientais

A partir de dados extraídos dos memoriais de cálculo e dos desenhos em AUTOCAD®, foram calculados os quantitativos nas fases de construção e operação de acordo com as vazões de projeto e tecnologias do sistema (ETA e ETR).

Com as informações dispostas graficamente e equações matemáticas obtidas, para cada componente foi selecionada a equação com melhor ajuste aos dados, sendo denominada de *modelo de quantitativos* (Figura 4.3).

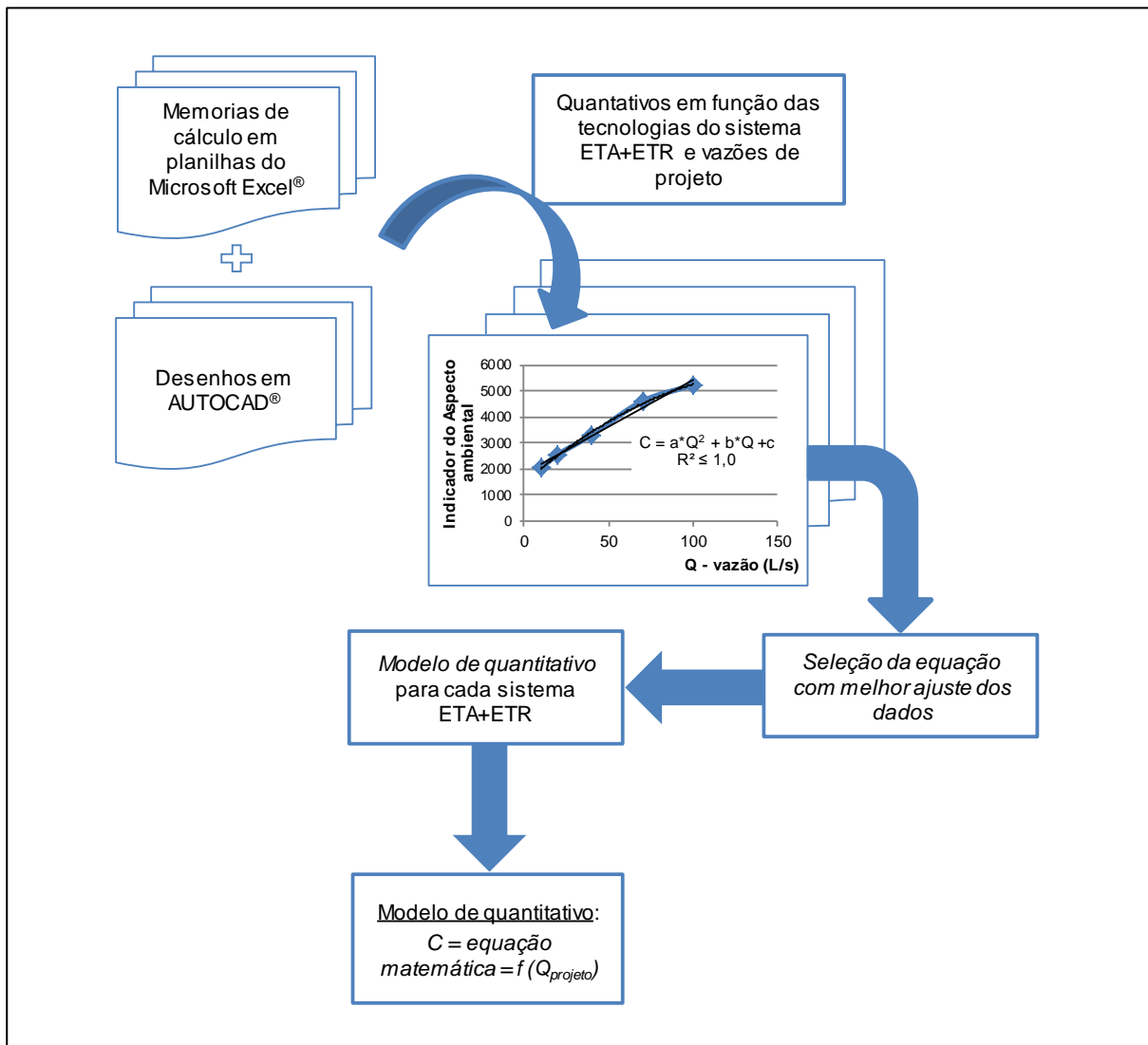


Figura 4.3 – Obtenção dos modelos de quantitativos.

Portanto, os modelos de quantitativos são funções matemáticas que permitem estabelecer a quantidade de cada indicador de construção ou operação em função da vazão da ETA.

4.1.5 Análise da Tendência dos Quantitativos

De acordo com cada aspecto ambiental, os quantitativos calculados foram organizados graficamente, da tecnologia menos impactante para a que mais causará alterações no meio ambiente. Com isso, foi possível avaliar as tecnologias em relação aos aspectos ambientais considerados.

4.2 ELABORAÇÃO DO MÉTODO DE SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA A PARTIR DA PERSPECTIVA AMBIENTAL

Na pesquisa foi avaliado apenas o “Nível 5” (aspectos ambientais) conforme Figura 3.20. Neste caso, foi pressuposto no estudo que os “Nível 1”, “Nível 2”, “Nível 3”, “Nível 4”, “Nível 6” e “Nível 7” não possuem aspectos ou condições que possam impedir a seleção das ETAs e ETRs em questão.

4.2.1 Elaboração do Método em Função do Critério de Impacto Ambiental Mínimo – Adaptação do Método *Battelle-Columbus*

O Método *Battelle-Columbus* foi utilizado como base para a elaboração do método proposto, sendo que ajustes e rearranjos foram realizados em função dos objetivos desta pesquisa serem completamente diferentes dos propósitos do método original.

4.2.1.1 Estimativa da Magnitude de Cada Aspecto Ambiental e Definição das Funções de Transformação

Primeiramente, os indicadores dos aspectos ambientais foram estimados em termos de magnitude, permitindo a quantificação das variações dos impactos produzidos (respostas/efeitos) de acordo com as situações avaliadas.

Considerou-se que a magnitude (M) era a relação entre o quantitativo de determinado indicador para o sistema (ETA+ETR) e o seu valor absoluto (maior valor do

quantitativo dentre as ETAs e ETRs avaliadas) como apresentada na Equação 4.1. A magnitude foi expressa em valores de 0 a 1.

$$M = \frac{\text{Quantitativo do indicador do aspecto ambiental avaliado para determinada ETA e ETR}}{\text{Maior quantitativo do indicador avaliado dentre as ETAs e ETRs estudadas}} \quad \text{Equação 4.1}$$

O Método *Battelle-Columbus* se baseia na comparação dos indicadores (parâmetros) em valores ambientais correspondentes (índice de qualidade ambiental de um parâmetro - CA). Portanto, as medidas da magnitude dos quantitativos em unidades diferentes foram transformadas em unidades de qualidade ambiental através da determinação e aplicação das funções de transformação.

4.2.1.2 Atribuição de Pesos aos Aspectos Ambientais Conforme Relevância na Seleção de Tecnologias

O peso de cada indicador – correspondente a Unidade de Importância do Parâmetro – UIP foi determinado com base na sua relevância em relação à seleção de tecnologias. Para tal, com base no *Método Delphi*, especialistas da área foram consultados previamente para, através de um consenso de opiniões, se estimarem os pesos.

4.2.2 Cálculo do impacto ambiental global

Definidos os CAs e UIPs, o grau de impacto para cada indicador ambiental, ou seja, a unidade de impacto ambiental – UIA conforme a Equação 3.1, pôde ser determinada. Posteriormente, com a adaptação e junção da Equação 3.2 com a 3.3 foi definida a Equação 4.2 para o cálculo do impacto ambiental global (IAG) de cada sistema ETA+ETR.

Como foi fixada uma única área (com as mesmas condições e características físicas, químicas e biológicas) para todos os projetos, conseqüentemente, o valor de UIA_{isp} (sem projeto) foi o mesmo para todas as alternativas analisadas, ou seja, um valor constante - C_{isp} . Assim, com a somatória da diferença da C_{isp} e UIA_{icp} (com projeto) dos aspectos ambientais considerados, foi possível selecionar as tecnologias ETA+ETR com *impacto ambiental mínimo*.

$$\mathbf{IAG} = \mathbf{C}_{isp} - \sum_{i=1}^{i=n} (\mathbf{UIA}_{icp})$$

Equação 4.2

Em que:

IAG: Impacto ambiental global;

n: Número de indicadores ambientais considerados;

\mathbf{C}_{isp} : Unidade de impacto ambiental *sem projeto* - \mathbf{UIA}_{isp} , que é um valor constante para os indicadores ambientais considerados;

\mathbf{UIA}_{icp} : Unidade de impacto ambiental *com projeto* para o indicador ambiental i.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 IDENTIFICAÇÃO E OBTENÇÃO DOS QUANTITATIVOS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS

5.1.1 Elaboração dos Projetos Básicos da DF₂

Os memoriais de cálculo e os desenhos em AUTOCAD[®] das ETAs de DF₂ com as tecnologias de ETR foram elaborados conforme item 4.1.2, os quais maiores detalhes podem ser encontrados no APÊNDICE A (inserido no CD).

A representação do perfil hidráulico das unidades de tratamento das ETAs e ETRs permitiu verificar se os critérios de projeto e os valores definidos no dimensionamento (memoriais de cálculo) estavam coerentes ou se havia alguma falha na elaboração.

Os projetos básicos foram importantes para a identificação e obtenção dos quantitativos que poderiam acarretar impactos ambientais, pois não seria possível determinar a relevância de cada aspecto ambiental e nem sua magnitude apenas com os memoriais de cálculo dos projetos. O maior detalhamento com os desenhos foi imprescindível.

5.1.2 Identificação dos Aspectos Ambientais mais Relevantes

Para a escolha dos aspectos ambientais a serem avaliados, o trabalho de Gandini e Galvis (2000) foi adotado como base. Os autores ponderaram os impactos negativos no meio ambiente visando a seleção de tecnologias de tratamento de água. Para tal, variáveis nas fases de construção (área construída e volume de construção) e operação (produção de lodo, água de lavagem, requerimento energético e insumos químicos) foram adotadas.

Na Análise de Ciclo de Vida – ACV do tratamento de água, as pesquisas de Vince et al. (2008) e Bonton et al. (2011) verificaram como os maiores contribuintes nos efeitos ambientais o consumo de energia elétrica e os produtos químicos. Stokes e Horvath (2006) indicaram como os mais impactantes o consumo de materiais de construção e energia elétrica.

Na literatura científica não foi possível encontrar outros autores que abordassem o tema. Assim, com as informações disponíveis foram selecionados nove aspectos ambientais conforme a .

Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Aspectos ambientais selecionados de acordo com a fase de construção e operação das ETAs e ETRs.

Fase	Aspecto ambiental
Construção	1. Área requerida (m ²) 2. Remoção de solo - escavação (m ³) 3. Consumo de concreto (m ³) 4. Consumo de chapa de aço (kg) 5. Consumo de meio filtrante e camada suporte (m ³)
Operação	6. Consumo de energia elétrica (kWh) 7. Consumo de produtos químicos: > Sulfato de alumínio – coagulação (L) > Cloreto férrico – coagulação (L) > Hipoclorito de sódio – desinfecção (kg) > Ácido fluorsilícico – fluoração (kg) > Polímeros – tratamento dos resíduos da ETA (kg) 8. Geração de resíduos líquidos – água para lavagem das unidades (m ³) 9. Geração de resíduos sólidos – lodo desidratado nas ETRs (m ³)

Os materiais de construção foram selecionados considerando-se os de maior consumo e potencial de degradação ambiental como: concreto, chapa de aço, areia e pedregulho para o meio filtrante e camada suporte. Assim como a maioria dos materiais de construção civil, esses dependem da extração de recursos naturais – de até 50% conforme John⁶ (1999 apud Betat et al., 2009) – para obtenção dos seus insumos. A cadeia de produção desse setor acaba ocasionando vários impactos ambientais negativos e significativos.

As alterações ambientais decorrentes da execução das obras e disposição dos resíduos de construção também foram ponderadas já que seriam elementos estranhos ao ambiente local do empreendimento.

A remoção de solo relacionada à escavação se mostrou importante porque várias unidades de tratamento (principalmente das ETRs) apresentaram grandes profundidades conforme os critérios de projeto adotados. Isso poderia acarretar o comprometimento das

⁶ JOHN, V.M.(1999). Panorama sobre reciclagem de resíduos na construção civil. In: **2º Seminário sobre Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil**, São Paulo, 1999, Comitê Técnico CT 206 – Meio Ambiente – IBRACON, 1999.

propriedades do solo devido às possíveis movimentações e até mesmo gerar fatores de riscos de interferência nas águas subterrâneas e superficiais.

O consumo de produtos químicos está associado apenas à fase de operação do sistema ETA+ETR. No tratamento de água foi considerada a aplicação de produtos (selecionados conforme recomendações da literatura e experiências em ETAs) nas etapas de coagulação (sulfato de alumínio ou cloreto férrico), desinfecção e fluoretação. A adição de polímeros foi necessária para um bom funcionamento de algumas ETRs. Essa variável foi avaliada somente em relação aos seus efeitos quantitativos (dosagens), ou seja, as composições químicas e suas possíveis interações com o meio ambiente não foram consideradas.

Conforme verificado na literatura (Achon et al., 2005 e Barroso,2002), vários impactos ambientais podem ser gerados com a falta de gerenciamento e tratamento adequado dos resíduos de ETAs. Considerou-se pertinente a distinção em: i) resíduos líquidos, referente ao volume de água para lavagem das unidades das ETAs e; ii) resíduos sólidos, que seriam os lodos desidratados gerados após o tratamento nas ETRs.

A partir da análise de “entrada e saída” foi elaborado o fluxograma da Figura 5.1 com a “localização” dos aspectos ambientais nas etapas da construção e operação do sistema ETA+ETR. Além disso, os aspectos ambientais foram agrupados em duas categorias: consumo de recursos naturais e poluição ambiental, conforme a Figura 5.2.

O acesso a um RIMA de construção de uma ETA, disponível no acervo da biblioteca da CETESB, foi muito conveniente para obter conhecimento de quais impactos ambientais normalmente são abordados e considerados no estudo de viabilidade de ETAs. Assim, de acordo com tais informações e a revisão bibliográfica, a

Tabela 5.2 apresenta os principais impactos ambientais negativos, correspondentes aos aspectos ambientais avaliados.

Isoladamente, a maioria dos impactos negativos poderia ser considerada de baixa significância. No entanto, de acordo com a Figura 5.1 e

Tabela 5.2 nota-se que há uma inter-relação dos impactos correspondentes aos aspectos ambientais envolvidos. Em função do número de ETAs de pequeno e médio porte implantadas no Brasil, o somatório desses impactos poderia ser considerado significativo.

Em uma situação em que existe o descarte incorreto dos resíduos da ETA, talvez a disponibilidade de água de qualidade para abastecimento de comunidades à jusante ao lançamento seria afetada. Maiores investimentos seriam necessários (em produtos químicos ou em tecnologias mais avançadas) para o tratamento de água e, conseqüentemente, a geração de resíduos aumentaria. Com isso, supondo-se que os impactos sejam cumulativos, o resultado poderia ser um ambiente com significativa degradação ambiental ao longo do tempo.

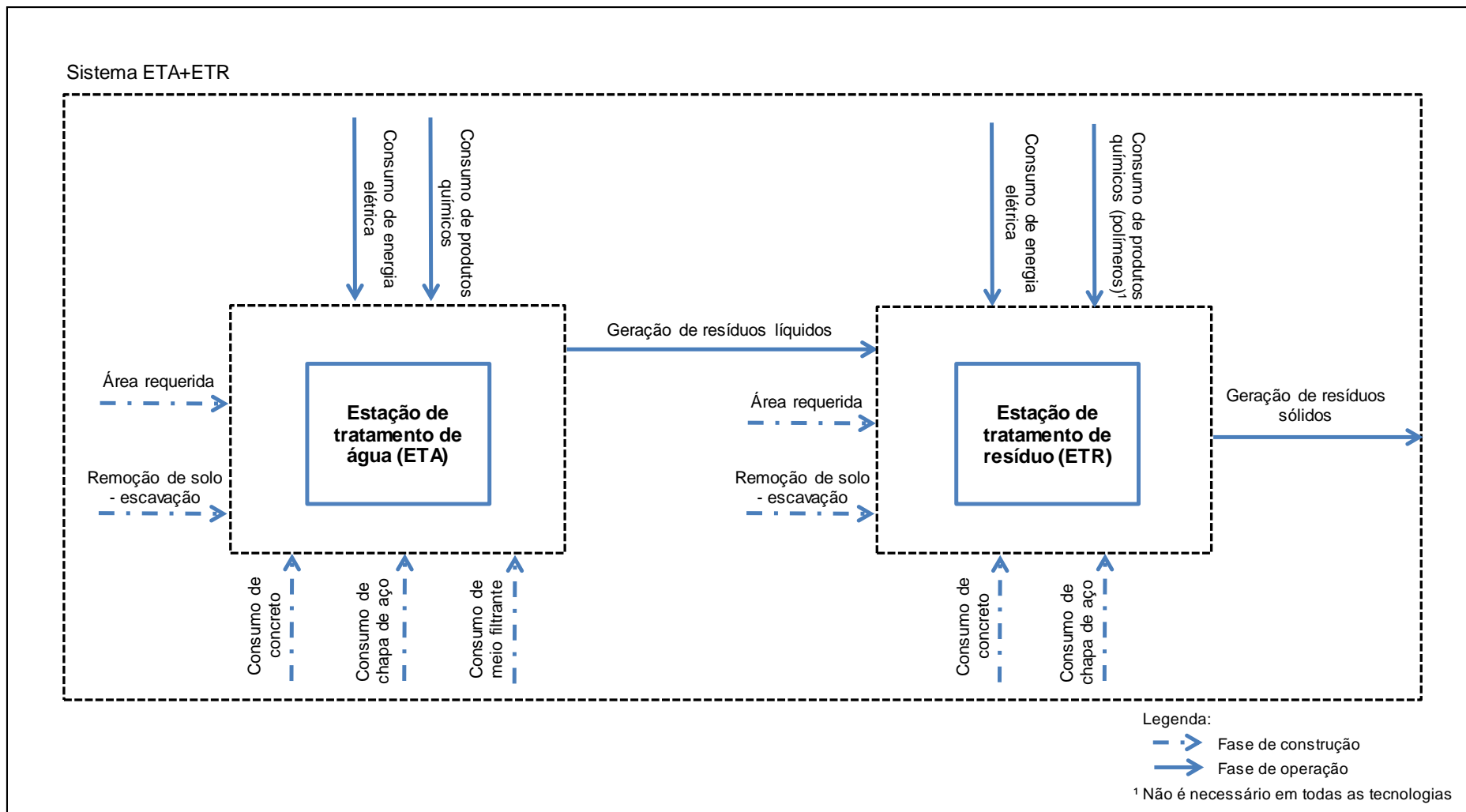


Figura 5.1 – Análise de “Entradas e Saídas” do sistema, com os aspectos ambientais mais relevantes envolvidos na construção e operação das ETAs e ETRs.

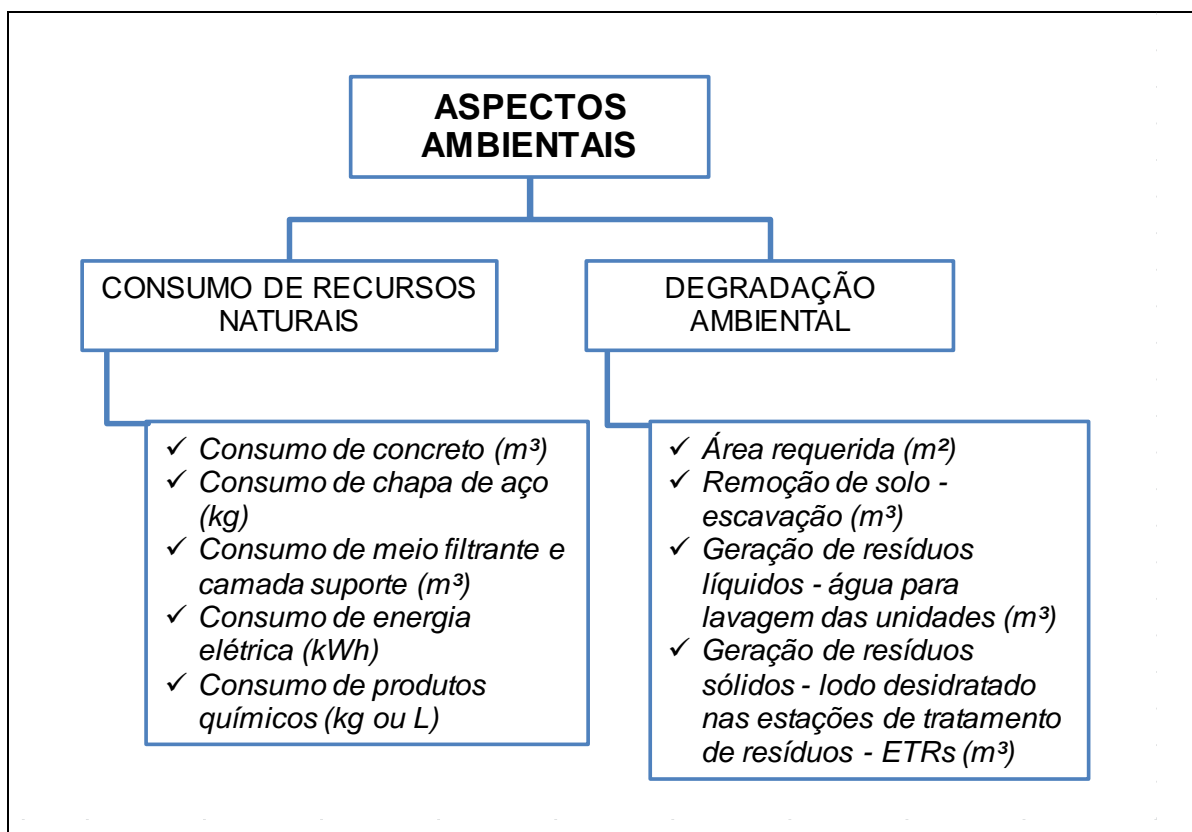


Figura 5.2 – Categorias e indicadores ambientais a serem avaliados.

O fornecimento de água potável, assim como o tratamento de resíduos é citado pela AEM (2005) como atividades humanas que vêm utilizando os recursos ambientais de forma insustentável. Segundo o IPCC (2008), a água e as mudanças climáticas possuem uma inter-relação complexa, em que as alterações em qualquer uma delas podem implicar em vulnerabilidades com geração de problemas na sociedade e no meio ambiente. Portanto, os impactos decorrentes do sistema ETA+ETR de certa forma são pressões que colaboram para a intensificação dessas mudanças nos sistemas ambientais.

Nesta pesquisa, os impactos ambientais positivos das ETAs não foram abordados, pois estes já são bem definidos e esclarecidos quanto a sua importância. Mas, principalmente pelo fato dos benefícios serem os mesmos independentemente da tecnologia adotada, o que não influenciaria na seleção.

Tabela 5.2 – Principais impactos ambientais correspondentes aos aspectos ambientais avaliados

ASPECTO AMBIENTAL	PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS
1. Área requerida (m²)	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da disponibilidade de área para outros usos e ocupações; • Risco de alteração do meio biótico (supressão de vegetação e diminuição da diversidade da fauna terrestre); • Impacto visual.
2. Remoção de solo - escavação (m³)	<ul style="list-style-type: none"> • Riscos de erosão; • Transporte e assoreamento dos corpos d' água locais devido ao aporte de sedimentos; • Interferências pontuais no regime de escoamento das águas superficiais pela modificação do relevo; • Risco de interferência (quantitativa e qualitativa) das águas subterrâneas; • Soterramento e supressão da fauna e flora.
3. Consumo de concreto (m³)	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do concreto; • Riscos de poluição/contaminação dos corpos d'água locais e do solo pelo manuseio do concreto na obra; • Impermeabilização do solo local com redução de áreas de infiltração das águas pluviais.
4. Consumo de chapa de aço (kg)	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação da chapa de aço
5. Consumo de meio filtrante e camada suporte (m³)	<ul style="list-style-type: none"> • Diminuição das jazidas naturais devido à extração e ao beneficiamento da areia e do pedregulho.
6. Consumo de energia elétrica (kWh)	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da disponibilidade elétrica para outros usos; • Impactos ambientais relacionados à produção, transmissão e distribuição da energia elétrica.
7. Consumo de produtos químicos (kg ou L)	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação dos produtos químicos; • Riscos de poluição/contaminação dos solos, das águas superficiais e subterrâneas decorrentes de possíveis acidentes durante o inadequado manuseio e/ou armazenamento.
8. Geração de resíduos líquidos - água para lavagem das unidades (m³)	<ul style="list-style-type: none"> • Riscos de poluição/contaminação dos solos e das águas superficiais e subterrâneas; • Riscos à saúde pública e à comunidade aquática.
9. Geração de resíduos sólidos - lodo desidratado nas estações de tratamento dos resíduos - ETRs (m³)	<ul style="list-style-type: none"> • Riscos de poluição/contaminação dos solos e das águas superficiais e subterrâneas; • Riscos à saúde pública, à fauna e flora.

5.1.3 Cálculo dos Quantitativos dos Aspectos Ambientais

Através dos modelos de quantitativos dos sistemas ETA+ETR definidos (APÊNDICE B – inserido no CD), os quantitativos dos aspectos ambientais foram representados graficamente para análise das diferentes configurações, com a observação de possíveis tendências.

5.1.3.1 Quantitativos da Fase de Construção

5.1.3.1.1 Área Requerida

O sistema ETA+ETR foi instalado em uma única área. Com isso, a porcentagem ocupada pela ETA ou ETR em relação à área total sofreu variação de acordo com as tecnologias consideradas.

- Área Requerida em ETAs

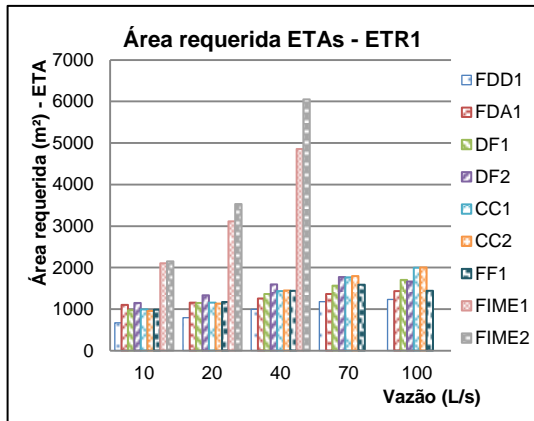
Dentre as tecnologias analisadas, as FiMEs apresentaram maior requerimento de área independentemente das alternativas consideradas para as ETRs (Figura 5.3). Esse resultado já era esperado conforme a literatura (CINARA, 2001; Sabogal Paz, 2007), pois para uma mesma vazão, a FiME tem necessidade de uma maior área em planta em relação às outras ETAs. Isso se deve às baixas taxas de filtração adotadas na operação dos pré-filtros e filtros lentos.

Com uma unidade a mais em sua configuração (pré-filtro vertical ascendente em camadas a taxa constante), a FiME₂ ocupou uma área aproximadamente 35% maior que a FiME₁.

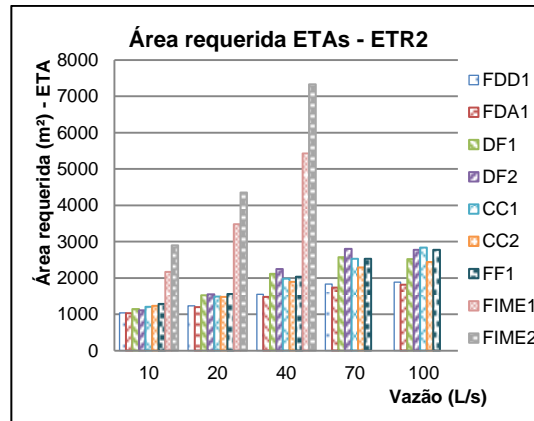
As outras tecnologias apresentaram uma tendência semelhante no aumento de área em função da vazão de projeto. Com exceção, nas ETAs de CC com ETR₅ (Figura 5.3, item e), neste caso, o requerimento de área nas vazões mais elevadas (70 e 100 L/s) teve um aumento significativo. Provavelmente, isso foi devido ao maior número de unidades que dificultou a definição de um projeto mais compacto.

- Área Requerida em ETRs

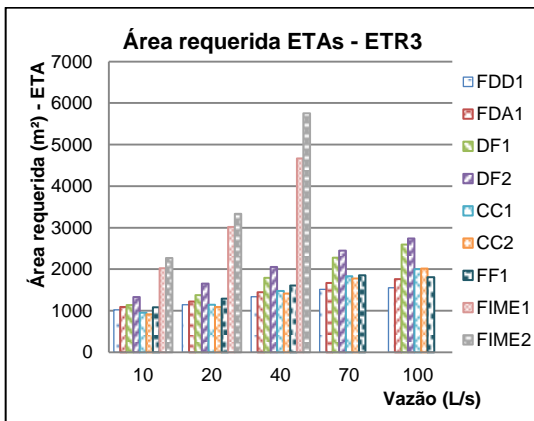
Conforme a Figura 5.4 (item b), para a ETR₂ não se obtiveram diferenças discrepantes de área em função da vazão e conforme as alternativas de tratamento de água. Para uma ETA em uma mesma vazão, o quantitativo para a ETR₂ pode ser de até 8,5 vezes o da ETR₃ (Figura 5.4 - item b), que é a menos impactante.



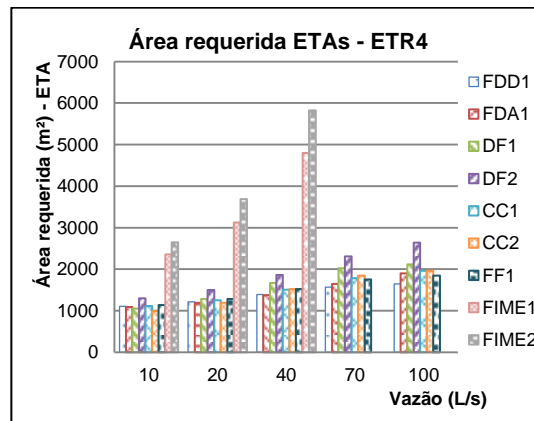
(a)



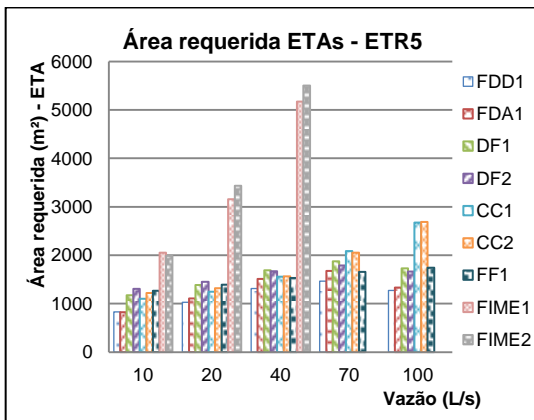
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 5.3 – Área requerida para ETAs conforme o tipo de ETR, em função das vazões de projeto.

