



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E  
URBANISMO**

**Luciano Reami**

**Aplicação de métodos multicriteriais de apoio à  
tomada de decisão para escolha de tecnologia  
de tratamento de esgoto:  
Estudo de caso de Restinga SP**

**Campinas  
2011**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**Luciano Reami**

**Aplicação de métodos multicriteriais de apoio à tomada de  
decisão para escolha de tecnologia de tratamento de esgoto:  
Estudo de caso de Restinga SP**

Tese apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na Área de Concentração em Saneamento e Ambiente

**Orientador: Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho  
Co – orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Zuffo**

**Campinas  
2011**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

R23a Reami, Luciano  
Aplicação de métodos multicriteriais de apoio à tomada de decisão para escolha de tecnologia de tratamento de esgoto: estudo de caso de Restinga SP. / Luciano Reami. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientadores: Bruno Coraucci Filho, Antonio Carlos Zuffo.

Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Esgotos sanitários. 2. Tratamento de esgoto. 3. Sistema de suporte à decisão. 4. Esgotos - Custos. 5. Análise multicriteriais. I. Coraucci Filho, Bruno. II. Zuffo, Antonio Carlos. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Título em Inglês: Application of multicriteria methods to support decision making for choice of technology for wastewater treatment: a case study of Restinga SP

Palavras-chave em Inglês: Sewage, Sewage treatment, Decision support systems, Sewer - Costs, Multicriteria analysis

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Doutor em Engenharia Civil

Banca examinadora: Edson Aparecido Abdul Nour, Eduardo Cleto Pires, Eraldo Henriques de Carvalho, Marco Antonio Almeida de Souza

Data da defesa: 25-08-2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**Luciano Reami**

**Aplicação de métodos multicriteriais de apoio à tomada de decisão para escolha  
de tecnologia de tratamento de esgoto: Estudo de caso de Restinga SP**

Tese apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na Área de Concentração de Saneamento e Ambiente.

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

  
**Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho**

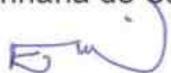
Presidente e orientador – Universidade Estadual de Campinas - FEC

  
**Prof. Dr. Edson Aparecido Abdul Nour**

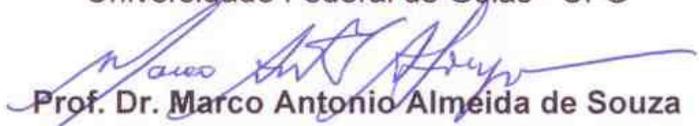
Universidade Estadual de Campinas – FEC

  
**Prof. Dr. Eduardo Cleto Pires**

Escola de Engenharia de São Carlos – USP

  
**Prof. Dr. Eraldo Henriques de Carvalho**

Universidade Federal de Goiás - UFG

  
**Prof. Dr. Marco Antonio Almeida de Souza**

Universidade de Brasília - UnB

Campinas, 25 de agosto de 2011

Dedico aos meus pais José Valdecyr (in memoriam)  
e Innocência Angelina, e ao meu irmão Marcos.

## Agradecimentos

A Deus;

Ao Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho, pela orientação, apoio, e pelos ensinamentos;

Ao Eng. Nathanael Silva Jr, pela orientação, colaboração e apoio em várias etapas do trabalho;

Ao Dr. João Batista Comparini pelo apoio e colaboração;

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos Zuffo, pela orientação quanto aos modelos multicriteriais;

Ao Eng. José Paulo Zamarioli pelo apoio;

Ao Químico MSc Rui Cesar Rodrigues Bueno pelo incentivo e colaboração;

Aos amigos e companheiros de ida a Campinas, Eng. MSc Orlando Antunes Cintra Filho, Eng. MSc Alex Henrique Veronez, Eng. MSc Fernando Colombo, Eng. Antonio Sergio Spolaor, Quim. Luis Antonio Salomão, Quím. Paulo Vitor Albano, Biol. Josimar Augusto Campos,

Aos funcionários da ETE Franca e do Laboratório de Controle Sanitário da SABESP, regional de Franca pela colaboração no preenchimento dos questionários;

Ao Prof. Dr. Ricardo Franci e à orientanda Rosilene Leroy pelo envio de informações;

Aos funcionários do REN – SABESP, Franca, que preencheram os questionários, em especial a Eng<sup>a</sup> Valéria Stephanini, ao Tecnol. Sérgio Aredes, e ao Eng. Dr. Kleber Polisel pelo envio das informações solicitadas sobre as ETE's projetadas;

A todos os funcionários da RE – SABESP, São Paulo, que preencheram os questionários e, em especial ao Eng. Antonio Valério Sobrinho e a Eng<sup>a</sup>. Tânia Maria F.S. Quiesi, pelo envio das informações sobre as ETE's projetadas;

Ao Eng. Carlos Itiro Akutagawa, da MEE – SABESP SP, pelo envio das informações sobre as ETE's projetadas;

Ao Eng. Darcy Brega Filho e a Eng<sup>a</sup>. Flávia Y. Takeuchi pelas informações prestadas sobre inventário de gases de efeito estufa;

Ao Eng. Genesci Viera e Luiz Pazeto, da SABESP de Franca, pelas informações sobre custos e auxílio em informática;

Ao Eng. Dr Paulo Augusto Cunha Libânio, da ANA, pelo envio de dados das ETE's do Prodes;

Ao Tecg<sup>o</sup> Uildson Carlos Alberto de Oliveira, da Sanasa, pelo envio de informações sobre as ETE's de Campinas;

Ao Eng. José Soares Pimentel, do DAEE de São Paulo, por proporcionar acesso aos dados das ETE's do programa Água limpa;

Ao Eng. Caio Ribeiro de Andrade, representante da Prefeitura de Restinga, pela resposta ao questionário;

Ao amigo Félix Antonio de Moura, da Ambient, pelas informações sobre funcionamento de ETE's

Aos estudantes de pós graduação da Unifran (Ciências ambientais), Unicamp (Eng. Ambiental da FEQ), e o curso técnico em curtimento e meio ambiente do Colégio agrícola de Franca (Centro Paula Souza), pelo preenchimento dos questionários;

A todos os profissionais da SABESP da regional de Franca, Mococa e São João da Boa Vista, que colaboraram com o preenchimento dos questionários;

A Paula e sua equipe, da secretaria da pós-graduação, que sempre me atendeu prontamente, com muita competência e dedicação.

## Resumo

REAMI, Luciano. **Aplicação de métodos multicriteriais de apoio à tomada de decisão para escolha de tecnologia de tratamento de esgoto: Estudo de caso de Restinga SP.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil -UNICAMP, 2011. 226p. Tese (Doutorado) -Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2011.

Baseado em projetos de estações de tratamento de esgotos implantados e a implantar, foi realizado uma pesquisa de custos de implantação de 8 modalidades, tendo os valores tratados na forma de custos unitários por capacidade de tratamento, em termos de “R\$/m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> de capacidade”. Foram compostos valores unitários de custos de operação e manutenção dos sistemas pesquisados em termos de “R\$/m<sup>3</sup> tratado”. Além dos custos unitários, foram pesquisados critérios utilizados para o auxílio à tomada de decisão, para uma determinada comunidade, e aplicados em um estudo de caso para o município de Restinga-SP. Utilizou-se três métodos de auxílio à tomada de decisão, o MAUT, o CP e o CGT, com 20 alternativas, sendo 4 delas considerando-se a adaptação do sistema existente, e aplicados 94 questionários para valoração dos critérios por atores envolvidos na tomada de decisão. Os resultados indicaram que o custo unitário de implantação é reduzido na medida em que se eleva a capacidade do sistema. Para os custos operacionais em termos percentuais, concluiu-se entre outras, que a energia elétrica e a remoção e destinação de lodo são bastante significativos. Os métodos multicriteriais aplicados apresentaram resultados semelhantes apenas para a opinião do representante da Prefeitura Municipal, e para os demais ocorreram variações entre as 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> ordem de preferência. As alternativas de melhor compromisso entre os opinantes corresponderam à conversão da lagoa anaeróbia existente em aerada facultativa e implantação de terceira lagoa facultativa em área ao lado da ETE existente, implantação de lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação, e implantação de lagoa aerada seguida de lagoa de decantação (aerada de mistura completa).

**PALAVRAS CHAVE:** Esgotos sanitários, Tratamento de esgoto, Sistema de suporte à decisão, Esgotos – Custos, Análise multicriteriais.

## Abstract

REAMI, Luciano. **Application of multicriteria methods to support decision making for choice of technology for wastewater treatment: A case study of Restinga SP.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil -UNICAMP, 2011. 226p. Thesis (Doctorate) - Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2011.

Based on existing and new sewage treatment plant projects, a research on the implementation costs of 8 sewage treatment modes was executed resulting in unit costs per treatment capacity, in terms of "R\$ / m<sup>3</sup>. d<sup>-1</sup> of capacity." Unit values were composed of operating and maintenance costs of the surveyed systems, in terms of "R\$ / m<sup>3</sup> treated". In addition to unit costs, criteria that can be taken into account to support decision making for a specific community were researched and applied on a case study for the city of Restinga-SP. Three decision making support systems were used, MAUT, CP and CGT, with 20 alternatives, 4 of them considering the adaptation of the existing system, and the undertaking of 94 questionnaires for the valuation of the criteria by actors involved in the decision making process. The results indicated that the unit cost of implementation is reduced as the system capacity is enhanced. In regard to the operating costs it was possible to observe that the electricity and the removal and disposal of sludge were quite significant. The multicriteria methods presented similar results only in the opinion of the municipal representatives, in the other cases a difference was noted between the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> order of preference. The alternatives of best compromise between personal opinions corresponded to the conversion of the existing anaerobic pond into an aerated facultative and third facultative pond using an area next to the existing WWTP, implementation of facultative pond followed by maturation pond, and aerated pond (complete mix aerated) with decantation pond.

**KEY WORDS:** Sewage, Sewage treatment, Decision support systems, Sewer - Costs, Multicriteria analysis

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 3-1 – Representação esquemática de sistema de lodos ativados convencional	20
Figura 3-2 – Representação esquemática de sistema de lodos ativados com aeração prolongada .....	21
Figura 3-3 – Representação esquemática de sistema por lagoa aerada de mistura completa.....	23
Figura 3-4 – Representação esquemática de sistema de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa .....	25
Figura 3-5 - Representação esquemática de sistema de lagoa facultativa .....	25
Figura 3-6 - Representação esquemática de sistema de lagoa anaeróbia seguida de lagoa de facultativa e lagoa de maturação.....	26
Figura 3-7 – Representação esquemática do sistema UASB (RAFA) seguido de biofiltro aerado submerso .....	29
Figura 4-1 - Escolha dos opinantes para participação no processo decisório .....	56
Figura 6-1 – Localização de Restinga.....	71
Figura 6-2 – Imagem aérea da ETE existente (base: Google Earth, 2009).....	73
Figura 6-3 – Locais sugeridos para implantação do novo sistema de tratamento de esgoto – alternativas 5 a 12 (base: Google Earth, 2010).....	75
Figura 6-4 Croqui da configuração alterada de parte da lagoa anaeróbia para lagoa aerada de mistura completa. ....	77
Figura 6-5 – Aspectos de uma ETE tipo RAFA em meio urbano a semelhança com um prédio paulista padrão (fonte: arquivo do autor e site “auriverde.am.br”) .....	90
Figura 6-6 – Aspectos de paisagismo e localização de ETE por lagoas de estabilização .....	90
Figura 6-7 – Fotos das áreas 1 e 2 em Restinga SP.....	93
Figura 6-8 – Árvore de valores dos grupos de opinantes em relação aos critérios avaliados .....	110
Figura 7-1 – Custo unitário de implantação para lodos ativados convencional – de 1,0 a 44 L/s .....	114
Figura 7-2 – Custo unitário de implantação para lodos ativados convencional – de 45 a 620 L/s.....	114
Figura 7-3 - Custo unitário de implantação para lodos ativados com aeração prolongada .....	115
Figura 7-4 - Custo unitário de implantação para RAFA com FBAS .....	115
Figura 7-5 – Custo unitário de implantação para Lagoa aerada com lagoa de decantação .....	116

Figura 7-6 – Custo unitário de implantação de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa .....	116
Figura 7-7 – Custo unitário de implantação de lagoa facultativa .....	117
Figura 7-8 - Custo unitário de lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação .....	117
Figura 7-9 - Custo unitário de lagoa anaeróbia, seguida de lagoa facultativa e de maturação .....	118
Figura 7-10 – Distribuição em percentual dos custos de operação e manutenção da modalidade “lagoa facultativa” .....	122
Figura 7-11 – Distribuição em percentual dos custos de operação e manutenção da modalidade “lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação” .....	123
Figura 7-12 – Distribuição em percentual dos custos de operação e manutenção da modalidade “ lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa” .....	123
Figura 7-13 – Distribuição em percentual dos custos de operação e manutenção da modalidade “ lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de maturação” .....	124
Figura 7-14 - Distribuição dos custos de operação e manutenção da modalidade “lagoa aerada com lagoa de decantação” .....	125
Figura 7-15 - Distribuição dos custos de operação e manutenção da modalidade “lagoa aerada facultativa” .....	126
Figura 7-16 - Distribuição dos custos de operação e manutenção da modalidade “RAFA seguido de FBAS” .....	126
Figura 7-17 - Distribuição dos custos de operação e manutenção da modalidade “lodos ativados convencional” .....	127
Figura 7-18 - Distribuição dos custos de operação e manutenção da modalidade “lodos ativados com aeração prolongada” .....	128
Figura 7-19– Percentual do custo de energia elétrica em relação ao custo total de operação .....	129

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 - Faixas típicas de parâmetros para sistemas de lodos ativados convencional e com aeração prolongada.....	22
Tabela 3-2 - Principais características dos sistemas de lagoas aeradas mecanicamente seguidas de lagoas de decantação .....	24
Tabela 3-3 - Faixas de eficiências de remoção (%) de constituintes físico-químicos, organismos patogênicos e indicadores em lagoas de estabilização.....	27
Tabela 3-4 – Alguns parâmetros do lodo em lagoas de estabilização, von Sperling (2002).....	27
Tabela 3-5 – Características do efluente dos sistemas RAFA seguidos de processos aeróbios.....	29
Tabela 3-6 – Eficiências de remoção dos sistemas RAFA seguidos de processos aeróbios.....	29
Tabela 3-7 - Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios .....	32
Tabela 3-8 – Custos dos sistemas RAFA seguido de sistemas aeróbios.....	33
Tabela 3-9 - Custos dos sistemas RAFA seguido de sistemas aeróbios.....	34
Tabela 3-10 - Faixas de custos de implantação e operação de lagoas de estabilização.....	35
Tabela 3-11 - Custos de implantação de lagoas de estabilização – Libâneo et.al. (2005) .....	35
Tabela 3-12 – Limites microbiológicos para lodos de esgoto pela Resolução CONAMA 375 / 2006 .....	37
Tabela 3-13 – Classificação e principais parâmetros dos cursos de água de acordo com Resolução CONAMA 357/2005.....	38
Tabela 3-14 – Geração <i>per capita</i> de CO <sub>2</sub> em sistemas de tratamento de esgoto .....	39
Tabela 4-1 - Exemplo de níveis de impacto, função de valor original e função de valor transformada.....	44
Tabela 5-1 –Porcentagem de serviços estimada de cada construção de cada sistema de tratamento, para fins de correção de valores.....	61
Tabela 5-2 – Índices de reajuste de custos de obras públicas, de 2002 a 2010 .....	62
Tabela 6-1 – Características atuais da ETE Restinga.....	72
Tabela 6-2 – População e vazões de esgoto atuais e previstas, Restinga SP .....	73
Tabela 6-3 – Características das alterações para conversão de parte da lagoa anaeróbia para modalidade lagoa aerada de mistura completa.....	76
Tabela 6-4 – Custos de investimentos (implantação) e operação e manutenção para conversão de parte da lagoa anaeróbia para modalidade lagoa aerada de mistura completa.....	76
Tabela 6-5 - Características das alterações para conversão da modalidade atual para modalidade lagoa aerada facultativa e implantação de nova lagoa facultativa .....	78