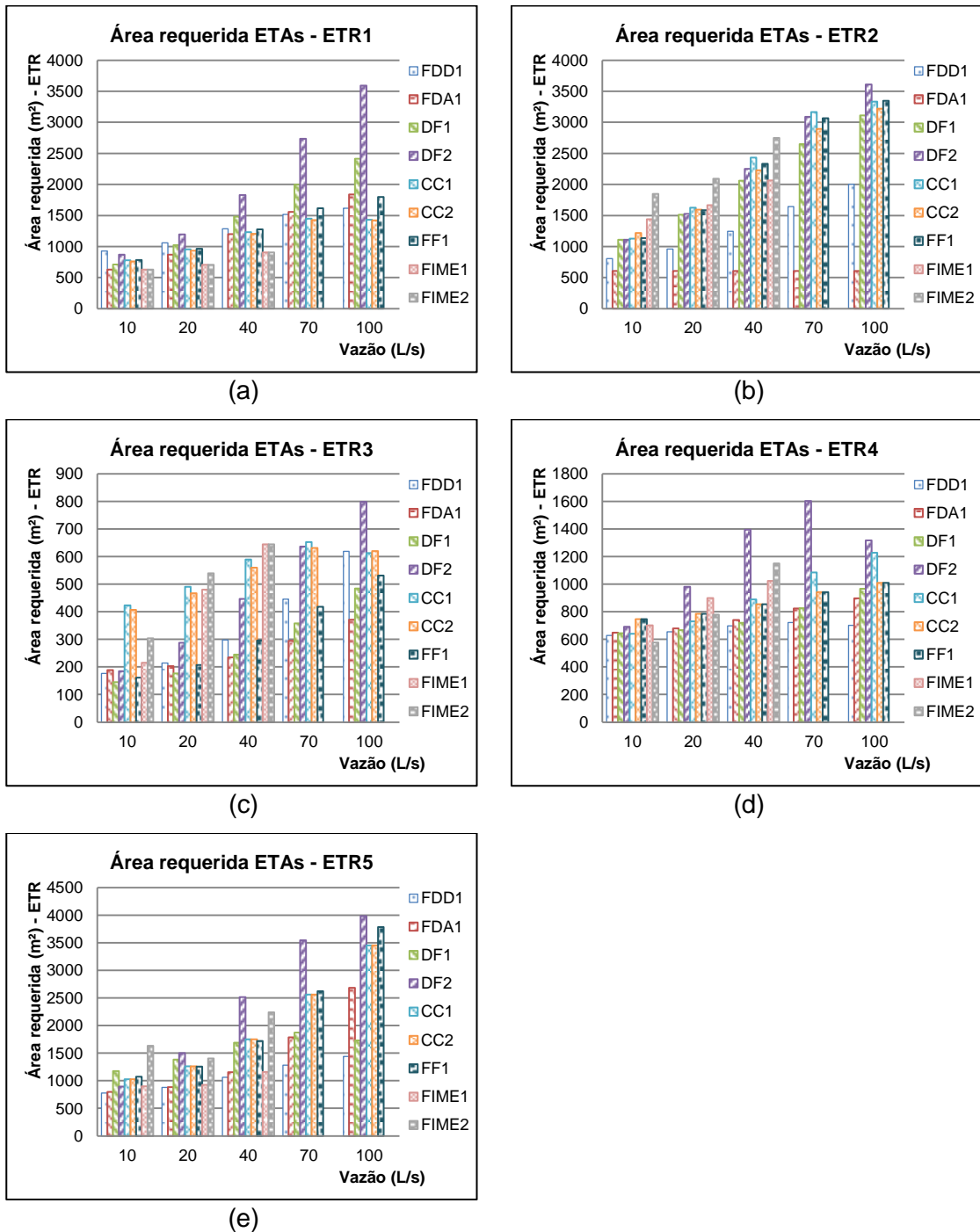


Figura 5.4 – Área requerida para as ETRs conforme o tipo de ETA, em função da vazão de projeto.

Entre as alternativas de ETR era esperado que as lagoas de lodo presentes na ETR₂ seriam as mais impactantes, pois, necessitam de grandes áreas de implantação para armazenamento dos resíduos por um período maior para a secagem natural, segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008).

No entanto, as ETAs de DF₂ para vazões de 70 e 100 L/s associadas a ETR₅ foram os sistemas que mais necessitaram de área, conforme a Figura 5.4 (item e). O resultado tem

relação com o volume de água utilizado para lavagem das unidades – resíduos líquidos (com destaque ao FAAG). Como o consumo de água para limpeza foi bem mais elevado do que as outras ETAs, o dimensionamento das unidades de tratamento dos resíduos também sofreu grandes variações. As ETRs das DF₂ apresentaram diferenças mais expressivas quanto ao requerimento de área nas vazões a partir de 40 L/s, destoando-se das outras tecnologias.

5.1.3.1.2 Remoção de Solo - Escavações

- Escavações em ETAs

A tecnologia FiME se mostrou a mais impactante conforme Figura 5.5. Essas diferenças bem significativas foram relacionadas à construção dos pré-filtros e filtros parcialmente enterrados para obtenção da carga hidráulica necessária para a realização da filtração por gravidade.

As outras ETAs apresentaram resultados semelhantes pelo fato das escavações estarem relacionadas somente à instalação do reservatório de água e tanque de contato. Dentre estas, o volume de escavação na DF₂ foi um pouco mais elevado porque a lavagem dos seus filtros (FAAG+FRDC) demandaram um maior consumo de água.

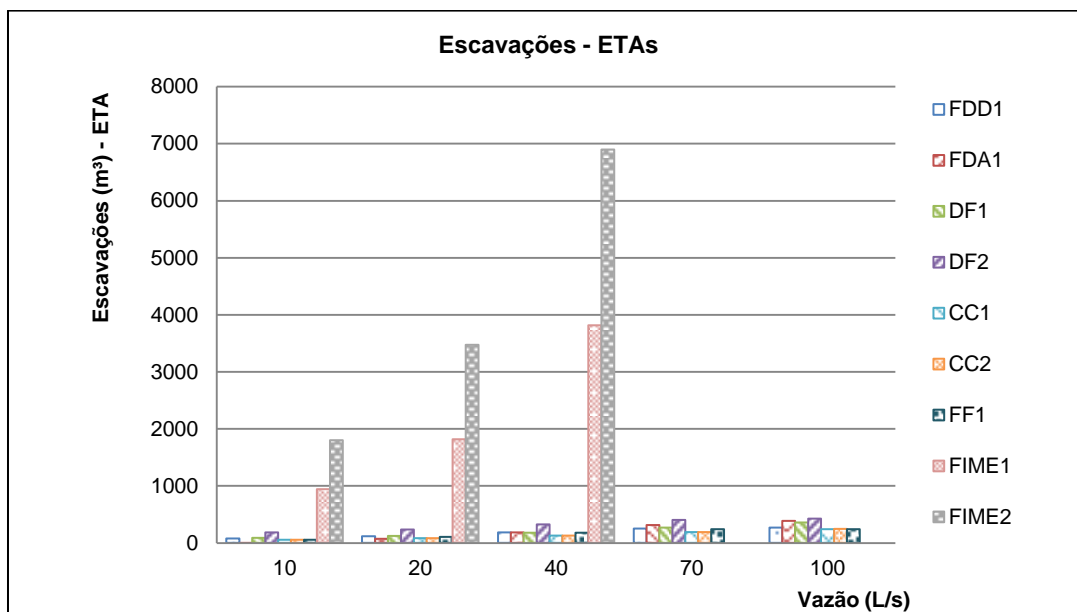


Figura 5.5 – Escavações para ETAs, em função da vazão de projeto.

- Escavações em ETRs

A ETR₂ apresentou mais impactos no meio ambiente em relação à escavação (Figura 5.6). Além de ocuparem uma grande extensão, as lagoas de lodo necessitaram de profundidade para o recebimento de todo volume de resíduos.

Com adoção de tanques de clarificação/adensamento por gravidade, a ETR₁ foi a segunda mais impactante. Por depender de um sistema elevatório para que a água clarificada e o lodo fossem devidamente recalcados para seus destinos, um maior volume de escavação (em profundidade) foi necessário para a instalação da casa de bombas. A ETR₃ foi a menos impactante, pois envolveu apenas a escavação do tanque de regularização de vazão.

As ETRs da DF₂ foram as que mais demandaram a execução de escavações. Novamente, tal resultado pode ser relacionado com o volume de resíduos líquidos gerados como consequência do tratamento da água.

5.1.3.1.3 Consumo de Concreto

O consumo de concreto foi computado considerando tanto as unidades de tratamento como as calçadas internas e alambrados. Como critério para facilitar a obtenção dos quantitativos, adotou-se apenas o somatório do volume necessário. As resistências dos concretos empregados não foram diferenciadas.

- Consumo de Concreto em ETAs

A tecnologia FiME foi a mais impactante, pois para a construção dos pré-filtros e filtros foi adotado o concreto. A FiME₂ obteve um maior consumo por apresentar uma unidade (pré-filtro) a mais em sua configuração (Figura 5.7).

A tecnologia DF foi a que obteve o segundo maior consumo de concreto. No entanto, o requerimento foi mais elevado para o FAP da DF₁ devido às diferenças nas configurações (taxa de filtração baixa de 120 m³/m².dia e menor espessura do meio filtrante). Com as interferências em termos hidráulicos, alterações na altura da base do filtro foram necessárias para um funcionamento adequado por gravidade; conseqüentemente, foi utilizado um maior volume de concreto para fundação.

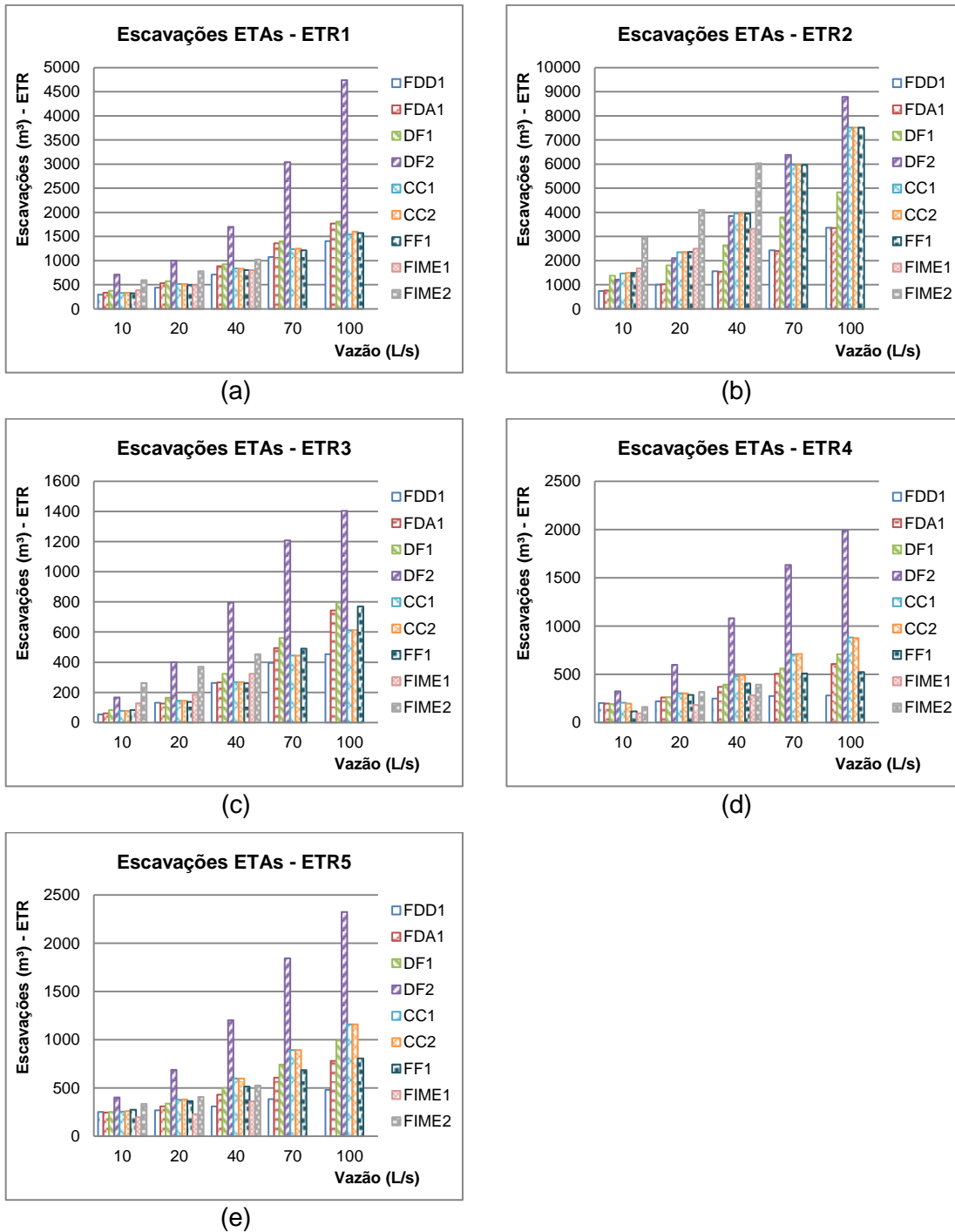


Figura 5.6 – Escavações para as ETRs considerando o tipo de ETA, em função da vazão de projeto.

Em relação ao tratamento convencional, a tecnologia CC_1 deveria apresentar um maior requerimento devido à adoção de floculadores tipo chicanas. Segundo Sabogal Paz (2010), pelo fato do canal apresentar pouca profundidade, esse tipo de floculador hidráulico tem como desvantagem a necessidade de uma maior área em planta.

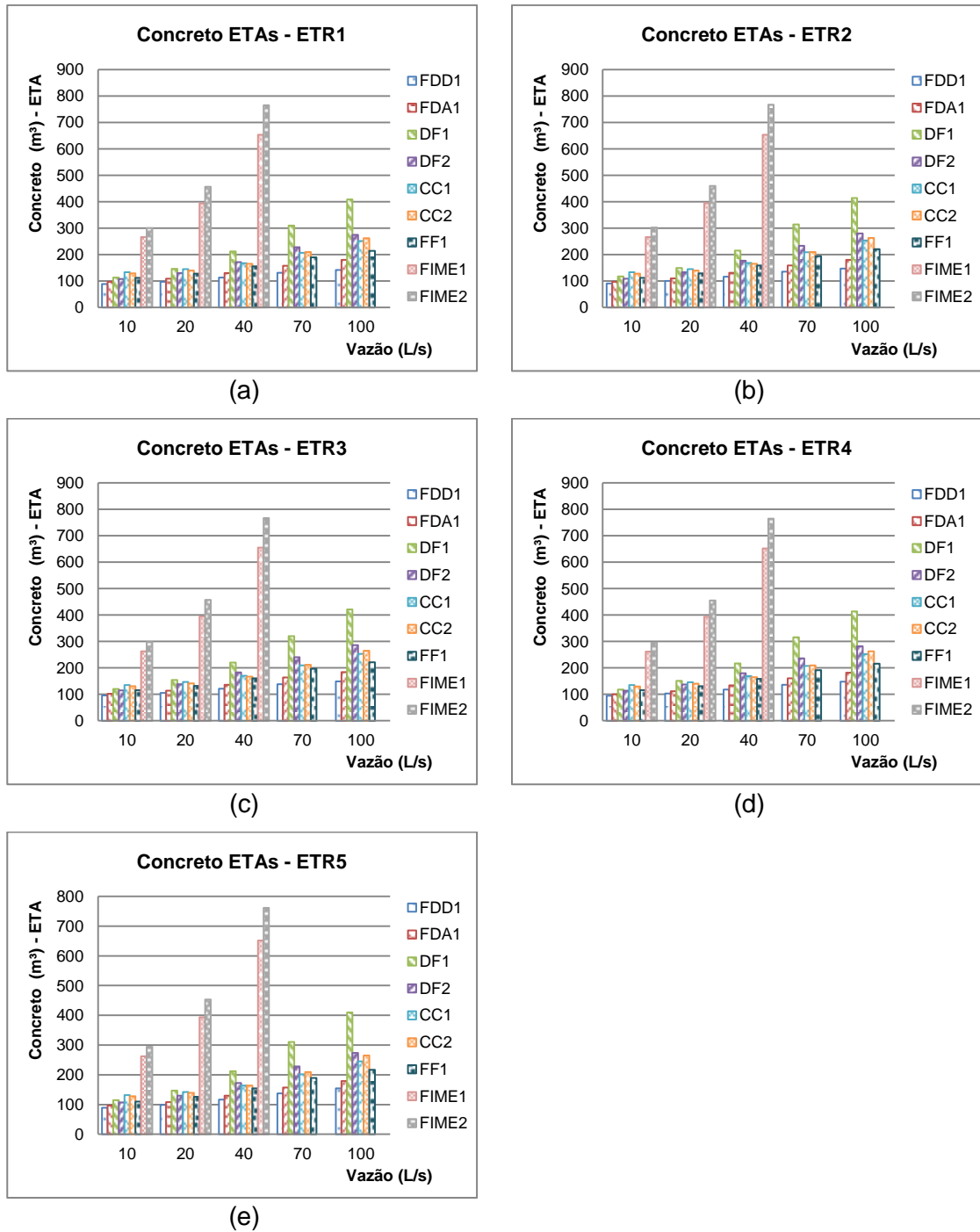


Figura 5.7 – Consumo de concreto para as ETAs conforme o tipo de ETR, em função da vazão de projeto.

No entanto, a CC_2 utilizou um maior volume de concreto (tecnologia que utiliza floculadores mecanizados). Os critérios do projetista na disposição das unidades pode ter influenciado em tais resultados, considerando-se que o cálculo foi baseado na soma do volume utilizado para as unidades de tratamento e o seu entorno, sem distinção dos tipos de concreto.

As ETAs de FDD₁, FDA₁ e FF₁ foram as menos impactantes por apresentarem um menor número de unidades de tratamento. Conseqüentemente, o volume de concreto diminuiu para suas construções.

- Consumo de Concreto em ETRs

A alternativa que exigiu menor consumo de concreto foi a ETR₃ conforme Figura 5.8. A ETR₁ (mais impactante) apresentou um quantitativo de até 11,1 vezes maior. Essa diferença significativa foi provavelmente devido à construção dos tanques de adensamento/clarificação e casa de bombas.

A partir da vazão de 70 L/s, uma diferença de volume foi observada na tecnologia DF₂ com ETR₁ e ETR₅ (mais expressivamente) em relação aos outros sistemas (Figura 5.8, item a e item e). Este fato indicou que tal variável também sofreu influência da geração de resíduos líquidos da DF₂.

A diferença de quantitativos nas ETR₂, ETR₃ e ETR₄ foi relacionada mais ao volume utilizado na construção de alamedas e calçadas (estimado conforme a área ocupada pela ETR em relação à área total), pois, com relação aos quantitativos das unidades de tratamento não houve variações consideráveis.

5.1.3.1.4 Consumo de Chapa de Aço

No consumo de chapa de aço foi adotado o mesmo critério do quantitativo de concreto (5.1.3.1.3), em que não foram consideradas as diferentes espessuras apresentadas pelas chapas de aço.

- Consumo de Chapa de Aço em ETAs

Na construção das FiMEs não foi utilizada chapa de aço. Portanto, não causariam alterações no meio ambiente em relação a esta variável (Figura 5.9).

O maior consumo desse material foi apresentado pelas tecnologias de CC devido ao maior número de unidades envolvidas no tratamento. Em virtude do emprego de floculadores mecânicos, a tecnologia CC₂ necessitou de 11% a mais de material em relação a CC₁.

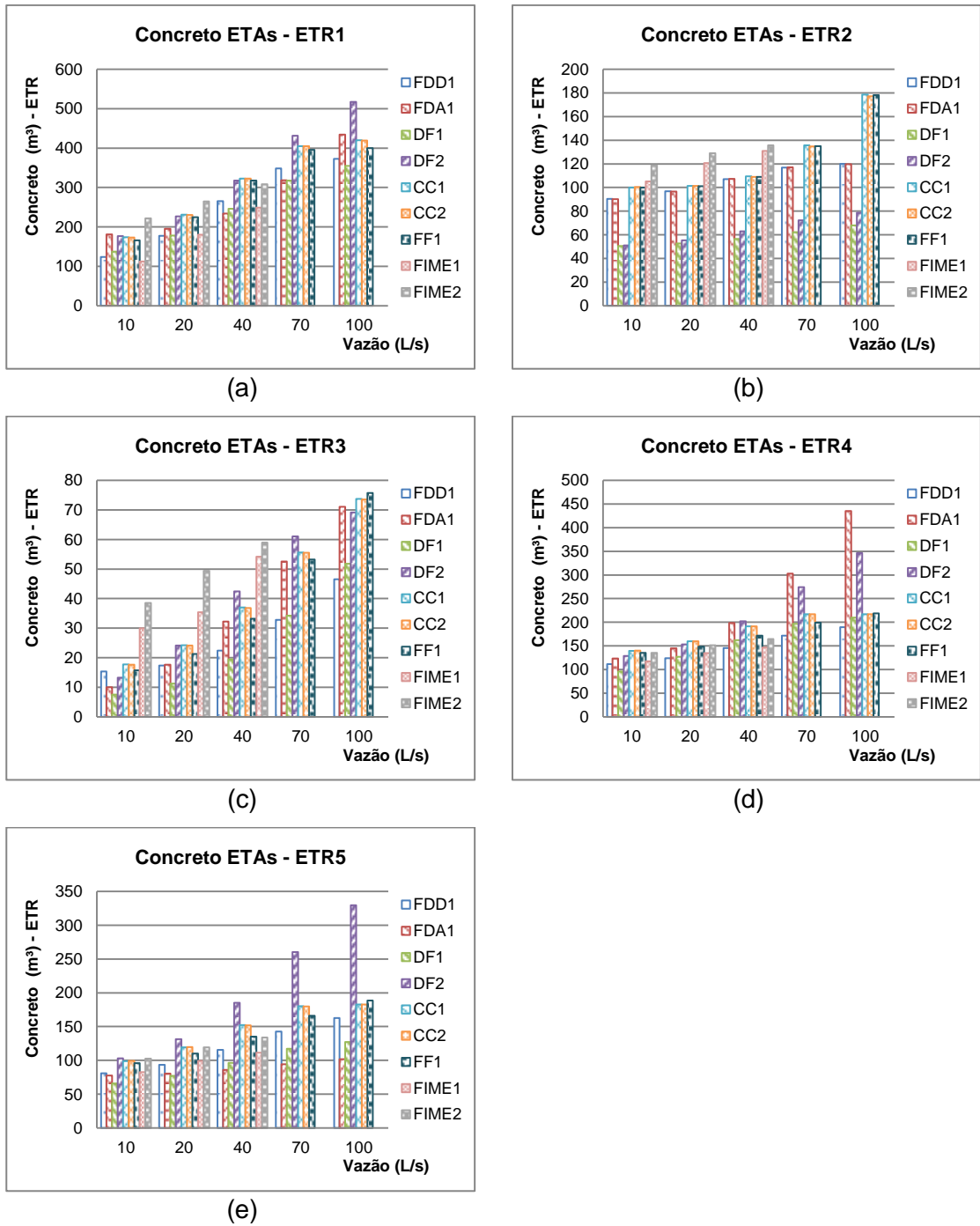


Figura 5.8 – Consumo de concreto para as ETRs segundo o tipo de ETA, em função da vazão de projeto.

Entre as ETAs de DF, a diferença nos quantitativos foi relacionada ao dimensionamento do tanque de água filtrada e câmara de contato, em que o consumo na DF₂ foi de até 46% a mais do que a DF₁.

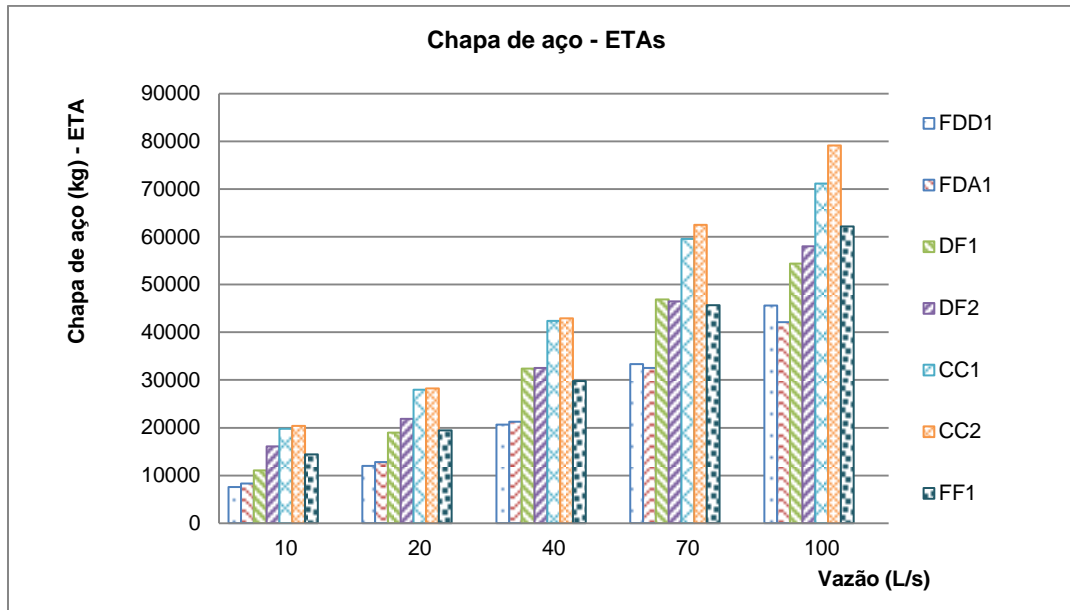


Figura 5.9 – Consumo de chapa de aço das ETAs, em função da vazão de projeto.

- Consumo de Chapa de Aço em ETRs

Dentre as alternativas, a ETR₃ (tanque de regularização de vazão) foi a única que utilizou chapa de aço na construção conforme Figura 5.10.

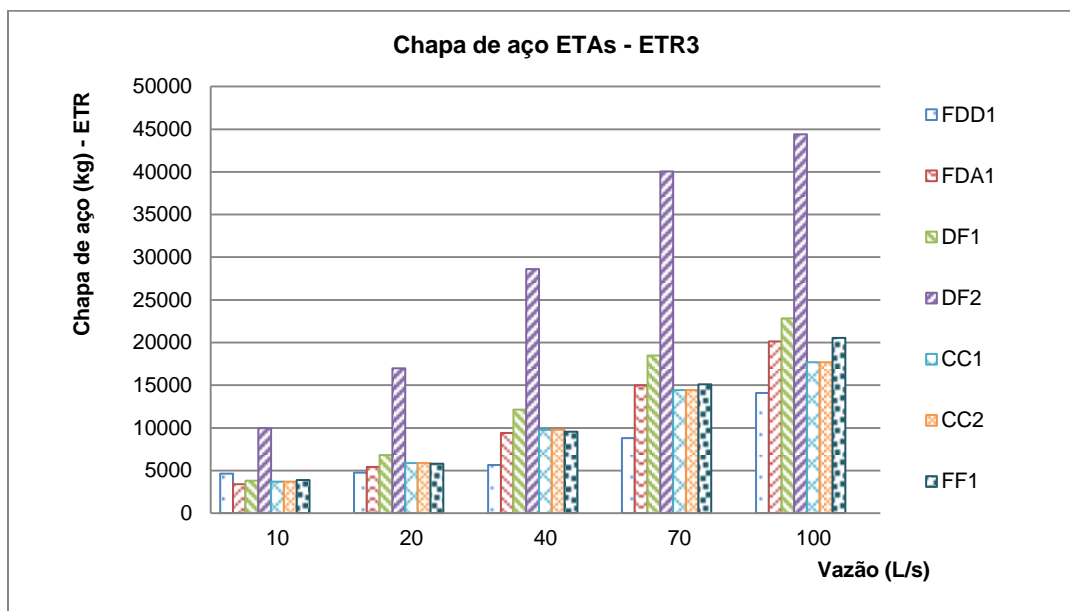


Figura 5.10 – Consumo de chapa de aço na ETR₃ segundo o tipo de ETA, em função da vazão de projeto.

Os quantitativos dessa variável dependem do volume de resíduos encaminhado para a ETR. Assim, a tecnologia DF₂ foi a que apresentou maior consumo de chapa de aço (3 vezes mais que a FDD1 – a menos impactante), seguida da DF₁ e FDA₁. Uma característica

em comum dessas três tecnologias com maior consumo é que seus filtros exigiram volumes consideráveis de água para lavagem.

5.1.3.1.5 Meio Filtrante e Camada Suporte em ETAs

Conforme a Figura 5.11, as FiMEs apresentaram um consumo maior de areia e pedregulho comparadas às outras. A diferença de até 14% entre a FiME₁ e FiME₂ foi porque a segunda tecnologia possui um pré-filtro a mais.

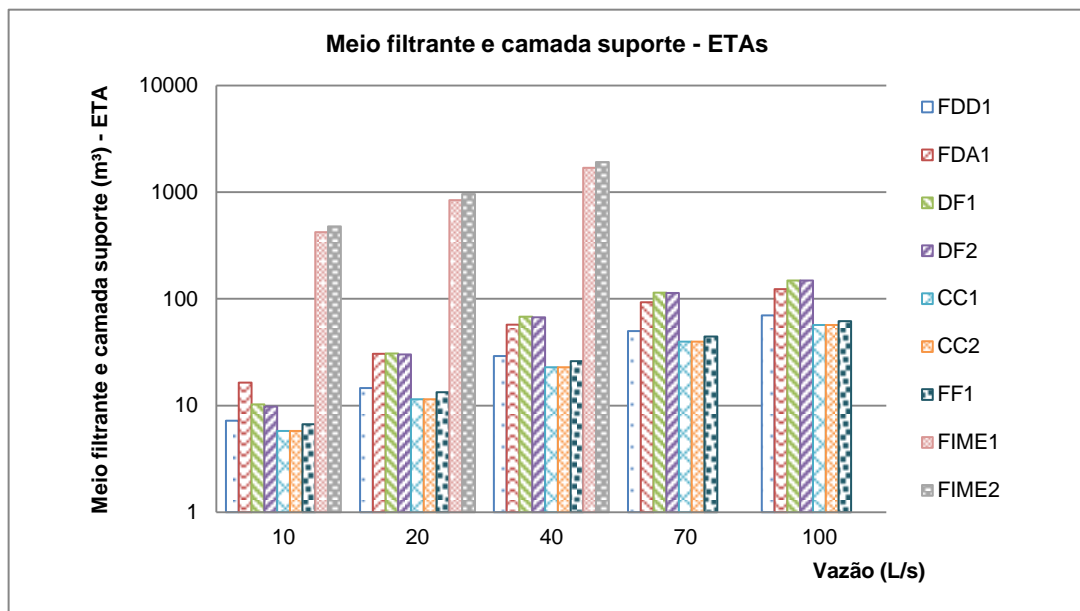


Figura 5.11 – Consumo de meio filtrante e camada suporte para as ETAs, em função da vazão de projeto.

A FiME₂ chegou a consumir um volume de areia e pedregulho extremamente elevado em relação às ETAs de CC, que foram menos impactantes. O resultado foi condizente com a literatura, pois uma de suas desvantagens comparada com outras tecnologias é o investimento inicial elevado, em que CINARA (2001) recomenda sua adoção apenas para vazões de projeto de até 40 L/s.

5.1.3.2 Quantitativos da Fase de Operação

5.1.3.2.1 Consumo Mensal de Energia Elétrica

- Consumo Mensal de Energia Elétrica em ETAs

A tecnologia DF₂ apresentou um elevado consumo de energia elétrica (mais impactante) que correspondeu a 5,4 vezes o consumo das ETAs de FiME (menos significativas), conforme a Figura 5.12. Esse resultado foi em relação às operações-padrão da DF₂, que exigiu um maior tempo de funcionamento das bombas para a lavagem tanto do FRDC quanto do FAAG (que necessita da introdução de água na interface e fluidificação do meio filtrante).

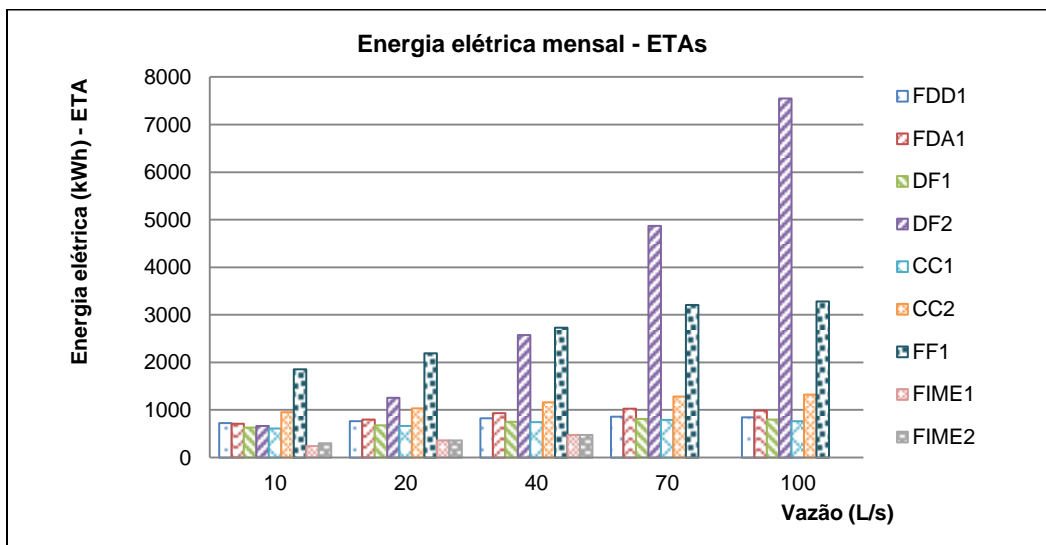


Figura 5.12 – Consumo mensal de energia elétrica para as ETAs, em função da vazão de projeto.