Tabela 6-6 - Custos de investimentos (implantação) e operação e manutenção para conversão da modalidade atual para modalidade lagoa aerada facultativa e nova lagoa facultativa .....	79
Tabela 6-7 - Custos de investimentos (implantação) e operação e manutenção para conversão do sistema atual para modalidade lagoa aerada facultativa e nova lagoa facultativa na área 1 .....	80
Tabela 6-8 - Características das alterações do sistema atual para modalidade lagoas aeradas facultativa. ....	80
Tabela 6-9 - Custos de investimentos (implantação) e operação e manutenção para conversão do sistema atual para modalidade lagoa aerada facultativa .....	81
Tabela 6-10 – Custos de implantação estimados dos sistemas de tratamento de esgoto para cada alternativa.....	82
Tabela 6-11 – Custos estimados de operação e manutenção para final de plano das alternativas de sistemas de tratamento de esgotos.....	83
Tabela 6-12 – VPL de cada alternativa de sistema de tratamento de esgotos.....	83
Tabela 6-13 – Descritor do critério “custo de implantação de ETE” .....	86
Tabela 6-14 – Descritor do critério “custo de operação e manutenção de ETEs” .....	86
Tabela 6-15 – Descritor para o critério “participação da Prefeitura Municipal no custo de implantação” .....	87
Tabela 6-16 – Descritor do critério “dificuldade para desapropriação de área” .....	88
Tabela 6-17 – Descritor do critério “impacto urbanístico e arquitetônico”.....	89
Tabela 6-18 – Correspondência entre a descrição e cada sistema de tratamento de esgotos, para o critério “impacto urbanístico e arquitetônico”.....	91
Tabela 6-19 – Descritivo do critério “transporte de esgoto”.....	91
Tabela 6-20 – Descritor do critério “acessibilidade” .....	92
Tabela 6-21 – Descritor do critério “Valor econômico da área de implantação” .....	93
Tabela 6-22 – Descritor do critério “qualidade do efluente final” .....	94
Tabela 6-23 – Correspondência entre o descritor e o tipo de ETE, para qualidade do efluente final .....	95
Tabela 6-24 – Descritor do critério “geração de odor e distância em relação ao perímetro urbano” .....	97
Tabela 6-25 - Correspondência entre o descritor e o tipo de ETE, para o critério “geração de odor e distância em relação ao perímetro urbano” .....	97
Tabela 6-26 – Descritor do critério “necessidade de mão de obra especializada para operação” .....	98
Tabela 6-27 - Correspondência entre o descritor e o tipo de ETE, para o critério “necessidade de mão de obra especializada para operação” .....	98
Tabela 6-28 - Produtividade de culturas irrigadas com esgoto sanitários (t.ha <sup>-1</sup> ).....	99
Tabela 6-29 – Descritor do critério “possibilidade de uso agrícola do efluente final” ....	100
Tabela 6-30 - Correspondência entre o descritor e o tipo de ETE e local, para o critério “possibilidade de uso agrícola do efluente final”.....	101
Tabela 6-31 – Descritor do critério “geração de lodo” .....	102
Tabela 6-32 - Correspondência entre o descritor e o tipo de ETE, para o critério “geração de lodo”.....	102
Tabela 6-33 – Descritor do critério “consumo de energia elétrica” .....	103
Tabela 6-34 - Correspondência entre o descritor e o tipo de ETE, para o critério “consumo de energia elétrica” .....	103

Tabela 6-35 – Descritor do critério “emissão de gases de efeito estufa” .....	104
Tabela 6-36 - Correspondência entre o descritor e o tipo de ETE, para o critério “emissão de gases de efeito estufa” .....	104
Tabela 6-37 – Matriz “Payoff” para o estudo de caso, ETE de Restinga .....	106
Tabela 6-38 – Numeração e critério correspondente .....	109
Tabela 7-1 – Características das estações de tratamento de esgoto selecionadas e custos unitários de implantação .....	111
Tabela 7-2 - Custos de implantação em R\$/hab. (2010) .....	118
Tabela 7-3 – Custos unitários de implantação considerando a vazão de 15 L/s.....	120
Tabela 7-4– Custos médios de operação e manutenção de sistemas por lagoas de estabilização .....	121
Tabela 7-5 - Custos médios de operação e manutenção de sistemas por RAFA`s e lagoas aeradas.....	125
Tabela 7-6 - Custos de operação e manutenção de sistemas por lodos ativados .....	127
Tabela 7-7 – Ordem de preferência dos critérios entre as formações profissionais consultadas.....	130
Tabela 7-8 – Taxas de substituição para grupo de opinantes de funcionários de SABESP que participam diretamente da decisão .....	132
Tabela 7-9 – Classificação das alternativas, considerando todas, para grupo de opinantes de funcionários de SABESP que participam diretamente da decisão...	133
Tabela 7-10 - Taxas de substituição para grupo de opinantes de funcionários de SABESP que não participam diretamente da decisão .....	134
Tabela 7-11 - Classificação das alternativas para o grupo de opinantes de funcionários da SABESP que não diretamente participam da decisão.....	135
Tabela 7-12 – Taxas de substituição de acordo com o representante da Prefeitura municipal .....	136
Tabela 7-13 - Classificação das alternativas para o opinante representante da Prefeitura Municipal .....	137
Tabela 7-14 - Taxas de substituição para grupo de opinantes dos estudantes de pós- graduação e de curso técnico em meio ambiente.....	139
Tabela 7-15 - Classificação das alternativas para o grupo de opinantes dos estudantes de pós-graduação e de curso técnico em meio ambiente .....	139
Tabela 7-16 - Taxas de substituição para grupo de opinantes representado por todos os participantes .....	141
Tabela 7-17 - Classificação das alternativas para o grupo de opinantes representado por todos os participantes .....	142
Tabela 10-1 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade Lagoa facultativa.....	157
Tabela 10-2 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade Lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação.....	159
Tabela 10-3 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade Lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa .....	161
Tabela 10-4 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade Lagoa anaeróbia, seguida de facultativa e maturação.....	163
Tabela 10-5 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade Lagoa aerada com lagoa de decantação.....	165

Tabela 10-6 - Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade Lagoa aerada facultativa .....	168
Tabela 10-7 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade Lodos ativados convencional.....	171
Tabela 10-8 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade lodos ativados com aeração prolongada .....	174
Tabela 10-9 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade RAFA seguido de filtro biológico aerado submerso.....	177
Tabela 10-10 – Custo unitário de operação da modalidade lagoa facultativa composto por meio de valor presente líquido - VPL.....	180
Tabela 10-11– Custo unitário de operação da modalidade lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação composto por meio de valor presente líquido - VPL.....	181
Tabela 10-12 - Custo unitário de operação da modalidade lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa composto por meio de valor presente líquido - VPL.....	182
Tabela 10-13 - Custo unitário de operação da modalidade lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e de maturação composto por meio de valor presente líquido - VPL.....	183
Tabela 11-1 – Seqüência de cálculos da conversão da lagoa anaeróbia para lagoa aerada de mistura completa seguido de decantação .....	185
Tabela 11-2 - Resumo dos custos da alternativa 1 .....	188
Tabela 11-3 – Memória de cálculo da 1ª lagoa da alternativa conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa.....	189
Tabela 11-4 – Verificação de capacidade da 2ª lagoa .....	190
Tabela 11-5 - Memória de cálculo da 2ª lagoa da alternativa conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa.....	191
Tabela 11-6 - Custos estimados para 2ª alternativa.....	192
Tabela 11-7 - Custos estimados para 3ª alternativa.....	193
Tabela 11-8 - Memória de cálculo da 1ª lagoa da alternativa de conversão das lagoas anaeróbia e facultativa em lagoas aeradas facultativas, com ampliação e aprofundamento das lagoas existentes .....	193
Tabela 11-9 - Memória de cálculo da 2ª lagoa da alternativa de conversão das lagoas anaeróbia e facultativa em lagoas aeradas facultativas, com ampliação e aprofundamento das lagoas existentes .....	195
Tabela 11-10 – Custos estimados para alternativa 4 .....	196
Tabela 13-1 - Exemplo de planilha do Método MAULT.....	203
Tabela 13-2 – Exemplo de planilha do método CP.....	204
Tabela 13-3 – Exemplo de planilha do método CGT.....	206

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
BDI	Benefícios e despesas indiretas
CAE	Custo anualizado equivalente
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CF	Coliformes Fecais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAEE	Departamento de águas e Energia Elétrica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
NB / NBR	Normas Brasileiras
PRODES	Programa de despoluição de bacias hidrográficas
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
PVF	Pontos de vista fundamentais
RAFA	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
RALF	Reator anaeróbio de leito Fluidizado
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Estado do Paraná
SEADE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SS /SSV /SSF	Sólidos Suspensos / Voláteis / Fixos
ST	Sólidos Totais / Voláteis / Fixos
TDH	Tempo de detenção hidráulico
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VPL	Valor presente líquido
WWTP	Wastewater treatment plant

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	OBJETIVOS.....	7
2.1	Objetivo Geral.....	7
2.2	Objetivos Específicos.....	7
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1	Métodos e modelos multicriteriais.....	9
3.2	Configurações de estações de tratamento de esgoto .....	18
3.2.1	Lodos ativados .....	19
3.2.2	Lagoas aeradas de mistura completa e lagoa aerada facultativa .....	23
3.2.3	Lagoas de estabilização aneróbias e facultativas .....	24
3.2.4	Reator anaeróbio de fluxo ascendente RAFA seguido de Sistema aeróbio.....	28
3.3	Tratamento aeróbio versus tratamento anaeróbio .....	30
3.4	Custos de implantação e operação .....	32
3.4.1	Processo de Lodos Ativados Convencional.....	32
3.4.2	Processo de Lodos Ativados com Aeração Prolongada.....	33
3.4.3	Reator anaeróbio de fluxo ascendente RAFA + Sistema aeróbio.....	33
3.4.4	Processo de Lagoas Aeradas seguidas de Lagoas de Decantação.....	34
3.4.5	Lagoas de estabilização .....	34
3.5	Tratamento de Lodo .....	35
3.6	Padrões de qualidade para lançamento de esgoto tratado e de qualidade do corpo receptor .....	37
3.7	Emissão de gás carbônico em sistemas de tratamento de esgoto .....	39
3.8	Odores e a comunidade .....	40
4	Fundamentação teórica sobre metodologias multicriteriais de apoio à tomada de decisão .....	41
4.1	Descritores.....	42
4.2	Funções de valor .....	43
4.3	Critérios para seleção de tecnologia de tratamento de esgoto.....	45
4.4	Taxas de substituição - W .....	48
4.5	Análise de sensibilidade .....	50
4.6	Métodos multicriteriais de apoio à tomada de decisão selecionados para este trabalho.....	51
4.6.1	Método da teoria de utilidade multiatributo – MAUT.....	51
4.6.2	Método da Programação por Compromisso CP – “Compromise Programming”.....	52
4.6.3	Método CGT - Teoria dos Jogos Cooperativos (Cooperative Game Theory).....	54

4.7	Quem participa no processo decisório .....	54
5	Material e métodos.....	59
5.1	Custos de implantação de estações de tratamento de esgotos .....	60
5.2	Custos de operação e manutenção de estações de tratamento de esgoto.....	62
5.2.1	Custos de operação e manutenção de lagoas de estabilização, anaeróbias, facultativas, e de maturação.....	66
5.2.2	Custos de operação e manutenção de Lagoas aeradas de mistura completa, lagoa aerada facultativa, RAFA seguido de filtro biológico aerado submerso (FBAS)	68
5.2.3	Custos de operação e manutenção de sistemas por lodos ativados convencional e por aeração prolongada.....	68
6	Estudo de caso.....	71
6.1	Caracterização do problema.....	71
6.2	Alternativas para o atendimento ao tratamento de esgoto .....	74
6.2.1	Alternativa 1 – Conversão da lagoa anaeróbia para lagoa aerada de mistura completa seguida de decantação .....	76
6.2.2	Alternativa 2 – Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa em área ao lado da ETE existente .....	77
6.2.3	Alternativa 3 – Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa na área 1.....	79
6.2.4	Alternativa 4 - Conversão das lagoas anaeróbia e facultativa em lagoas aeradas facultativas, com ampliação e aprofundamento das lagoas existentes .....	80
6.2.5	Alternativas de implantação de novo sistema, da 5 <sup>a</sup> a 12 <sup>a</sup> .....	81
6.3	Critérios para aplicação dos métodos multicriteriais de apoio à tomada de decisão .....	84
6.3.1	Critérios Econômicos .....	85
6.3.2	Critérios construtivos.....	87
6.3.3	Critérios operacionais e de meio ambiente .....	94
6.3.4	Matriz de avaliação – “Payoff” .....	104
6.4	Determinação das taxas de substituição – W.....	107
6.5	Opinantes.....	107
7	Resultados e discussões.....	111
7.1.1	Custo de implantação .....	111
7.1.2	Custo de operação e manutenção.....	121
7.1.3	Ordem de preferência de importância dos critérios em função da formação dos opinantes .....	129
7.1.4	Classificação final das alternativas por grupo de opinantes de acordo com os métodos multicriteriais aplicados .....	131
8	Conclusões e recomendações .....	145
8.1	Custo unitário de implantação .....	145
8.2	Custos de operação e manutenção.....	146
8.3	Aplicação dos questionários .....	146
8.4	Ordem de importância dos critérios em função da formação dos opinantes..	147
8.5	Modelos multicriteriais e resultados das escolhas das alternativas .....	148
8.6	Conclusões finais.....	151
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	153

10	ANEXO I - Composição dos custos de operação.....	157
11	ANEXO II – Memória de cálculo das alternativas de adaptação ao sistema existente 185	
11.1	Alternativa 1 - Conversão da lagoa anaeróbia para lagoa aerada de mistura completa seguida de decantação .....	185
11.2	- 2ª e 3ª Alternativas: Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa.....	188
11.2.1	Pré dimensionamento da 3ª lagoa das alternativas 2 e 3.....	191
11.3	- 4ª Alternativa: conversão das lagoas anaeróbia e facultativa em lagoas aeradas facultativas, com ampliação e aprofundamento das lagoas existentes .....	193
12	ANEXO III – QUESTIONÁRIO APLICADO .....	197
13	ANEXO IV – MODELOS DE FORMATAÇÃO DOS MÉTODOS EM PLANILHAS DO EXCELL.....	203

# 1 INTRODUÇÃO

Quando o planejador ou o projetista se depara com o desafio de implantar uma estação de tratamento de esgoto para atendimento a uma determinada comunidade, desde logo fica claro que a definição do projeto depende da avaliação de múltiplos fatores, que podem ser igualmente ou mais importantes que o fator econômico-financeiro. Outros fatores devem ser levados em conta, como os ambientais e sociais, que incidem diretamente sobre as pessoas que serão atendidas e poderão ser afetadas pela implantação da estação de tratamento de esgoto.

A Lei Federal nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, prevê a obrigatoriedade da elaboração de planos de saneamento municipais, e estabelece que os serviços públicos de saneamento deverão ser prestados com base nos seguintes princípios fundamentais:

Art. 2, princípio V: Adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;

Art. 2, princípio VII: eficiência e sustentabilidade econômica;

Art. 2, princípio VIII: Utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas;

Art. 2, princípio IX: Transparências das ações, baseadas em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados;

A implantação de um sistema de tratamento de esgoto, em muitos casos previstos em planos de saneamento, deve estar em acordo com esta lei, devendo alcançar a eficiência e sustentabilidade econômica. Não somente por este motivo, mas também por outros que afetam diretamente a sociedade. Faz-se necessário um auxílio aos tomadores de decisão quanto à avaliação das alternativas possíveis, considerando a sustentabilidade dos investimentos.

São muitas variáveis que incidem sobre a implantação de uma estação de tratamento de esgoto (ETE). A decisão da escolha por uma determinada tecnologia, pelo local de implantação, ou de outros parâmetros de projeto, é uma tarefa que não deve estar nas mãos de uma única pessoa, que poderá levar em conta apenas o seu ponto de vista.

Basicamente, na etapa de planejamento, existem três atores ou grupo de atores principais:

- O projetista do sistema, que deve conhecer com profundidade as tecnologias que podem ser aplicadas, e possui certa bagagem de informações que o auxiliam a escolher;
- Os clientes, que são prefeitos, representantes de prefeituras, autarquias, legisladores municipais, e outros interessados de forma geral, que não conhecem, com detalhes, as particularidades de cada tecnologia. E;
- Os intervenientes de cada localização proposta.

Neste contexto, a aplicação de um ou mais métodos de auxílio à tomada de decisão pode em muito colaborar, principalmente com relação às Prefeituras Municipais de cidades pequenas, que em muitos casos não possuem especialistas no assunto em seus quadros de funcionários. A aplicação de um modelo multicriterial de auxílio à tomada de decisão tem o objetivo de traduzir, em números, os valores de cada um dos membros do grupo de decisão, convergindo o resultado para a ou as alternativas de melhor compromisso que melhor atendam a todos os anseios.

Neste trabalho, foram utilizados três métodos de auxílio à tomada de decisão, a abordagem tipo MAUT (*Multi Attribute Utility Theory*), o método CP - Programação por Compromisso (*Compromise Programming*), e o método da Teoria dos Jogos Cooperativos- CGT (*Cooperative Game Theory*). Nestas abordagens, todos os métodos podem ser preparados em Microsoft Excell<sup>R</sup>, não dependendo de programas de informática específicos patenteados.

Como parte deste trabalho, objetivou-se também a realização de um levantamento de custos de implantação e de operação e manutenção de estações de tratamento de esgoto. Este levantamento baseou-se em obras implantadas e em projetos elaborados por diversas instituições, para o uso destas informações na composição dos critérios “custo de implantação” e “custo de operação e de manutenção”.

O custo de operação e de manutenção dos sistemas é de tal ordem importante, porque muitas prefeituras do Brasil e em particular as do estado de São Paulo têm obtido verbas públicas com financiamento não reembolsável para implantação dos sistemas. Em muitos casos nesses municípios não se têm a idéia do incremento de custo mensal a ser considerado no orçamento municipal, que pode comprometer consideravelmente o caixa da prefeitura. Por essa razão, para elucidar os “prós” e os “contras” aos tomadores de decisão, que em muitos casos não são técnicos, a avaliação multicriterial se torna muito útil.

Na realidade, em prefeituras, autarquias e departamentos prevalece a visão e a decisão política. Estes buscam verbas públicas, sempre que precisam, nas esferas federais e estaduais, que na maioria dos casos são rubricadas nos balanços de caixa como “financiamento a fundo perdido”. Já as empresas privadas e de economia mista, principalmente as que possuem acionistas, primam pela visão empresarial. Na visão empresarial, a solução de engenharia que prevalece a melhor solução técnica e econômica, tende a prevalecer. Dentro do equilíbrio financeiro, as empresas privadas e as de economia mista, além de cumprir as políticas públicas e manter o negócio, devem

dar lucro, inclusive para remunerar os investidores, que, no final das contas, estão assumindo em grande parte o papel do estado no provimento dos investimentos.

Além da visão empresarial, o contrato de concessão entre as concessionárias de serviços de saneamento, sejam de economia mista ou privada, e o poder concedente, é regulamentado pela Lei Federal nº 11445 de 5 de janeiro de 2007, cujo contrato é chamado “Contrato de Programa”. Nesse tipo de contrato, todas as despesas de operação e investimentos devem ser equilibradas com a receita ao longo do período de concessão, prevendo-se sua revisão a cada 4 anos. Dessa forma, os dirigentes têm a responsabilidade em buscar investimentos e despesas que sejam compatíveis com o equilíbrio financeiro estabelecido no contrato de programa. Para a busca da melhor solução de engenharia, que atenda tanto aos operadores quanto aos clientes, o uso de modelos multicriteriais, para auxílio à tomada de decisão, torna-se uma interessante ferramenta de apoio.

Foi realizado um estudo de caso, especificamente do município de Restinga, estado de São Paulo, operado pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo).

Com a renovação do contrato de concessão, faz-se necessário dar solução para o sistema de esgoto, que mesmo existente e cumprindo o prescrito na legislação ambiental quanto aos padrões de lançamento, não terá capacidade para atendimento em termos de vazão e carga orgânica até a data de final de plano previsto no plano de saneamento. A solução também deve contemplar a minimização da ocorrência de odores provenientes do processo de tratamento.

Existe o desejo, por parte da administração municipal, em desativar a ETE existente e construí-la em outro lugar, sob a justificativa de utilizar áreas no entorno da ETE para implantação de conjuntos habitacionais. Todavia, trata-se de um investimento público implantado, que a sociedade já pagou, e sua desativação deve ser muito bem justificada. Com a aplicação dos métodos multicriteriais de auxílio à tomada de decisão, que é o estudo de caso desenvolvido neste trabalho, pôde-se elucidar aos opinantes

quais as opções de melhor compromisso, entre otimizar e ampliar o sistema existente ou implantar um novo sistema, com várias opções de tecnologias, escalonados segundo os valores dos grupos de opinantes obtidos por meio de questionários.

As opções consideradas neste trabalho incluem duas localizações e alternativas entre adaptações ao sistema existente e desativação da ETE existente com implantação de novo sistema, todas inclusas no modelo elaborado e com avaliação por meio dos três métodos aplicados. É prática quando se utiliza métodos multicriteriais a separação dos problemas, ou seja, poderia ser avaliado primeiramente a questão de desativar ou não a ETE existente, e em seguida qual a melhor opção entre as tecnologias de tratamento ou opções de adaptação.

Utilizou-se um estudo de caso apenas para fins didáticos, e a aceitação dos resultados obtidos é optativa, não havendo compromisso algum para ambas as partes interessadas em adotá-los.

Não faz parte deste trabalho a verificação da sustentabilidade econômica da alternativa escolhida, pois o tratamento de esgoto é uma parte dos serviços oferecidos pela concessionária ao município. Esses custos são complexos, envolvem os investimentos e a operação dos sistemas de água e esgoto, e os custos totais não estão disponíveis.

Não é objetivo deste trabalho a elaboração de modelos que possam ser aplicados a qualquer estudo de caso, mas pode servir como referência para outras aplicações com objetivos semelhantes, por meio da adoção dos critérios adotados.

Além do levantamento de custos de implantação e de operação e manutenção, este trabalho teve como objetivo também desenvolver a aplicação de modelos matemáticos multicriteriais para auxílio à tomada de decisão, para uma etapa de planejamento da implantação de uma estação de tratamento de esgoto, por meio de um estudo de caso, para o município de Restinga, estado de São Paulo.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral do trabalho foi desenvolver a aplicação de três métodos multicriteriais para auxílio à tomada de decisão, para a etapa de planejamento da implantação de uma estação de tratamento de esgoto, com opção pela otimização de um sistema existente, por meio de um estudo de caso para um município, e avaliar o quanto os métodos são capazes de contribuir na decisão.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Pesquisar custos de implantação de estações de tratamento de esgotos em órgãos governamentais, órgãos financiadores e empresas de saneamento;
- Estabelecer relação de custos unitários de implantação em função da capacidade de tratamento;
- Compor custos de operação de sistemas de tratamento de esgoto adotados para o estudo de caso, com auxílio de dados consultados em empresas de saneamento e autarquias municipais;
- Definir critérios utilizáveis para escolha de sistemas de tratamento de esgoto por meio de bibliografias e consultas aos especialistas;
- Desenvolver estudo de caso para aplicação;
- Estabelecer grupos de opinantes;

- Estabelecer cenários de classificação de alternativas aplicando as abordagens MAUT (*Mult Attribute Utility Theory*), o método CP - Programação por Compromisso (*Compromise Programming*), e o método da Teoria dos Jogos Cooperativos- CGT (*Cooperative Game Theory*),
- Definir as alternativas de melhor compromisso de acordo com os resultados dos três métodos utilizados;
- Avaliar qual a contribuição que a aplicação dos modelos multicriteriais pôde dar no processo de tomada de decisão.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Métodos e modelos multicriteriais**

Para o melhor entendimento, considera-se “método” os equacionamento matemático já divulgado e publicado, com objetivo de dar apoio a um processo de tomada de decisão, e “modelo” quando se utiliza algum método adaptado para uma determinada situação, incluindo critérios e dados referentes ao assunto que se quer tratar.

Souza et al. (2001) cita que os modelos de avaliação tecnológica utilizam-se de uma série de critérios pré-definidos para a avaliação de alternativas, que não são, necessariamente, os mesmos para todos os modelos. Assim, cada autor lista os critérios mais importantes para a avaliação de alternativas, utilizando-se do modelo por ele proposto. O autor cita ainda que aplicam-se os métodos chamados de multiobjetivo, que tendem a buscar a otimização de vários aspectos e os interesses de vários grupos. No caso da existência de vários atributos a serem avaliados, medidos em diferentes escalas, essa análise assume também o caráter multicritério.

De acordo com Zuffo (2009), um método multicriterial pode servir para investigar, classificar, analisar e arranjar, convenientemente, as informações concernentes às possíveis escolhas. O método deve ser capaz de explicar as prioridades políticas, torna possível e de forma eminente a incorporação de diferentes pontos de vista políticos dentro de uma avaliação. Portanto, os resultados são dependentes das visões consideradas.

Os métodos multicriteriais de auxílio à tomada de decisão devem ter as seguintes características:

- Devem aceitar critérios qualitativos e quantitativos;
- Devem ser capazes de trabalhar com um banco de dados extenso (avaliação de critérios);
- Devem possibilitar a análise com um número considerável de parâmetros;
- O usuário deve estar familiarizado com a estrutura de resolução do método, para identificar possíveis causas de erro;

Na década de 70 ocorreu o desenvolvimento dos fundamentos teóricos na “Escola Americana” e criação da “Escola Européia”. Na década de 80 ocorreu a preocupação de enfatizar os processos de análise multiobjetivo como suporte à tomada de decisão, e na década de 2000, destaca-se a preocupação com a estruturação dos problemas, nos valores, e no cognitivo dos opinantes.

Existem diversos métodos de auxílio à tomada de decisão. Segundo Pardalos et al. (1995) apud Zuffo (2009), a classificação mais recente dos métodos pode ser resumida da seguinte forma, descrito na seqüência:

- Métodos baseados na teoria da Programação Matemática Multiobjetivo;
  - Programação por Compromisso;
  - Surrogate Worth Trade-Off, etc...
- Métodos baseados na Teoria da Utilidade MultiAtributo (MAUT):
  - Método Lexicográfico;
  - Método Semops;
  - Método do Processo Analítico Hierárquico (AHP);
  - Método Macbeth, etc,...
- Métodos baseados nas Aproximações Hierárquicas:
  - Método ELECTRE;

- Método PROMETHEE, etc...
- Métodos baseados nas preferências de desagregação
  - Método UTA;
  - Método ORDREG, etc...

Souza et al. (2001) cita que a bibliografia relativa às metodologias de avaliação mostra que há vários modelos de avaliação tecnológica de alternativas que levam em consideração métodos multiobjetivo e multicritério de análise.

Neste contexto, Oliveira (2004) utilizou um modelo multicriterial para auxílio à tomada de decisão com oito alternativas de sistemas de tratamento de esgoto. Este modelo elabora o dimensionamento das unidades de tratamento e, a partir dos dados inseridos, faz a estimativa de custo para cada um dos sistemas contemplados, que são compostos por itens de implantação, operação e manutenção, para determinada vida útil. Das respostas do modelo a melhor alternativa, considerada a de menor custo, é apresentada por meio da técnica de árvore de decisão quantitativa.

A árvore de decisão é uma técnica de avaliação de diversas alternativas, por meio de cálculo do valor monetário esperado para cada alternativa. Oliveira (2004) utilizou a metodologia da árvore de decisão, na qual foi possível fazer comparações via critério de desempenho, opinião do tomador de decisão e probabilidades dos resultados.

Na questão dos requisitos ambientais, Oliveira (2004) se limitou ao desempenho de eficiência de cada sistema estudado. O principal foco do trabalho foram os custos de operação e manutenção.

Leoneti (2009) avaliou a qualidade das respostas do modelo de Oliveira (2004), e a ele implantou uma ponderação qualitativa, por meio da metodologia de análise hierárquica de processos (AHP) – proposta por Thomas L. Saaty, na década de 1970, o que permitiu inserir os julgamentos de tomadores de decisão no processo de escolha do modelo. Além disto, também foi incorporada uma tabela de pagamentos para avaliar,

por meio do equilíbrio de jogos proposto por Nash (1951), quais seriam as alternativas que, concomitantemente, pudessem atender aos critérios de menor custo e de maior eficiência. Por fim, a aplicabilidade do modelo de Oliveira (2004) foi julgada com base em entrevistas realizadas com acadêmicos e profissionais da área de hidráulica e saneamento e em testes práticos, como a criação de um estudo de concepção de sistema de tratamento de esgoto para o município de Fortaleza de Minas (MG).

O modelo de Oliveira (2004), aprimorado por Leonetti (2009), não considera a avaliação por parte dos opinantes diretamente envolvidos de novos critérios além dos que são intrínsecos às tecnologias de tratamento de esgoto consideradas, que podem ser característicos de uma nova aplicação, como por exemplo, as particularidades das localizações propostas em diferentes alternativas.

O modelo classifica as melhores opções em função de tamanho de população. Leonetti (2009) conclui que o modelo “ETEX-FEARP” (desenvolvido por Oliveira, 2004) não é determinístico, ou seja, ele não visa substituir o papel do tomador de decisão, mas sim lhe proporcionar uma visão macro, em oposição aos estudos detalhados de um projeto, para adverti-lo sobre a existência de outras alternativas as quais poderiam ser mais bem estudadas. O melhor nome para um modelo como este, de acordo com o autor, seria: “modelo de apoio à tomada de decisão” e não “modelo de tomada de decisão”, como foi concebido.

Alves (2003) aplicou os métodos multicriteriais *Compromise Programming (CP)*, *Cooperative Game Theory (CGT)* e *Promethee II* para seleção de tecnologia de tratamento de esgoto para o município de Paulínia, SP. Foi concluído que durante o processo de avaliação, a estrutura pode incluir importantes e diferentes aspectos legais, sociais, técnicos além dos econômicos, tornando o processo de avaliação mais complexo e ao mesmo tempo mais flexível, uma vez que possibilitou a inclusão, a exclusão e/ou a alteração de alternativas previamente avaliadas. O autor ressalta a importância da participação dos agentes envolvidos sobre a temática, que não foi escopo do trabalho, mas que, durante a elaboração do trabalho poderiam enriquecer a

decisão com suas experiências, conhecimentos, valores e outras características inerentes à personalidade e formação de cada participante.

Gartner e Gama (2006) utilizaram uma metodologia de avaliação multicriterial para escolha da alternativa de tratamento de dejetos suínos mais adequada às condições sociais, econômicas e ambientais do local. Os impactos ambientais da suinocultura foram levantados e quantificados mediante matriz de rápida avaliação de impactos ambientais e agregados por meio do método *AHP*. Para três alternativas de tratamento os autores avaliaram quinze impactos, nas categorias físico-químicos, biológicos - ecológicos, sociológicos - culturais e econômico-operacionais. Os resultados mostram que a integração dos métodos é uma ferramenta útil para o planejamento e gestão ambiental, por propiciar a melhor integração do processo de tomada de decisão aos objetivos de elevação dos padrões de qualidade dos recursos naturais.

Outro método utilizado é o denominado *Fuzzy AHP*. De acordo com Karimi et al. (2011), o processo de análise hierarquia *Fuzzy AHP* é uma extensão sintética do método clássico *AHP*. Os autores aplicaram o método para seleção do melhor processo de tratamento de esgotos e indicaram que o método é indicado para lidar com a imprecisão das decisões dos tomadores de decisão. Foram consideradas alternativas baseadas em aeração prolongada, lodos ativados de leito fixo, reatores aerados por batelada, e lagoa aerada. Critérios administrativos, econômicos e ambientais e outros sub-critérios foram ponderados e avaliados, e as prioridades das alternativas foram realizadas pelo processo de análise hierárquica *Fuzzy AHP*.

A análise multicriterial pode conter fases anteriores à aplicação do método em si. Com base em uma avaliação das experiências já desenvolvidas e na proposta contida no PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico), Souza et al. (2001) desenvolveram uma metodologia geral de análise composta por quatro fases:

- Fase I - Instruções gerais e informação de dados;

- Fase II - Pré-seleção de alternativas viáveis;
- Fase III - Avaliação tecnológica;
- Fase IV - Análise tecnológica global (Multicritério);

Na fase IV, utiliza-se a análise multiobjetivo e multicritério. Para tanto, foi proposto o emprego de alguns dos algoritmos disponíveis para aplicação de métodos multicritério na forma computacional, como aqueles correspondentes aos métodos da *Ponderação Aditiva*, *Compromise Programming* e a série de métodos *Electre*, para a geração de uma hierarquização das alternativas viáveis, a partir da matriz de consequência gerada na fase anterior. A utilização de mais de um método de análise multicritério é recomendada por vários autores.

Carneiro et al. (2001) utilizou análise multiobjetivo e multicritério para seleção de alternativas para um estudo de caso em Santa Maria – DF. Utilizou os métodos da *ponderação aditiva simples*, *Electre III*, *Electre IV* e *Compromise programming*. Os resultados indicaram que resultados semelhantes para a 1ª ordem de classificação. Os autores concluíram que a metodologia aplicada foi bastante útil, incorporando muitas e distintas variáveis, de forma simplificada e racional. Os modelos continham 6 alternativas e 10 critérios.

Os métodos multicriteriais permitem a inserção de critérios ambientais e legais geralmente qualitativos, e esses podem, em uma análise multicriterial, ter a mesma importância que os critérios técnicos e econômicos, geralmente quantitativos.

A tomada de decisão é de fato parte importante da vida cotidiana. Mas é também uma atividade intrinsecamente complexa e potencialmente uma das mais controversas, em que se tem naturalmente que escolher não apenas entre possíveis alternativas em ação, mas também, entre pontos de vista e formas de avaliar essas ações. Enfim, tem-se que considerar toda a multiplicidade de fatores, direta e indiretamente, relacionadas com a decisão a tomar (Bana e Costa, 1988), apud Alves (2003).

A relevância da chamada “tomada de decisão multiobjetivo” (Multi Objective Decision Making – MODM) resulta no fato de que na maioria das situações decisórias no campo da engenharia, gestão de empresas, no mundo dos negócios, nos vários níveis do setor público administrativo e empresarial do estudo, entre outros estarem presentes, e terem de ser ponderados vários objetivos, geralmente conflitivos entre si. Conflitivos no sentido de que um aumento no nível de desempenho de um dos objetivos pode vir acompanhado de um decréscimo da performance de um dos outros, como, por exemplo, entre a minimização dos custos e a maximização da qualidade do serviço (Bana e Costa, 1988), apud Alves (2003).