Durante a elaboração dos projetos básicos da DF₂ encontrou-se dificuldade no dimensionamento do sistema elevatório que atendesse as operações-padrão e condições de lavagem pelo fato destes serem bem distintos. Assim, os modelos das bombas foram escolhidos conforme os catálogos disponíveis e consultados, tentando minimizar ao máximo tais limitações.

Seguida da DF₂, a ETA de FF₁ foi a que apresentou maior consumo de energia elétrica. Esse resultado foi condizente, pois, como a remoção de uma parte das impurezas é realizada mediante a introdução de água de recirculação pressurizada, os equipamentos utilizados envolvem grande consumo de energia elétrica (Di Bernardo e Sabogal Paz, 2008).

Nas ETAs convencionais, como já esperado, a CC₁ apresentou menores valores (economia de até 42%) do que a CC₂ devido à diferença no tipo de flocladores, em que na CC₁ foram empregados os hidráulicos (tipo chicanas) ao invés dos mecânicos.

- Consumo Mensal de Energia Elétrica em ETRs

As lagoas de lodo da ETR₂ não causariam danos ao meio ambiente em termos de consumo de energia elétrica porque essas unidades normalmente não necessitam de tal recurso, assim, não foram apresentadas na Figura 5.13.

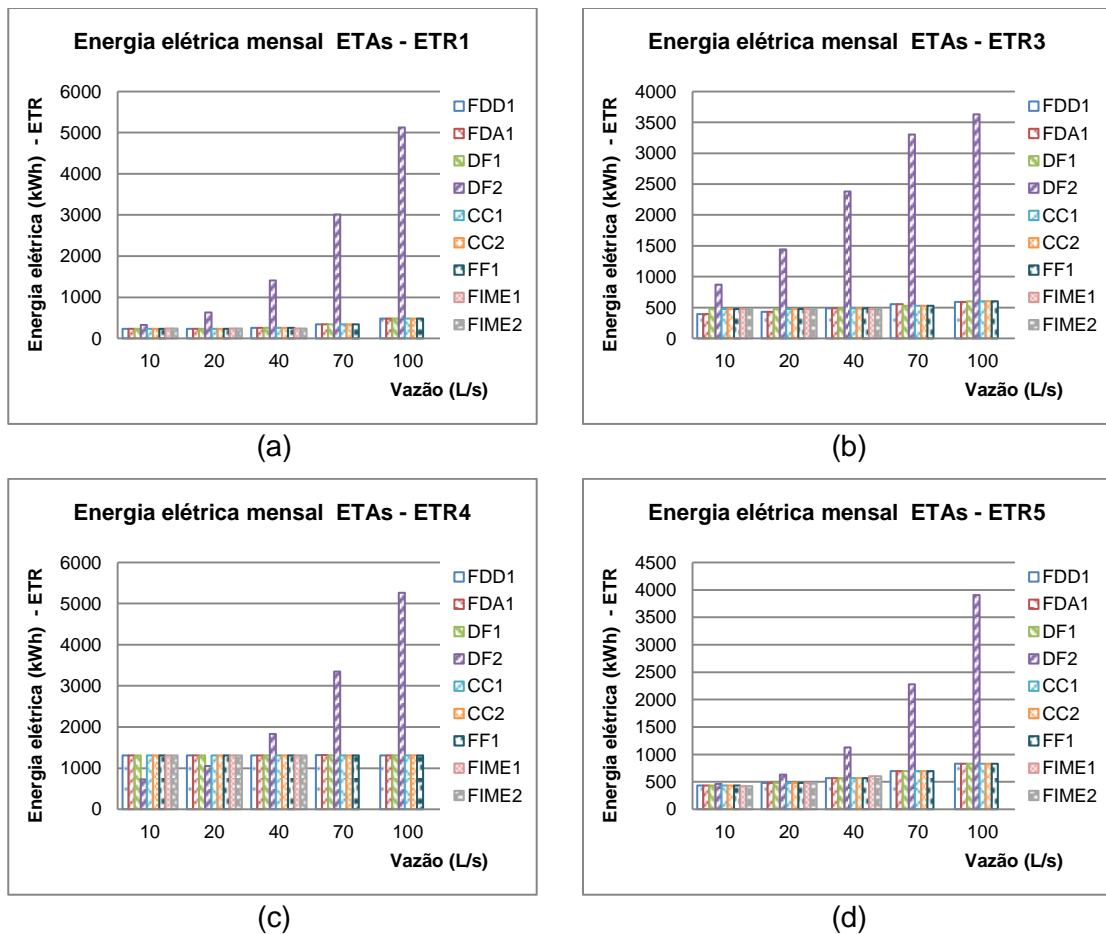


Figura 5.13 – Consumo mensal de energia elétrica para as ETRs considerando o tipo de ETA, em função da vazão de projeto.

A ETR₄ apresentou os maiores quantitativos conforme Figura 5.13 (item d). Além do sistema elevatório para bombeamento da água clarificada ou do lodo dos tanques de clarificação/adensamento, um adensador dinâmico helicoidal e uma centrífuga (desaguamento mecânico) foram adotados no tratamento dos resíduos. Ambos os equipamentos apresentam como desvantagem o consumo de energia. De fato, conforme

indicado pela literatura (Sabogal Paz, 2007), a centrífuga tem como desvantagem o elevado requerimento de energia elétrica, pois correspondeu a aproximadamente 30% do total consumido no sistema (DF2 + ETR4).

Devido ao volume elevado de água para lavagem das unidades, as ETRs associadas à tecnologia DF₂ tiveram um maior volume de resíduo para serem tratados. Consequentemente, os gastos de energia elétrica foram mais altos para a operação dos conjuntos elevatórios.

5.1.3.2.2 Consumo de Produtos Químicos

- Consumo de Produtos Químicos em ETAs

As FiMEs foram menos impactantes (Figura 5.14), pois segundo Reali et al. (2013) tal tecnologia não utiliza o processo de coagulação no tratamento. Com isso, a adição de sulfato de alumínio e cloreto férrico é dispensada.

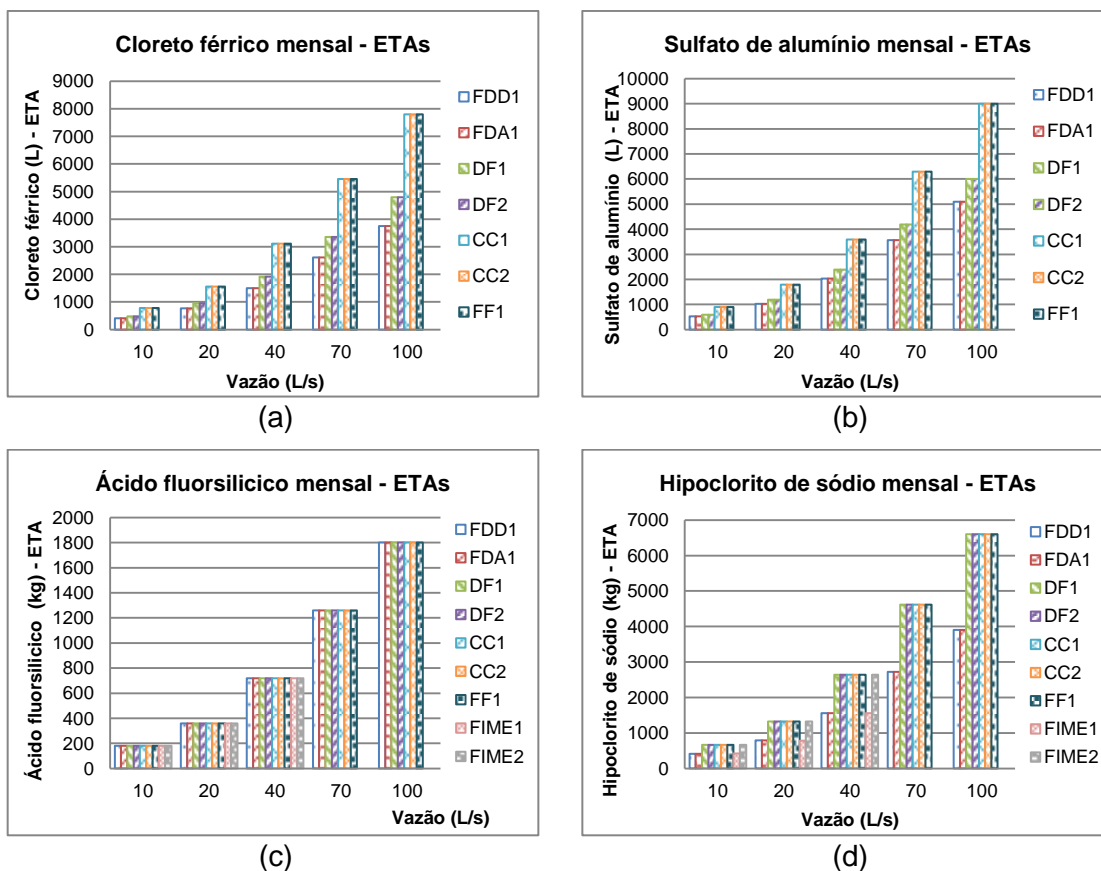


Figura 5.14 – Consumo mensal de produtos químicos para as ETAs, em função da vazão de projeto.

O consumo de produtos químicos no tratamento de água variou conforme a qualidade da água bruta adotada. Tecnologias mais simples como FDD₁, FDA₁ e FIME₁ que consideraram a “Água tipo 1” (melhor qualidade), necessitaram de uma menor dosagem de coagulantes e/ou desinfetantes.

Dentre as tecnologias CC, FF₁ e DF que adotaram a “Água tipo 2” (pior qualidade), a diferença foi em relação às dosagens de coagulantes (Figura 5.14, item a e item b). Como as ETAs de DF utilizam o mecanismo de adsorção/neutralização de cargas ao invés de varredura, mostraram-se mais vantajosas, em acordo às pesquisas apresentadas no PROSAB (Di Bernardo et al., 2003). O consumo de coagulantes na DF correspondeu à redução de até 38,5% de cloreto férrico e 33% de sulfato de alumínio mensalmente se comparadas com CC e FF₁.

- Consumo de Produtos Químicos em ETRs

Os polímeros foram utilizados apenas nas ETR₄ e ETR₅ em que apresentaram o mesmo consumo, conforme Figura 5.15.

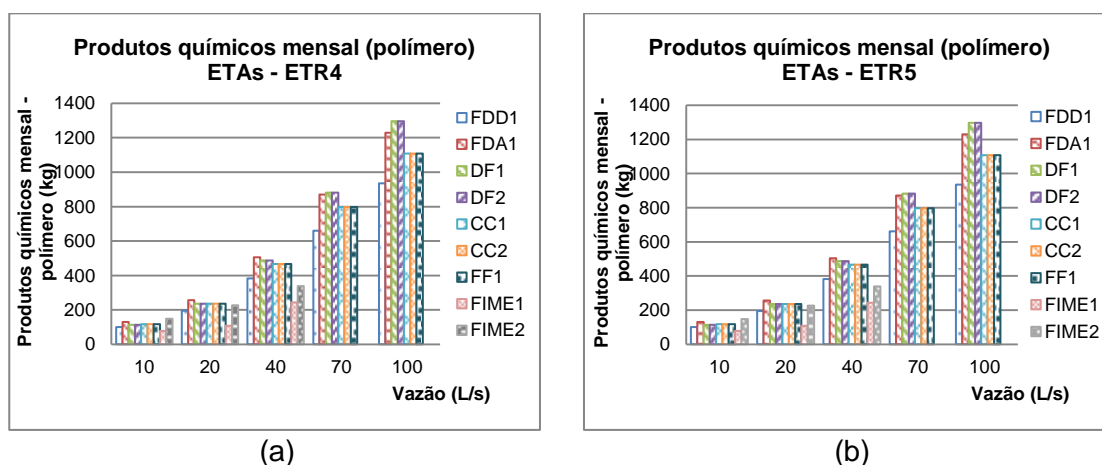


Figura 5.15 – Consumo mensal de produtos químicos nas ETR₄ e ETR₅ segundo o tipo de ETA, em função da vazão de projeto.

No adensamento e desaguamento na ETR₄ foram utilizadas unidades mecanizadas (a adensador dinâmico helicoidal e centrífuga). De acordo com Reali (1999), o condicionamento com polímeros é fundamental para que os resíduos adquiram condições adequadas para o ótimo desempenho do sistema de tratamento.

Em relação à ETR₅, como no desaguamento dos resíduos foi utilizada a membrana geotêxtil, a aplicação de aditivos (polímeros) foi indicada por Oliveira (2010) para aumentar a eficiência.

A quantidade de polímero utilizado dependeu do volume de resíduos provenientes da ETA. Portanto, devido às operações de lavagem dos filtros das tecnologias FDA₁ e DF, estas apresentaram quantitativos mais elevados.

5.1.3.2.3 Resíduos Líquidos - Água para Lavagem das Unidades

A tecnologia FIME₁ foi a que gerou um menor volume de resíduos líquidos (Figura 5.16). A lavagem dos filtros que normalmente demanda um volume considerável de água foi realizada com uma menor frequência, pois a duração da carreira de filtração adotada para os seus filtros foi bem maior que as outras tecnologias.

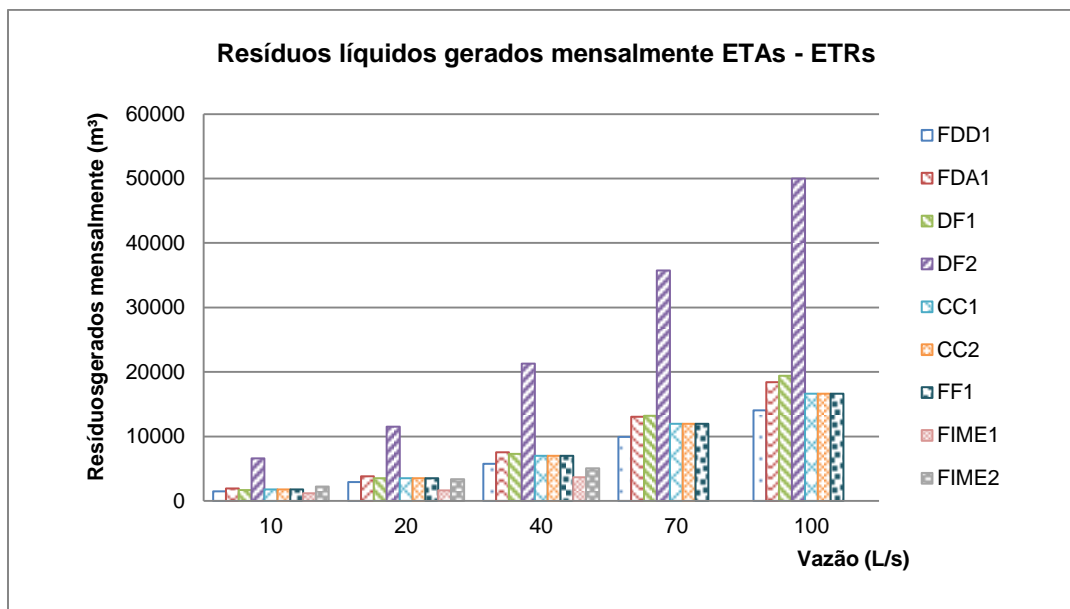


Figura 5.16 – Resíduos líquidos gerados nas ETAs, em função da vazão de projeto.

A DF₂ foi a mais impactante (aproximadamente seis vezes o volume gerado pela FIME₁) devido às operações adotadas para os filtros. Nesta tecnologia a carreira de filtração foi mais curta (36h se comparada ao FAP com uma semana) e os FAAG exigiram a execução de descargas de fundo intermediárias – DFIs.

Na etapa de dimensionamento das ETRs correspondentes à ETA DF₂, foi observado que a programação da lavagem das unidades deve ser bem definida. Esta pode acabar influenciando vários fatores como: i) capacidade mínima necessária das unidades; ii) tempo de bombeamento e sedimentação dos resíduos e; iii) seleção do conjunto elevatório que atenda as condições de funcionamento.

5.1.3.2.4 Resíduos sólidos gerados anualmente - ETRs

As tecnologias FDD₁, FDA₁ e FiME₁ foram as que menos geraram resíduos sólidos pelo fato de adotarem uma água de melhor qualidade, ou seja, com menor presença de impurezas (Figura 5.17). Em contrapartida, com a adoção da “Água tipo 2” (pior qualidade), o CC₁, CC₂ e FF₁ apresentaram um mesmo volume de resíduos sólidos que correspondeu a 6,4 vezes o volume das que adotaram “Água tipo 1”.

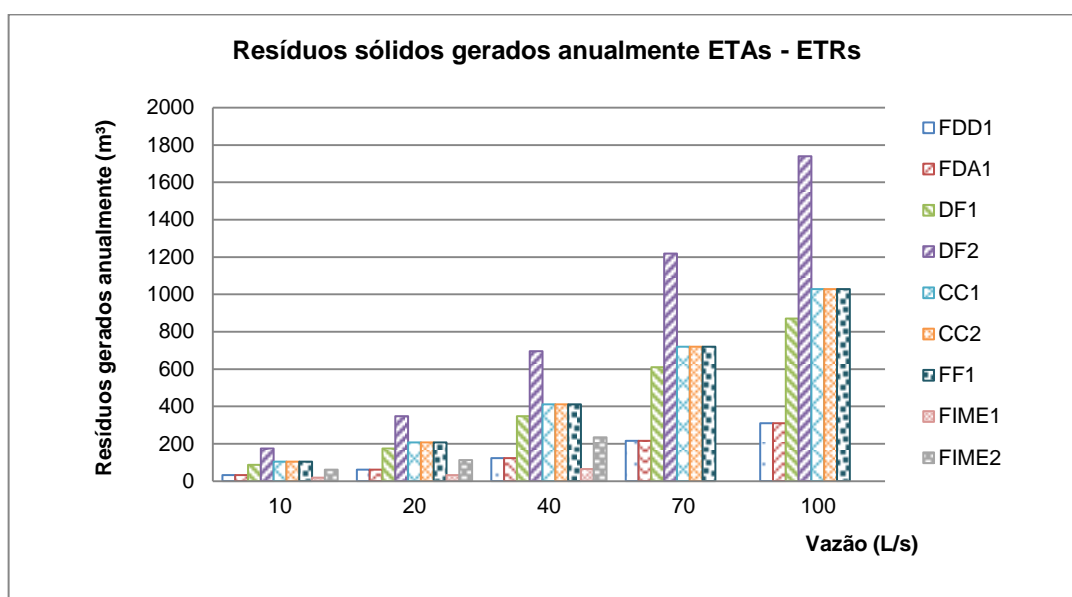


Figura 5.17 – Resíduos sólidos gerados anualmente nas ETRs segundo o tipo de ETA, em função da vazão de projeto.

Nas tecnologias DF₁ e DF₂ a estimativa das concentrações de sólidos suspensos totais (SST) na água pré-filtrada e água filtrada deveria ser a mesma, uma vez que consideraram a mesma água bruta e apresentaram unidades semelhantes de tratamento.

Contudo, foram adotados valores diferentes de turbidez da água pré-filtrada – 5 uT na DF₁ e na DF₂, de 10 uT. Tal distinção foi porque segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2007) a DF₂ possui uma maior remoção de risco microbiológico por apresentar um meio filtrante com menor granulometria. O mesmo ocorreu para a água filtrada, em que na DF₂ foi considerada o valor de turbidez de 0,5 uT ao invés de 1,0 uT (adotado na DF₁) conforme o novo Padrão de Potabilidade estabelecido pela Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde.

Com essas diferenças de parâmetros, ocorreu um aumento de massa de sólidos retidos nos filtros descendentes da DF₂, que conseqüentemente, fez com que o volume de resíduos sólidos fosse o dobro do volume obtido na DF₁. Portanto, a qualidade da água pré-

filtrada no FAAG e o novo Padrão de Potabilidade influenciaram diretamente nos resíduos sólidos gerados, logo, no dimensionamento das unidades das ETRs na DF₂.

5.1.4 Análise da Tendência dos Quantitativos

5.1.4.1 Fase de Construção

5.1.4.1.1 Área Requerida para ETAs e ETRs

Na tomada de decisão quanto à tecnologia a ser adotada, a FiME não seria a mais indicada quando a disponibilidade de terreno for limitada. Conforme a

Figura 5.18, foi a alternativa que mais necessitou de área, principalmente quando combinada com ETR₂.

Por ser uma tecnologia mais simples com um número reduzido de unidades, a FDD₁ se mostrou mais vantajosa, sobretudo com a adoção da ETR₁ para o tratamento dos resíduos. Conforme o gráfico, o requerimento de área apresentou uma oscilação considerável.

Em relação ao tratamento dos resíduos, a ETR₃ se destacou por ter sido a alternativa com menor requerimento de área para a maioria dos projetos avaliados (Figura 5.19). As tecnologias mais impactantes foram as ETR₂ e ETR₅. No caso da primeira, o resultado já era esperado como discutido anteriormente, pois os resíduos foram encaminhados para lagoas de lodo que ocupam grandes áreas. Na ETR₅ que utiliza *bags* de geotêxtil, provavelmente o quantitativo esteve relacionado aos critérios adotados pelo projetista na disposição das unidades de tratamento.

5.1.4.1.2 Escavações em ETAs e ETRs

No tratamento de água, a tecnologia que exigiu menos escavações foi a FDA₁ 10 L/s (Figura 5.20), provavelmente porque não foram construídos reservatórios de água e tanque de contato enterrados como nas outras ETAs.

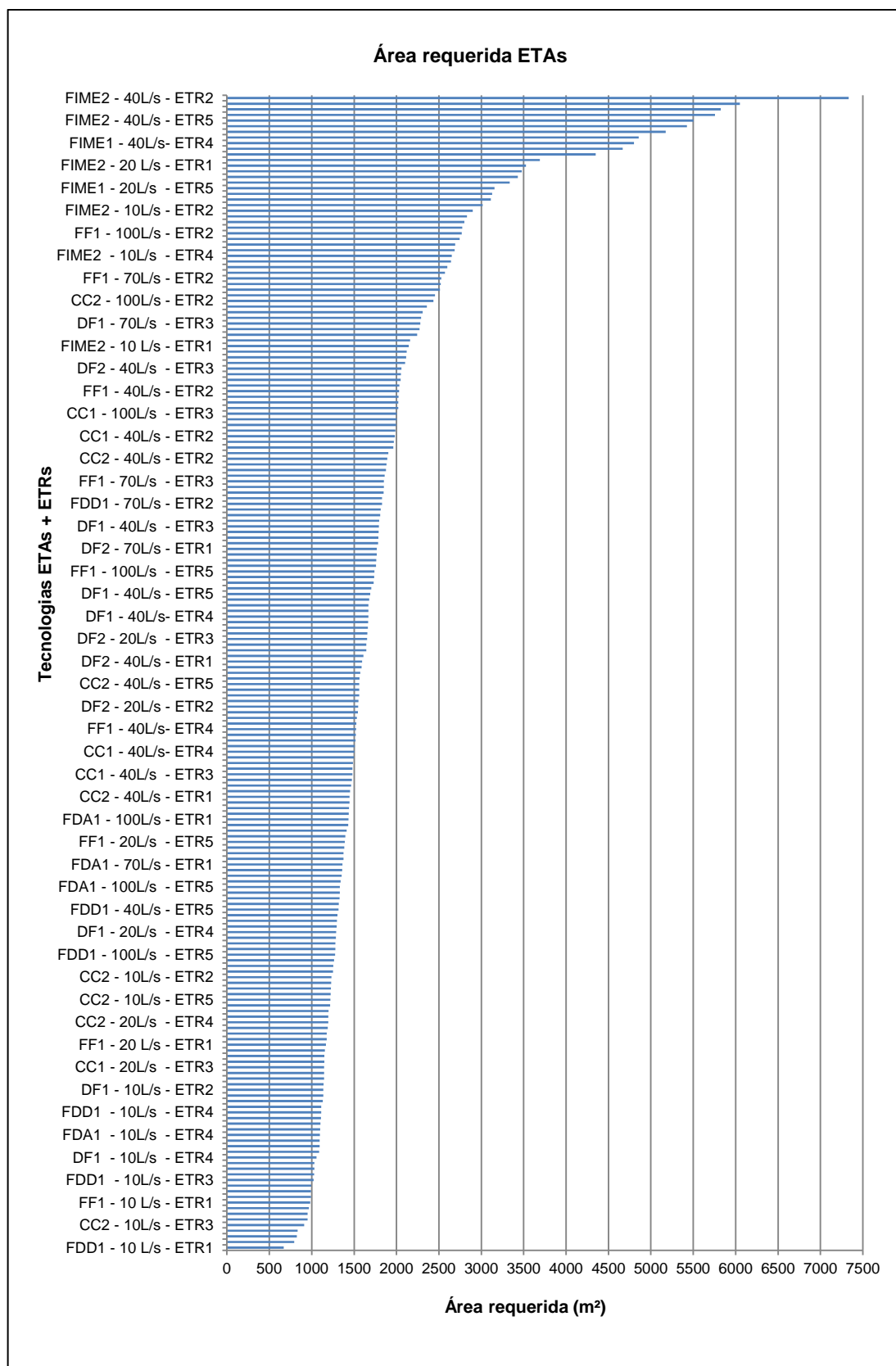


Figura 5.18 – Quantitativos de área requerida para as ETAs de todos os projetos considerados no estudo.

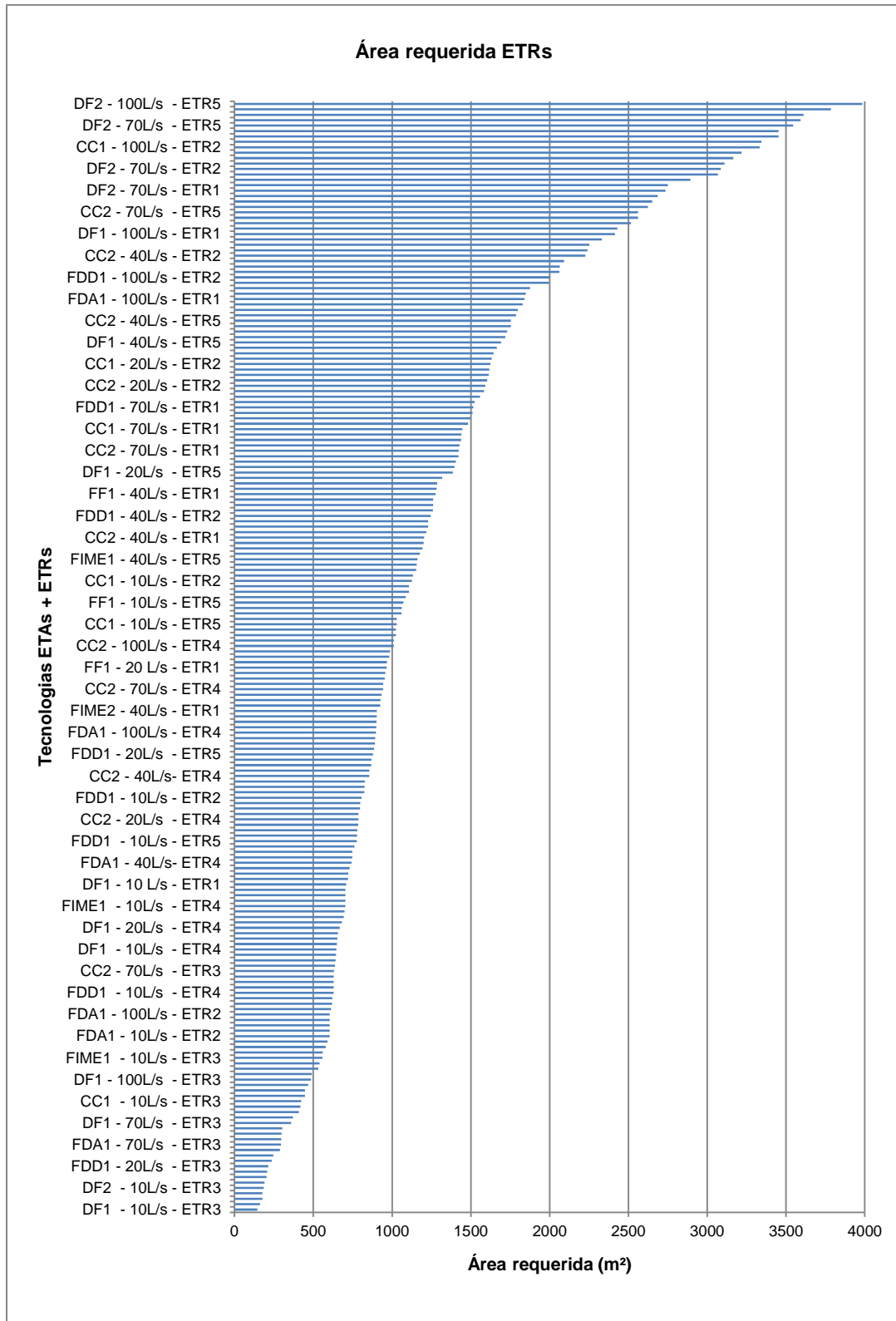


Figura 5.19 – Quantitativos de área requerida para as ETRs de todos os projetos considerados no estudo.

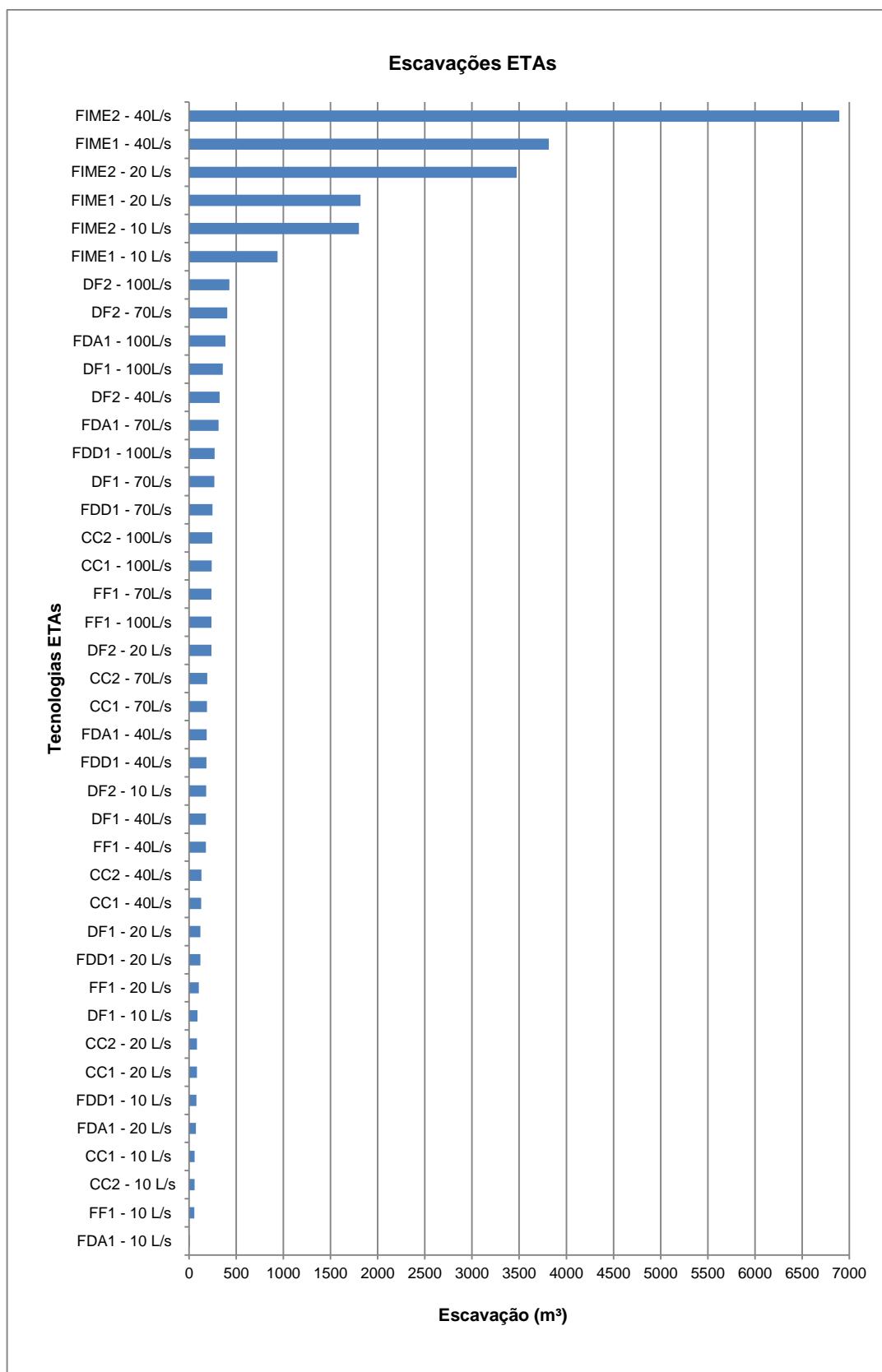


Figura 5.20 – Quantitativo de escavações para as ETAs de todos os projetos considerados no estudo.