No processo de tomada de decisão, o agente opinante pode solicitar ajuda de um analista que, por sua vez, utilizando-se de um conjunto de ferramentas procura apoiar o opinante ao longo do processo de decisão. Algumas dessas ferramentas são os métodos multicriteriais.

A adoção de análise multicriterial utilizando também os critérios ambientais e sociais, além dos técnicos e econômicos, agrega um ganho político para a empresa ou órgão que se aplica, pois esta estratégia aproxima as questões técnicas dos projetos aos anseios da sociedade e contribui na implementação do desenvolvimento sustentável, conforme os conceitos definidos na Agenda 21, Zuffo (1998).

Zuffo (1998) aplicou métodos multicriteriais em um estudo de caso na bacia do rio Cotia, em São Paulo, e adotou 20 critérios e 9 alternativas para solução do problema, os quais foram aplicados a 5 diferentes métodos de auxílio à tomada de decisão. Foram levantados 96 métodos distintos e subdivididos em 4 diferentes categorias. Os cinco métodos utilizados representam 3 das 4 categorias abordadas. São eles: *ELECTRE II*, *PROMETHEE II*, *Programação por Compromisso – CP*, *Teoria dos Jogos Cooperativos – CGT* e o método *Analítico Hierárquico – AHP*. Somente o método *ELECTRE II*, entre os cinco métodos aplicados, não apresentou resultados confiáveis.

O processo de apoio à tomada de decisão, segundo Bana e Costa (1988), divide-se em duas fases fundamentais, que são diferenciadas, porém, intrinsecamente ligadas. A primeira fase pode ser apresentada como uma etapa de análise do sistema em estudo. Condiz à identificação, caracterização e hierarquização dos principais atores envolvidos e à explicitação das alternativas de decisão potenciais, que se pretendem comparar entre si, em termos dos seus méritos e desvantagens relativos, face à um estudo de critérios de avaliação, definidos nesta fase de acordo com o ponto de vista dos atores. Em termos gerais, essa fase trata da formulação do problema e da identificação do objetivo do topo do processo de avaliação. A segunda fase do processo consiste em uma etapa de síntese, cuja finalidade é dar “transparência” à escolha, recorrendo à aplicação dos métodos multicriteriais para apoiar a modelagem das preferências dos atores e a sua agregação.

De acordo com Ensslin et al.(2001), enquanto para os racionalistas, o “objetivo básico da modelagem é o de encontrar a solução ótima”, ou seja, aquela que descreva, da melhor forma possível, a realidade trabalhada, para os construtivistas, “o objetivo da modelagem é a geração de conhecimento aos atores do processo de decisão. Dessa forma, enquanto as metodologias voltadas à tomada de decisão utilizam os preceitos racionalistas, as metodologias de apoio à decisão trabalham com os preceitos construtivistas.

Entende-se que os atores no processo de decisão exercem o papel de dar opinião e, portanto, são os opinantes no processo decisório

É certo que cada corrente partirá para a defesa de seus preceitos próprios, buscando fornecer subsídios para uma melhor decisão por parte dos opinantes. Dentro deste pressuposto, Montibeller Neto (1996) aponta que o sentido de "melhor" é o que torna diferente nas Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão (*Multi Criteria Decision Aid* - MCDA) com relação às abordagens de PO clássica e da Tomada de Decisão Multicritério (*Multi Criteria Decision Making* - MCDM). Assim, percebe-se que o emprego de MCDA, dentro de um paradigma construtivista, o qual, portanto, leva em

consideração os aspectos subjetivos do opinante, tenda à condução de resultados mais expressivos, do que os obtidos por meio do uso de MCDM.

Kalavrouziotis et al. (2011) citam que a seleção racional e eficaz no ambiente agroecológico depende da interação equilibrada de parâmetros espaciais, tecnológicos, ambientais, sócio-político e parâmetros econômicos. Por conseguinte, uma ótima solução poderia ser alcançada por meio da aplicação de uma análise de Decisão Multicritério (MCDA), que pode levar em conta todos os parâmetros citados. Os autores aplicaram o método em um estudo de caso para o planejamento e gestão do lodo da ETE Sparti, (prefeitura de Lacônia, Grécia). Três cenários foram formulados, e verificou-se que o segundo cenário, em que o lodo poderia ser aplicado com sucesso em uma área agrícola de Lacônia cultivados com citros e oliveira foi a melhor solução. Concluiu-se que a modelagem MCDA, apesar das suas insuficiências, poderiam contribuir para dar relativamente soluções satisfatórias de problemas multifatoriais complexos, que são enfrentados pelas sociedades modernas.

Todo processo decisório tem a participação de atores, que no processo são classificados, de acordo com Montibeller Neto (1996) e Ensslin et al.(2001) em:

- Atores agidos, ou seja, aqueles que sofrem passivamente as conseqüências da decisão tomada, não participando de forma direta do processo;
- Atores intervenientes, isto é, aqueles que participam diretamente do processo decisório.

Os atores intervenientes serão aqueles que realmente vão decidir. Estes, dentro do processo de apoio à decisão, podem ser divididos em:

- Opinantes, os atores que possuem a incumbência de tomar a decisão, sendo ela correta ou não, assumindo todas as responsabilidades inerentes à mesma;

- Facilitador, aquele indivíduo que auxilia o andar do processo utilizando modelos e ferramentas específicas para tal; e
- Representantes, os atores que são escolhidos pelo opinante para substituí-lo no processo.

Ensslin et al. (2001) cita que convém observar que, cada um dos envolvidos no processo decisório procurará transmitir suas próprias idéias, concepções, cultura, interesses etc. no decorrer do mesmo. Neste sentido, nenhum dos atores pode ser considerado como neutro no processo, nem mesmo o facilitador.

Mikos e Ferreira (2004) ressaltam que no caminho do construtivismo não existe um único conjunto de conceitos, modelos, procedimentos e/ ou resultados pelo simples fato de que cada conjunto de conceitos, modelos, procedimentos e/ou resultados é construído, especialmente, para um opinante, ou um grupo de opinantes, de maneira a orientar de forma personalizada a decisão e facilitar a comunicação, considerando os objetivos e sistemas de valores destes opinantes e, deste modo, sendo válido, somente, para este opinante ou grupo de opinantes.

### **3.2 Configurações de estações de tratamento de esgoto**

O tratamento de esgotos é desenvolvido, essencialmente, por processos biológicos, associados às operações unitárias físicas de concentração e separação de sólidos. Processos físico-químicos como, por exemplo, coagulação e floculação, normalmente não são empregados por resultarem em maiores custos operacionais e menor eficiência na remoção de matéria orgânica biodegradável. Porém, em algumas situações, notadamente quando se têm condições bastante restritivas para as descargas de fósforo, o tratamento físico-químico pode ser aplicado isoladamente ou, principalmente, associado aos processos biológicos.

O tratamento biológico pode ser subdividido em dois grandes grupos, processos aeróbios e anaeróbios. Observou-se uma tendência histórica em se comparar tais modalidades, enfatizando-se vantagens e desvantagens de cada grupo, hoje é consenso o interesse em associá-los, obtendo-se com isso importantes vantagens técnicas e econômicas.

Os processos biológicos podem ser classificados ainda em função da retenção ou não de biomassa, entendendo-se por biomassa os microrganismos responsáveis pela degradação de matéria orgânica dos esgotos.

Nos processos em que não se pratica retenção de biomassa, o tempo de detenção hidráulica, que é o tempo de passagem do esgoto pelo sistema, é equivalente ao tempo médio de residência celular, também conhecido por idade do lodo. Nos sistemas com retenção de biomassa, este mecanismo deverá ser produzido de alguma forma. Quando se empregam reatores de crescimento em suspensão na massa líquida, como são os tanques de aeração dos processos de lodos ativados, a retenção de biomassa é feita por recirculação do lodo sedimentado nos decantadores posicionados à jusante do reator biológico. Já nos reatores de biomassa aderida, sejam de leito fixo ou móvel, a retenção de biomassa é garantida pela própria aderência dos microrganismos ao meio suporte formando os biofilmes.

Trata-se de um assunto bastante difundido por vários autores. Cita-se neste subtítulo entre outros, notas de aula de Piveli (2006).

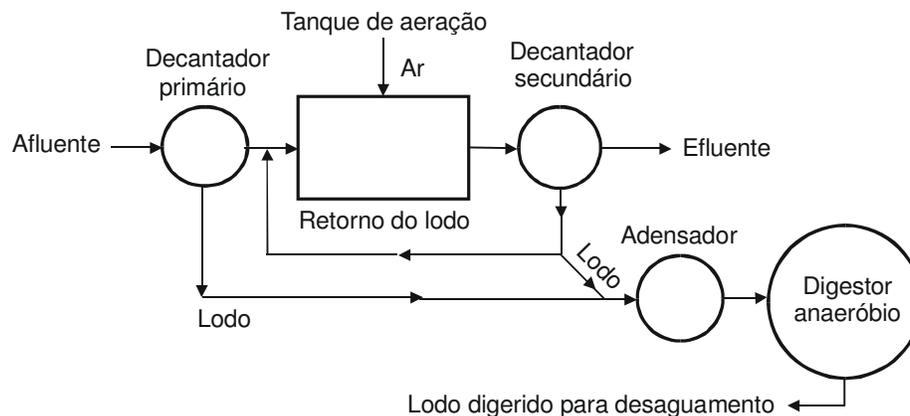
### **3.2.1 Lodos ativados**

#### **3.2.1.1 Lodos ativados convencional**

O processo de lodos ativados convencional é composto das seguintes etapas, Tratamento preliminar (gradeamento e desarenação), decantadores primários, tanques de aeração, decantadores secundários, adensadores de lodo, digestores de lodo, sistema de desaguamento de lodo.

Conforme Metcalf e Eddy (2001) e Piveli (2006), o processo de lodos ativados pode ser enquadrado como tratamento aeróbio, de crescimento em suspensão na massa líquida e com retenção de biomassa. A introdução de oxigênio pode ser feita por meio de diferentes formas, como por meio de aeradores superficiais, sistemas com difusores, até mesmo oxigênio puro pode ser introduzido diretamente nos tanques. Os sólidos biológicos crescem na forma de flocos e são mantidos em suspensão pelo equipamento de aeração, não há meio suporte de biomassa, como os materiais inertes (pedras, plástico, etc.) introduzidos nos sistemas de filtros biológicos. A retenção de biomassa é feita por meio de recirculação do lodo separado nos decantadores acoplados aos reatores biológicos.

A operação sob alta taxa ocorre com idade do lodo ( $\theta_c$ ) inferior a três dias, sem que seja esperada a nitrificação dos esgotos. Os esgotos tratados apresentam  $DBO_5$  e SS (sólidos em suspensão) inferiores a 30 mg/L e concentração de nitrogênio amoniacal (N.amon.) superior a 15 mg/L.



*Fonte: Além Sobrinho(2007)*

**Figura 3-1 – Representação esquemática de sistema de lodos ativados convencional**

### **3.2.1.2 Lodos ativados com aeração prolongada**

Conforme Metcalf e Eddy (2001) e Piveli (2006), na variante do processo de lodos ativados, conhecida por aeração prolongada, não se empregam decantadores primários e o tratamento biológico é dimensionado de forma a produzir um excesso de



### 3.2.1.3 Lodos ativados por batelada

Em situações em que ocorrem grandes flutuações de população e, conseqüentemente, de carga orgânica, a variante com aeração prolongada pode operar sob o regime de bateladas seqüenciais. Não se empregam também os decantadores secundários, sendo a função de separar o lodo do efluente final também atribuída aos tanques de aeração. As operações de enchimento, aeração e sedimentação do lodo ocorrem nos tanques de aeração e são alimentados na forma de rodízio em períodos pré-estabelecidos de forma sincronizada.

Além das unidades citadas, pode haver ainda a necessidade da desinfecção final ou a remoção de nutrientes por processos físico-químicos, dentre outras. Os parâmetros típicos dos sistemas por lodos ativados convencional e por aeração prolongada estão descritos na Tabela 3-1.

**Tabela 3-1 - Faixas típicas de parâmetros para sistemas de lodos ativados convencional e com aeração prolongada**

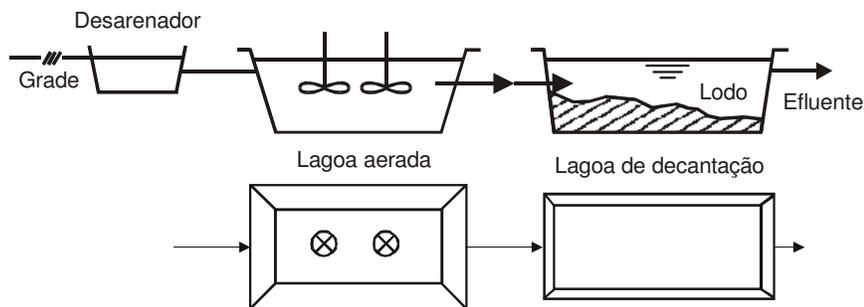
Parâmetro	L.A. Convencional	L.A. Aeração prolongada
Tempo de detenção hidráulico (horas)	4 a 8	18 a 36
Idade do lodo (dias)	5 a 15	20 a 30
Concentração SSVTA (mg/L)	1.500 a 3.000	3.000 a 6.000
Relação (A/M) (kgDBO <sub>5</sub> /kgSSV.dia)	0,3 a 0,8	0,08 a 0,15
Fator de recirculação de lodo (Q <sub>r</sub> / Q)	0,25 a 0,75	0,75 a 1,5
Necessidade de oxigênio (kgO <sub>2</sub> /kgDBO aplicada)	>1,5	>1,5
Densidade de potência no Tanque de Aeração (w / m <sup>3</sup> )	>10	>10

*Fonte: adaptado de Metcalf e Eddy (2001) e NBR - 570*

### 3.2.2 Lagoas aeradas de mistura completa e lagoa aerada facultativa

Um sistema de lagoas aeradas mecanicamente pode ser entendido como um processo de lodos ativados sem recirculação de lodo. As principais unidades que o compõem são: tratamento preliminar (gradeamento e desarenação), lagoas aeradas mecanicamente seguidas de lagoas de decantação.

Conforme von Sperling (2002), basicamente as lagoas aeradas, quando seguidas de lagoas de sedimentação, possuem aeração com capacidade suficiente para toda esta massa em suspensão, enquanto na lagoa aerada facultativa, a densidade de potência utilizada não é suficiente para manter toda a massa em suspensão, devendo ocorrer a sedimentação do lodo na própria lagoa aerada, não sendo utilizada a lagoa de decantação.



*Fonte: Além Sobrinho(2007)*

**Figura 3-3 – Representação esquemática de sistema por lagoa aerada de mistura completa**

Segundo Piveli (2006), essas lagoas aeradas seguidas de lagoa de decantação demonstram-se viáveis para a aplicação em uma faixa ampla de tamanho de municípios, de pequeno a médio portes. Seus custos de implantação são mais baixos e a operação é mais simples que a dos sistemas de lodos ativados. Por outro lado, ocupam menor área que os sistemas que envolvem lagoas fotossintéticas. Na Tabela 3-2 estão descritas as características principais das modalidades de lagoas aeradas.

**Tabela 3-2 - Principais características dos sistemas de lagoas aeradas mecanicamente seguidas de lagoas de decantação**

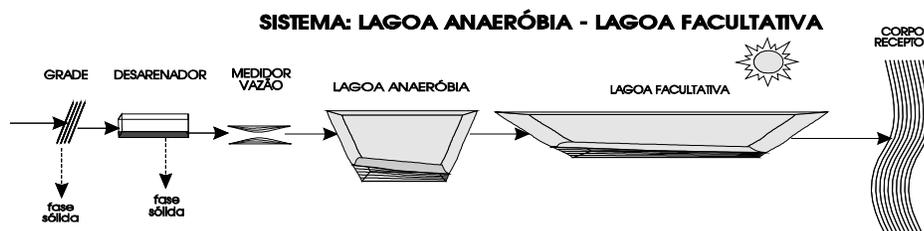
<b>Características</b>	<b>Lagoa aerada aeróbia</b>	<b>Lagoa aerada facultativa</b>
Controle de sólidos	Todos os sólidos saem com o efluente. Necessária separação posterior.	Não se tem controle. Parte sedimenta e parte sai com o efluente final.
Concentração de SST na lagoa	100 - 360	50 – 150
Relação SSV / SST	0,70 a 0,80 (0,75)	0,60 a 0,80
Tempo de detenção hidráulica	< 5 dias	5 a 12 dias
Idade do lodo	< 5 dias	Alta.
Eficiência na remoção de DBO	50 a 60% só lagoa aerada. 90% com pós-separação de sólidos.	70 a 80 %
Nitrificação	Praticamente nula	Praticamente nula
Remoção de coliformes	Muito pobre	Pobre
Profundidade da lagoa	2,5 a 5,0 m	2,5 a 5,0 m
Densidade de potência mínima	> 3,0 W/m <sup>3</sup> para impedir a sedimentação	> 0,75 W/m <sup>3</sup> para garantir difusão uniforme de O <sub>2</sub> ou máximo de 1,75 W/m <sup>3</sup>

*Adaptado de Alem Sobrinho (1998).*

### **3.2.3 Lagoas de estabilização aneróbias e facultativas**

As lagoas de estabilização são tanques construídos em terra de forma a receber os esgotos continuamente, garantindo elevados tempos de retenção destes e propiciando mecanismos naturais para a degradação de matéria orgânica e para a redução da concentração de microrganismos. Não há introdução artificial de oxigênio ou aeração eletro-mecânica.

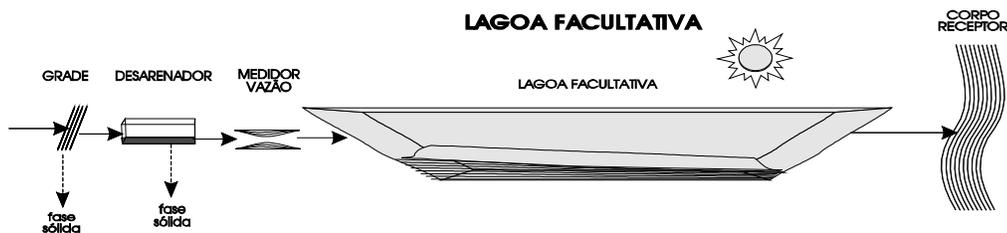
Conforme por von Sperling (2002), as lagoas de estabilização podem ser classificadas em anaeróbias, facultativas e de maturação. As lagoas anaeróbias são escavações mais profundas, com altura útil variando na faixa de 3 a 5 metros, retendo os esgotos durante 4 a 6 dias. Nestas condições, garante-se a anaerobiose, uma vez que a penetração de luz e a sobrevivência de algas só são possíveis e de forma bastante limitadas apenas em estreita camada superficial. Para as nossas condições de temperatura e para as demais anteriormente citadas, obtêm-se eficiências na remoção da DBO<sub>5</sub> dos esgotos da ordem de 40 a 60 %, conforme representação na Figura 3-4



Fonte: von Sperling (2002)

**Figura 3-4 – Representação esquemática de sistema de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa**

As lagoas facultativas são unidades de tratamento mais rasas, com profundidades típicas na faixa de 1,5 a 2,0 m e áreas de espelho de água relativamente maiores do que as das anaeróbias. Os sólidos sedimentáveis, presentes nos esgotos, depositam-se no fundo das lagoas facultativas, entrando em decomposição anaeróbia. A matéria orgânica solúvel mantém-se na massa líquida, sofrendo decomposição aeróbia pela ação de microrganismos heterotróficos, que aproveitam o oxigênio liberado pela fotossíntese de algas bem como decorrente da ventilação superficial. O gás carbônico resultante da decomposição da matéria orgânica é utilizado como matéria prima para o processo fotossintético, fechando o ciclo da simbiose que caracteriza o processo. Essas lagoas, conforme representação esquemática na Figura 3-5, em condições normais de funcionamento, são capazes de propiciar eficiências na remoção de  $DBO_5$  superiores a 80 %, conforme von Sperling (2002).



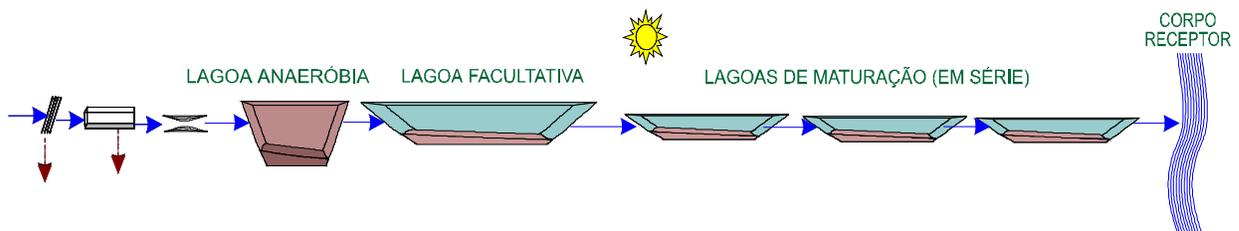
Fonte: von Sperling (2002)

**Figura 3-5 - Representação esquemática de sistema de lagoa facultativa**

Cita Piveli (2006) que as lagoas de maturação são unidades de tratamento com profundidades inferiores a 1,0 m, permitindo elevados tempos de detenção dos esgotos e o decaimento dos coliformes devido à incidência da radiação ultravioleta da luz solar.

Os efluentes das lagoas facultativas são mais clarificados e assim ocorre boa penetração de luz. A baixa concentração de matéria orgânica biodegradável contribui para o decaimento por metabolismo endógeno. Promove boa nitrificação dos esgotos e pequeno aumento na remoção de DBO<sub>5</sub>. Normalmente obtêm-se eficiências na remoção de coliformes fecais superiores a 99,99%, com efluentes com concentrações de coliformes fecais inferiores a 10<sup>3</sup> NMP/100 mL. Em áreas densamente habitadas pode ser difícil a existência de área suficiente para a implantação de lagoas de maturação. Um tempo de detenção típico é de 7 dias para a obtenção das eficiências mencionadas (depende também da relação comprimento e largura), devendo-se recorrer aos modelos de decaimento de coliformes e aos padrões do corpo receptor para a definição do tempo de detenção hidráulico necessário. A Figura 3-6 é uma representação esquemática de um sistema com lagoas de maturação.

### LAGOA ANAERÓBIA - LAGOA FACULTATIVA - LAGOAS DE MATURAÇÃO



*Fonte: von Sperling (2002)*

**Figura 3-6 - Representação esquemática de sistema de lagoa anaeróbia seguida de lagoa de facultativa e lagoa de maturação**

Como vantagens do emprego de sistemas de lagoas de estabilização podem ser listados: o baixo custo de implantação do sistema, exceto se a área for muito valorizada ou se houver necessidade de substituição de solo; a operação é bastante simples, sendo bastante adequados para pequenas populações onde as companhias possuem menores recursos; o projeto é bastante simples e o terreno reaproveitável. Como principais desvantagens podem ser listadas a exigência de áreas relativamente grandes, a presença de elevadas concentrações de algas no efluente final e a exalação de maus odores pelas lagoas anaeróbias.

Nas tabelas Tabela 3-3 e Tabela 3-4 estão descritas as características principais dos sistemas por lagoas de estabilização.

**Tabela 3-3 - Faixas de eficiências de remoção (%) de constituintes físico-químicos, organismos patogênicos e indicadores em lagoas de estabilização**

Parâmetro	Lagoa facultativa	Lagoas anaeróbia + facultativa	Lagoas facultativa + maturação	Lagoas anaeróbia + facultativa + maturação
DBO	75 - 85	75 - 85	80 - 85	80 - 85
DQO	65 - 80	65 - 80	70 - 83	70 - 83
SS	70 - 80	70 - 80	70 - 80	70 - 80
Amônia	< 50	< 50	40 - 80	40 - 80
Nitrogênio	< 60	< 60	40 - 65	40 - 70
Fósforo	< 35	< 35	> 40	> 40
Coliformes	1 - 2 log	1 - 2 log	3 - 6 log	3 - 6 log
Bactérias patogênicas	1 - 2 log	1 - 2 log	3 - 6 log	3 - 6 log
Vírus	≤ 1 log	≈ 1 log	2- 4 log	2- 4 log
Cistos de protozoários	≈ 100%	≈ 100%	100%	100%
Ovos de helmintos	≈ 100%	≈ 100%	100%	100%

*Fonte: adaptado de von Sperling (2002)*

**Tabela 3-4 – Alguns parâmetros do lodo em lagoas de estabilização, von Sperling (2002)**

Parâmetro de projeto	Lagoas anaeróbias	Lagoas facultativas primárias	Lagoas facultativas secundárias	Lagoas de maturação
Taxa de acúmulo de lodo (m <sup>3</sup> /hab.ano)	0,02 - 0,10	0,03 - 0,09	0,03 - 0,05	-
Intervalo de remoção (anos)	< 7	> 15	> 20	> 20
Concentração de sólidos totais no lodo (% ST)	> 10% (d)	> 10% (d)	> 10% (d)	-
Relação SV/ST	< 50%	< 50%	< 50%	-
Concentrações de coliformes no lodo (CF/gST)	102 - 104	102 - 104	102 - 104	102 - 104
Concentração de ovos de helmintos no lodo (ovos/gST)	101 - 103	101 - 103	101 - 103	101 - 103

*Fonte: adaptado de von Sperling (2002)*

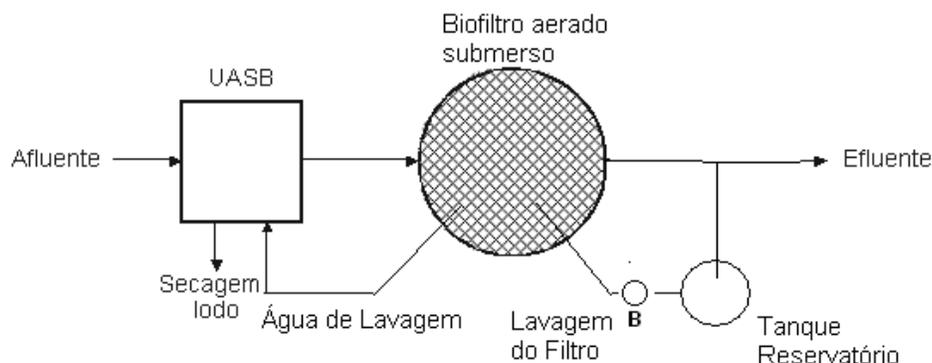
### **3.2.4 Reator anaeróbio de fluxo ascendente RAFA seguido de Sistema aeróbio**

Uma das principais tendências atuais do tratamento de esgotos sanitários reside na inclusão de uma etapa inicial de tratamento anaeróbio. O reator anaeróbio que mais tem se consolidado em nosso meio é o reator conhecido por RAFA ou UASB (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente ou Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Estes sistemas mistos são constituídos de tratamento preliminar e dos reatores RAFA, que podem ter os seus efluentes complementarmente tratados por um processo alternativo, tais como lodos ativados, lagoas aeradas mecanicamente, lagoas de estabilização, filtros biológicos aeróbios, tratamento físico-químico. Chernicharo (2007) cita algumas formas de pós-tratamento de efluentes de RAFAs, entre elas, o sistema de lodos ativados, o filtro biológico aerado submerso, a flotação por ar dissolvido e as lagoas de polimento.

De acordo com os estudos da CETESB, citados por Piveli (2006), para os reatores RAFA, o tempo de detenção hidráulico da ordem de apenas 6 horas com base na vazão máxima horária de esgotos, são suficientes para garantir uma eficiência média na remoção de DBO dos esgotos em torno de 65%, e pode ser esperada uma produção de lodo de 0,2 kg SS / kg DQO aplicada.

Os sistemas anaeróbios tipo RAFA também são conhecidos por apresentarem problemas com exalação de odores, dificuldades operacionais com remoção de gases devido a formação de espessa camada de espuma na superfície líquida, e separação de fases (lodo e líquido). Por outro lado, sem a utilização de energia elétrica e com baixo tempo de detenção removem a carga orgânica da ordem de 65 %.

A Figura 3-7 é uma representação esquemática de um sistema com RAFA seguido de FBAS (filtro biológico aerado submerso).



Fonte: Além Sobrinho(2007)

**Figura 3-7 – Representação esquemática do sistema UASB (RAFA) seguido de biofiltro aerado submerso**

Nas Tabela 3-5 e Tabela 3-6 são descritas as características dos sistemas por RAFA, seguidos de processos aeróbios.

**Tabela 3-5 – Características do efluente dos sistemas RAFA seguidos de processos aeróbios**

Sistema	Características do efluente final							
	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Amônia (mg/L)	N-total (mg/L)	P total (mg/L)	Colif. Term. (NMP)	Ovos de helmintos (ovos/L)
RAFA + Lodos ativados	20 a 50	60 a 150	20 a 40	5 a 15	> 20	> 4	$10^6$ a $10^7$	> 1
RAFA + biofiltro aerado submerso	20 a 50	60 a 150	20 a 40	5 a 15	> 20	> 4	$10^6$ a $10^7$	> 1
RAFA + flotação por ar dissolvido	20 a 50	60 a 100	10 a 30	>20	>30	1 a 2	$10^6$ a $10^7$	> 1
RAFA + lagoas de polimento	40 a 70	100 a 180	50 a 80	10 a 15	15 a 20	< 4	$10^2$ a $10^4$	< 1

Fonte: adaptado de Chernicharo (2007)

**Tabela 3-6 – Eficiências de remoção dos sistemas RAFA seguidos de processos aeróbios**

Sistema	Eficiência de remoção						
	DBO (%)	DQO (%)	SST (%)	Amônia (%)	N-Total (%)	P-Total (%)	Coli. Ter. (log)
RAFA + Lodos ativados	83 a 93	75 a 88	87 a 93	50 a 85	<60	<35	1 a 2
RAFA + biofiltro aerado submerso	83 a 93	75 a 88	87 a 93	50 a 85	<60	<35	1 a 2
RAFA + flotação por ar dissolvido	83 a 93	83 a 90	90 a 97	< 30	< 30	75 a 88	1 a 2
RAFA + lagoas de polimento	77 a 87	70 a 83	73 a 83	50 a 65	50 a 65	> 50	3 a 5

Fonte: adaptado de Chernicharo (2007)

No estado do Paraná, a SANEPAR tem utilizado sistemas anaeróbios, com a denominação “RALF”, ou Reator anaeróbio de lodo fluidizado, desenvolvido pela Sanepar desde 1980 por Arvid Ericsson, conforme citado por Jurgensen (2006). A funcionabilidade do reator RALF é muito semelhante ao RAFA ou UASB, que foi desenvolvido por Gatzke Lettinga, na Holanda.

Para o pós-tratamento dos reatores RALF são utilizados unidades de filtros anaeróbios, filtros biológicos aerados submersos, filtro biológico aeróbio ou filtro aeróbio percolador.

O reator RALF possui as seguintes vantagens operacionais em relação a outros sistemas de tratamento: baixo consumo de energia, baixa produção de lodo; geração de metano (combustível); admite altas cargas de matéria orgânica; área reduzida para construção comparando outras tecnologias baixo custo de construção

Na SABESP tem sido desenvolvida a utilização de reator anaeróbio de fluxo ascendente, seguido de filtro anaeróbio de fluxo ascendente e de filtro aeróbio submerso.

### **3.3 Tratamento aeróbio versus tratamento anaeróbio**

Os reatores anaeróbios para o tratamento de esgotos possuem boa possibilidade de uso no Brasil, que apresenta temperatura elevada em grande parte de seu território e em praticamente o ano todo. Mesmo na região sul, mais fria, a SANEPAR foi quem mais investiu nesta modalidade de tratamento, tanto na capital quanto no interior. Mesmo nessa região, os reatores operam à temperatura ambiente. Cita Piveli (2006) que nas temperaturas mais elevadas as reações de decomposição de matéria orgânica ocorrem mais rapidamente, mas a situação é diferente dos países de clima frio do hemisfério norte, que possuem temperaturas muito baixas em boa parte do ano, necessitando de reatores aquecidos. O aquecimento, mesmo recorrendo-se ao

próprio metano resultante da digestão anaeróbia não é simples de viabilizar, pela necessidade de implantação de uma usina para a purificação do metano.

A eficiência na remoção da DBO dos esgotos no tratamento anaeróbio é mais baixa do que a dos processos aeróbios, demandando tratamento complementar, e a nitrificação é nula.

De acordo com Chernicharo (2007), nos sistemas aeróbios, ocorre cerca de 40 a 50 % de degradação biológica, com a conseqüente conversão em gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). Verifica-se enorme incorporação de matéria orgânica como biomassa microbiana (cerca de 30 a 40 %), que vem a constituir o lodo excedente do sistema. Nos sistemas anaeróbios, verifica-se que a maior parte do material orgânico biodegradável presente no despejo é convertida em metano (cerca de 50 a 70%), que é removido na fase líquida e sai do reator na fase gasosa. Apenas uma pequena parcela do material orgânico é convertida em biomassa microbiana (cerca de 5 a 15 %), constituindo o lodo excedente do sistema. O material não convertido em biogás ou biomassa sai do reator como material não degradado.

Na Tabela 3-7 estão resumidas as vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios.