A maior parte das tecnologias não ultrapassou 500 m³ de escavação. Em compensação, o quantitativo da FIME 40L/s correspondeu a aproximadamente 1160 vezes

o valor da menos impactantes e; chegou a ultrapassar o volume de escavação até mesmo de tecnologias com vazões bem mais elevadas.

A maioria das ETAs com ETR_3 foram as que exigiram menor volume de escavação, seguida da ETR_4 (Figura 5.21). Em contrapartida, a ETR_2 (lagoas de lodo) foi a mais impactante. Nesse sentido, o sistema DF_2+ETR_2 com vazão de projeto de 10 L/s apresentou um volume de escavação bem maior que outras ETAs de 100 L/s (por exemplo, a FDD_1). Isso se deve ao grande volume de resíduos gerados na lavagem dos seus filtros.

5.1.4.1.3 Consumo de Concreto em ETAs e ETRs

A tecnologia FiME foi a que obteve o maior consumo de concreto, como já discutido anteriormente. De acordo com a Figura 5.22, tal afirmação se manteve mesmo quando comparada às ETAs de DF com vazão de projeto de 100 L/s.

A ETA FDD_1 com vazão de 10 L/s, independentemente da alternativa adotada para a ETR, foi a menos impactante, seguida da FDA_1 10 L/s. Ou seja, as tecnologias com um menor número de unidades exigiram um menor volume de concreto.

Conforme a Figura 5.23, a ETR_3 proporcionou maior vantagem quanto ao consumo de concreto, pois este foi utilizado apenas para a construção da base de seu tanque de regularização de vazão. A ETR_1 se mostrou a tecnologia mais impactante em relação ao consumo de concreto por possuir dois tanques de adensamento/clarificação em sua configuração. Como também apresentaram tais unidades de tratamento, as ETR_4 e ETR_5 vêm subsequentemente.

5.1.4.1.4 Consumo de Chapa de Aço em ETAs e ETRs

Dentre as tecnologias, as FiMEs não utilizaram chapa de aço para construção das suas unidades. Neste caso, os tanques de regularização de vazão, correspondentes à ETR_3 , foram construídos com concreto ao invés de chapa de aço. As ETAs de CC e DF, por possuírem um maior número de unidades de tratamento, foram as que tiveram um maior consumo do material, conforme Figura 5.24 (item a).

Em relação às ETRs, o material foi necessário em maior quantidade para a construção dos tanques de regularização da tecnologia DF_2 , que gerou um grande volume de resíduos na lavagem das suas unidades (Figura 5.24, item b).

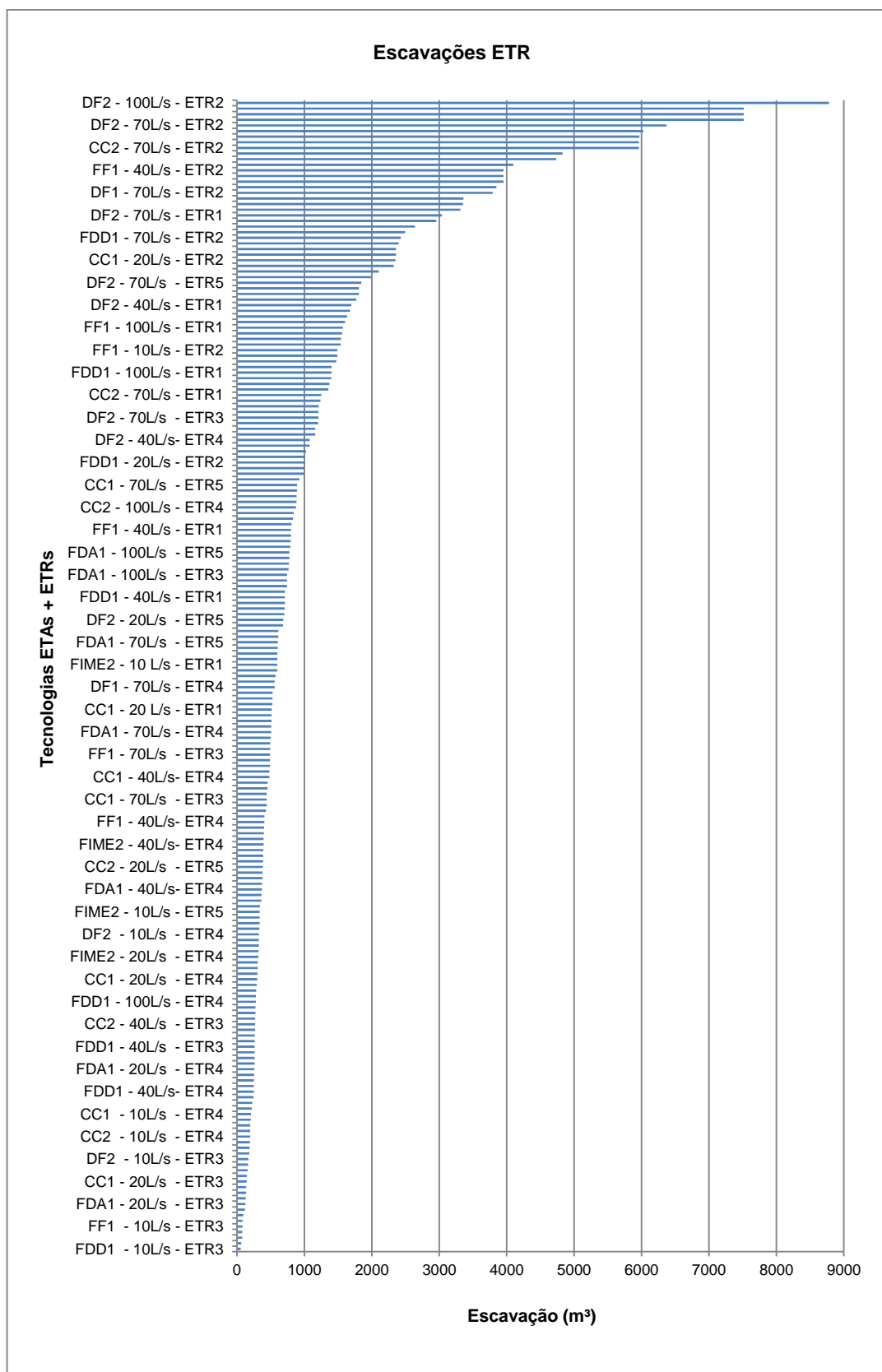


Figura 5.21 – Quantitativo de escavações para as ETRs de todos os projetos considerados no estudo.

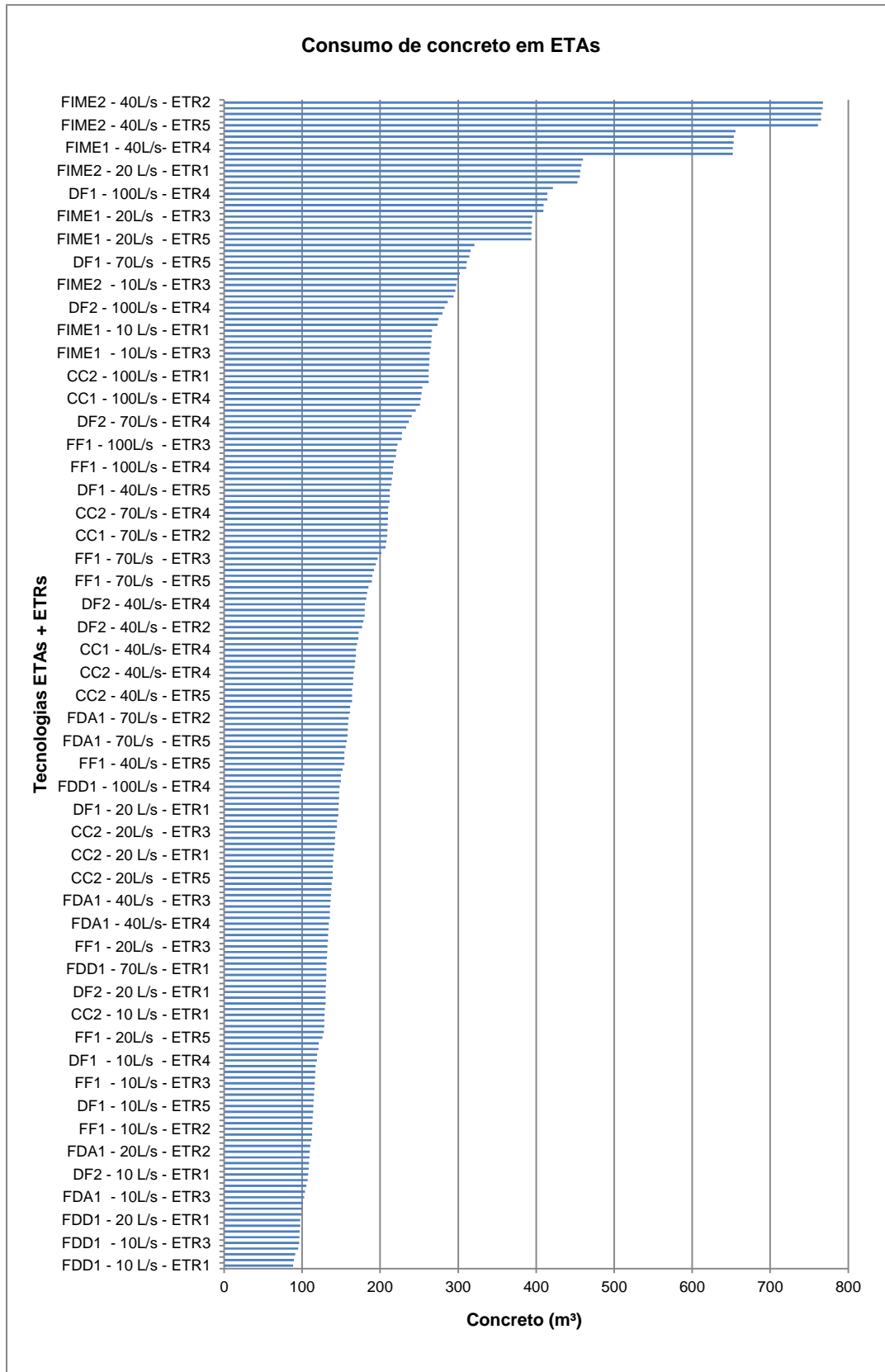


Figura 5.22 – Quantitativo de consumo de concreto para as ETAs de todos os projetos considerados no estudo.

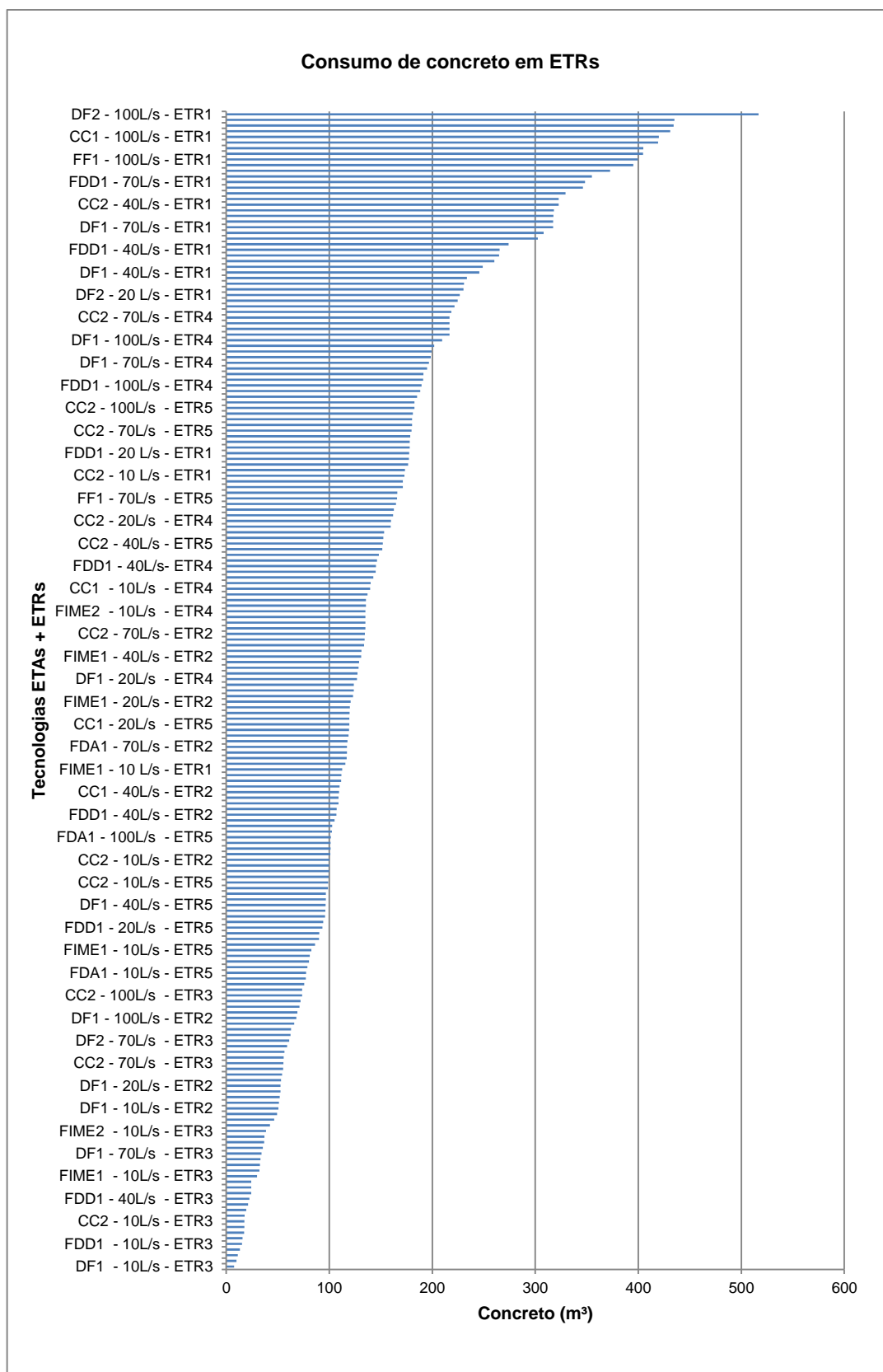
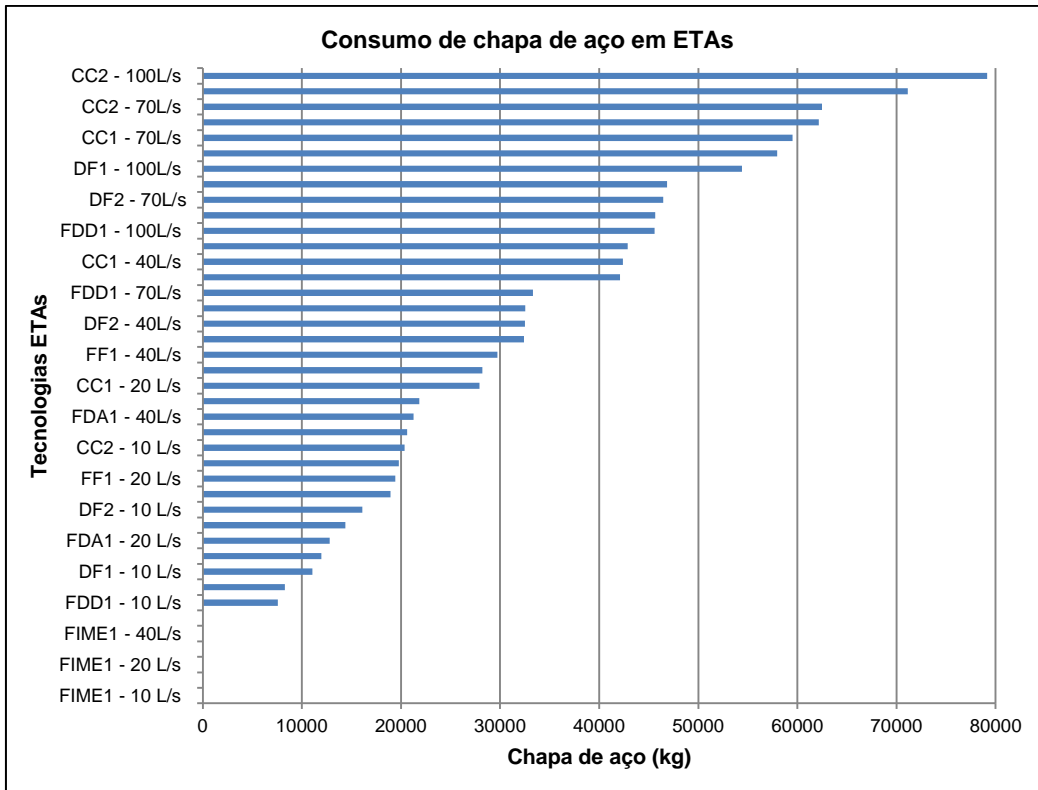
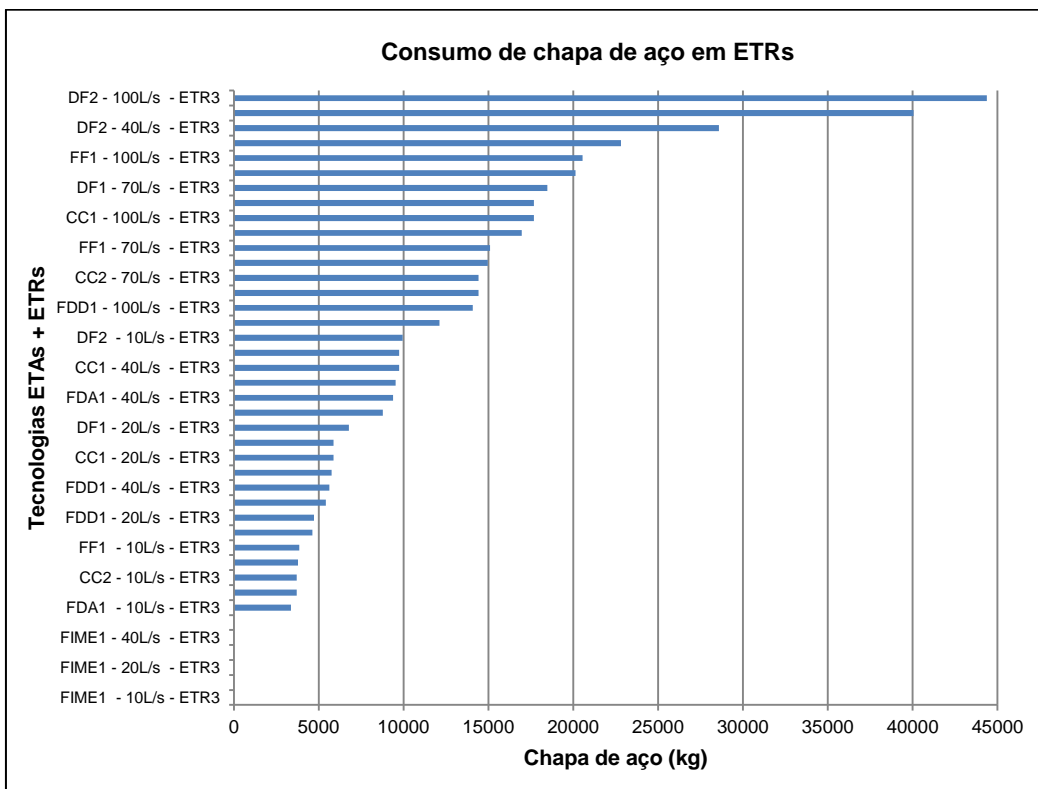


Figura 5.23 – Quantitativo de consumo de concreto para as ETRs de todos os projetos considerados no estudo.



(a)



(b)

Figura 5.24 – Quantitativo de consumo de chapa de aço para as ETAs e ETRs de todos os projetos considerados no estudo.

5.1.4.1.5 *Consumo de Meio filtrante e Camada suporte*

Na FiME, como a remoção das impurezas é realizada progressivamente apenas pela passagem da água em diferentes filtros, o consumo de areia e pedregulhos para o meio filtrante e camada suporte foi bem elevada.

Conforme Figura 5.25 pode-se observar a grande diferença em relação às outras ETAs. Foi o caso das ETAs de CC, que não necessitaram de um volume elevado porque possuem os filtros rápidos descendentes projetados com reduzida espessura do leito (0,45 m de camada suporte e 0,7 m de meio filtrante).

5.1.4.2 Fase de Operação

5.1.4.2.1 *Consumo Mensal de Energia Elétrica em ETAs e ETRs*

A maioria dos projetos ficou na faixa de até 1000 kWh de consumo mensal de energia elétrica de acordo com a Figura 5.26. A tecnologia FiME₁ com vazão de 10 L/s foi a menor consumidora.

Devido à necessidade de operações de limpeza mais frequentes de seus filtros, a DF₂ 100 L/s obteve um consumo significativamente elevado (31 vezes maior que a FiME₁ 10 L/s). Com isso, ela não seria uma tecnologia apropriada para regiões onde possuem limitações na disponibilidade de energia elétrica.

No tratamento dos resíduos, a ETR₂ seria a mais indicada quando a disponibilidade de energia elétrica for limitada e existir disponibilidade de área (Figura 5.27). Com um consumo elevado de energia elétrica pelos equipamentos, principalmente no funcionamento da centrífuga, a ETR₄ foi a tecnologia mais impactante.

Pôde-se observar também que não ocorreu variação no consumo de energia elétrica nas ETRs quando se considerou uma mesma vazão de projeto, com exceção apenas nas ETRs da DF₂ que foram sempre superiores.

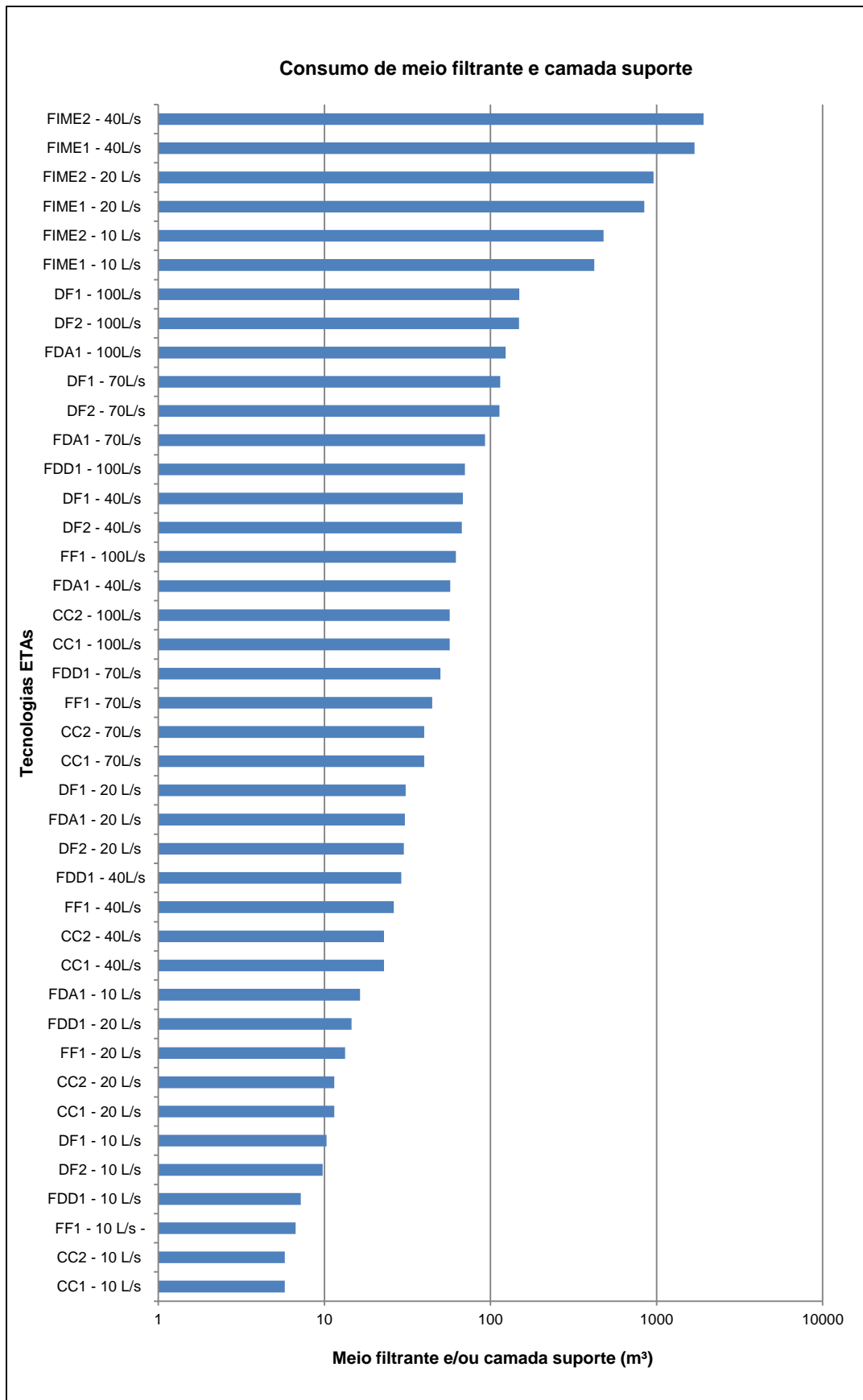


Figura 5.25 – Quantitativo de consumo de meio filtrante e/ou camada suporte para as ETAs e ETRs de todos os projetos considerados no estudo.

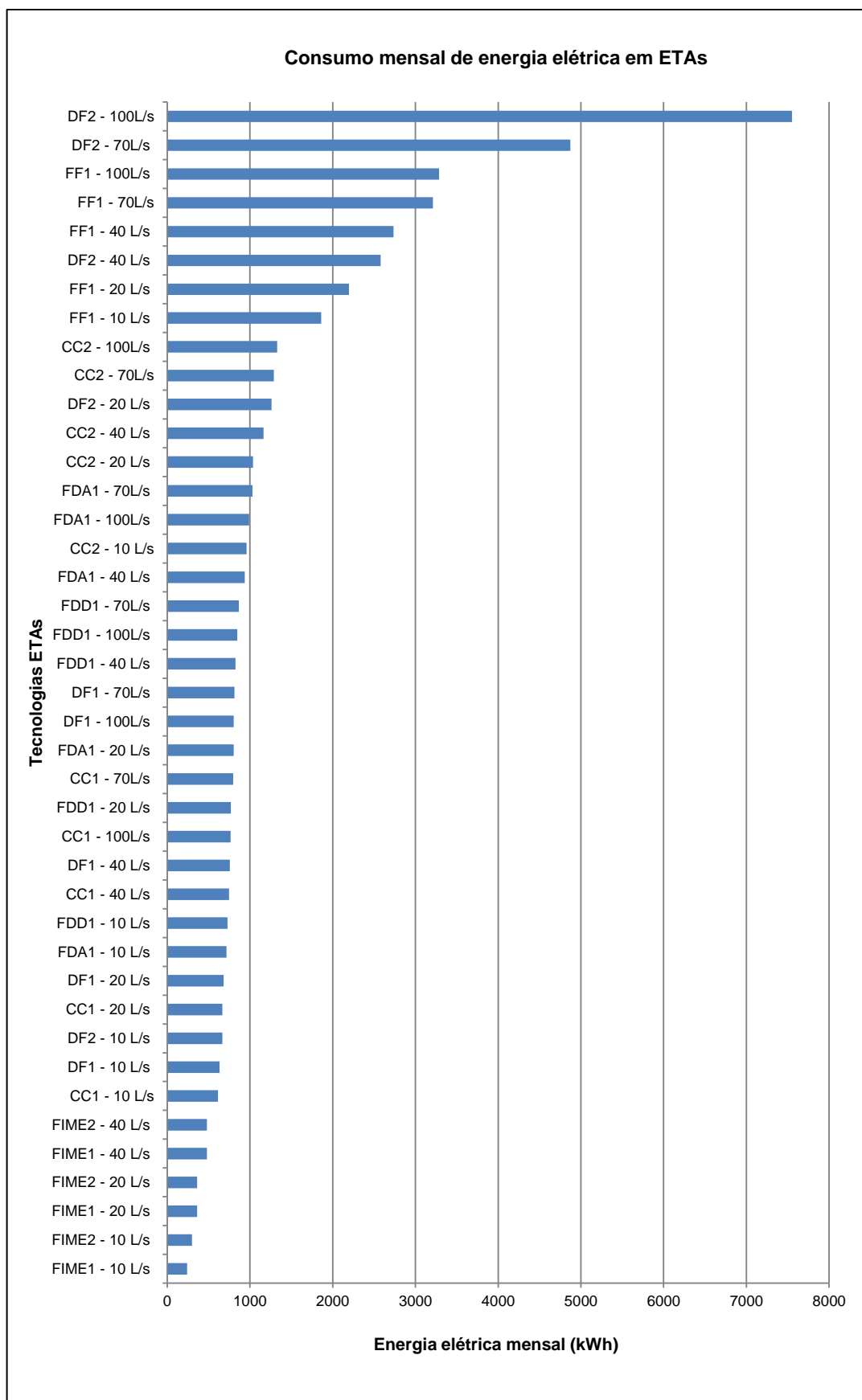


Figura 5.26 – Quantitativo de consumo mensal de energia elétrica para as ETAs de todos os projetos considerados no estudo.

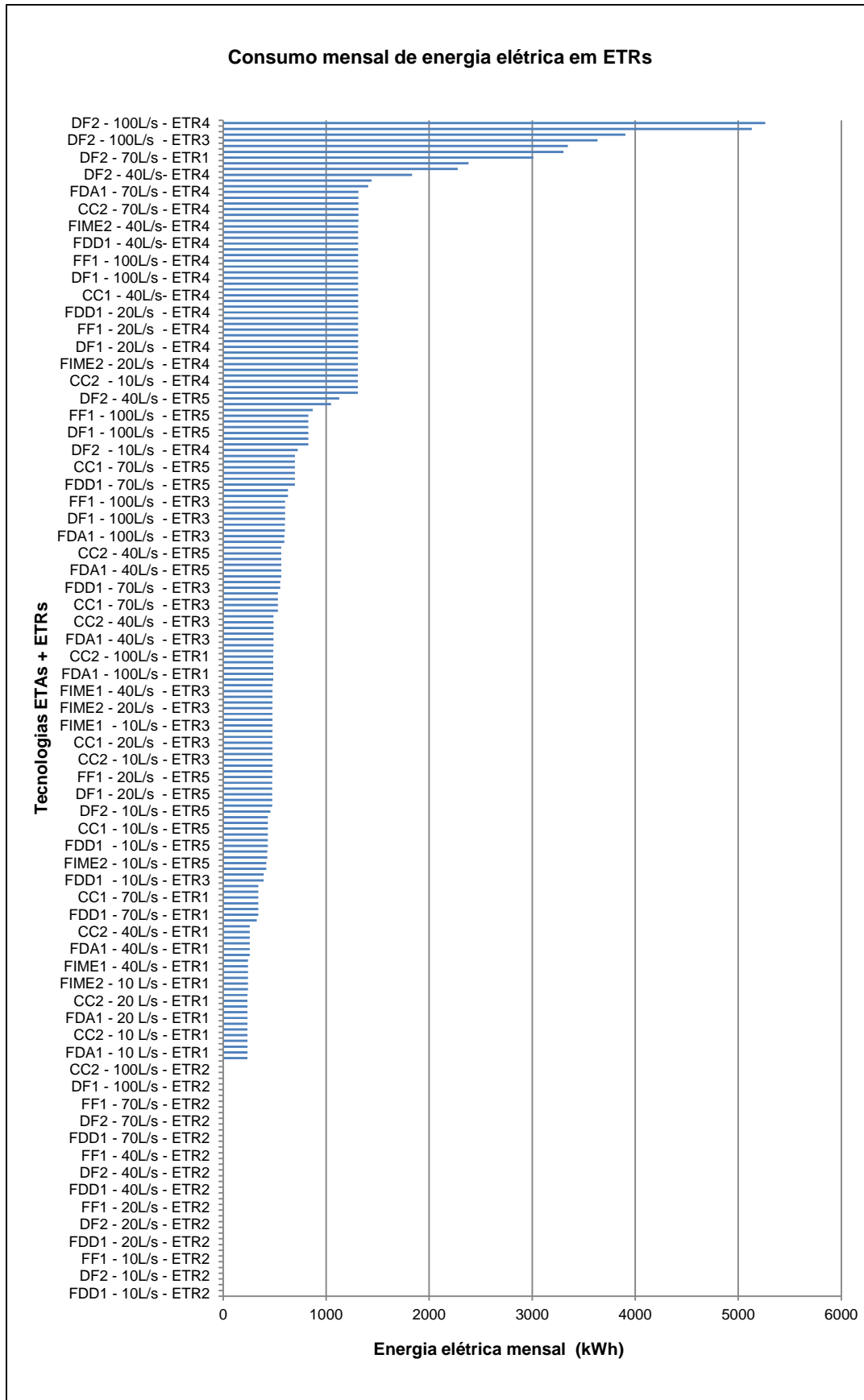


Figura 5.27 – Quantitativo de consumo mensal de energia elétrica para as ETRs de todos os projetos considerados no estudo.

5.1.4.2.2 Consumo de produtos químicos em ETAs e ETRs

Conforme os gráficos das Figura 5.28 a Figura 5.31, pôde-se notar que o consumo de produtos químicos nas ETAs foi maior em função do aumento da vazão de projeto.

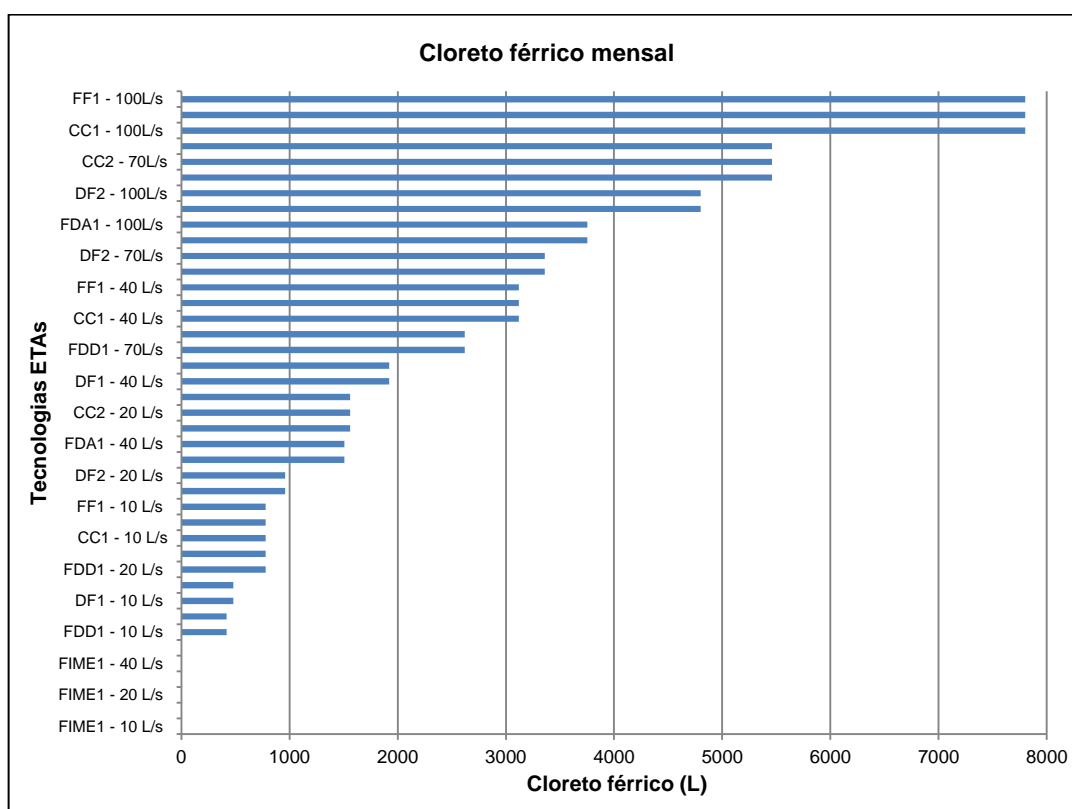


Figura 5.28 – Quantitativo de consumo mensal de cloreto férrico nas ETAs de todos os projetos considerados no estudo.

As tecnologias que adotaram uma mesma qualidade de água bruta apresentaram comportamentos semelhantes. A qualidade da água bruta se mostrou um fator importante a se considerar, pois ela tem influência direta no consumo de produtos químicos nas ETAs.

As FiMEs foram menos impactantes em termos de consumo de produtos químicos uma vez que elas não necessitam de coagulantes no tratamento da água.

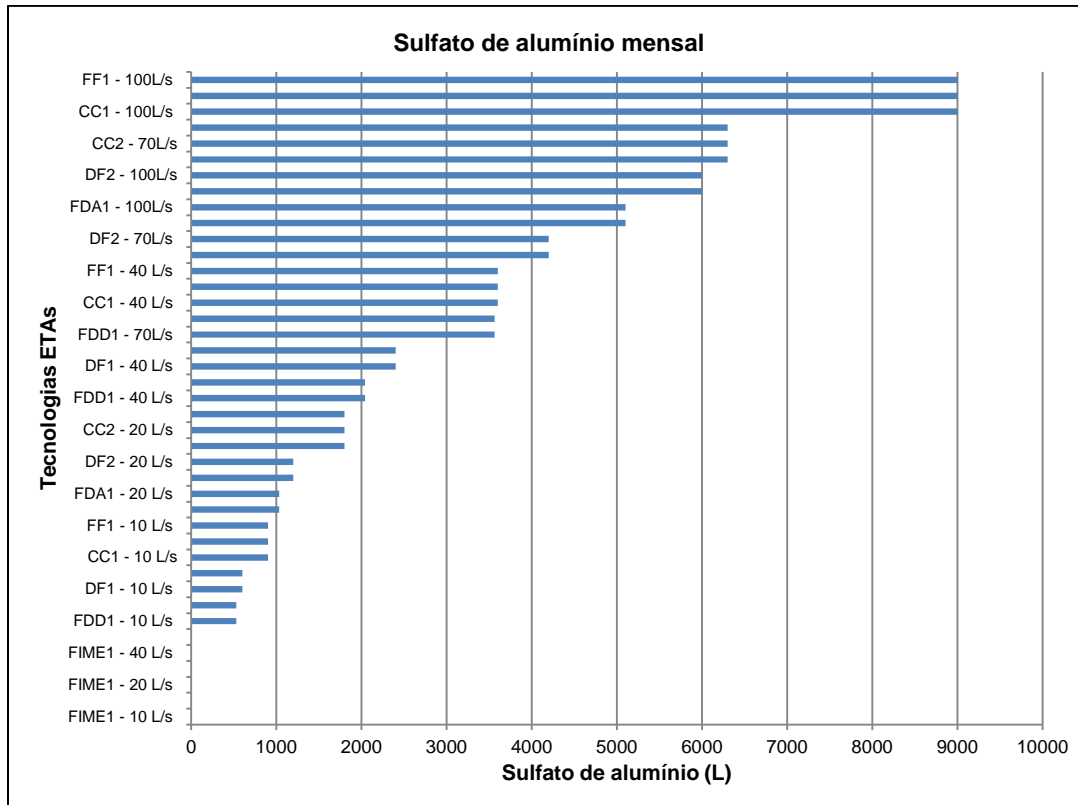


Figura 5.29 – Quantitativo de consumo mensal de sulfato de alumínio nas ETAs de todos os projetos considerados no estudo.

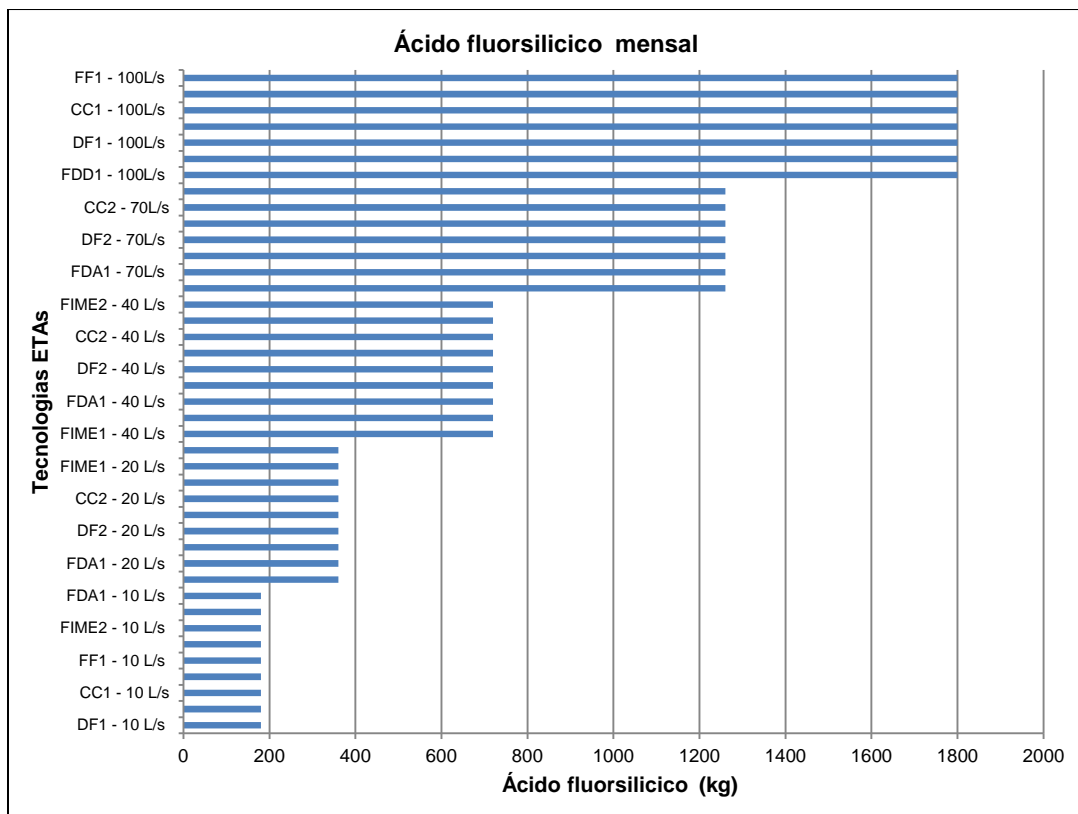


Figura 5.30 – Quantitativo de consumo mensal de ácido fluorsilícico nas ETAs de todos os projetos considerados no estudo.

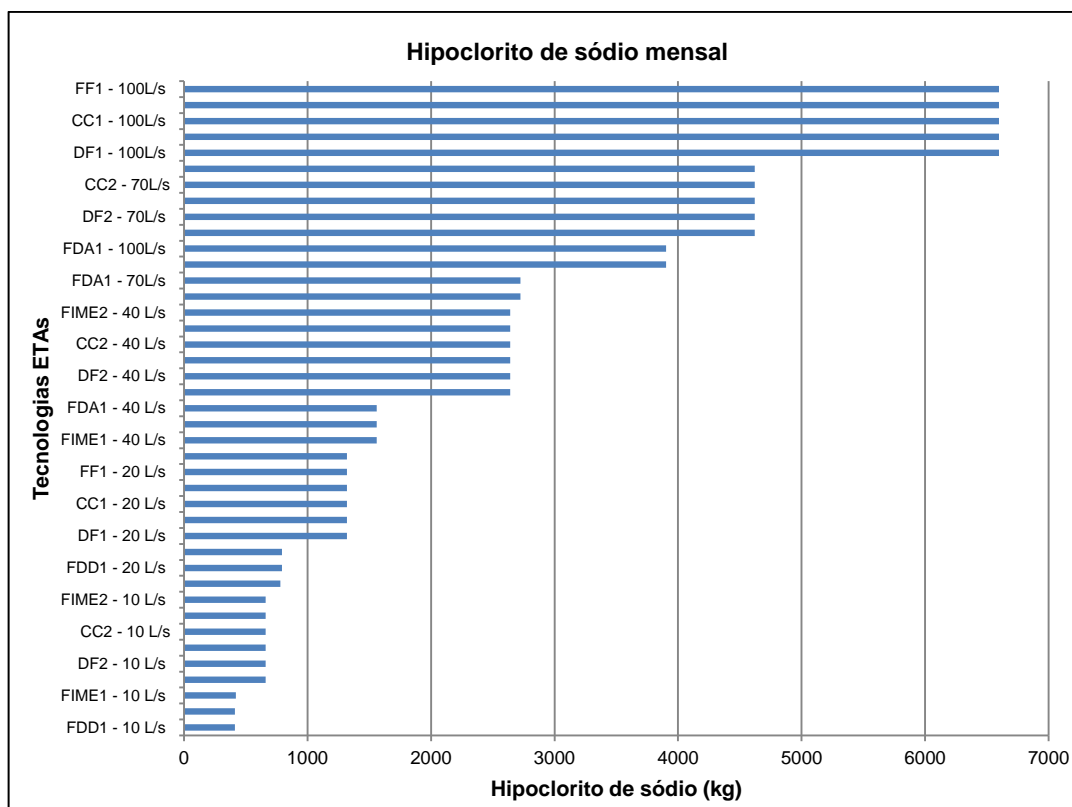


Figura 5.31 – Quantitativo de consumo mensal de hipoclorito de sódio nas ETAs de todos os projetos considerados no estudo.

No tratamento dos resíduos, o volume de polímeros adicionado não variou entre as tecnologias que o adotaram - ETR₄ e ETR₅ (Figura 5.32). Pôde-se notar que o consumo foi maior conforme o aumento da vazão de projeto. Verificou-se também uma relação com o volume de resíduos gerados, pois a DF₂ foi a tecnologia com maior geração e conseqüentemente, foi a que mais consumiu polímeros durante o tratamento dos resíduos.

5.1.4.2.3 Geração mensal de água de lavagem e anual de resíduos sólidos

O volume de resíduos líquidos esteve relacionado às operações-padrão adotadas principalmente nos filtros, com as frequências e tempo de lavagem. Nesse sentido, a tecnologia DF₂ foi a maior geradora de resíduos.

Os meios filtrantes utilizados influenciaram significativamente nos processos de limpeza dos filtros, que foi o caso do FAAG e FAP da tecnologia de DF; o qual, o primeiro apresentou um consumo e conseqüente geração de resíduos líquidos expressivamente mais elevados.

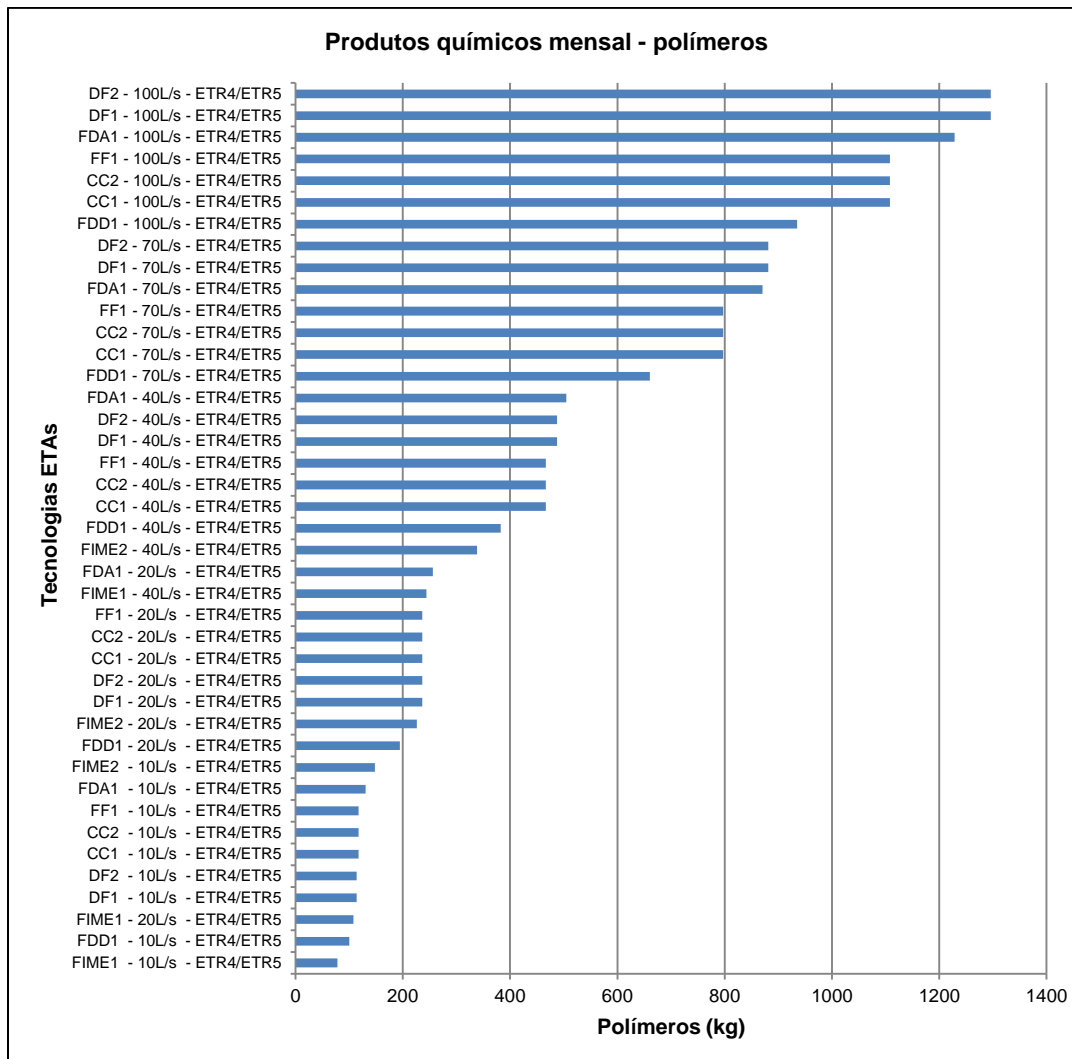


Figura 5.32 – Quantitativo de consumo mensal de polímeros na ETR4 e ETR5 de todos os projetos considerados no estudo.

Conforme a Figura 5.33, a maioria das ETAs ficou abaixo de 20.000m³ de resíduos líquidos gerados mensalmente. Em contrapartida, as ETRs associadas à ETA de DF₂ geraram um volume entre 20.000 m³ e 50.000 m³.

Pôde-se observar que a quantidade de resíduos sólidos variou conforme a qualidade da água bruta, mas principalmente, em função dos valores de turbidez adotados para a água pré-filtrada e definidos para a água filtrada pelo Padrão de Potabilidade vigente. Tais critérios de qualidade da água influenciaram no consumo de produtos químicos (coagulação) nas ETAs e conseqüentemente, refletiu no volume de resíduos gerados.

A Figura 5.34 mostra que as ETAs que adotaram a água bruta de melhor qualidade, anualmente, não geraram resíduos sólidos com volume acima de 400 m³. As ETAs que trataram uma água bruta com maior presença de impurezas tenderam a gerar volume de resíduos na faixa entre 200 a 1.700 m³.

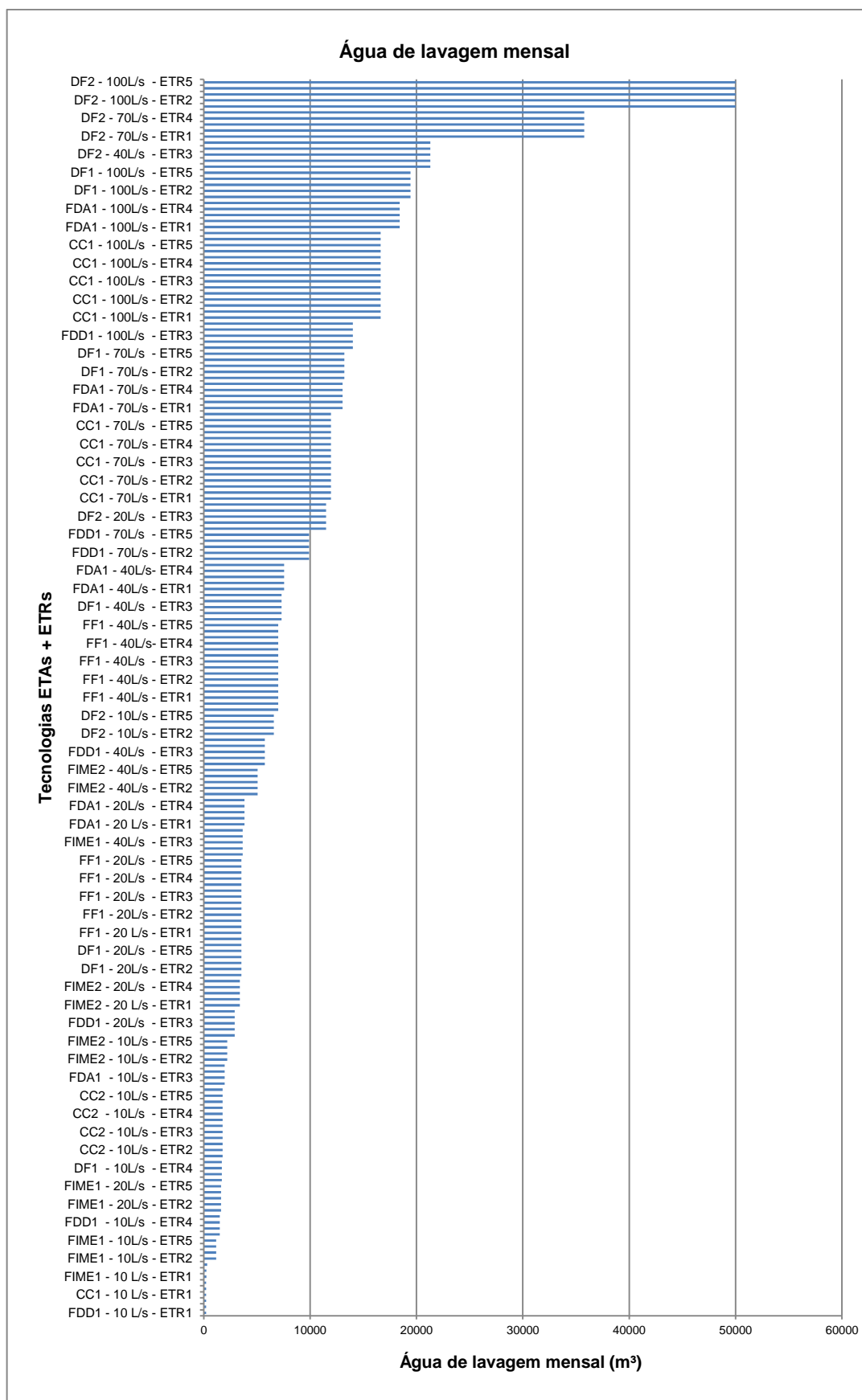


Figura 5.33 – Quantitativo de geração mensal de água de lavagem das ETAs de todos os projetos considerados no estudo.

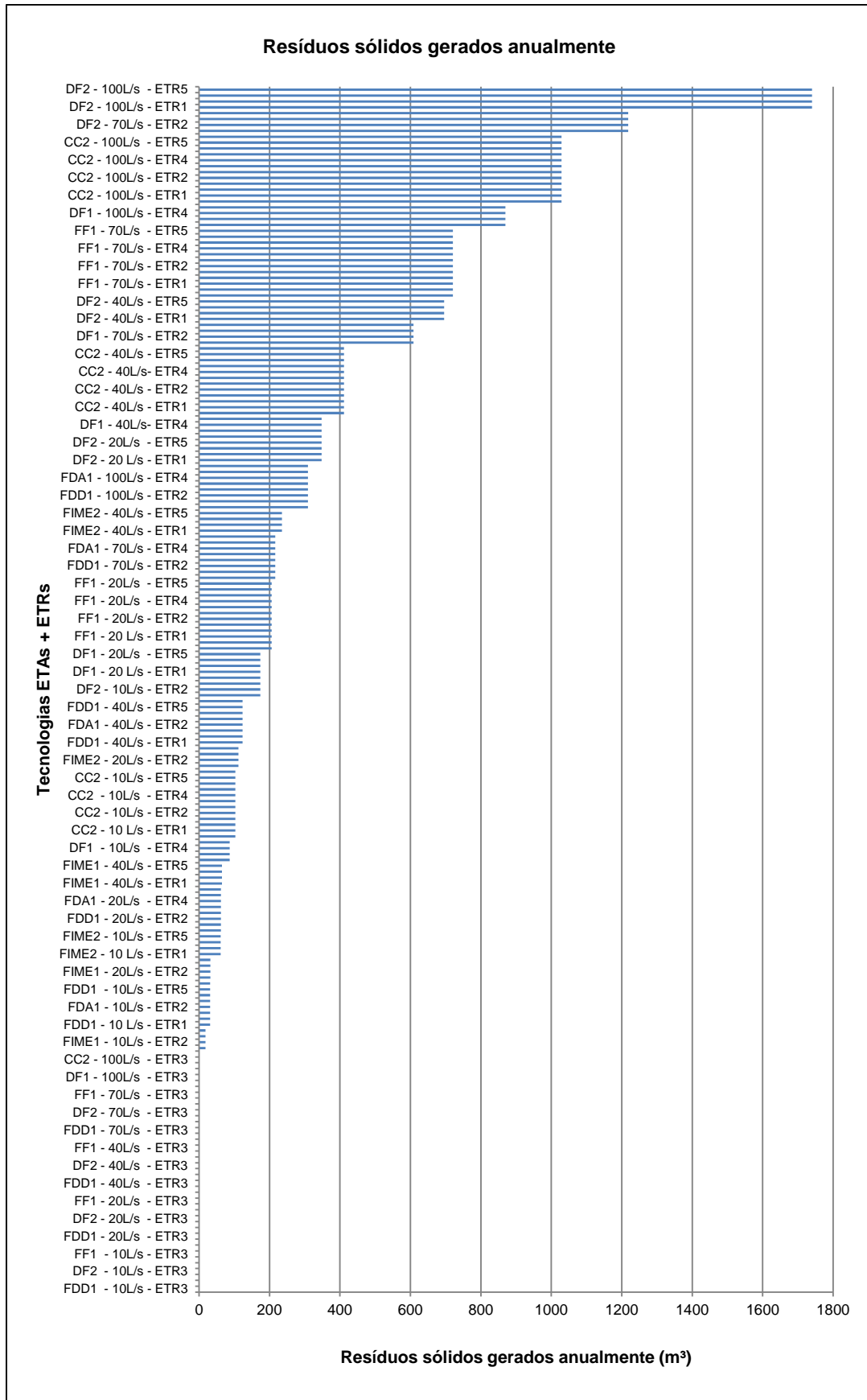


Figura 5.34 – Quantitativo de geração anual resíduos sólidos das ETRs de todos os projetos considerados no estudo.

5.2 ELABORAÇÃO DO MÉTODO DE SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA A PARTIR DA PERSPECTIVA AMBIENTAL

5.2.1 Elaboração do Método em Função do Critério de Impacto Ambiental Mínimo – Adaptação do Método *Battelle-Columbus*

Devido à dificuldade na aplicação do Método *Battelle-Columbus* conforme ressaltado por Sánchez (2008), adaptações e simplificações foram necessárias para o desenvolvimento do método de seleção de tecnologias. As adaptações ocorreram principalmente em relação à estimativa da magnitude de cada aspecto ambiental (M) e, posteriormente, na obtenção das funções de transformação.

5.2.1.1 Estimativa da Magnitude de Cada Aspecto Ambiental e Definição das Funções de Transformação

A estimativa da magnitude de cada aspecto ambiental foi baseada nos quantitativos das ETAs e ETRs. No Método *Battelle-Columbus* o índice de qualidade ambiental – QA foi definido na escala de 0 (ambiente extremamente degradado) a 1 (alta qualidade ambiental); ao contrário da magnitude, que o valor zero corresponde aos impactos “sem significância” e 1, para os efeitos ambientais “extremamente significantes”. Assim, foi estabelecida a Equação 5.1 a seguir:

$$QA = 1 - M$$

Equação 5.1

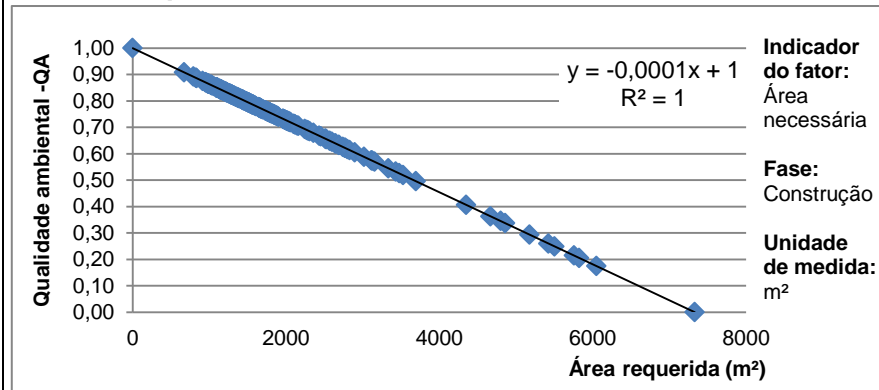
Em que:

QA: Índice de qualidade Ambiental

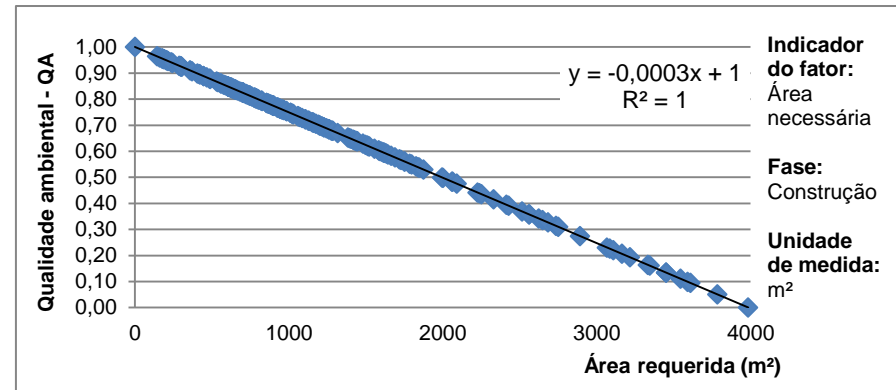
M: magnitude do aspecto ambiental

As funções de transformação foram determinadas conforme apresentadas nas Figura 5.35 a Figura 5.39.