**Tabela 3-7 - Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios**

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Baixa produção de sólidos, cerca de 5 a 10 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios;</li><li>• Baixo consumo de energia, usualmente associado a uma elevatória de chegada. Isso faz com que os sistemas tenham custos operacionais muito baixos;</li><li>• Baixa demanda de área;</li><li>• Baixos custos de implantação, da ordem de R\$ 20 a 40 <i>per capita</i>;</li><li>• Produção de metano, um gás combustível de elevado teor calorífico;</li><li>• Possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator, por vários meses;</li><li>• Tolerância a elevadas cargas orgânicas;</li><li>• Aplicabilidade em pequena e grande escala;</li><li>• Baixo consumo de nutrientes.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• As bactérias anaeróbias são susceptíveis à inibição por um grande número de compostos;</li><li>• A partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semente adaptado;</li><li>• Alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária;</li><li>• A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e ainda precisam ser mais estudadas;</li><li>• Possibilidade de geração de maus odores, porém controláveis;</li><li>• Possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável;</li><li>• Remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória.</li></ul>

*Fonte: Adaptado de Chernicharo (2007)*

### **3.4 Custos de implantação e operação**

#### **3.4.1 Processo de Lodos Ativados Convencional.**

Conforme Chernicharo (2000), o custo de implantação é estimado entre R\$ 100,00 e R\$ 130,00 por habitante, para populações entre 200 e 600 mil habitantes. O consumo de energia para aeração é estimado em 12 kwh/hab.ano.

Libâneo et al. (2005) estabeleceu custos *per capita* de implantação de sistemas de tratamento de esgoto, baseado nos projetos inscritos no PRODES (Programa de despoluição de bacias hidrográficas), da Agência Nacional das Águas entre 2001 e 2002. Para população lodos ativados convencional entre 100 a 300 mil habitantes, o custo unitário varia entre R\$ 97,00 a 100,00 / habitante.

Jordão e Pessôa (2009) citam que foi possível estabelecer o valor médio de R\$ 157,00 / habitante, em 2002, para sistemas por lodos ativados convencional de grande porte.

### **3.4.2 Processo de Lodos Ativados com Aeração Prolongada.**

De acordo com Chernicharo (2000) o custo de implantação é estimado entre R\$ 60,00 e R\$ 80,00 por habitante, para populações entre 50 e 150 mil habitantes. O consumo de energia para aeração é estimado em 35 kwh/hab.ano.

Para Libâneo et al. (2005), para população entre 20 a 50 mil habitantes o custo unitário é de R\$ 90,00 / habitante e para população entre 50 e 300 mil habitantes este custo é de R\$ 57,00 / habitante.

### **3.4.3 Reator anaeróbio de fluxo ascendente RAFA + Sistema aerobio**

Nas tabelas Tabela 3-8 e Tabela 3-9 estão descritos os custos de implantação e operação dos sistemas RAFA seguidos de sistemas aerados.

**Tabela 3-8 – Custos dos sistemas RAFA seguido de sistemas aeróbios**

<b>Sistema</b>	<b>Custo de implantação (R\$/hab.)</b>	<b>Custo de operação e manutenção (R\$/hab x ano)</b>
RAFA + Lodos ativados	70 a 110	7,0 a 12,0
RAFA + biofiltro aerado submerso	65 a 100	7,0 a 12,0
RAFA + flotação por ar dissolvido	60 a 90	6,0 a 9,0
RAFA + lagoas de polimento	40 a 70	4,5 a 7,0

*Fonte: Adaptado de Chernicharo (2007)*

**Tabela 3-9 - Custos dos sistemas RAFA seguido de sistemas aeróbios**

Sistema	Custo de implantação (R\$/hab.)		
	10 – 20 mil hab.	20 a 50 mil hab.	100 a 300 mil hab.
RAFA + Lodos ativados convencional		120	95
RAFA + Lodos ativados aeração prolongada	90		105
RAFA + lagoas de estabilização	100	100	45

*Fonte: Adaptado de Libâneo et.al. (2005)*

Jordão e Pessôa (2009) citam que foi possível estabelecer o valor médio de R\$ 51,00 / habitante, em 2002, para sistemas de reatores RAFA com pós tratamento, entre eles lagoas aeradas, lagoas de polimento, filtros submersos aerados e filtros anaeróbios.

#### **3.4.4 Processo de Lagoas Aeradas seguidas de Lagoas de Decantação.**

Conforme Chernicharo (2000), o custo de implantação é estimado entre R\$ 50,00 e R\$ 70,00 por habitante, para populações entre 30 e 200 mil habitantes. A energia para aeração da ordem de 22 kwh/hab.ano.

Para Libâneo et al. (2005), o custo de implantação é da ordem de R\$ 50,00 por habitante, entre 50 e 100 mil habitantes.

#### **3.4.5 Lagoas de estabilização**

Nas tabelas Tabela 3-10 e Tabela 3-11 descrevem-se duas referências de custos de implantação para sistemas de lagoas de estabilização.

**Tabela 3-10 - Faixas de custos de implantação e operação de lagoas de estabilização**

Item	Lagoa facultativa	Lagoas anaeróbia + facultativa	Lagoas facultativa + maturação	Lagoas anaeróbia + facultativa + maturação
Custo de implantação (R\$/hab)	30 – 90	30 – 80	40 – 120	40 – 120
Custo de operação e manutenção (R\$/hab.ano)	2,0 – 4,0	2,0 – 4,0	2,5 – 5,0	2,5 – 5,0

*Adaptado de von Sperling (2002).*

**Tabela 3-11 - Custos de implantação de lagoas de estabilização – Libâneo et.al. (2005)**

Sistema	Custo de implantação (R\$/hab.)		
	10 – 20 mil hab.	20 a 50 mil hab.	100 a 300 mil hab.
Lagoa Anaeróbia + facultativa	82	82	40
Lagoa Facultativa		85	45

*Fonte: Adaptado de Libâneo et.al. (2005)*

Jordão e Pessoa (2009) citam que foi possível estabelecer para o ano de 2002 o valor médio de R\$ 65,00 /habitante para sistemas de lagoas facultativas em série.

### 3.5 Tratamento de Lodo

Cita Piveli (2006) que o objetivo da digestão de lodo é complementar a sua estabilização bioquímica, isto é aumentar o grau de mineralização. Os lodos gerados em sistemas de lodos ativados convencional e de filtros biológicos aeróbios apresentam relação SSV/SST elevadas (0,8, por exemplo) e assim não permitem boas condições de desaguamento natural ou mecânica. Como o que prevalece em uma etapa de digestão de lodo é metabolismo endógeno com destruição de SSV, essa relação se reduz (a 0,4, por exemplo) e o lodo mais mineralizado possui melhores condições para a desaguamento final.

Dependendo do uso a ser feito do lodo a ser retirado da estação de tratamento de esgotos, outras etapas de tratamento podem ser necessárias, como a sua higienização para aplicação em solo agrícola.

O objetivo desaguamento é a remoção de água de forma a atingir teores de sólidos superiores a 20%, reduzindo-se assim drasticamente o volume de lodo a ser transportado e compatibilizando-o com aplicações tais como disposição em aterros ou na agricultura.

O desaguamento pode ser feita via natural ou mecanizada. A secagem natural pode ser feita em leitos de secagem ou lagoas de lodo. No Brasil é prática corrente o condicionamento químico com cloreto férrico e cal, em progressiva prática de substituição pelo uso de polieletrólitos, conforme cita Piveli (2006).

A resolução CONAMA 375/2006 estabelece a classificação dos lodos gerados em estações de tratamento de esgoto. Estabelece também que após 5 anos de sua publicação (2011), se não forem comprovados que existe segurança em termos de saúde pública por meio de estudos epidemiológicos para o uso do lodo classe B, somente poderão ser utilizados na agricultura lodos classe A.

Os processos convencionais de tratamento de esgoto não produzem lodo classe A. Para obtenção do lodo classe A, é necessário a complementação do tratamento.

Os principais limites estabelecidos na resolução CONAMA 375/2006 estão descritos na Tabela 3-12.

**Tabela 3-12 – Limites microbiológicos para lodos de esgoto pela Resolução CONAMA 375 / 2006**

Parâmetro	Classe	Limite
I - coliformes termotolerantes;	A	<10 <sup>3</sup> NMP / g de ST
	B	<10 <sup>6</sup> NMP / g de ST
II - ovos viáveis de helmintos;	A	< 0,25 ovo / g de ST
	B	< 10 ovos / g de ST
III - Salmonella	A	Ausência em 10 g de ST
IV - vírus entéricos.	A	< 0,25 UFP ou UFF / g de ST

*Fonte: Adaptado da Resol. CONAMA 375/2006*

Além dos parâmetros microbiológicos, a resolução CONAMA 375/2006 estabelece também limites para substâncias orgânicas e inorgânicas.

Quando o lodo é proveniente de esgoto estritamente doméstico (não industrial), os fatores limitantes estão mais relacionados aos parâmetros microbiológicos.

Silva Jr (2010) indica que no caso específico da cidade de Franca, estado de São Paulo, a cada seis anos de disposição do lodo de esgoto no aterro sanitário municipal, reduz-se em um ano o tempo de vida útil do aterro. E que o custo para o transporte e a disposição no aterro é praticamente o dobro quando comparado ao custo para aplicação em solo agrícola, a uma distância máxima de até 60 km da ETE Franca. Além disso, o uso agrícola do lodo implica na diminuição do custo na aplicação de insumos agrícolas, aumento da produtividade (entre 10 a 20%), maior resistência da planta às épocas de estiagem, melhor desenvolvimento da planta quando aplicado durante o plantio das mudas.

### **3.6 Padrões de qualidade para lançamento de esgoto tratado e de qualidade do corpo receptor**

A Resolução CONAMA 357/2005 de âmbito federal, e o Decreto Estadual 8468/1976 específico do Estado de São Paulo tratam dos padrões de qualidade para

lançamento de esgoto tratado e de qualidade do corpo receptor. No dia 13 de maio de 2011, foi publicada a Resolução CONAMA nº 430/2011 que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução 357/2005.

Para a resolução CONAMA nº 430/2011, a remoção mínima de DBO deve ser de 60 %. Para o estado de São Paulo, considerando o Decreto Estadual 8468/1976 a DBO<sub>5,20</sub>, que deve ser no máximo de 60 mg/L, ou eficiência de remoção de no mínimo 80%., Para o corpo receptor, os principais parâmetros estão descritos na Tabela 3-13.

**Tabela 3-13 – Classificação e principais parâmetros dos cursos de água de acordo com Resolução CONAMA 357/2005**

Parâmetro	Unidade	Limites			
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
DBO <sub>5</sub> 20 °C	mg/L	3,0	5,0	10,0	-
OD	mg/L	6,0	5,0	4,0	2,0
Coliformes Fecais (E.Coli)	NMP/100 mL	200	1000	4000	-
Turbidez	UT	40	100		-
Clorofila	µg/L	10			-
Densidade de cianobactérias	Cel/mL	20.000	50.000	50.000	-
Fósforo total (ambiente lântico)	mg/L	0,020	0,030	0,05	
Fósforo total (ambiente intermediário)	mg/L	0,025	0,050	0,075	-
Fósforo total (ambiente lótico)	mg/L	0,1	0,1	0,1	-
Nitrato	mg/L	10	10	10	-
Nitrogênio amoniacal total	mg/L	3,7 para pH < 7,5	3,7 para pH <7,5	13,3 para pH < 7,5	-
		2,0 para 7,5 < pH < 8,0	2,0 para 7,5 < pH < 8,0	5,6 para 7,5 < pH < 8,0	-
		1,0 para 8,0 < pH < 8,5	1,0 para 8,0 < pH < 8,5	2,2 para 8,0 < pH < 8,5	-
		0,5 para pH > 8,5	0,5 para pH > 8,5	1,0 para pH > 8,5	-

*Fonte: Adaptado da Resol. CONAMA 357/2005*

### 3.7 Emissão de gás carbônico em sistemas de tratamento de esgoto

Caldeira et al. (2005) cita que a decomposição em condições anaeróbias nos reatores produz  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , sem a oportunidade para o sequestro de carbono e recuperação de energia, com efeitos deletéricos para o ambiente e o aquecimento global.

Caldeira et al. (2005) avaliaram a geração de  $\text{CO}_2$  para os sistemas de lodo ativado convencional, com tratamento anaeróbio de lodo e o sistema RAFA, seguido de lodos ativados. Os autores chegaram as seguintes conclusões descritas na Tabela 3-14, baseados em coeficientes cinéticos de cada sistema.

**Tabela 3-14 – Geração *per capita* de  $\text{CO}_2$  em sistemas de tratamento de esgoto**

Geração de $\text{CO}_2$	Lodo ativado + Tratamento Anaeróbio de lodo (mg/hab x d)	RAFA + Lodo ativado (mg/hab x d)
Respiração aeróbia	106.131,52	26.950,00
Digestão anaeróbia	4.722,41	23.284,80
Queima do Biogás	8.770,19	43.243,20
Total	119.624,12	93.478,00

*Fonte: Adaptado de Caldeira et.al. (2005)*

Conforme Bohrz e Silveira (2009), as lagoas de estabilização anaeróbias convertem o carbono presente no efluente na forma de compostos orgânicos (carboidratos, aminoácidos e lipídios) e liberam para a atmosfera, os produtos de sua digestão, principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), contribuindo assim, para o aumento dos níveis desses gases de efeito estufa.

Segundo o IPCC (2006), citado por Vieira (2011), na metodologia de cálculo de emissão de gases de efeito estufa, um dos componentes do cálculo é o “FCM” (fator de

correção de metano). Quanto maior este fator, maior a capacidade de emissão de metano, pois este índice é multiplicado pela capacidade máxima de produção de metano. Para o sistema de lodos ativados com digestor anaeróbio, reatores anaeróbios, lagoa anaeróbia, o FCM corresponde a 0,8. Para lagoas facultativas e de maturação o FCM corresponde a 0,2.

### **3.8 Odores e a comunidade**

Segundo Ludovice et al (1997) as queixas sobre a emissão de odores pelas estações de tratamento de esgotos tem aumentado significativamente durante os últimos anos. Maior conscientização da população sobre os seus direitos de cidadão contribuinte, aumento no número de estações de tratamento de esgotos em operação, associados às pressões urbanas sobre áreas desocupadas que forçam a construção de residências e/ou centros de lazer cada vez mais próximos das ETEs existentes, tem contribuído para colocar as empresas de saneamento em constante conflito com a comunidade.

A afirmação tradicionalmente utilizada por alguns profissionais -“A ETE estava aqui primeiro”, é politicamente incorreta e não mais se justifica. Não servindo, portanto, de defesa para possíveis inconvenientes provocados por ETEs já existentes. Geração de odores desagradáveis, barulho, tráfego pesado e sujeira na pista, são as principais queixas da população contra unidades de tratamento ou recalque de esgotos.

## **4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE METODOLOGIAS MUTICRITERIAIS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO**

Segundo Fitz (2005), baseado em Ensslin et al. (2001), para utilização de uma metodologia multicritério de apoio à decisão, num primeiro momento, deve-se estabelecer o mapa cognitivo vinculado ao problema específico a ser analisado. Num segundo momento, são trabalhados os pontos de vista fundamentais e elementares descritos e seus respectivos descritores. Após, são estipuladas as funções de valores, as quais, vinculadas aos descritores, constituem os critérios de avaliação. Finalmente, são trabalhadas as taxas de substituição de cada critério.

Dentro da abordagem construtivista, tem-se que as representações mentais do opinante estão relacionadas ao seu pensamento no momento em que se faz a consulta, vinculando-se, portanto, a questões subjetivas.

Depois de estruturado, o mapa cognitivo deve ser analisado. Uma das possíveis formas de analisá-lo é por meio da agregação de “clusters” existentes no mesmo. Um “cluster” pode ser considerado como uma espécie de ilha dentro do mapa cognitivo, ou mesmo, outro mapa dentro do original. Identificados os “clusters”, pode-se analisá-los isoladamente, ou seja, cada grupo pode ser considerado como um mapa independente.

Essa forma de análise trabalha com uma cadeia de conceitos, conhecida como uma linha de argumentação, a qual inicia com um conceito rabo (de onde se originam as setas no mapa cognitivo) e finda em um conceito cabeça (onde chegam as setas no mapa cognitivo). Tal tipo de análise caracteriza-se por trabalhar mais a forma do mapa. Uma ou mais linhas de argumentação que mostrem contextualizações semelhantes

dentro do mapa cognitivo, constituem-se nos ramos de um mapa cognitivo. A análise do mapa, por meio de seus ramos, leva em consideração o conteúdo, ou seja, as idéias apresentadas nos conceitos construídos ao longo do processo decisório. Com os ramos identificados, são definidos os pontos de vista necessários para a estruturação do modelo multicritério.

Estabelecidos os PVFs (pontos de vista fundamentais), parte-se para a construção de um modelo multicritério a fim de se avaliar as ações potenciais vinculadas. Para isso, é associado um determinado critério de avaliação a cada PVF. Entretanto, conforme Ensslin et al. (2001), para que se possa construir um critério, se faz necessária a elaboração de descritores.

#### **4.1 Descritores**

Segundo Souza (1999), os descritores podem ser entendidos como sendo “um conjunto de níveis de impacto que sirvam como base para descrever impactos plausíveis das ações potenciais em termos de cada ponto de vista fundamental”.

Os descritores possuem determinadas características específicas. O descritor direto é aquele que expressa uma medida numérica própria, clara e objetiva.

Já o descritor que se relaciona ao ponto de vista, por meio de uma propriedade ou de um evento dependente, é chamado de indireto. Um descritor é construído quando um determinado ponto de vista não pode ser representado por um descritor direto único. Por outro lado, os descritores quantitativos descrevem numericamente, direta ou indiretamente, os níveis de impacto de uma ação, enquanto os qualitativos não apresentam uma forma numérica para essa descrição. Finalmente, é importante mencionar que os descritores diretos quantitativos podem, ainda, ser contínuos ou discretos, quando apresentam ou não, respectivamente, níveis de valores intermediários aos apresentados diretamente pelo descritor.

## 4.2 Funções de valor

Os descritores definem os níveis de impacto das ações potenciais. Para que se possa avaliar a intensidade das preferências entre os níveis de impacto das ações potenciais, devem ser construídas as funções de valor. A função de valor é usada para ordenar a intensidade de preferência (diferença da atratividade), entre os pares de níveis de impacto ou ações potenciais, conforme Dyer e Sarin (1979); Beinat (1995) apud Ensslin et al. (2001).

Ensslin et al. (2001) apresenta vários métodos para a obtenção das funções de valor. A opção por um ou outro método fica a critério do facilitador.

Uma maneira para construir tais funções dá-se com o auxílio do método de julgamento semântico MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) e uso do software MACBETH. O MACBETH utiliza o método de comparação par-a-par dos atributos, entendidos como a diferença de atratividade entre os pares de níveis de impacto ou entre as ações potenciais.

O método da pontuação direta é, como ressaltam Watson e Buede (1987), citados por Ensslin et al. (2001), um dos métodos numéricos mais importantes, e amplamente utilizados para construção de funções de valor. Deve ser construído o descritor, (qualitativo ou quantitativo), formado por um conjunto de níveis de impacto, ordenados preferencialmente, estando definidos o pior e o melhor nível. A esses dois níveis são associados dois valores que servirão de âncora para a escala, geralmente usa-se 0 e 100 por facilidade de cálculo. Em seguida, os opinantes são questionados a expressar numericamente a atratividade dos demais níveis em relação às âncoras. Forma-se assim a função de valor original.

Após estimar as escalas das funções de valor, é necessário fixar o valor da escala referente ao nível Neutro, em cada descritor, no valor "0", e a do nível Bom em "100". Essa transformação é feita porque se deseja ancorar a faixa de variação das

funções de valor, fazendo com que o nível Bom tenha uma atratividade equivalente a todos os descritores. Forma-se assim a função de valor transformada.

Na Tabela 4-1 estão exemplificados os níveis de impacto, função de valor original e função de valor transformada, e na seqüência as equações para determinação dos valores da função transformada.

**Tabela 4-1 - Exemplo de níveis de impacto, função de valor original e função de valor transformada**

Níveis de impacto	Níveis de referência	Função de valor original	Função de valor transformada
N5		100	140
N4	Bom	80	100
N3		55	50
N2	Neutro	30	0
N1		0	- 60

*Fonte: adaptado de Ensslin et al. (2001)*

$$\text{NívelBom: } \alpha \times \mu(\text{Nívelbom}) + \beta = 100 \quad \text{Equação 4-1}$$

$$\text{NívelNeutro: } \alpha \times \mu(\text{NívelNeutro}) + \beta = 0 \quad \text{Equação 4-2}$$

Em que:

$$\alpha = 100 / (\text{valororiginaldonível" bom" - valororiginaldonível" neutro" }) \quad \text{Equação 4-3}$$

$$\beta = -\alpha \times (\text{valororiginaldonível" Neutro" }) \quad \text{Equação 4-4}$$

$\mu$  = valor da função original do nível de referência.

$\alpha$  e  $\beta$  não são termos definidos, mas fazem parte da transformação de função de valor original para transformada

Zuffo (1998), para a definição dos pesos relativos a cada um dos critérios elaborados, realizou uma consulta a vários profissionais especialistas de diversas áreas ligadas aos Recursos Hídricos e Ambiente, todos de nível superior. Foram enviados questionários estruturados por meio de correio eletrônico (e-mail) ou entregues pessoalmente no Brasil e no exterior. Foram atribuídos valores de 1 a 10, na forma de notas. O objetivo deste questionário foi de estabelecer, de uma forma isenta de tendências, o grau de importância relativa que os critérios teriam em relação aos demais. Após tratamento estatístico dos questionários, obtiveram quatro cenários relativos aos pesos para utilização pelos métodos multicriteriais: cenários correspondentes às médias dos pesos, às modas, aos máximos e aos mínimos valores obtidos.

### **4.3 Critérios para seleção de tecnologia de tratamento de esgoto**

Alves (2003), em seu trabalho tratando da seleção de sítio e tecnologia para estação de tratamento de esgoto em Paulínia SP, utilizou os seguintes critérios:

- Econômicos: Distância, que incidem sobre a necessidade de implantação de tubulações entre a ponto de descarga e a localização da ETE; altitude, que incide sobre a necessidade de implantação de sistemas elevatórios, declividade, requisito de área, potência necessária para cada processo, custo de operação e custo de manutenção.
- Técnicos: tempo de detenção hidráulico, confiabilidade do sistema, simplicidade de operação e manutenção, quantidade de lodo a ser tratado, eficiência de remoção (DBO, N, P, Coliformes), qualidade da água do corpo receptor;
- Legal: Zoneamento;
- Ambiental: Possibilidade de problemas ambientais;

Para valoração dos critérios (atribuição de pesos), Alves (2003) consultou, por meio de questionário estruturado, diversos pesquisadores ligados à área de planejamento, saneamento e recursos hídricos.

Metcalf e Eddy (2001) identificaram vinte e um fatores importantes que podem se considerados para avaliação e seleção de sistemas de tratamento:

- Aplicabilidade do processo;
- Vazão aplicável no processo;
- Variação da vazão aplicável;
- Características do afluente;
- Constituintes inibidores e recalcitrantes (substâncias de difícil degradação) do afluente;
- Disponibilidade de área;
- Condições climáticas;
- Cinética da reação e seleção do reator;
- Eficiência do sistema;
- Tratamento dos resíduos;
- Processamento do lodo;
- Restrições ambientais;
- Requisitos químicos;
- Requisitos de outros recursos;
- Requisitos de pessoal;
- Requisitos de manutenção e operação;
- Processos auxiliares;
- Complexidade;
- Compatibilidade.

Campos (1994), apud Oliveira (2004) sugere uma série de tópicos, fases ou considerações para que se adquira informações para os estudos técnicos e econômicos de sistemas de tratamento de esgotos:

- Conhecimento da classe e avaliação de auto-depuração do corpo receptor;
- Definição da eficiência necessária para tratamento;
- Espaço / área disponível para implantação da (s) estação (ões);
- Sondagem e estudos geofísicos na(s) área(s) para implantação da(s) estação(ões);
- Definição do número de estação(ões);
- Definição do(s) módulo(s) que constitui a(s) estação(ões);
- Utilização de tecnologias disponíveis e apropriadas;
- Definição de critérios de projeto;
- Lay-out de ante-projeto;
- Análise sobre o balanço de sólidos para avaliar problemas, soluções e custos para transporte, tratamento e destino final de “lodos”;
- Análise sobre o balanço de energético para avaliar consumo de energia e seus custos;
- Análise sobre as condições técnicas gerais de cada alternativa;
- Análise de custos (construção, operação e manutenção) de cada alternativa (devem ser comparados os valores presentes considerando-se a construção e a operação e manutenção nos próximos 20 anos);
- Análise do impacto ambiental de cada alternativa;
- Escolha da melhor solução.

Oliveira (2004) identificou algumas variáveis também mencionadas em outros estudos como:

- Restrições ambientais;
- Eficiência do sistema;
- Disponibilidade de terreno (área);
- Natureza do local (características);
- Tratamento dos resíduos;
- Requisitos de energia;
- Custos de construção;

- Custo de operação e manutenção;
- Vida útil do sistema.

von Sperling (2002) cita os seguintes aspectos relativos à construção de lagoas de estabilização: disponibilidade de área, localização da área em relação ao local de geração dos esgotos, localização da área em relação ao corpo receptor, localização da área em relação às residências mais próximas, cotas de inundação, nível do lençol freático, topografia da área, forma da área, características do solo, ventos, condições de acesso, facilidade de aquisição do terreno, custo do terreno

#### **4.4 Taxas de substituição - W**

De acordo com Ensslin et al. (2001), em geral, num modelo multicritério, uma ação que produz um grande benefício está vinculada a um alto custo. Para compensar a perda ou ganho de desempenho de uma ação em relação à outra, utilizam-se as denominadas taxas de substituição, também conhecidas como “pesos”. Tais compensações podem ser compreendidas neste contexto, visto que as taxas de substituição vinculam valores constantes de uma escala, a qual transforma valores locais, vinculados a um dado critério, em valores globais.

A fim de reunir todas as possibilidades dessa forma de avaliação, Ensslin et al. (2001) sugerem a adoção de uma soma ponderada como função de agregação aditiva, em que a ponderação de cada critério é dada pela sua taxa de substituição.

Existem diversos métodos para obtenção das taxas de substituição. Mais uma vez, em função de sua operacionalidade, sugere-se pela utilização do método de comparação par-a-par que faz uso do software MACBETH. Tal método, com relação às funções de valor, realiza a comparação entre os pares de ações que possuem desempenhos diferenciados em dois critérios distintos e iguais nos restantes. Tais comparações devem ser realizadas entre cada par de critérios, em que uma dada ação possui impacto tido como bom no primeiro critério e neutro no segundo, enquanto a

outra possui impacto neutro no primeiro e bom no segundo. Este procedimento é realizado sucessivamente até o esgotamento dos pares de ações.

Existem outros métodos que não dependem de software. Um deles é método “Swing Weights”. Segundo Ensslin et al. (2001), a maior vantagem deste método é a rapidez e a simplicidade do procedimento, sem a necessidade de pré ordenar preferencialmente os critérios. As desvantagens, segundo os autores, são que a forma de questionamento para obtenção dos valores dos “pulos” pode confundir os opinantes, e a outra desvantagem é que são necessárias transformações matemáticas para obter as taxas de substituição, tornando o método indireto.

Oferece-se aos opinantes a oportunidade de escolher um critério em que o desempenho da ação fictícia melhora para o nível de impacto “Bom”. A este salto (swing) escolhido, atribui-se 100 pontos. A seguir, o facilitador pergunta ao opinante em qual critério, dos restantes, ele gostaria que houvesse um salto do nível Neutro para o Bom, e quanto valeria este salto em relação ao primeiro e assim sucessivamente.

A taxa de substituição  $W$  do critério “ $n$ ” é dada pela seguinte equação:

$$W(n) = \frac{n}{\sum n} \quad \text{Equação 4-5}$$

Em que:

$n$  = valor do salto do critério “ $n$ ”

$\sum n$  = soma de saltos de todos os critérios

Para a definição dos saltos (pesos), para os critérios elaborados, Zuffo (1998) realizou uma consulta com vários profissionais ligados às Áreas de Recursos Hídricos e Ambiente, todos de nível superior por meio de questionários que foram respondidos por engenheiros (civis, agrícolas, florestais, sanitaristas e agrônomos) biólogos, ecólogos, geógrafos e geólogos, todos da área de pesquisa e tecnologia.

## 4.5 Análise de sensibilidade

Depois da fase de avaliação das taxas de substituição, deve-se mensurar a incerteza dos desempenhos de cada ação potencial. Isto é realizado para que se verifique a consistência do modelo utilizado. Souza (1999) sustenta que uma das dificuldades da abordagem do critério reside na determinação das taxas de substituição no modelo, porque qualquer alteração em seus valores pode modificar significativamente a pontuação de cada uma das ações validadas. Assim, uma análise de sensibilidade deve ser realizada, visando determinar o grau de robustez do modelo a variações nos valores das taxas de substituição.

Conforme Ensslin et al. (2001), para a realização da análise de sensibilidade, deve-se introduzir pequenas variações nos parâmetros utilizados no decorrer dos trabalhos e verificar suas conseqüências. Neste sentido, apresentam que “um dos parâmetros do modelo que mais pode influenciar o resultado final da avaliação é a taxa de substituição dos critérios”, pois o modelo deve ser “estável a pequenas variações nas taxas de substituição”.

Assim, uma pequena alteração introduzida não deve provocar impactos significativos na proporcionalidade existente entre esta e as demais taxas de substituição.

Basicamente, a análise de sensibilidade baseada na variação das taxas de substituição do modelo é feita alternando-se estes parâmetros e verificando as modificações, que porventura, possam ocorrer na avaliação das ações potenciais. Se os resultado final sofrer grandes alterações devido a pequenas flutuações nas taxas de substituição, o modelo não é robusto em relação a estes parâmetros.

Para calcular as novas taxas de substituição do modelo, em função da modificação de uma delas, utiliza-se a equação seguinte.

$$Wn' = \frac{Wn \times (1 - Wi')}{(1 - Wi)}$$

**Equação 4-6**

Em que:

Wi = Taxa de substituição original do critério i

Wi' Taxa de substituição modificada do critério i

Wn = Taxa de substituição original do critério n

Wn' = Taxa de substituição recalculada do critério n

## **4.6 Métodos multicriteriais de apoio à tomada de decisão selecionados para este trabalho**

### **4.6.1 Método da teoria de utilidade multiatributo – MAUT**

A teoria de utilidade multiatributo (MAUT) é essencialmente Anglo-Saxônica e amplamente utilizada na América do Norte em problemas reais, principalmente para problemas relacionadas à área econômico-financeira.

O MAUT tem enfoque no *apoio* à tomada de decisão. Segundo Fitz (2005), entre as deferentes metodologias de trabalho vinculadas ao processo decisório, destacam-se as Metodologias Multicritério de Tomada de Decisão (MCDM – Multicriteria Decision Making) e as metodologias Multicritério em Apoio à Decisão (MCDA – *Multi Criteria Decision Aid*). A escolha pelo uso de uma ou outra metodologia está relacionada principalmente à formação e atuação do profissional envolvido. O autor considera ainda que dentro de sua forma de perceber as especificidades contidas em cada caso, pode-se constatar que as características apresentadas pelas MCDA tornam o processo decisório mais dinâmico e participativo, o que condiz com o seu emprego em equipes interdisciplinares, como em geral apresentam-se os grupos que trabalham com SIGs (Sistemas de informações geográficas).

Conforme citado por Ensslin et al. (2001), para efetuar a avaliação global de uma alternativa (V), ou ação potencial, em um modelo multicritério de agregação aditiva, são necessárias duas informações: a performance local da ação potencial, obtida a partir dos descritores e suas respectivas funções de valor e as taxas de substituição do modelo (W), conforme equação a seguir.

$$V(a) = \sum_{i=1}^n W_i \times v_i(a) \quad \text{Equação 4-7}$$

Sendo:

$V(a)$  = Valor global da alternativa “a”

$W_i$  = taxa de substituição do critério dos critérios 1, 2, 3..., n.

$n$  = número de critérios do modelo

$v_i$  = valor parcial da ação “a” nos critérios 1, 2, 3 ...n.

#### 4.6.2 Método da Programação por Compromisso CP – “Compromise Programming”

A obtenção da solução Ideal não é possível pois dificilmente existe um vetor de decisões  $x^*$  que seja solução comum a todos os  $n$  problemas. Porém, ela pode ser utilizada na avaliação das soluções alcançáveis.

Esta distância é medida pela família métrica “ $l_s$ ”, conforme equação definida por:

$$l_s = \left( \sum_{i=1}^n \alpha_i^s \left| \frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^* - f_{i,w}} \right|^s \right)^{1/s} \quad \text{Equação 4-8}$$

Onde:

- $\alpha_i$  = são os pesos atribuídos a cada um dos parâmetros;
- $f_{i,w}$  = é o pior valor obtido para o parâmetro  $i$ ;
- $f_i(x)$  = é o valor do parâmetro  $i$  na posição  $x$ ;
- $f_i^*$  = é o melhor valor obtido pelo parâmetro  $i$ .
- $S$  reflete a importância que o DM atribui aos desvios máximos, e varia no seguinte intervalo:  $1 < S < \infty$ .
- Para  $S=1$ , todos os desvios de  $f_i^*$  são levados em consideração proporcionalmente às suas magnitudes.
- Para  $2 < S < \infty$ , o maior desvio tem a maior influência. Para  $S = \infty$ , o maior desvio é o único considerado (critério minimax). O problema é resolvido, geralmente, para um conjunto de pesos atribuídos  $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$  e para  $s=1, 2$  e  $\infty$  (Gershon e Duckstein, 1983), apud Zuffo (2009).
- Como a escolha de “ $S$ ” reflete a importância que o DM atribui aos desvios máximos, pode-se dizer que existe dois esquemas de pesos: no primeiro o parâmetro “ $S$ ” reflete a importância que os desvios máximos possuem e, no segundo o parâmetro “ $\alpha_i$ ” reflete a importância do critério  $i$ .