1. Área requerida

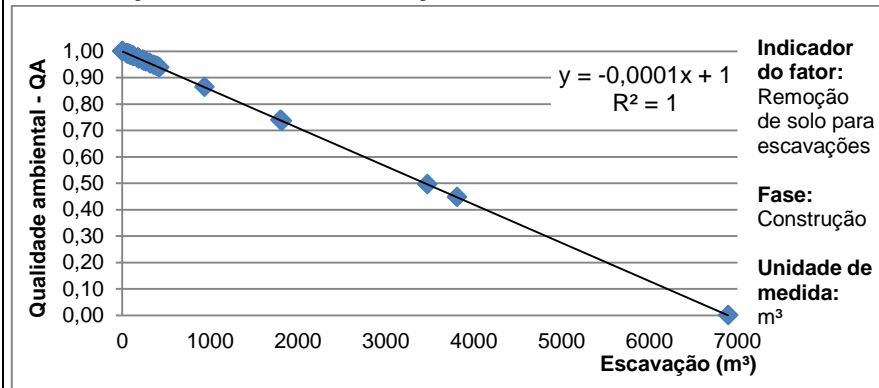


(a) Área requerida para ETAs

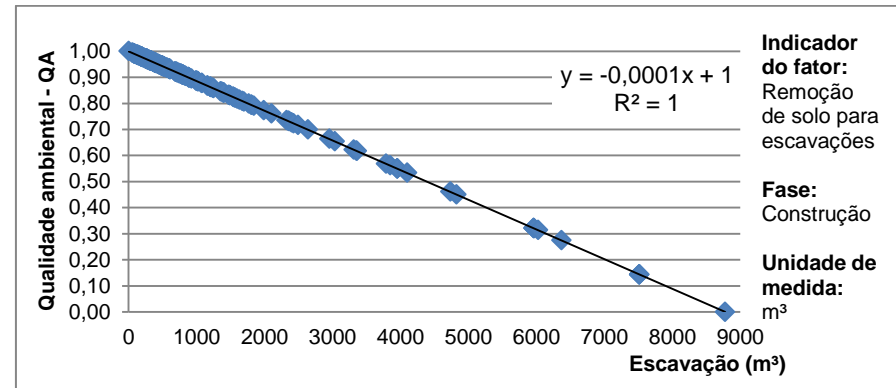


(b) Área requerida para ETRs

2. Remoção de solo - escavações



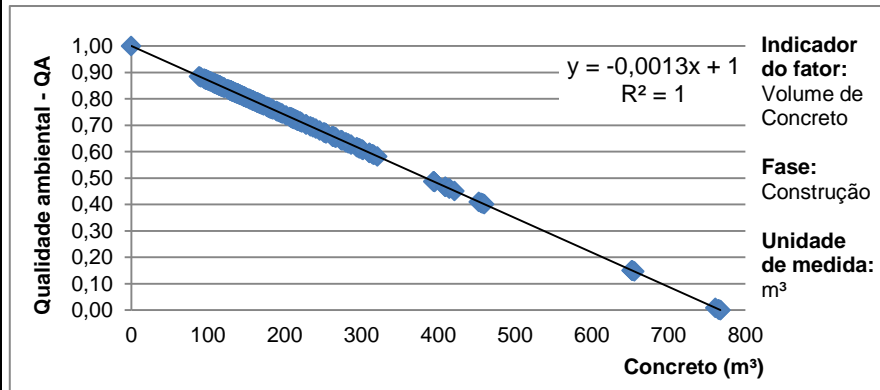
(c) Escavações em ETAs



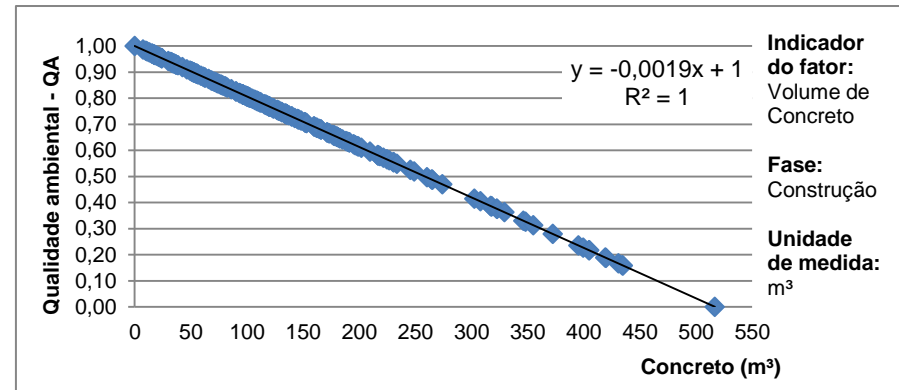
(d) Escavações em ETRs

Figura 5.35 – Funções de transformação dos indicadores área requerida e escavações com seus valores de qualidade ambiental (QA) em função da magnitude ambiental, para as ETAs e ETRs – válidas para ETAs com vazões de projeto entre 10 L/s e 100 L/s.

3. Consumo de Concreto

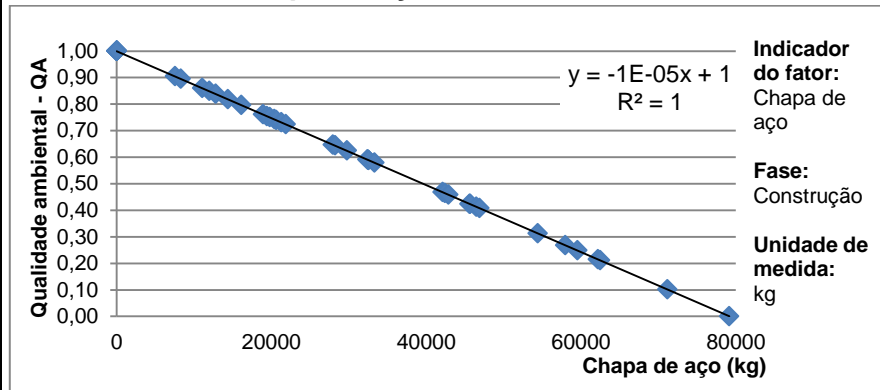


(a) Volume de concreto utilizado em ETAs

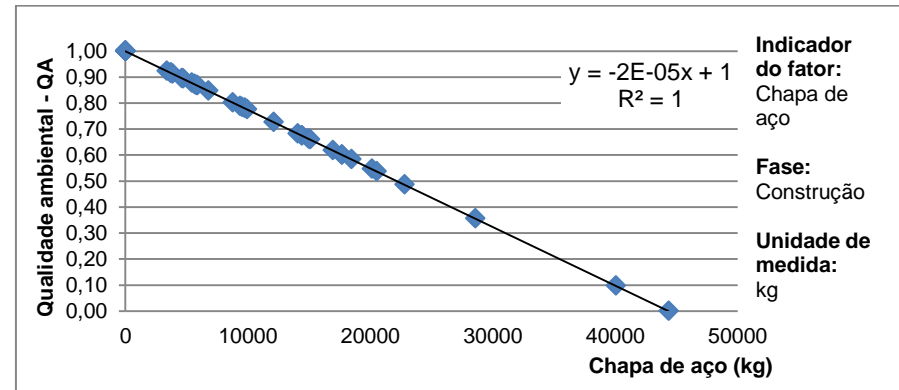


(b) Volume de concreto utilizado em ETRs

4. Consumo de Chapa de Aço



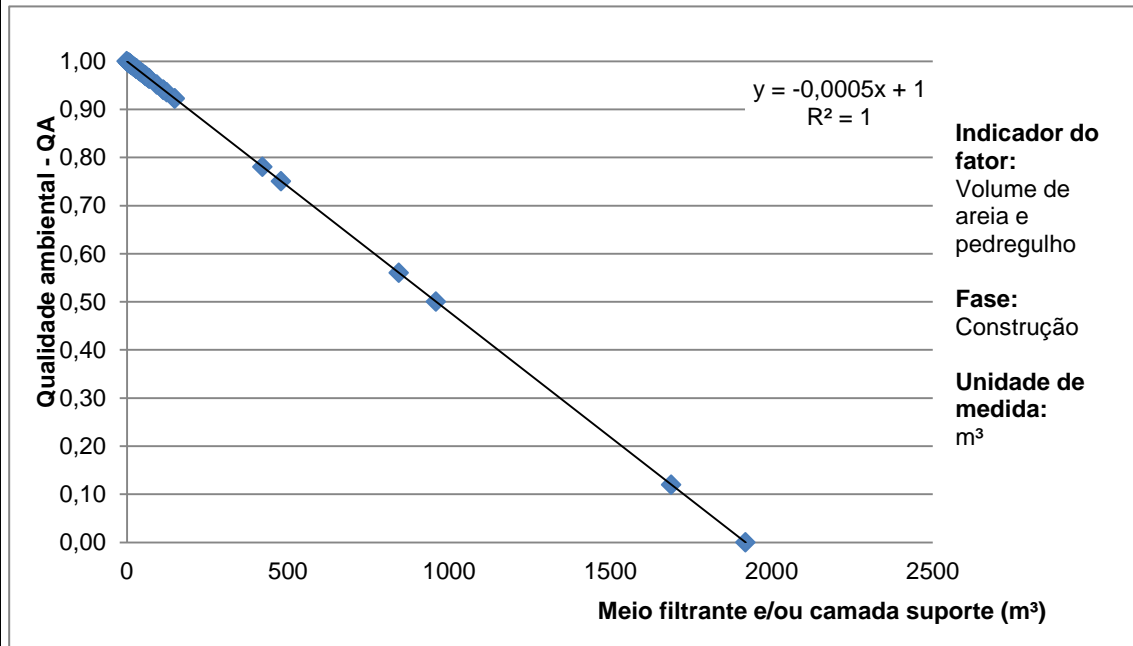
(c) Chapa de aço utilizada em ETAs



(d) Chapa de aço utilizada em ETRs

Figura 5.36 – Funções de transformação dos indicadores consumo de concreto e chapa de aço com seus valores de qualidade ambiental (QA) em função da magnitude ambiental, para as ETAs e ETRs – válidas para ETAs com vazões de projeto entre 10 L/s e 100 L/s.

5. Consumo de Meio filtrante e Camada Suporte - ETAs



6. Consumo de Produtos Químicos – ETRs

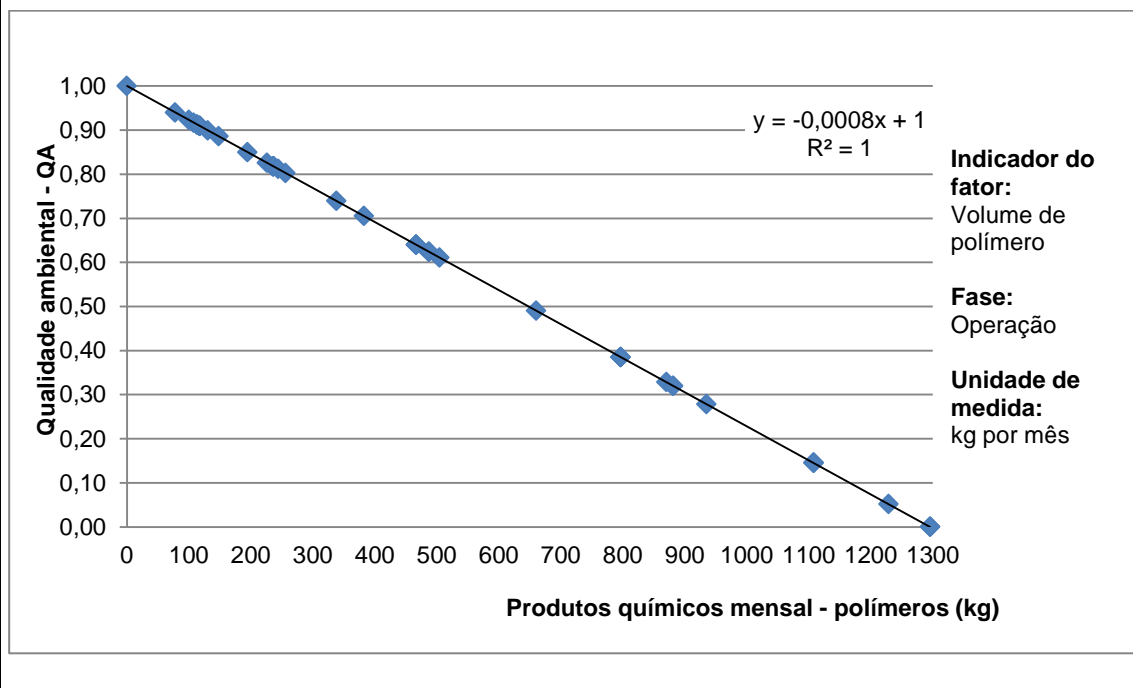
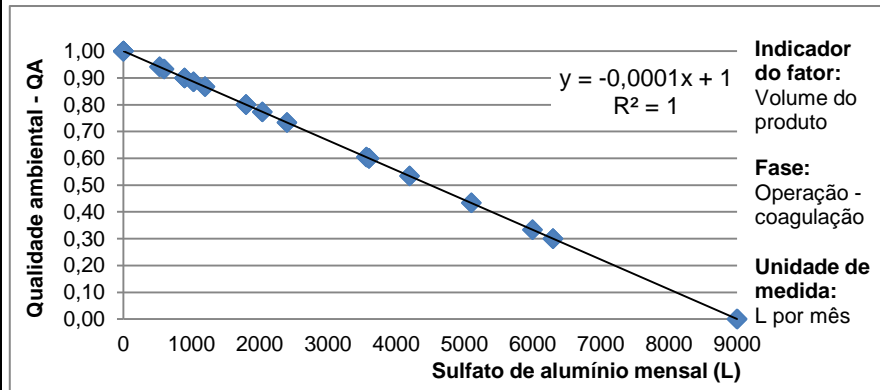
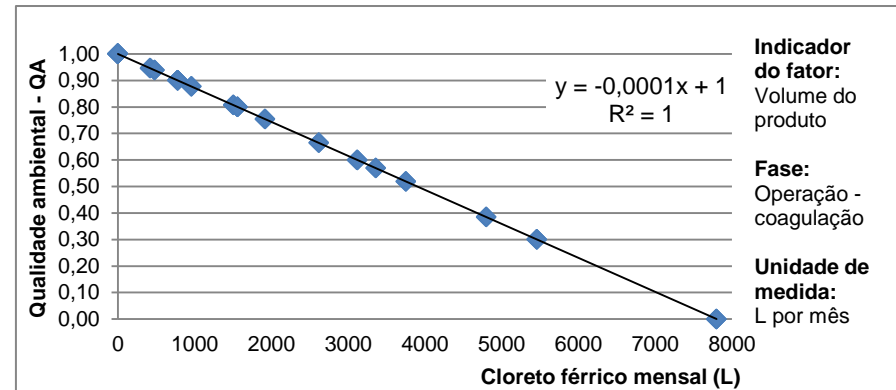


Figura 5.37 – Funções de transformação dos indicadores consumo de meio filtrante e camada suporte em ETAs e produtos químicos em ETRs com seus valores de qualidade ambiental (QA) em função da magnitude ambiental — válidas para ETAs com vazões de projeto entre 10 L/s e 100 L/s.

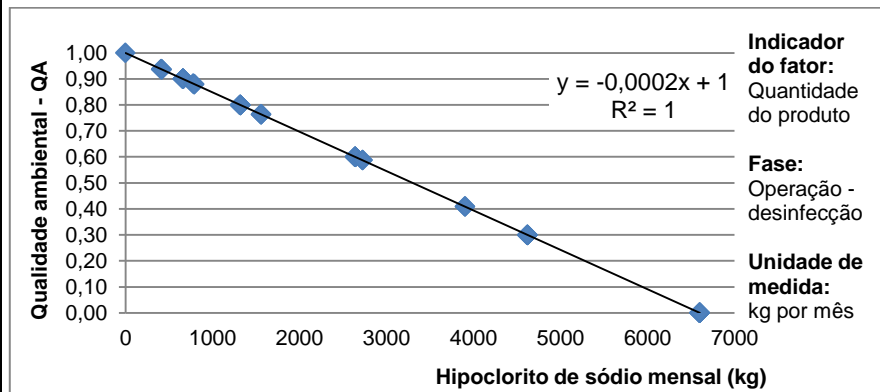
6. Consumo de Produtos Químicos - ETAs



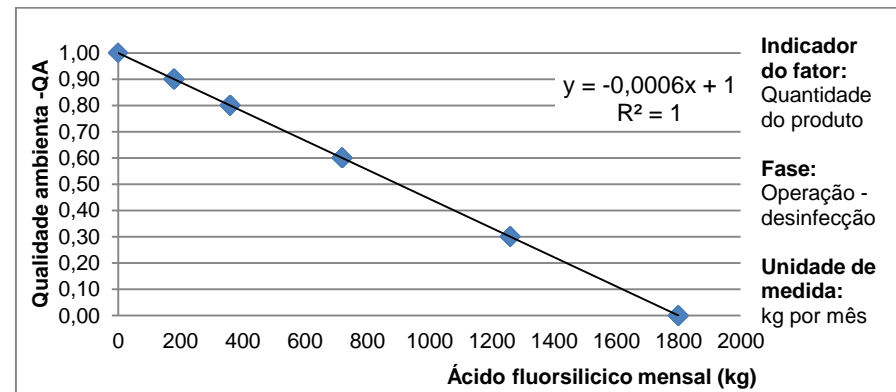
(a) Sulfato de alumínio mensal utilizado em ETAs



(b) Cloreto férrico mensal utilizado em ETAs



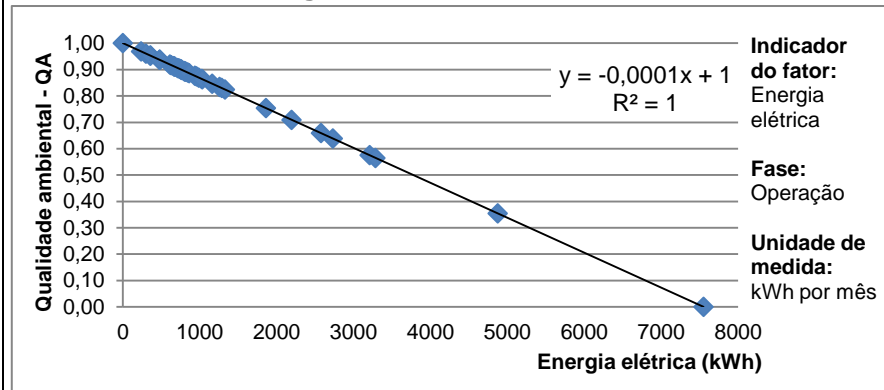
(c) Hipoclorito de sódio utilizado em ETAs



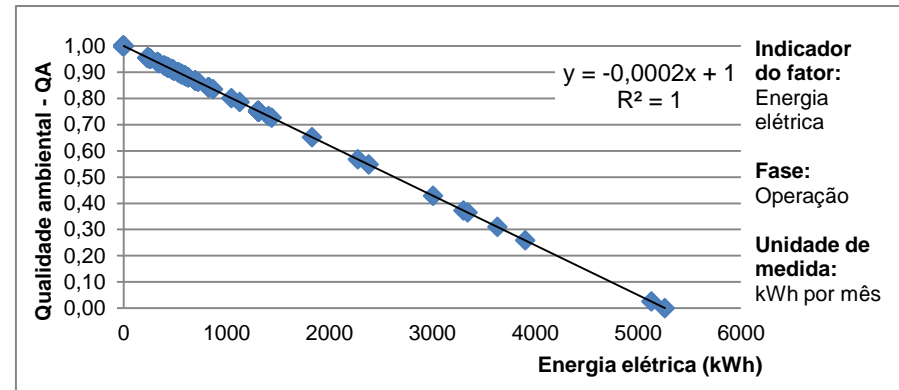
(d) Ácido fluorsilícico mensal utilizado em ETAs

Figura 5.38 – Funções de transformação do indicador consumo de produtos químicos com seus valores de qualidade ambiental (QA) em função da magnitude ambiental, para as ETAs – válidas para ETAs com vazões de projeto entre 10 L/s e 100 L/s.

7. Consumo de Energia Elétrica

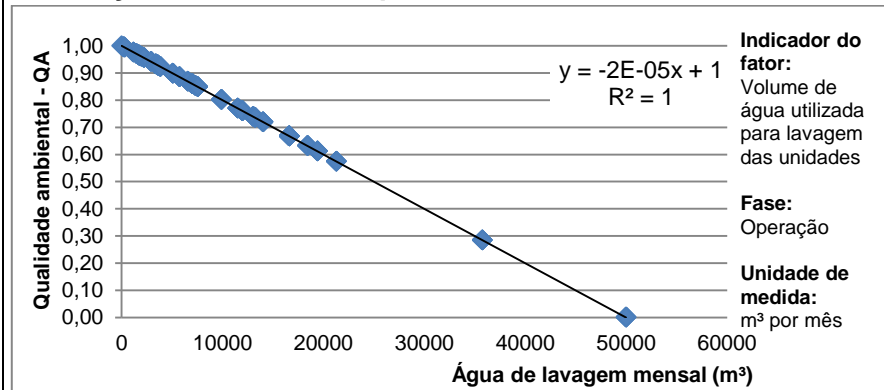


(a) Consumo de energia elétrica em ETAs

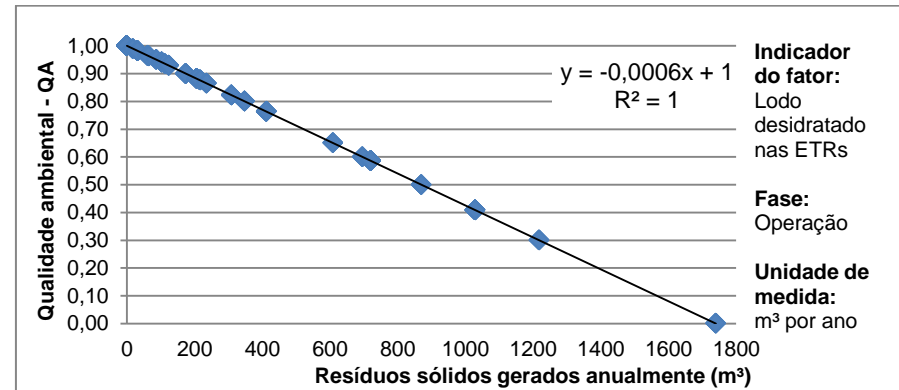


(b) Consumo de energia elétrica em ETRs

8. Geração de Resíduos líquidos e sólidos



(c) Resíduos líquidos gerados em ETAs



(d) Geração de resíduos sólidos em ETRs

Figura 5.39 – Funções de transformação dos indicadores consumo de energia elétrica e geração de resíduos com seus valores de qualidade ambiental (QA) em função da magnitude ambiental, para as ETAs e ETRs. – válidas para ETAs com vazões de projeto entre 10 L/s e 100 L/s.

De acordo com a Figura 5.35 (item a), a maioria das ETAs apresentou QA entre 0,50 e 1,0 (alta a média qualidade ambiental), correspondendo às ETAs que ocuparam uma área de até 3500 m². Nas ETRs (Figura 5.35 - item b), mesmo com os valores mais distribuídos ao longo do gráfico, um maior número de tecnologias foi classificado na mesma faixa das ETAs, mas com a área de no máximo 2000 m².

As ETAs FiME tiveram os menores valores de QA em relação às escavações e ao consumo de concreto, conforme Figura 5.35 (item c e item d) e Figura 5.36 (item a e item b). No entanto, a maioria das tecnologias de tratamento de água avaliadas apresentou valores de QA $\geq 0,8$ para o primeiro indicador (área) e QA $\geq 0,5$ para o concreto. Com os dados mais dispersos nas ETRs, a remoção de solo com QA $\leq 0,62$ correspondeu à ETR₂ (maior quantitativo dentre as alternativas); no caso do concreto, a ETR₁ acarretou uma perda da qualidade ambiental mais significativa com QA $\leq 0,4$.

O consumo de chapa de aço nas ETRs teve valores de QA entre 0,6 e 1,0 (Figura 5.36 – item d). Na maioria das ETAs, o consumo de areia e pedregulho teve pouca significância (QA $\geq 0,9$), com exceção das tecnologias FiME, que corresponderam aos pontos isolados no gráfico com valores menores.

O consumo de produtos químicos tanto nas ETAs como nas ETRs apresentaram valores de QA mais distribuídos graficamente (Figura 5.38, item a item b). Em relação ao requerimento de energia elétrica (Figura 5.39, item a), os valores nas ETAs ficaram entre 0,8 e 1,0, equivalentes a um consumo de até 1300 kWh. No tratamento dos resíduos esse valor subiu para 1800 kWh, correspondendo à faixa de 0,65 – 1,0 conforme a Figura 5.39 (item b).

Em relação à tendência dos dados, observou-se que a forma básica das funções de transformação dos indicadores ambientais selecionados foi linear decrescente, conforme apresentado na Tabela 5.3. Isso indicou que a variação do QA de cada aspecto ambiental foi indiretamente proporcional aos quantitativos, ou seja, a perda de qualidade ambiental (expressos em valores de QA mais próximos de zero – ambiente extremamente degradado) foi mais significativa conforme o aumento da magnitude dos quantitativos.

O mesmo comportamento das funções de transformação foi observado para algumas das curvas de parâmetros ambientais obtidas pelo Instituto Batelle-Columbus, M.T. Estevan Bolea, D. Gómez Orea e que foram apresentadas por Conesa Fdez-Vitora (2003), como: parcelas agrárias com solos em processos erosivos; relação de concentração de praguicidas na água; porcentagem de espécies aquáticas daninhas a flora e fauna e; as infraestruturas relacionadas às redes de abastecimento (extensão) e de eletricidade (população afetada por falhas e irregularidades no abastecimento). Quanto maiores foram os valores de seus indicadores, mais elevado foi o grau de degradação (valores de QA mais próximos de zero).

Tabela 5.3 – Funções de transformação obtidas correspondentes à magnitude dos quantitativos dos indicadores ambientais considerados.

Fase	Aspecto Ambiental	Função de transformação	
Construção	1. Área requerida (m ²)	ETA	QA = -0,0001* M _q + 1
		ETR	QA = -0,0003* M _q + 1
	2. Remoção de solo - escavação (m ³)	ETA	QA = -0,0001* M _q + 1
		ETR	QA = -0,0001* M _q + 1
	3. Consumo de concreto (m ³)	ETA	QA = -0,0013* M _q + 1
		ETR	QA = -0,0019* M _q + 1
4. Consumo de chapa de aço (kg)	ETA	QA = -0,00001* M _q + 1	
	ETR	QA = -0,00002* M _q + 1	
5. Consumo de meio filtrante e camada suporte (m ³)	ETA	QA = -0,0005* M _q + 1	
Operação	6. Consumo de energia elétrica (kWh)	ETA	QA = -0,0001* M _q + 1
		ETR	QA = -0,0002* M _q + 1
	7. Consumo de produtos químicos	Sulfato de alumínio – coagulação (L)	QA = -0,0001* M _q + 1
		Cloreto férrico – coagulação (L)	QA = -0,0001* M _q + 1
		Hipoclorito de sódio – desinfecção (kg)	QA = -0,0002* M _q + 1
		Ácido fluorsilícico – fluoração (kg)	QA = -0,0006* M _q + 1
		Polímeros – tratamento dos resíduos da ETA (kg)	QA = -0,0008* M _q + 1
	8. Geração de resíduos líquidos – água para lavagem das unidades (m ³)		QA = -0,00002* M _q + 1
	9. Geração de resíduos sólidos – lodo desidratado nas ETRs (m ³)		QA = -0,0006* M _q + 1

QA: Índice de qualidade ambiental

M_q: Magnitude do quantitativo

5.2.1.2 Atribuição de Pesos aos Aspectos Ambientais Conforme Relevância na Seleção de Tecnologias

A atribuição dos pesos dos aspectos ambientais (correspondentes a Unidade de Importância do Parâmetro – UIP_i) foi realizada através da consulta a docentes especialistas das áreas de saneamento e gestão ambiental. Consultores ambientais também foram considerados com o intuito de se obter a opinião dos responsáveis pela elaboração de projetos e licenciamentos ambientais de empreendimentos em saneamento. Através de correio eletrônico, 90 especialistas foram convidados a participar da pesquisa.

Com base no *Método Delphi*, a consulta foi realizada com aplicação de questionários em duas rodadas. Na primeira, foi pedido que os especialistas atribuíssem os pesos com valores de zero ("sem significância") a 10 ("extremamente significante") considerando a percepção da importância (ou significância) de cada impacto ambiental associado aos aspectos ambientais selecionados (APÊNDICE C).

Na segunda rodada, com a compilação das respostas da primeira, os pesos obtidos (média e desvio padrão) foram apresentados aos peritos no questionário. Outras considerações no questionário foram incluídas para que não ficassem dúvidas no preenchimento (APÊNDICE D).

A participação e retorno dos especialistas foi um fator que dificultou a consulta, pois com o receio de não dominar totalmente do tema abordado, alguns docentes preferiram não expor suas opiniões. Mesmo assim, obteve-se o retorno de 33 questionários preenchidos, sendo 14 (18% do total de convidados) na primeira rodada e 19 (21%), na segunda; o que não seria uma taxa de resposta considerada tão baixa.

Esse maior retorno na segunda rodada provavelmente foi relacionada à dificuldade citada acima, pois, com os pesos pré-definidos, os peritos tiveram valores para orientá-los. Indiretamente isso pode ter influenciado suas opiniões e levado a resultados tendenciosos (KAYO e SECURATO, 1997). No entanto, foi possível observar que o *Método Delphi* é uma técnica que possibilita convergência nos julgamentos dos *experts* com resultados de comparação consistentes (CANTER, 1996).

Os pesos obtidos nas duas rodadas são apresentados na Tabela 5.4. Notou-se que houve uma grande divergência quanto à relevância dos indicadores área requerida e remoção de solo em causar impactos ambientais. Na primeira rodada, tais parâmetros tiveram um desvio-padrão de até 2,8.

Tabela 5.4 – Pesos atribuídos por especialistas da área na duas rodadas de consulta com base do Método Delphi

Fase	Aspecto ambiental	Aplicação do <i>Método Delphi</i>			
		1ª Rodada		2ª Rodada	
		Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Construção	1. Área requerida (m ²)	6,7	2,8	6,5	1,9
	2. Remoção de solo - escavação (m ³)	6,3	2,5	6,0	1,6
	3. Consumo de concreto (m ³)	4,5	1,8	4,4	0,5
	4. Consumo de chapa de aço (kg)	3,7	1,8	3,4	0,9
	5. Consumo de meio filtrante e camada suporte (m ³)	3,5	2,0	3,6	1,1
Operação	6. Consumo de energia elétrica (kWh)	7,4	2,3	7,6	0,7
	7. Consumo de produtos químicos (kg ou L)	6,5	1,9	6,7	0,4
	8. Geração de resíduos líquidos – água para lavagem das unidades (m ³)	7,6	2,7	7,1	1,7
	9. Geração de resíduos sólidos – lodo desidratado nas ETRs (m ³)	7,9	1,7	8,0	0,3

Os indicadores considerados mais impactantes e relevantes na seleção de tecnologias foram os resíduos gerados no sistema ETA+ETR. Provavelmente tal resultado se deve ao fato da maioria dos especialistas que contribuíram com a pesquisa serem da área de saneamento. Outro motivo talvez seja pela visão ainda limitada quanto aos possíveis impactos ambientais envolvidos nas ETAs, em que os associam apenas à fase de operação por falta de familiaridade com a visão do ciclo de vida. Os indicadores de materiais de construção foram os que obtiveram as menores ponderações.

5.2.2 Cálculo do Impacto Ambiental Global

Seguindo o conceito de Munn e Wathern (SÁNCHEZ, 2008), o cálculo do impacto ambiental global (IAG) das tecnologias consideradas no sistema ETA+ETR foi baseado na comparação de duas situações: sem a implantação e a outra, com a instalação das unidades de tratamento de água e dos resíduos.

Na primeira situação, supondo-se que a qualidade ambiental não sofreria nenhuma alteração, adotou-se $QA=1,0$ (alta qualidade ambiental) para todos os parâmetros. Portanto, a unidade de impacto ambiental sem a implantação do sistema ETA+ETR – UIA_{isp} (C_{isp}) foi igual a 101,30 unidades; ou seja, o somatório das UIAs dos indicadores tanto da ETA como da ETR, correspondendo à multiplicação das UIP_i obtidas pela QA, conforme Tabela 5.5 .

No entanto, como no Método *Battelle-Columbus* foi definido 1000 unidades (conforme sua relevância) designadas aos parâmetros adotados, a fim de manter tal padronização no método proposto. A seguir, um exemplo numérico ilustra a conversão adotada para os valores da UIA_{isp} obtidos:

- *Conversão da categoria “consumo de recursos naturais”:*
 - valor obtido para a categoria: 61,2
 - valor obtido para a ΣUIA_{isp} (C_{isp}): 101,3
 - valor definido pelo Método *Battelle-Columbus*: 1000

$$UIA_{isp \text{ categoria}} = \frac{61,2 * 1000}{101,3} = 604,1 = \mathbf{604}$$

- *Conversão do parâmetro “consumo de concreto”:*
 - valor obtido para a UIA_{isp} : 4,4
 - valor obtido para a categoria pertencente “consumo de recursos naturais”: 61,2
 - valor convertido da categoria “consumo de recursos naturais”: 604

$$UIA_{isp \text{ categoria}} = \frac{4,4 * 604}{61,2} = 43,4 = \mathbf{43}$$

Tabela 5.5 – Obtenção da unidade de impacto ambiental sem a implantação do sistema ETA+ETR – $UIA_{isp} (C_{isp})$

Categoria	Indicador ambiental	Sistema de tratamento	QAI	Valores obtidos			Valores obtidos após transformação – <i>Método Battelle-Columbus</i>					
				UIP _i	UIA _{isp}	UIA _{isp} categoria	UIP _i	UIA _{isp}	UIA _{isp} categoria			
Consumo de recursos naturais	3. Consumo de concreto (m³)	ETA	1,00	4,4	4,4	61,2	43	43,0	604,0			
		ETR	1,00		4,4			43,0				
	4. Consumo de chapa de aço (kg)	ETA	1,00	3,4	3,4		34	34,0				
		ETR	1,00		3,4			34,0				
	5. Consumo de meio filtrante e camada suporte (m³)		1,00	3,6	3,6		36	36,0				
	6. Consumo de energia elétrica (kWh)	ETA	1,00	7,6	7,6		75	75,0				
		ETR	1,00		7,6			75,0				
	7. Consumo de produtos químicos	Sulfato de alumínio ou coreto férrico (coagulação)	1,00	6,7	6,7		66	66,0				
		Hipoclorito de sódio (desinfecção)	1,00		6,7			66,0				
		Ácido fluorsilícico (fluoração)	1,00		6,7			66,0				
Polímeros (tratamento dos resíduos da ETA)		1,00	6,7		66,0							
Degradação ambiental	1. Área requerida (m²)	ETA	1,00	6,5	6,5	40,1	64	64,0	396,0			
		ETR	1,00		6,5			64,0				
	2. Remoção de solo - escavação (m³)	ETA	1,00	6,0	6,0		59	59,0				
		ETR	1,00		6,0			59,0				
	8. Geração de resíduos líquidos – água para lavagem das unidades (m³)		1,00	7,1	7,1		70	70,0				
	9. Geração de resíduos sólidos – lodo desidratado nas ETRs (m³)		1,00	8,0	8,0		80	80,0				
	SITUAÇÃO SEM PROJETO - $\sum UIA_{isp} (C_{isp}) =$				101,30			1000,00				

As ponderações (obtidas na segunda rodada do Método Delphi) foram ajustadas e os indicadores, distribuídos em duas categorias conforme apresentada na Figura 5.40.

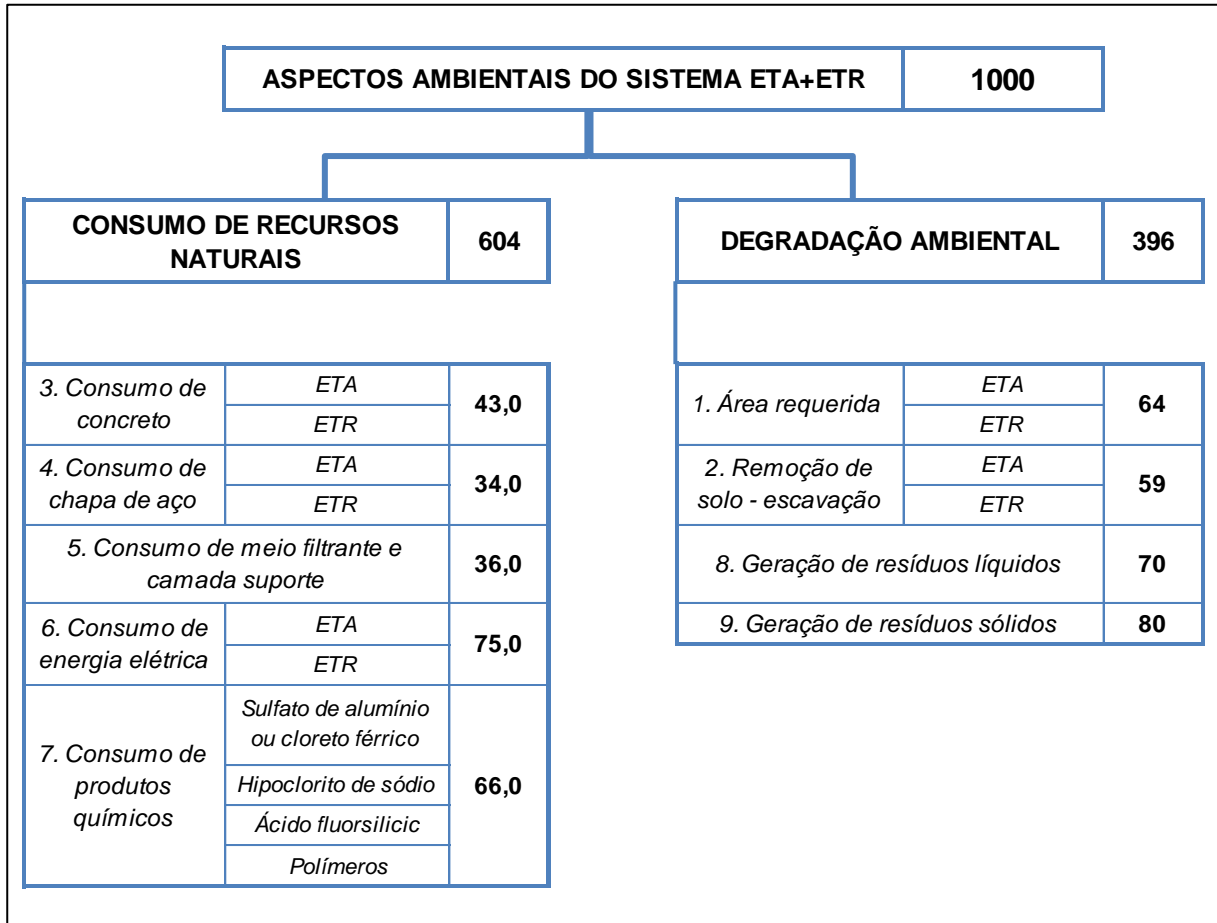


Figura 5.40 – Indicadores ambientais com seus respectivos UIPs e as categorias, com seus valores de $UIA_{i,sp}$ definidos.

5.2.3 Aplicação do Método Desenvolvido

A unidade de impacto ambiental com a realização dos projetos – $UIA_{i,cp}$ foi calculada apenas para a vazão de projeto de 40 L/s, que seria a intermediária das que foram consideradas na pesquisa. A Tabela 5.6 apresenta os valores de $UIA_{i,cp}$ das tecnologias adotadas para o sistema ETA+ETR.

Tabela 5.6 - Unidade de impacto ambiental com a realização dos projetos – UIA_{icp} das tecnologias para o sistema ETA+ETR e seus respectivos valores de Impacto Ambiental Global - Aplicação para vazão de 40 L/s

Sistema ETA+ETR	ASPECTO AMBIENTAL EM UNIDADE DE IMPACTO AMBIENTAL - UIAI																	UIA _{icp} = Σ(UIAI)			IMPACTO AMBIENTAL GLOBAL= $I = \sum_{i=1}^n C_{icp} \cdot \sum_{i=1}^n (UIA_{icp})$	
	1. Área requerida (m²)		2. Remoção de solo - escavação (m³)		3. Consumo de concreto (m³)		4. Consumo de chapa de aço (kg)		5. Consumo de meio filtrante e camada suporte (m³)	6. Consumo de energia elétrica (kWh)		7. Consumo de produtos químicos				8. Geração de resíduos líquidos - água para lavagem das unidades (m³)	9. Geração de resíduos sólidos - lodo desidratado nas ETRs (m³)	Por fases		Por sistema ETA+ETR		
	ETA	ETR	ETA	ETR	ETA	ETR	ETA	ETR		Sulfato de alumínio (coagulação)	Cloreto férrico (coagulação)	Hipoclorito de sódio (desinfecção)	Ácido fluorossilícico (fluoretação)	Polímeros (tratamento dos resíduos da ETA)	Construção			Operação				
FDD1 + ETR1	57,65	39,31	57,91	54,80	36,67	21,33	26,99	34,00	35,48	68,82	71,12	0,00	56,05	45,40	39,67	66,00	61,97	74,08	364,15	483,11	847,26	152,74
FDA1 + ETR1	56,00	40,96	57,91	53,80	35,71	23,92	26,77	34,00	34,97	67,97	71,12	0,00	56,05	45,40	39,67	66,00	59,41	74,08	364,03	479,71	843,74	156,26
DF1 + ETR1	55,30	35,55	57,94	53,55	31,15	22,93	22,98	34,00	34,77	69,34	71,12	0,00	53,33	31,15	37,49	66,00	59,76	63,30	348,18	451,48	799,66	200,34
DF2 + ETR1	53,79	28,92	57,09	48,99	33,38	17,05	22,94	34,00	34,79	55,66	53,88	0,00	53,33	31,15	37,49	66,00	40,19	46,59	330,96	384,29	715,25	284,75
CC1 + ETR1	54,84	40,40	58,24	54,05	33,62	16,63	19,59	34,00	35,59	69,41	71,12	0,00	45,41	31,15	37,49	66,00	60,20	60,24	346,96	441,00	787,96	212,04
CC2 + ETR1	54,75	40,90	58,24	54,09	33,77	16,64	19,42	34,00	35,59	66,27	71,12	0,00	45,41	31,15	37,49	66,00	60,20	60,24	347,40	437,87	785,27	214,73
FF1 + ETR1	54,81	39,49	57,96	54,27	34,28	17,07	23,89	34,00	35,53	54,49	71,12	0,00	45,41	31,15	37,49	66,00	60,20	60,24	351,31	426,09	777,40	222,60
FIME1 + ETR1	32,92	46,66	36,50	54,27	6,47	22,66	34,00	34,00	5,59	71,40	71,40	0,00	66,00	45,41	39,86	66,00	64,88	76,88	273,07	501,83	774,90	225,10
FIME2 + ETR1	25,27	46,66	18,31	52,96	0,22	17,84	34,00	34,00	1,44	71,40	71,40	0,00	66,00	31,15	37,49	66,00	62,90	68,72	230,70	475,06	705,77	294,23
FDD1 + ETR2	54,11	40,09	57,91	49,81	36,47	34,26	26,99	34,00	35,48	68,82	75,00	0,00	56,05	45,40	39,67	66,00	61,97	74,08	369,13	487,00	856,12	143,88
FDA1 + ETR2	54,57	52,40	57,91	49,93	35,63	34,24	26,77	34,00	34,97	67,97	75,00	0,00	56,05	45,40	39,67	66,00	59,41	74,08	380,43	483,59	864,02	135,98
DF1 + ETR2	50,47	24,42	57,94	43,43	30,97	38,38	22,98	34,00	34,77	69,34	75,00	0,00	53,33	31,15	37,49	66,00	59,76	63,30	337,37	455,36	792,74	207,26
DF2 + ETR2	49,64	20,77	57,09	46,29	33,12	37,86	22,94	34,00	34,79	55,66	75,00	0,00	53,33	31,15	37,49	66,00	40,19	46,59	326,51	405,41	731,92	268,08
CC1 + ETR2	51,33	17,36	58,24	56,68	33,55	34,06	19,59	34,00	35,59	69,41	75,00	0,00	45,41	31,15	37,49	66,00	60,20	60,24	319,41	444,89	764,29	235,71
CC2 + ETR2	51,90	21,26	58,24	56,68	33,75	34,09	19,42	34,00	35,59	66,27	75,00	0,00	45,41	31,15	37,49	66,00	60,20	60,24	323,93	441,76	765,69	234,31
FF1 + ETR2	51,00	19,26	57,96	56,68	34,13	34,10	23,89	34,00	35,53	54,49	75,00	0,00	45,41	31,15	37,49	66,00	60,20	60,24	325,55	426,98	752,52	244,48
FIME1 + ETR2	29,29	24,37	36,50	39,46	6,49	32,31	34,00	34,00	5,59	71,40	75,00	0,00	66,00	45,41	39,86	66,00	64,88	76,88	242,01	505,43	747,44	252,56
FIME2 + ETR2	17,08	11,20	18,31	23,45	0,09	31,93	34,00	34,00	1,44	71,40	75,00	0,00	66,00	31,15	37,49	66,00	62,90	68,72	171,50	478,66	650,17	348,83
FDD1 + ETR3	55,42	58,27	57,91	57,45	36,22	41,17	26,99	30,18	35,48	68,82	67,68	0,00	56,05	45,40	39,67	66,00	61,97	80,00	399,09	485,59	884,68	115,32
FDA1 + ETR3	54,76	59,49	57,91	57,43	35,36	40,37	26,77	27,63	34,97	67,97	67,68	0,00	56,05	45,40	39,67	66,00	59,41	80,00	394,69	482,18	876,87	123,13
DF1 + ETR3	52,53	59,29	57,94	57,09	30,66	41,41	22,98	25,76	34,77	69,34	67,66	0,00	53,33	31,15	37,49	66,00	59,76	80,00	382,44	464,72	847,17	152,83
DF2 + ETR3	50,84	55,42	57,09	54,31	32,75	39,53	22,94	14,57	34,79	55,66	39,26	0,00	53,33	31,15	37,49	66,00	40,19	80,00	362,25	403,08	765,33	234,67
CC1 + ETR3	54,53	52,67	58,24	57,42	33,47	39,98	19,59	27,37	35,59	69,41	67,66	0,00	45,41	31,15	37,49	66,00	60,20	80,00	378,86	457,31	836,17	163,83
CC2 + ETR3	54,96	53,25	58,24	57,42	33,64	39,99	19,42	27,37	35,59	66,27	67,66	0,00	45,41	31,15	37,49	66,00	60,20	80,00	379,88	454,17	834,06	165,94
FF1 + ETR3	53,69	58,32	57,96	57,46	33,97	40,29	23,89	27,52	35,53	54,49	67,66	0,00	45,41	31,15	37,49	66,00	60,20	80,00	388,63	442,40	831,03	168,97
FIME1 + ETR3	34,13	45,05	36,50	57,09	6,36	38,58	34,00	34,00	5,59	71,40	67,80	0,00	66,00	45,41	39,86	66,00	64,88	80,00	291,30	501,35	792,65	207,35
FIME2 + ETR3	27,17	51,62	18,31	56,33	0,10	38,18	34,00	34,00	1,44	71,40	67,80	0,00	66,00	31,15	37,49	66,00	62,90	80,00	261,16	482,74	743,90	256,10
FDD1 + ETR4	55,07	50,61	57,91	57,53	36,34	31,12	26,99	34,00	35,48	68,82	55,33	0,00	56,05	45,40	39,67	45,82	61,97	74,08	385,05	447,14	832,19	167,81
FDA1 + ETR4	55,20	49,76	57,91	56,82	35,51	26,78	26,77	34,00	34,97	67,97	55,33	0,00	56,05	45,40	39,67	39,36	59,41	74,08	377,71	437,28	814,99	185,01
DF1 + ETR4	53,33	50,18	57,94	56,69	43,00	29,76	22,98	34,00	34,77	69,34	55,34	0,00	53,33	31,15	37,49	40,26	59,76	63,30	382,66	409,96	792,62	207,38
DF2 + ETR4	52,09	37,21	57,09	52,63	32,90	26,51	22,94	34,00	34,79	55,66	47,51	0,00	53,33	31,15	37,49	40,26	40,19	46,59	350,18	352,18	702,36	297,64
CC1 + ETR4	54,37	46,89	58,24	56,17	33,55	27,39	19,59	34,00	35,59	69,41	55,34	0,00	45,41	31,15	37,49	41,35	60,20	60,24	365,79	400,58	766,37	233,63
CC2 + ETR4	54,23	47,57	58,24	56,12	33,73	27,37	19,42	34,00	35,59	66,27	55,34	0,00	45,41	31,15	37,49	41,35	60,20	60,24	366,26	397,45	763,71	236,29
FF1 + ETR4	54,26	47,57	57,96	56,61	34,14	28,99	23,89	34,00	35,53	54,49	55,34	0,00	45,41	31,15	37,49	41,35	60,20	60,24	372,94	385,67	758,61	241,39
FIME1 + ETR4	33,28	44,34	36,50	57,33	6,54	31,05	34,00	34,00	5,59	71,40	55,33	0,00	66,00	45,41	39,86	53,11	64,88	76,88	282,63	472,87	755,51	244,49
FIME2 + ETR4	28,73	41,88	18,31	56,68	0,22	29,55	34,00	34,00	1,44	71,40	55,33	0,00	66,00	31,15	37,49	48,15	62,90	68,72	242,81	441,14	683,95	316,05
FDD1 + ETR5	55,58	43,61	57,91	57,18	36,49	33,56	26,99	34,00	35,48	68,82	66,53	0,00	56,05	45,40	39,67	45,82	61,97	74,08	380,80	458,34	839,14	160,86
FDA1 + ETR5	54,35	41,79	57,91	56,47	35,74	35,97	26,77	34,00	34,97	67,97	66,53	0,00	56,05	45,40	39,67	39,36	59,41	74,08	377,97	448,48	826,45	175,55
DF1 + ETR5	53,18	31,53	57,94	56,05	43,00	35,11	22,98	34,00	34,77	69,34	66,53	0,00	53,33	31,15	37,49	40,26	59,76	63,30	368,57	421,15	789,72	210,28
DF2 + ETR5	53,33	15,71	57,09	51,91	33,35	27,88	22,94	34,00	34,79	55,66	58,07	0,00	53,33	31,15	37,49	40,26	40,19	46,59	331,01	362,74	693,75	306,25
CC1 + ETR5	54,00	30,33	58,24	55,48	33,84	30,55	19,59	34,00	35,59	69,41	66,53	0,00	45,41	31,15	37,49	41,35	60,20	60,24	351,62	411,77	763,39	236,61
CC2 + ETR5	54,01	30,33	58,24	55,47	33,83	30,58	19,42	34,00	35,59	66,27	66,53	0,00	45,41	31,15	37,49	41,35	60,20	60,24	351,46	408,64	760,10	239,90
FF1 + ETR5	54,20	31,00	57,96	55,98	34,39	31,96	23,89	34,00	35,53	54,49	66,53	0,00	45,41	31,15	37,49	41,35	60,20	60,24	358,90	396,86	755,76	244,24
FIME1 + ETR5	30,88	41,71	36,50	56,86	6,55	33,89	34,00	34,00	5,59	71,40	66,00	0,00	66,00	45,41	39,86	53,11	64,88	76,88	279,99	483,54	763,54	236,46
FIME2 + ETR5	28,77	20,99	18,31	55,89	0,45	32,07	34,00	34,00	1,44	71,40	66,00	0,00	66,00	31,15	37,49	48,15	62,90	68,72	225,94	451,81	677,75	322,25

De acordo com os valores de UIA_{icp} definidos por fases (construção e operação), observou-se que a construção das tecnologias FiMEs foram as mais impactantes por apresentarem maior requerimento de área e de materiais de construção (com destaque aos meios filtrantes e camada suporte). Além disso, a vazão adotada para aplicação do método correspondeu à vazão máxima recomendada pela literatura (CINARA, 2001) que garanta o emprego de forma sustentável de tal tecnologia. A segunda alternativa com maior grau de impacto foi a DF_2 devido ao grande volume de resíduos gerados, que influenciou no dimensionamento das unidades das ETRs.

Na operação, a tecnologia DF_2 apresentou um maior potencial de degradação ambiental. Tal fato se deve às operações-padrão adotadas principalmente relacionadas à lavagem dos filtros ascendentes, que consumiram um volume elevado de água. Consequentemente, o requerimento dos sistemas elevatórios (bombas com maior potência) foi mais elevado, o que acarretou em um maior consumo de energia elétrica tanto no tratamento de água quanto dos resíduos. Em seguida, a mais impactante foi a FF_1 devido a essa ETA necessitar de equipamentos que apresentam grande consumo.

O IAG das distintas alternativas do sistema ETA+ETR foi definido pela diferença do seu UIA_{icp} em relação ao C_{isp} , conforme Figura 5.41. Quanto maiores essas variações, mais significativos foram os impactos ambientais.

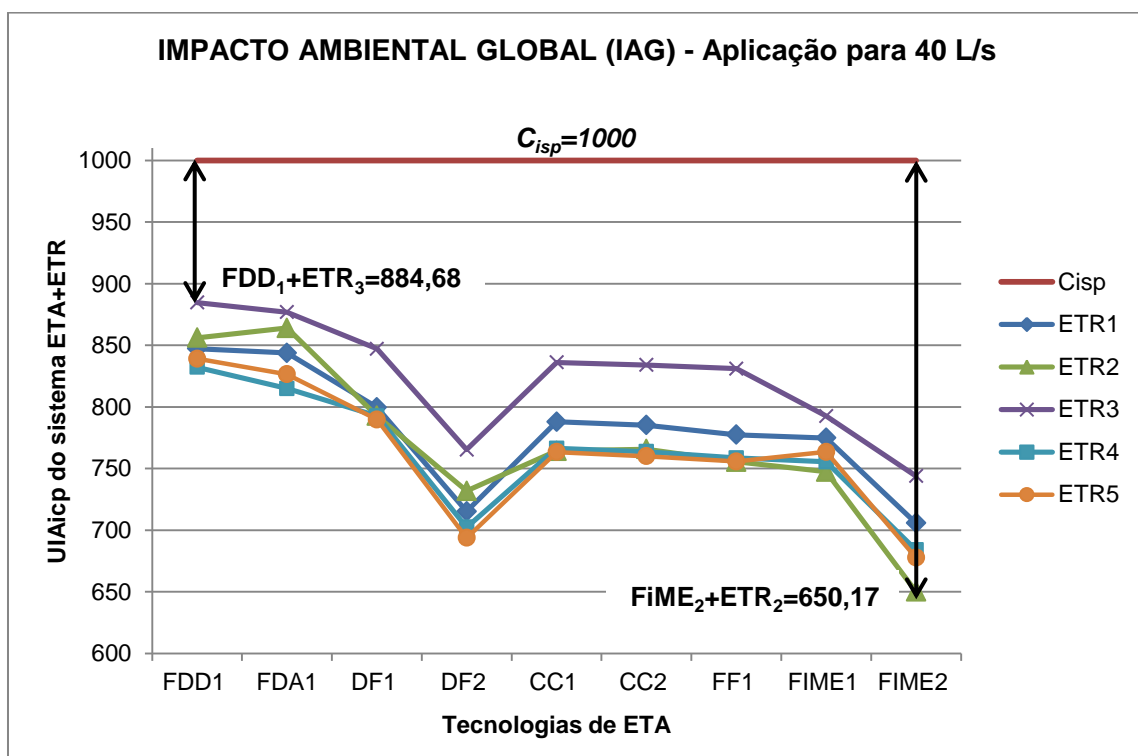


Figura 5.41 – Impacto ambiental global (IAG) representado pela variação da UIA_{icp} dos sistemas ETA+ETR avaliados em relação ao C_{isp} , com aplicação para vazão de projeto de 40 L/s.

Resumidamente, as tecnologias com impacto ambiental mínimo e as mais impactantes para o sistema são apresentadas na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Tecnologias adotadas no sistema ETA+ETR de menor e maior impacto ambiental

SISTEMA ETA+ETR	IMPACTO AMBIENTAL = UIAisp - UIAicp			
	MENOR		MAIOR	
	Valor	Tecnologia	Valor	Tecnologia
ETA+ETR1	152,74	FDD1 + ETR1	294,23	FIME2 + ETR1
ETA+ETR2	135,98	FDA1 + ETR2	349,83	FIME2 + ETR2
ETA+ETR3	115,32	FDD1 + ETR3	256,10	FIME2 + ETR3
ETA+ETR4	167,81	FDD1 + ETR4	316,05	FIME2 + ETR4
ETA+ETR5	160,86	FDD1 + ETR5	322,25	FIME2 + ETR5

O sistema ETA+ETR com impacto ambiental mínimo foi a tecnologia FDD₁ com encaminhamento dos seus resíduos para a ETR₃. Já era esperado que a FDD₁ seria a menos impactante por ser uma ETA com um menor número de unidades.

Dentre as alternativas para tratamento dos resíduos, esperava-se que as lagoas de lodo (ETR₂) seriam as mais indicadas por não apresentarem consumo de energia elétrica. No entanto, pela sua desvantagem relacionada à necessidade de grandes áreas para implantação, os tanques de regularização da ETR₃ se mostraram mais compactas, de modo que foi a alternativa que causou menos efeitos ambientais.

O sistema FiME₂ + ETR₂ apresentou o maior valor de impacto ambiental global, que correspondeu a quase o triplo do valor do sistema com impacto ambiental mínimo. Ambas as tecnologias adotadas apresentaram grandes alterações ambientais já na fase de construção, com elevados requerimentos de área e remoção de solo (escavações) para implantação de suas unidades. Além disso, FiME se destacou pelo grande volume de areia e pedregulho necessário para o meio filtrante e camada suporte dos filtros que a compõe.

As ETAs menos impactantes corresponderam às tecnologias como FDD₁, FDA₁ e FiME₁ que adotaram uma água de melhor qualidade (Água tipo 1). Pode-se afirmar que a tecnologia adotada na ETA depende do manancial de abastecimento de água. Quanto maior for sua degradação, o tratamento da água deverá envolver um maior número de etapas para remoção das impurezas. Serão necessários maiores dosagens de produtos químicos que implicarão no aumento do volume de resíduos gerados; conseqüentemente, as unidades das ETRs dimensionadas deverão ser maiores para atendimento da demanda.

Portanto, o método apresentou resultados condizentes e aplicáveis para outros projetos com vazões entre 10 e 100 L/s e que considerem os mesmos critérios de projeto adotados neste estudo. Com a aplicação do método para vazões diferentes, é muito

provável que, com a variação dos quantitativos, as tecnologias para o sistema ETA+ETR com impacto ambiental mínimo e mais impactante possam mudar.

6. CONCLUSÕES

Em relação à identificação dos aspectos ambientais mais relevantes na seleção das tecnologias e os seus quantitativos:

- Nas ETAs observou-se que os materiais de construção civil e principalmente a área requerida tiveram influência dos critérios adotados pelos projetistas na forma de disposição das unidades. As ETRs estiveram mais relacionadas aos resíduos gerados nas ETAs, que interferiram diretamente no dimensionamento das suas unidades.
- Na fase de operação, o consumo de produtos químicos utilizados nas ETAs dependeu da qualidade da água bruta adotada; nas ETRs, foi de acordo com a tecnologia considerada. O requerimento energético variou nas ETAs principalmente em relação ao sistema elevatório necessário para a lavagem dos filtros. Nas ETRs, a centrífuga se mostrou uma alternativa com elevado consumo de energia elétrica, chegando a aproximadamente 30% do total consumido no sistema (DF2 + ETR4).

Com base nos resultados obtidos na elaboração e aplicação do método, concluiu-se que:

- A obtenção das funções de transformação permitiu observar que a qualidade ambiental dos aspectos decrescem conforme o aumento dos quantitativos. Tal fato já era esperado, pois foram considerados apenas impactos negativos, ou seja, quanto maior a pressão exercida sobre o meio ambiente, os efeitos seriam maiores.
- O *Método Delphi* foi uma ferramenta essencial para a obtenção das UIPs e conclusão do método proposto. O peso obtido para cada aspecto ambiental variou consideravelmente conforme a área de concentração dos especialistas consultados, o que levou a um desvio padrão de até 1,9 (valor médio de 6,5) na área requerida mesmo na segunda rodada.
- O sistema FDD₁+ETR₃ apresentou o mínimo impacto ambiental dentre as tecnologias avaliadas, quando a vazão de projeto de 40 L/s foi analisada. A FIME₂, devido ao maior requerimento de área e meio filtrante e camada suporte foi considerada a mais impactante, condizente com a literatura, que constatou que o investimento inicial de tal tecnologia é muito elevado.
- No entanto, deve-se ressaltar que o método foi aplicado apenas para uma vazão de projeto de 40 L/s, valor limite recomendado pela literatura na adoção da FiME.

Possivelmente, em vazões mais baixas, ela possa apresentar vantagens em relação a outras ETAs.

- O potencial de degradação da FIME₂ foi relacionado mais aos indicadores ambientais da fase construção. Se os impactos decorrentes da operação do sistema forem avaliados conforme o tempo de vida útil das ETAs, provavelmente a DF₂ teria um maior grau de degradação pelo fato do elevado consumo de água para lavagem dos filtros.
- Os resultados com a aplicação do método foram condizentes com a literatura. Para projetos que considerem os mesmos critérios, com vazões entre 10 e 100 L/s, o método desenvolvido pode auxiliar na tomada de decisão.
- O método desenvolvido é uma avaliação de viabilidade ambiental quantitativa permitindo atingir um valor numérico que pode ser facilmente interpretado. A subjetividade na tomada de decisão é reduzida.
- A aplicação do método foi mais fácil quando comparada aos softwares – ferramentas normalmente adotadas para estudos dos impactos ambientais em obras de saneamento. A adoção de indicadores facilitou a interpretação dos resultados na avaliação ambiental.
- Pode-se afirmar que tal ferramenta representa o primeiro passo para a avaliação sistemática da componente ambiental em sistemas de tratamento de água. Contribuiu para a mudança na abordagem normalmente adotada na escolha das tecnologias, em que se ignora a realidade da área de estudo e principalmente, o meio ambiente.

O desenvolvimento e aprimoramento do método proposto em conjunto com outros aspectos abordados na seleção de tecnologias (institucionais, socioculturais, de recursos locais, técnicos, econômicos, financeiros e legais) podem fornecer as bases necessárias para criar uma ferramenta integrada que orientará a tomada de decisão em projetos de abastecimento de água no país.

7. RECOMENDAÇÕES

Consultar outros documentos de EIA-RIMA, de preferência de outros estados, para verificar se os impactos ambientais considerados nos estudos ambientais da implantação de um projeto de ETA, uma vez que as condições socioeconômicas, ambientais e culturais diferem muito para cada região.

Considerar outros aspectos ambientais como: resíduos de construção civil na fase de implantação e ruídos tanto na construção como na operação das estações de tratamento.

Na definição dos pesos dos aspectos ambientais torna-se necessário que a consulta através do *Método Delphi* seja feita com um maior número de especialistas e rodadas, para que as diferentes opiniões sejam minimizadas e se chegue a um consenso final.

Atribuir um maior peso para os aspectos relacionados à fase de operação em função da vida útil das estações, que também deverá ser considerada.

Validar o método para verificação dos resultados em escala real.

REFERÊNCIAS

- ACHON, C. L. (2008). **Ecoeficiência de Sistemas de Tratamento de Água à Luz dos Conceitos da ISSO 14.001**. 235p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- ACHON, C. L., CORDEIRO, J. S. (2003). Gerenciamento de Lodo de ETAs – Remoção de água livre através de Leitões de secagem e lagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais Eletrônicos...** I-047.
- ACHON, C. L., CORDEIRO, J. S. (2004). Análise Crítica de Implementação de Sistemas Naturais de Remoção de Água Livre de Lodo de ETA. XXIX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 29., 2004, San Juan, Puerto Rico. **Memórias Técnicas Eletrônicas**. AIDIS.
- ACHON, C. L.; SOARES, L.V.; MEGDA, C. R.(2005). Impactos Ambientais Provocados pelo Lançamento In Natura de Lodos Provenientes de Estações de Tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais eletrônicos...** Campo Grande.
- AFONSO, P. M.; DA CONCEIÇÃO CUNHA, M. (2007). Robust Optimal Design of Activated Sludge Bioreactors. **Journal of Environmental Engineering**, v. 133, n. 1. p. 44-52, Jan. 2007.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. (2007). **GEO Brasil: Recursos Hídricos**. Componente da Série de Relatórios Sobre o Estado e Perspectiva do Meio Ambiente no Brasil. Brasília: MMA/ANA. 264 p.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS – ASCE (1998). **Water Treatment Plants – Design and Construction**. AWWA, 3rd Ed., USA.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA. (1990). **Water Quality and Treatment – A Handbook of Community Water Supplies**. 4 ed. Denver: McGraw-Hill. 123p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. – ABNT. (1992). **NBR 12.216: Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público**. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (2004). **NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação**, Rio de Janeiro.

- BACHE, D. H.; PAPAVALOPOULOS, E. N. (2000). Viscous Behaviour of Sludge Centrate in Response to Polymer Conditioning. **Water Research**, v. 34, n.1, p354-358, jan. 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135499001438>>. Acesso em: 07 mar. 2013.
- BARROSO, M. M.; ACHON, C. L.; CORDEIRO, J. S.(2006). Eficiência do Leito de Drenagem para Desaguamento de Lodo de ETA que Utiliza Sulfato de Alumínio como Coagulante. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta del Este. **Anais...** Montevideo: AIDIS.
- BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. (2002). Produção de Sólidos em ETAs: Estudo de Caso – ETA São Carlos (São Paulo/Brasil). In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., 2002, Cancún. **Anais eletrônicos...** AIDIS.
- BASTOS, R. K. X. et al. (2000) . Avaliação de Desempenho de Estações de Tratamento de Água: Desvendando o Real. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Trabalhos técnicos...** Rio de Janeiro: AIDIS/ABES.
- BETAT, E. F.; PEREIRA, F. M.; VERNEY, J. C. K. (2009). Concretos Produzidos com Resíduos do Beneficiamento de Água: Avaliação da Resistência à Compressão e do Consumo de Cimento. **Revista Matéria**, v. 14, n. 3, p.1047-1060, 19 Out. 2009. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo11054>>. Acesso em: 10 Abr. 2013.
- BONTON, A.; BOUCHARD, C.; BARBEAU, B.; JEDRZEJAK, S. (2011). Comparative Life Cycle assessment of Water Treatment Plants. **Desalination**, v.35. In press.
- BRASIL. Resolução **CONAMA** n.º 430, DE 13 DE MAIO DE 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA”. **Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 mai. 2005, p. 89.**
- _____. Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, Lei de Crimes Ambientais. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 fev. 1998. Seção 1, p. 1.**
- _____. Lei n.º 9433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União, Brasília, DF, 08 de jan. 1997.**

- _____. Ministério da Saúde. (2011). **Portaria MS n. 2914, de 12 de dezembro de 2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 dez. 2011.
- _____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. (2006). **Boas práticas no abastecimento de água:** procedimentos para a minimização de riscos à saúde. Série A - (Normas e Manuais Técnicos). Brasília: Ministério da Saúde. 252 p.
- BRIKKÉ, F.; BREDERO, M.; DE VEER, T.; SMET, J. (1997). **Linking Technology Choice with Operation and Maintenance for:** low-cost water supply and sanitation. Geneva: IRC International Water and Sanitation Centre/ World Health Organization (WHO). 166 p.
- CANTER, L. W. (1996). Decision Methods of Evaluation of Alternatives. In:_____.**Environmental Impact Assessment.** 2ed. India: McGraw-Hill, Cap.15, p. 545-586.
- CEPIS (1990). Ciclo: **Tratamiento Manual I el agua – Calidad y Tratamiento para Consumo Humano.** Lima, Peru.
- CHEN, G.; YUE, P. L.; MUJUMDAR, A. S. (2002). Sludge Dewatering and Drying. **Drying Technology: An International Journal**, v. 20, n. 4-5, p.883-916, 2002. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1081/DRT-120003768>>. Acesso em: 06 Marc. 2013.
- CINARA (2001). **Modelo Conceptual para la Selección de Tecnología en Sistemas se Potabilización se Agua.** Proyecto de Selección de Tecnología y Análisis de Costos en Sistemas de Potabilización de Agua, Fase III. Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia. Cali. Colombia.
- CONESA FÉRNANDEZ- VITORA, V. 2003. **Guia Metodológica para la Evaluacion del Impacto Ambiental.** 3. ed. rev. amp. Madrid: Mundi – Prensa.
- CORDEIRO, J. S (1999a). Importância do Tratamento e Disposição Adequada dos Lodos de ETAs (Cap. 1). In: REALI, M. A. P. (Coordenador). **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água.** 1ed. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, v.1, p. 01-18.
- CORDEIRO, J. S (1999b). Remoção de Água de Lodos de ETAs Através de Filtração Forçada (Cap. 5). In: REALI, M. A. P. (Coordenador). **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água.** 1ed. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, v.1, p. 107 – 124.

- CORDEIRO, J. S (1999c). Remoção Natural de Água de Lodos de ETAs Utilizando Leitões de Secagem e Lagoas de Lodo (Cap. 6). In: REALI, M. A. P. (Coordenador). **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. 1ed. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, v.1, p. 125 – 141.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B; VOLTAN, P. E. N.. (2012). **Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos: Ldibe.
- DI BERNARDO, L.; CRUZ, C. H.; PINTO, D. M. C. L. (1999a). Filtração Direta Ascendente de Alta Taxa. Engenharia & Arquitetura. **Caderno de Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Carlos, v. 1, n. 1, p. 19-36.
- DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. S. S.; HÉLLER, L. (1999b). **Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas**. 1. ed. Rio de Janeiro: PROSAB/ABES. 114p.
- DI BERNARDO, L. et al. (2003). **Tratamento de Água para Abastecimento por Filtração Direta**. 1ed. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, v.3, 498p.
- DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. (2008). **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. São Carlos: Ldibe. v.1.
- FONTANA, A.O.. (2004). **Sistema de Leito de Drenagem e Sedimentador como Solução para Redução de Volume de Lodo de Decantadores e Reuso de Água de Lavagem de Filtros - Estudo de Caso - ETA Cardoso**. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR, São Carlos, 2004.
- GALVIS, A.; VARGAS, V. (1998). **Modelo de Selección de Tecnología en el Tratamiento de Agua para Consumo Humano**. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL AGUA SOSTENIBILIDAD: Agua 98, Cali.
- GANDINI, M. A; GALVIS, A. (2000). **La Dimensión Ambiental en la Selección de Tecnología de Agua Potable**. Seminario Taller de Selección de Tecnología para el Mejoramiento de la Calidad del Agua. Octubre. Santiago de Cali. Colombia.
- GARCÍA LEYTON, L. A. (2004). **Aplicación del Análisis Multicriterio en la Evaluación de Impactos Ambientales**. 285 p. Tese (doutorado). Departament de Projectes d'Enginyeria, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 2004. Disponível em: <<http://tdx.cat/handle/10803/6830>>. Acesso em: 15 dez 2011.

- GUIMARAES, G. C.; BRANDÃO, C. C. S. (2008). Alternativas para Desidratação de Lodos de ETAs Predominantemente Orgânicos: Avaliação Preliminar em Escala de Bancada. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 31., 2008, Santiago. **Anais....** Chile: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, p.1-8.
- HASSEGAWA, B. K. F. (2007) **Gerenciamento ambiental em estações de tratamento de água de médio porte: elaboração de um instrumento de análise ambiental e operacional com base na NBR ISO 14001:2004**. 441p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2011). **Censo demográfico 2010 – Sinopse do censo e resultados preliminares do universo**. Rio de Janeiro. Brasil. 36 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2010). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro. Brasil. 397 p.
- INSTITUTO DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO. (2008). **Relatório do Seminário Nacional sobre Tratamento, Disposição e Usos Benéficos dos Lodos de ETAs**. Coordenadora: MORITA, D. M. São Paulo.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC (2007). **Fourth Assessment Report: climate change 2007: The AR4 synthesis report**. Geneva:IPCC, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html>. Acesso em: 10 Abr. 2013.
- KAYO, E. K.; SECURATO, J. R. **Método Delphi: Fundamentos, Críticas e Vieses. Cadernos de Pesquisa em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 4, p. 51-61, 1997. Disponível em: <<http://www.ead.fea.usp.br/cad-pesq/arquivos/c4-art5.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2003.
- KLING, A. S. M. (2005). **Aplicação do Método Battelle na Avaliação do Impacto Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha**. 121 p. Dissertação (Mestrado). Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Fiocruz. Rio de Janeiro, 2005.
- LA ROVERE, E. L. (2001). **Metodologia de Avaliação de Impacto Ambiental**. Instrumentos de planejamento e gestão ambiental para a Amazônia, cerrado e pantanal: demandas e propostas. Brasília: IBAMA, 2001.
- MAIA, N. B, LESJAK, H. (1997). **Indicadores Ambientais**. Sorocaba: Martas, 266 p.
- MIKI, M. K.; A; SOBRINHO, P. A.; VAN HAANDEL, A. C. (2006). Tratamento da Fase Sólida em Estações de Tratamento de Esgotos – Condicionamento, Desaguamento Mecanizado e Secagem Térmica do Lodo (Cap 4). In: ANDREOLI, C.V.

(Coordenador). **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**. 1.ed. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, v.4, p.49 - 108.

MIKI, M. K.. (1998). **Utilização de Polímeros para Condicionamento de Lodo de ETE para Desidratação em Filtro Prensa de Placas**. 405p. 2v. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica/ Universidade de São Paulo. São Paulo.

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005). **Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis**. World Resources Institute, Washington, DC:

MONTAÑO, M.; RANIERI, V. E. L..(2013). Análise de Viabilidade Ambiental. In: CALIJURI, M.C.; CUNHA, D. G. F. (Organizadores). **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. 1ed. Rio de Janeiro: Elsevier, v. 1, Cap.29, p 741-766.

OLIVEIRA, M.; VECCHIA, F. A. S. (2013). Mudanças Climáticas. In: CALIJURI, M.C.; CUNHA, D. G. F. (Organizadores). **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. 1ed. Rio de Janeiro: Elsevier, v. 1, Cap.16, p.367-400.

OLIVEIRA, N. S. (2010). Estudo da Secagem de Lodo de Estação de Tratamento de Água. 208p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PAGANINI, W. S. (2009). Alternativas para a Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água e Estações de Tratamento de Esgotos. **SANEAS**, São Paulo, n. 32, p.13-19, 2009.

PARSEKIAN, M. P. S. (1998). **Análise e Proposta de Formas de Gerenciamento de Estações de Tratamento de Águas de Abastecimento Completo em Cidades de Porte Médio do Estado de São Paulo**. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos/ Universidade de São Paulo, São Carlos.

PEDROZA, E. C. L. et al..(2006). Aplicação de Leitões de Secagem de Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Esgotos (Cap 5). In: ANDREOLI, C.V. (Coordenador). **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, v.4, p.109 – 158.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD. **Sustentabilidade e Equidade: Um Futuro Melhor para Todos**. Síntese do Relatório do Desenvolvimento Humano 2011. Tradução por Strategic Agenda LLP. Coordenação: KLUGMAN. J., Washington: PNUD. 26 p.

- PIMPÃO, H. (2011). **Avaliação dos Impactos Ambientais da Estação de Tratamento de Esgoto do Bairro CPA III - Lagoa Encantada em Cuiabá/MT Utilizando Indicadores Ambientais**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.
- REALI, M. A. P.; PATRIZZI, L. J. (1999). Espessamento de Lodos de ETAs. In: Marco Antonio penalva Reali. (Org.). In: REALI, M. A. P. (Coordenador). **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. 1ed. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, v.1, p.41-84
- REALI, M. A. P. (1999). Principais Características Quantitativas e Qualitativas do Lodo de ETAs (Cap. 2). In: REALI, M. A. P. (Coordenador). **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. 1ed. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, v.1, p.21 - 40.
- REALI, M. A. P.; SABOGAL PAZ, L. P.; DANIEL, L.A..(2013). Tratamento de Água para Consumo Humano (Cap. 17). In: CALIJURI, M.C.; CUNHA, D. G. F. (Organizadores). **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. 1ed. Rio de Janeiro: Elsevier, v. 1, Cap.17, p.405-454.
- RICHTER, C. A. (2009). **Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento**. São Paulo: Blucher. 340 p.
- RICHTER, C. A. (2001). **Tratamento de Lodos de Estação de Tratamento de Água**. São Paulo: Blucher. 102 p
- ROCKSTRÖM, J. et al. (2009). A Safe Operating Space for Humanity. **Nature**, v. 461. p.472-475, Dez. 2009.
- SABOGAL PAZ, L. P ; GANDINI, A. M. A . (2011). **Technology Selection for Water Drinking Treatment How to Take into Account Environmental Aspects?**. In: BILIBIO, Carolina, HENSEL, Oliver, SELBACH, Jeferson. Editora e co-editoras: Fundação Universidade Federal do Pampa, Unikassel, PGCult/UFMA. (Org.). Sustainable water management in the tropics and subtropics - and case studies in Brazil. PGCult/UFMA: Fundação Universidade Federal do Pampa, Unikassel, PGCult/UFMA, 2011, v. Vol 4, p. 583-604.
- SABOGAL PAZ, L. P. (2007). **Modelo Conceitual de Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Abastecimento de Comunidades de Pequeno Porte**. 509 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- SABOGAL PAZ, L. P. (2010). **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Abastecimento de Comunidades de Pequeno e Médio Porte**. Pesquisa de Pós-Doutorado. Informe Científico Final. FAPESP. São Paulo/SP. Fevereiro.

- SMITH, H. (2012). Understanding Resilience: Implications for the Water Sector. GWF Discussion Paper 1235, Global Water Forum, Canberra, Australia. Disponível em: <<http://www.globalwaterforum.org/wp-content/uploads/2012/04/Understanding-resilience-Implications-for-the-water-sector-GWF-1235.pdf>>. Acesso em: 10 Abr. 2013.
- SÁNCHEZ, L. E. (2008). **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. 4.ed. São Paulo: Oficina de Textos.
- SANTOS, E. P. C. C dos et al. (2007). Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 361-370, Dez. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522007000400002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 02 Abr. 2013.
- SÃO PAULO (Estado). **Lei n.º 12.300, de 16 de março de 2006**. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 17 marc. 2006. Seção 1, p. 1.
- _____ (Estado). Secretaria do Meio Ambiente / Coordenadoria de Planejamento Ambiental. (2012). **Meio Ambiente Paulista: Relatório de Qualidade Ambiental 2012**. Organização: FIGUEIREDO, F. E. L. São Paulo: SMA/CPLA, 252p.
- _____ (Estado). Secretaria do Meio Ambiente / Coordenadoria de Planejamento Ambiental. (2009). **Projeto Ambiental Estratégico Cenários Ambientais 2020**. Coordenação: CARVALHO, C. T. R. L. e ROSENBERG, R. São Paulo: SMA/CPLA, 150p.
- SCALIZE, P. S.; DI BERNARDO, L. (1999). Caracterização da Água de Lavagem dos Filtros Rápidos de Estações de Tratamento de Água e dos Sobrenadantes e Sedimentos após Ensaio de Clarificação Utilizando Polímero Aniônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: ABES. ref. II-023.
- SILVA, R. C.; SILVA, S. M. C. P.; BATISTA, G. A. (2007). Avaliação de Tecnologia para Redução de Volume de Lodo de Decantadores de Estações de Tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte - MG. **Anais eletrônicos....**
- SILVEIRA, C. (2012). **Desaguamento de Lodo de Estações de Tratamento de Águas por Leito de Drenagem/Secagem com Manta Geotêxtil**. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina.

- STOKES, J.; HORVATH, A. (2006). Life Cycle Energy Assessment of Alternative Water Supply Systems. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, n.5, p.335-343, Set. 2006.
- TEIXEIRA, L. C. G. M.; FERREIRA FILHO, S. S.(1999). Influência do Tipo e Dosagem do Polímero na Capacidade de Adensamento de Lodos de ETAs. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...**
- WIECHETECK, G. K. ; CORDEIRO, J. S. (2002). Gestão Ambiental de Sistemas de Tratamento de Água. In: Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 28., 2002, Cancún. **Anais...** Cancún: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS.
- VANZETTO, A. S. (2012). **Análise das Alternativas Tecnológicas de Desaguamento de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Esgoto**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM 139/12, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 185p.
- VINCE, F.; Aoustin, E.; Breant, P.; Marechal, F. (2008). LCA Tool for the Environmental Evaluation of Potable Water Production . **Desalination**, Amsterdam, v.220, n.1-3, pp.37-56, March 2008, ISSN: 0011-9164.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Elaboração dos Projetos Básicos da DF₂ em AutoCAD (informações no CD)

APÊNDICE B – Cálculo dos Quantitativos dos Aspectos Ambientais (informações no CD)

APÊNDICE C – Questionário enviado aos especialistas na primeira rodada do *Método Delphi*

CONSULTA - SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA CONSIDERANDO ASPECTOS AMBIENTAIS		
<p>Na tabela abaixo, por favor, atribua pesos, com valores entre 0 (para o indicador que causará menor impacto ambiental) e 10 (para o indicador que causará maior impacto ambiental), para cada um dos aspectos ambientais apresentados. Importante: na pesquisa foram considerados apenas os impactos ambientais negativos. Adotou-se um único ambiente "virtual" para todos os projetos de ETAs avaliados. Considerar que as ETAs atenderão comunidades brasileiras de <u>até 45 mil habitantes</u>.</p>		
<p>Por favor, atribua pesos aos aspectos ambientais a seguir</p>		
Fase	Aspecto ambiental	Peso atribuído
Construção	1. Área requerida (m ²)	
	2. Remoção de solo - escavação (m ³)	
	3. Consumo de concreto (m ³)	
	4. Consumo de chapa de aço (kg)	
	5. Consumo de meio filtrante e camada suporte (m ³)	
Operação	6. Consumo de energia elétrica (kWh)	
	7. Consumo de produtos químicos (kg ou L)	
	8. Geração de resíduos líquidos - água para lavagem das unidades (m ³)	
	9. Geração de resíduos sólidos - lodo desidratado nas estações de tratamento dos resíduos - ETRs (m ³)	

Maior impacto ambiental negativo

0 10

Comentários ou sugestões:

Exemplo demonstrativo para orientar o preenchimento dos dados

Fase	Aspecto ambiental	Peso atribuído
Construção	1. Área requerida (m ²)	10
	2. Remoção de solo - escavação (m ³)	7
	3. Consumo de concreto (m ³)	6
	4. Consumo de chapa de aço (kg)	5
	5. Consumo de meio filtrante e camada suporte (m ³)	4
Operação	6. Consumo de energia elétrica (kWh)	9
	7. Consumo de produtos químicos (kg ou L)	7
	8. Geração de resíduos líquidos - água para lavagem das unidades (m ³)	9
	9. Geração de resíduos sólidos - lodo desidratado nas estações de tratamento dos resíduos - ETRs (m ³)	7

Maior impacto ambiental negativo


0 10

APÊNDICE D – Questionário enviado aos especialistas na segunda rodada do *Método Delphi*

RESULTADOS DA PRIMEIRA RODADA DO MÉTODO DELPHI - "SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA CONSIDERANDO ASPECTOS AMBIENTAIS"					
Fase	Aspecto ambiental	Peso atribuído na primeira rodada do Método Delphi		Concorda com o resultado da primeira rodada do Método Delphi?	
		Média	Desvio padrão	SIM - por favor, marcar com X	NÃO - por favor, atribua novos valores aos pesos dos aspectos ambientais
Construção	1. Área requerida (m ²)	6,7	2,8		
	2. Remoção de solo - escavação (m ³)	6,3	2,5		
	3. Consumo de concreto (m ³)	4,5	1,8		
	4. Consumo de chapa de aço (kg)	3,7	1,8		
	5. Consumo de meio filtrante e camada suporte (m ³)	3,5	2		
Operação	6. Consumo de energia elétrica (kWh)	7,4	2,3		
	7. Consumo de produtos químicos (kg ou L)	6,5	1,9		
	8. Geração de resíduos líquidos - água para lavagem das unidades (m ³)	7,6	2,7		
	9. Geração de resíduos sólidos - lodo desidratado nas estações de tratamento dos resíduos - ETRs (m ³)	7,9	1,7		

IMPORTANTE: Para atribuir pesos aos aspectos ambientais, por favor, considere:

- 1) A pesquisa pretende medir a percepção da importância (ou significância) de cada impacto ambiental associado aos aspectos descritos; assim, atribua valores de 0 ("sem significância") a 10 ("extremamente significante");
- 2) Na pesquisa foram considerados apenas os impactos ambientais negativos;
- 3) Adotou-se um único ambiente com as mesmas características físicas, químicas e biológicas para todos os projetos de estações de tratamento de águas (ETAs) avaliada;
- 4) Considerar que as ETAs atenderão comunidades brasileiras de até 45 mil habitantes.



Por favor, caso existam dúvidas em relação aos principais impactos ambientais correspondentes aos aspectos ambientais considerados, consultar a tabela abaixo:

Aspecto ambiental	Principais impactos ambientais
1. Área requerida (m ²)	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da disponibilidade de área para outros usos e ocupações; • Risco de alteração do meio biótico (supressão de vegetação e diminuição da diversidade da fauna terrestre); • Impacto visual.
2. Remoção de solo - escavação (m ³)	<ul style="list-style-type: none"> • Riscos de erosão; • Transporte e assoreamento dos corpos d' água locais devido ao aporte de sedimentos; • Interferências pontuais no regime de escoamento das águas superficiais pela modificação do relevo; • Risco de interferência (quantitativa e qualitativa) das águas subterrâneas; • Soterramento e supressão da fauna e flora.
3. Consumo de concreto (m ³)	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do concreto; • Riscos de poluição/contaminação dos corpos d'água locais e do solo pelo manuseio do concreto na obra; • Impermeabilização do solo local com redução de áreas de infiltração das águas pluviais.
4. Consumo de chapa de aço (kg)	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação da chapa de aço
5. Consumo de meio filtrante e camada suporte (m ³)	<ul style="list-style-type: none"> • Diminuição das jazidas naturais devido à extração e ao beneficiamento da areia e do pedregulho.
6. Consumo de energia elétrica (kWh)	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da disponibilidade elétrica para outros usos; • Impactos ambientais relacionados à produção, transmissão e distribuição da energia elétrica.
7. Consumo de produtos químicos (kg ou L)	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação dos produtos químicos; • Riscos de poluição/contaminação dos solos, das águas superficiais e subterrâneas decorrentes de possíveis acidentes durante o inadequado manuseio e/ou armazenamento.
8. Geração de resíduos líquidos - água para lavagem das unidades (m ³)	<ul style="list-style-type: none"> • Riscos de poluição/contaminação dos solos e das águas superficiais e subterrâneas; • Riscos à saúde pública e à comunidade aquática.
9. Geração de resíduos sólidos - lodo desidratado nas estações de tratamento dos resíduos - ETRs (m ³)	<ul style="list-style-type: none"> • Riscos de poluição/contaminação dos solos e das águas superficiais e subterrâneas; • Riscos à saúde pública, à fauna e flora.

ANEXOS

ANEXO A – DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PROJETO DAS ETAs

As Tabelas A.1 ao A.2 apresentam os principais critérios de projeto adotados nos memoriais de cálculo e nos desenhos das ETAs consideradas na tese de doutorado de Sabogal Paz (2007).

Tabela A.1 – Critérios de Projeto das ETAs de FDD₁

Critério de Projeto (Variável)	Valor (Indicador)
<i>Mistura rápida</i>	
- Gradiente de velocidade médio obtido em Jarreste (s^{-1})	1000
- Tempo de mistura obtido em Jarreste (s)	10
<i>Filtro Rápido Descendente</i>	
- Taxa média de filtração (m^3/m^2d)	180
- Carga hidráulica disponível (m)	2
- Meio filtrante	
Espessura do meio filtrante (m)	1
Tamanho dos grãos (mm)	0,84 a 1,68
Tamanho efetivo D_{10} (mm)	1
Coeficiente de desuniformidade - CD	1,25
- Camada suporte	
Espessura da camada suporte (m)	0,45
Número de subcamadas	7
Tamanho dos grãos (mm)	2,0 – 38,0
- Número de filtros	1 ($Q_p = 10L/s$), 2 ($Q_p = 20$ e $40 L/s$), 3 ($Q_p = 70L/s$) e 4 ($Q_p = 100 L/s$)
- Características da operação dos filtros	Taxa constante
Obs: Q_p = vazão de projeto da ETA	

Tabela A.2 – Critérios de Projeto das ETAs de FDA₁

Critério de Projeto (Variável)	Valor (Indicador)
<i>Mistura rápida</i>	
- Gradiente de velocidade médio obtido em Jarreste (s^{-1})	1000
- Tempo de mistura obtido em Jarreste (s)	10
<i>Filtro Rápido Ascendente</i>	
- Taxa média de filtração (m^3/m^2d)	180
- Carga hidráulica disponível (m)	2
- Meio filtrante	
Espessura do meio filtrante (m)	1,9
Tamanho dos grãos (mm)	0,59 – 2,00
Tamanho efetivo D_{10} (mm)	0,84
Coeficiente de desuniformidade - CD	1,68
- Camada suporte	
Espessura da camada suporte (m)	0,70
Número de subcamadas	7
Tamanho dos grãos (mm)	2,4 – 38,0
- Número de filtros	1 ($Q_p = 10L/s$), 2 ($Q_p = 20$ e $40 L/s$), 3 ($Q_p = 70L/s$) e 4 ($Q_p = 100 L/s$)
- Características da operação dos filtros	Taxa constante
Obs: Q_p = vazão de projeto da ETA	

Tabela A.3 – Critérios de Projeto das ETAs de DF₁

Critério de Projeto (Variável)	Valor (Indicador)
<i>Mistura rápida</i>	
- Gradiente de velocidade médio obtido em Jarreste (s ⁻¹)	1000
- Tempo de mistura obtido em Jarreste	10
<i>Filtro Ascendente em Pedregulho</i>	
- Taxa média de filtração (m ³ /m ² d)	120
Carga hidráulica disponível (m)	1
Taxa inicial de descarga na lavagem (m/min)	0.55
- Meio filtrante	
Espessura do meio filtrante (m)	1,3
Número de subcamadas	5
Topo (m;mm)	0,6; 2,38 a 4,8
Subcamada intermediária (m;mm)	0,3; 4,8 a 9,6
Subcamada intermediária (m;mm)	0,2; 9,6 a 15,9
Subcamada intermediária (m;mm)	0,1; 15,9 a 25,4
Fundo (m;mm)	0,1; 25,4 a 31,0
- Número de filtros	1 (Q _p = 10L/s), 2 (Q _p = 20 e 40 L/s), 3 (Q _p = 70L/s) e 4 (Q _p = 100 L/s)
- Operação com taxa de filtração	Constante
<i>Filtro Rápido Descendente</i>	
- Taxa média de filtração (m ³ /m ² d)	180
- Carga hidráulica disponível (m)	2
- Meio filtrante	
Espessura do meio filtrante (m)	0,6
Tamanho dos grãos (mm)	0,3 a 1,41
Tamanho efetivo D ₁₀ (mm)	0,42
Coeficiente de desuniformidade - CD	1,7
- Camada suporte	
Espessura da camada suporte (m)	0,45
Número de subcamadas	7
Tamanho dos grãos (mm)	2,0 – 38,0
- Numero de filtros	1 (Q _p = 10L/s), 2 (Q _p = 20 e 40 L/s), 3 (Q _p = 70L/s) e 4 (Q _p = 100 L/s)
- Operação com taxa de filtração	Constante

Obs: Q_p = vazão de projeto da ETATabela A.4 – Critérios de Projeto das ETAs de CC₁ e CC₂

Critério de Projeto (Variável)	Valor (Indicador)
<i>Mistura rápida</i>	
- Gradiente de velocidade médio obtido em Jarreste (s ⁻¹)	1000
- Tempo de mistura obtido em Jarreste (s)	30
<i>Floculação</i>	
- Gradiente de velocidade médio obtido em Jarreste (s ⁻¹)	30 a 40
- Tempo de mistura obtido em Jarreste (min)	20
<i>Decantação</i>	
-Velocidade de sedimentação obtida em Jarreste (cm/min)	2
- Velocidade de sedimentação de projeto (cm/min)	1,5
- Comprimento necessário das placas (m)	1,0
- Velocidade média de escoamento nas placas (cm/min)	15
<i>Filtro Rápido Descendente</i>	
- Taxa média de filtração (m ³ /m ² d)	180
- Carga hidráulica disponível (m)	2
- Meio filtrante	
Espessura do meio filtrante (m)	0,7
Tamanho dos grãos (mm)	0,42 – 1,41
Tamanho efetivo D ₁₀ (mm)	0,45
Coeficiente de desuniformidade - CD	1,6
- Camada suporte	
Espessura da camada suporte (m)	0,45
Número de subcamadas	7
Tamanho dos grãos (mm)	2,0 – 38,0
- Numero de filtros	1 (Q _p = 10L/s), 2 (Q _p = 20 e 40 L/s), 3 (Q _p = 70L/s) e 4 (Q _p = 100 L/s)
- Operação com taxa de filtração	Constante (para vazões de até 70L/s) Declinante (para vazões de 100 L/s)

Obs: Q_p = vazão de projeto da ETA

Tabela A.5 – Critérios de Projeto das ETAs de FF₁

Critério de Projeto (Variável)	Valor (Indicador)
<i>Mistura rápida</i>	
- Gradiente de velocidade médio obtido em Jarreste (s ⁻¹)	1000
- Tempo de mistura obtido em Jarreste (s)	30
<i>Floculação</i>	
- Gradiente de velocidade médio obtido em Jarreste (s ⁻¹)	30 a 40
- Tempo de mistura obtido em Jarreste (min)	20
<i>Flotação</i>	
Velocidade ascensional (cm/min) - obtida em laboratório	15
Taxa de flotação adotada na operação (m ³ /m ² d)	180
Fator de recirculação obtido em laboratório (%)	10
Fator de recirculação de projeto (%)	12
Câmara de saturação	Com recheio
Pressão absoluta no interior da câmara de saturação (atm)	5
Taxa de escoamento superficial na câmara de saturação (m ³ /m ² d)	825
<i>Filtro Rápido Descendente</i>	
- Taxa média de filtração (m ³ /m ² d)	180
- Meio filtrante	
Espessura do meio filtrante (m)	0,7
Tamanho dos grãos (mm)	0,42 – 1,41
Tamanho efetivo D ₁₀ (mm)	0,45
Coefficiente de desuniformidade - CD	1,6
- Camada suporte	
Espessura da camada suporte (m)	0,45
Número de subcamadas	7
Tamanho dos grãos (mm)	2,0 – 38,0
- Numero de floto-filtros	1 (Q _p = 10L/s), 2 (Q _p = 20 e 40 L/s), 3 (Q _p = 70L/s) e 4 (Q _p = 100 L/s)
- Operação com taxa de filtração	Vazão e nível constante

Tabela A.6 – Critérios de Projeto das ETAs de FiME₁ e FiME₂

Critério de Projeto (Variável)	Valor (Indicador)
<i>Pré-filtro dinâmico</i>	
- Taxa média de filtração (m ³ /m ² d)	24
- Taxa inicial de descarga para limpeza (m ³ /m ² d)	> 200
- Meio filtrante	
Número de subcamadas	3
Fundo (m;mm)	0,4; 19,0 a 25,4
Subcamada intermediária (m;mm)	0,3; 9,6 a 15,9
Topo (m;mm)	0,3; 4,8 a 9,6
- Operação com taxa de filtração	Constante
<i>Pré-filtro vertical ascendente em pedregulho, em camadas</i>	
- Taxa média de filtração (m ³ /m ² d)	18
- Carga hidráulica para retenção de impurezas (m)	0,6
- Taxa inicial de descarga para limpeza (m ³ /m ² d)	> 200
- Meio filtrante	
Número de subcamadas	4
Fundo (m;mm)	0,3; 12,7 a 19,0
Subcamada intermediária (m;mm)	0,3; 6,4 a 12,7
Subcamada intermediária (m;mm)	0,3; 3,2 a 6,4
Topo (m;mm)	0,3; 1,6 a 3,2
- Operação com taxa de filtração	Constante
<i>Filtro Lento em Areia</i>	
- Perda de carga final (m)	1
- Nível de água mínimo acima do topo do meio filtrante (m)	0,15
- Taxa média de filtração (m ³ /m ² d)	3
- Meio filtrante	
Altura do meio filtrante (m)	0,9
Tamanho da areia (mm)	0,08 a 1
Tamanho efetivo (mm)	0,21
Coefficiente de desuniformidade (m)	3,4
- Características da camada suporte	
Número de subcamadas	5
Subcamada superior (m;mm)	0,15; 1,41 a 3,20
Subcamada intermediária (m;mm)	0,075; 3,2 a 6,4
Subcamada intermediária (m;mm)	0,075; 6,4 a 12,7
Subcamada intermediária (m;mm)	0,075; 12,7 a 19,0
Subcamada inferior (m;mm)	0,075; 19,0 a 31,0
- Operação com taxa de filtração	Constante