Quando as alternativas de solução estão discretizadas e cada um dos critérios está representado na matriz de avaliação (“Payoff”), este método pode ser aplicado fazendo-se que os melhores valores alcançados por cada um dos critérios seja definido como  $f_i^*$ , e os piores como  $f_{i,w}$ . Com esses valores, com os parâmetros “ $\alpha_i$ ” (pesos) e “ $S$ ” dados, calcula-se a distância de cada alternativa à solução ideal, e seleciona-se a alternativa de menor distância como a de melhor compromisso.

### 4.6.3 Método CGT - Teoria dos Jogos Cooperativos (Cooperative Game Theory)

De acordo com Gershon e Duckstein (1983), apud Zuffo (2009), o método da Teoria dos Jogos Cooperativos minimiza a distância de um certo ponto ideal, sendo a “melhor” solução aquela que maximiza a distância de algum ponto “status quo”, (solução que engloba os piores desempenhos em todos os critérios) de nível mínimo, em que a medida de distância utilizada é a geométrica.

A teoria do jogo, em geral, é um estudo matemático de resolução de conflitos. Um aspecto da teoria do jogo é que os participantes têm a oportunidade de se comunicar e formar ligações e reforçar concordâncias e/ou acordos. O resultado de cada acordo resulta na formulação de uma matriz de avaliação (Payoff).

A função de distância utilizada é dada pela seguinte equação:

$$l_s(x) = \prod_{i=1}^n \left| f_i(x) - f_i^*(x) \right|^{\alpha_i} \quad \text{Equação 4-9}$$

Em que:

$l_s$  = distância

$\alpha_i$  = o peso do  $i$ ésimo critério;

$f_i^*$  = o  $i$ ésimo elemento do ponto “status quo”;

$f_i(x)$  = o resultado da implementação da decisão  $x$  com respeito ao  $i$ ésimo critério.  
O maior valor de  $l_s(x)$  indica a melhor alternativa.

## 4.7 Quem participa no processo decisório

De acordo com Ensslin et al. (2001), não há, em geral, um único responsável por tomar a decisão. Muitas vezes, visando aumentar o comprometimento da equipe e

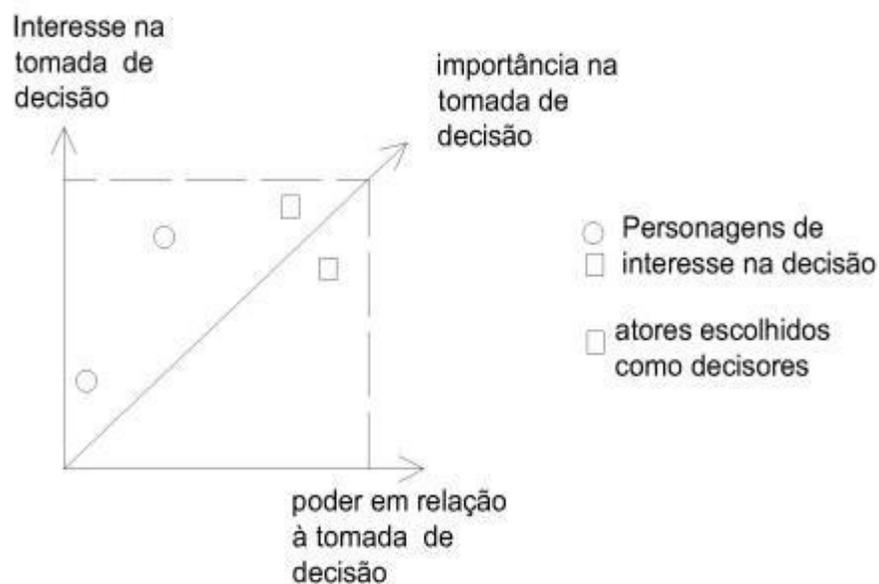
obter múltiplas visões sobre o tema, é desejável envolver um grupo no processo de tomada de decisão. A questão chave é quem irá participar deste grupo para atingir estes dois objetivos: comprometimento e múltiplas visões. A resposta está longe de ser trivial, pois os centros do poder são geralmente difusos e se modificam de maneira dinâmica.

Uma ferramenta útil é mapear em um gráfico os atores envolvidos na situação, em termos de grau de interesse que eles têm na decisão e grau de poder que eles nela podem exercer. Inicialmente deve-se elaborar uma lista dos que estão diretamente envolvidos e dos que, apesar de não estarem diretamente envolvidos têm alguma influência no processo decisório. Além disso, busca-se identificar os principais agidos, aqueles que apesar de não terem poder na decisão, sofrem as conseqüências da decisão que será tomada.

Deve-se ressaltar que, em muitos casos, numa decisão que envolve grandes investimentos, os agidos podem preferir as alternativas menos viáveis economicamente, em razão do “conforto” que elas representam. Essas opções nem sempre são as mais convenientes, quando se envolve dinheiro público e questões ambientais.

Uma vez identificados os atores, cada um deles pode ser posicionado em um plano, em que o eixo das abscissas indica o grau de poder relativo que o ator tem com relação a decisão a ser tomada, e o eixo das ordenadas indica o grau de interesse relativo que o ator tem sobre a decisão a ser tomada, conforme Figura 4-1.

Quanto mais próximo do canto superior direito estiver alocado o ator, mais importância ele terá no processo decisório. Por outro lado, quanto mais próximo do canto inferior esquerdo, menos importância ele terá.



*Fonte: adaptado de Ensslin et al. (2001)*

#### **Figura 4-1 - Escolha dos opinantes para participação no processo decisório**

Para o planejamento ambiental, Santos (2004) cita que uma questão que sempre surge é como propor essa base em número e nível adequados de participação, em suas diferentes instâncias e formas de expressão, sem comprometer a representatividade e a eficiência do processo. Geralmente, parte-se de um grupo inicial, composto das lideranças dos segmentos considerados mais representativos ou mais envolvidos com os objetivos e questões centrais do planejamento.

A dificuldade é conhecer a real representatividade dessas lideranças, assegurando que elas tenham um verdadeiro caráter delegado.

Defender e garantir a participação da coletividade não basta. É necessário compreender o papel de cada partícipe, pois eles raramente atuam do mesmo modo. É necessário apreender sua capacidade e seus interesses em participar. É necessário avaliar a forma de participação e de integração em seu processo de construção.

A metodologia MAUT permite a identificação da função de valor ou de utilidade de um tomador de decisão. A função de utilidade ou de valor de um indivíduo é uma

representação formal matemática de sua escala de valores, ou melhor, de sua estrutura de preferências. Essa função vai associar aos prêmios monetários valores de uma quantidade abstrata chamada utilidade, de modo a convenientemente representar o comportamento real do decisor perante as situações de risco.

No entanto, conforme Zuffo (1998), na gestão os recursos hídricos, por meio da avaliação por comitês de bacias, não existe mais um único opinante, mas sim um grupo de opinantes, e as funções ou de valor ou de utilidade deverão representar este grupo de pessoas, o que será uma dificuldade a mais na identificação dessas funções, gerando, inclusive conflitos. Não se quer afirmar, com isto, que os métodos multicriteriais, baseados na teoria da utilidade multiatributo (MAUT), não possam ser utilizados pela administração pública brasileira. Muito pelo contrário, a existência de situações de conflitos entre os vários opinantes (DMs) criará a necessidade de se disponibilizar o maior número possível de ferramentas para auxiliar os DMs na Tomada de Decisão.



## 5 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia proposta neste trabalho inicia-se pelo levantamento de dados e custos unitários de implantação de estações de tratamento de esgoto, composição de custos unitários de operação e manutenção, e posteriormente a aplicação destes custos em um estudo de caso, com a aplicação de modelos multicriteriais de apoio à tomada de decisão.

O estudo de caso aplicado foi a escolha do local e da tecnologia para implantação de uma estação de tratamento de esgoto no município de Restinga, estado de São Paulo. Para aplicação dos modelos multicriteriais de apoio à tomada de decisão, foram necessários o desenvolvimento de critérios, dentre eles, econômicos, sociais e ambientais, num total de 15.

Para aplicação de modelos multicriteriais de auxílio à tomada de decisão foi necessário ao desenvolvimento de dois questionários. Um aplicado apenas a especialistas no assunto, para valoração dos níveis de referência dentro de cada critério adotado. O outro questionário foi aplicado aos grupos de decisores categorizados de acordo com o grau de interesse na tomada de decisão, de várias profissões e formações para valoração dos critérios, estabelecendo ordem de importância de cada um dos critérios adotados.

A metodologia aplicada é mais bem detalhada nos subitens seqüenciais.

## 5.1 Custos de implantação de estações de tratamento de esgotos

Para o desenvolvimento de critérios e alternativas de tecnologias de tratamento de esgoto, um dos critérios de grande importância é o custo de implantação dos sistemas de tratamento de esgoto.

Para obtenção dos valores de custos unitários de implantação, foram utilizados valores de obras implantadas e de orçamentos de obras a implantar, relacionando o custo total da obra com a capacidade de tratamento no final de plano de atendimento, adotando-se a unidade “R\$ / m<sup>3</sup>. dia<sup>-1</sup> de capacidade”.

Para composição dos custos de implantação dos sistemas de tratamento de esgoto, foram solicitados dados de obras e projetos aos seguintes órgãos:

- Empresa de Saneamento: SABESP (São Paulo);
- Órgãos financiadores e programas: ANA (Agência Nacional das Águas), por meio do programa PRODES e ao DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo), por meio do programa “Água Limpa”;
- Trabalhos publicados.

Para verificação dos empreendimentos financiados pelo DAEE, obteve-se acesso ao sistema de gerenciamento do programa “Água Limpa”, denominado “SIGAL”, em que todos os dados, inclusive de aditamentos de contrato são atualizados.

Em todos os projetos e obras foi tomado o cuidado em só considerar sistemas isolados, sem interceptores, estações elevatórias de esgoto e emissários finais.

No caso da SABESP, alguns valores foram fornecidos por meio da contabilidade da obra num total de 6, ou seja, não se trata do valor exato inicialmente

previsto em projeto, mas do efetivamente gasto, em razão de possíveis alterações no projeto inicialmente não previstas ou contempladas.

Os valores foram atualizados baseados nos índices de correção de preços de obras públicas, até o ano de 2010, publicados pela secretaria da Fazenda do Estado de São Paulo. Os índices se aplicam para mão de obra, terraplanagem, estruturas de arte em concreto, pavimentação e edificações.

Em função dos orçamentos dos projetos obtidos, a aplicação de cada índice de correção baseou-se na proporção do insumo sobre o tipo de obra no todo. Foram adotados três sistemas típicos para fins de divisão proporcional dos insumos, conforme se descreve na Tabela 5-1.

**Tabela 5-1 –Porcentagem de serviços estimada de cada construção de cada sistema de tratamento, para fins de correção de valores**

Insumo	Sistemas		
	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Mão de obra	30	20	17
Terraplanagem	26	12	9
Estruturas de concreto	28	30	48
Pavimentação	12	11	7
Edificações	4	27	19
Sistema 1: lagoas de estabilização			
Sistema 2: lagoas aeradas			
Sistema 3: RAFA com complementos e lodos ativados			

*Fonte: SABESP*

Os índices de reajustes das obras em função do ano do orçamento e para cada insumo foram obtidos no site da Secretaria da Fazenda do Estado de São Paulo e atualizados até 2010.

**Tabela 5-2 – Índices de reajuste de custos de obras públicas, de 2002 a 2010**

Insumo	Índices de reajuste - %							
	2002 a 2010	2003 a 2010	2004 a 2010	2005 a 2010	2006 a 2010	2007 a 2010	2008 a 2010	2009 a 2010
Mão de obra	92,11	66,61	51,53	44,69	37,00	22,87	11,22	6,85
Terraplanagem	27,20	26,59	15,55	10,70	9,98	9,70	-5,43	1,21
Estruturas e obras de arte em concreto	91,42	71,78	53,10	47,08	37,72	28,09	7,72	5,51
Pavimentação	68,02	64,87	49,83	45,29	29,40	22,93	5,00	3,19
Edificações	87,96	65,46	48,09	43,37	35,99	27,72	8,82	6,32

*Fonte: Secretária da Fazenda do Estado de São Paulo  
(<https://www.fazenda.sp.gov.br/IndObPubConsulta/Consultas/select.aspx>)*

Ao todo foram obtidos dados de 66 projetos de estações de tratamento de esgoto, porém foram selecionados e utilizados apenas 45, em 8 modalidades diferentes, por apresentarem dados incompletos.

Dados de projetos da região metropolitana de São Paulo também não foram considerados, por apresentarem custos unitários mais elevados em relação a empreendimentos localizados em regiões não metropolitanas.

Em razão da atualização dos custos baseados nos índices da Secretaria da Fazenda do estado de São Paulo, para que não haja divergências da fonte geradora por discordância do critério de atualização adotado, optou-se pela não identificação dos projetos.

## **5.2 Custos de operação e manutenção de estações de tratamento de esgoto**

A obtenção dos custos de operação, por consulta direta aos responsáveis pela operação dos sistemas, pode não servir como base de dados comparativa entre as diferentes tecnologias de tratamento de esgoto, em virtude das diferenças entre os planos de contas de cada entidade e, principalmente, em função de que a maioria

delas, a exemplo da SABESP, não individualiza a contabilidade por unidade operacional. Ou seja, na maioria dos casos, os custos operacionais contabilizados referem-se às estações de tratamento e a outras unidades, notadamente as elevatórias de esgoto. Neste trabalho, os sistemas de afastamento de esgoto não foram considerados, pois eles estão diretamente ligados às condições urbanísticas e topográficas, características essas que praticamente impedem a comparação dos custos envolvidos.

É inviável também a consulta direta aos operadores por outros fatores que também podem interferir, tais como salários diferentes para a mesma função em regiões diferentes do país, a existência de funcionários que prestam serviços em outras unidades da empresa além do tratamento de esgotos, a ocorrência de partes ou o todo do sistema operada com mão de obra terceirizada, em que se considera o BDI (porcentagem referente a “benefícios e despesas indiretas” para o empregador) sobre o pagamento.

Além disso, na maioria dos casos, a ETE pode não estar operando na capacidade máxima de projeto, que incide sobre o consumo de insumos, produção de lodos, consumo de energia elétrica.

Por todos esses motivos, a obtenção dos custos de operação e manutenção foi feita por meio de composição de custos, baseado nos seguintes itens principais: mão de obra, insumos, energia elétrica, remoção, transporte e disposição de lodo e resíduos (gradeados, areia, escumas) e conservação e manutenção, adotando-se os mesmos critérios operacionais e valores para todas as modalidades. Em todos os casos, foi considerada a vazão de capacidade de final de plano da instalação, de acordo com os projetos considerados, pois assim utiliza-se toda a potência elétrica considerada nos respectivos projetos e maximiza-se a utilização da mão de obra, que por exemplo pode ser mantido o mesmo número de funcionários tanto para a vazão inicial quanto para a vazão final.

Além da adoção de condições operacionais semelhantes para fins de composição de custos operacionais e de manutenção, para a maior parte das tecnologias foram adotados dados de projetos existentes, e em alguns casos com adaptações e modelagem, em que se puderam obter os dados técnicos, tais como potência instalada para determinada vazão de projeto e previsão do volume de lodo gerado. Nos casos de projetos em operação, num total de 6, sendo lagoa facultativa, lagoa anaeróbia seguida de facultativa, lagoa facultativa seguida de maturação, lagoa anaeróbia, seguida de facultativa e maturação, lodo ativado com aeração prolongada, e RAFA seguido de FBAS. Foram consultados os responsáveis pela operação, para fins de determinação do número de funcionários necessários para operação, turnos de trabalhos, entre outros dados. Os resumos das composições de custos, bem como em quais sistemas existentes foram baseados estão descritos no ANEXO I - Composição dos custos de operação, nas Tabela 10-1 a Tabela 10-9.

Para composição dos valores, foram consideradas as seguintes condições em comum a todas as modalidades de tecnologias de tratamento de esgoto:

- A vazão nominal de capacidade, ou seja, a vazão de projeto;
- Não existência de elevatórias de esgoto bruto na área interna da ETE, antes do início do tratamento de esgoto;
- Custo de energia elétrica baseado no preço praticado concessionária Paulista CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz);
- Potências instaladas de acordo com dados de projeto referentes às vazões de projeto;
- Produção de lodo para a vazão de final de plano de cada modelo de sistema, sendo estimado pelo projeto ou por modelagem baseados em bibliografias, conforme von Sperling (2002);
- Número de funcionários por sistema baseado em dados obtidos por consultas e visitas técnicas;
- Salário de funcionários (técnicos e ajudantes) baseado em valores praticados pela SABESP em 2010;

- Localização da ETE a 10 Km da unidade administrativa do sistema. Em algumas situações, como nas ETE's baseadas em lagoas de estabilização, por exemplo, os funcionários não ficam presentes na estação, mas sim nas unidades administrativas, devendo se considerar, portanto, a distância para o deslocamento, considerando veículo alugado (com documentação e manutenção) e custo de combustível;
- Dosagem de hipoclorito de sódio de 7,0 mg/L (Referência: de 6 a 13 mg/L, conforme Gonçalves (2003) )
- Não foi considerado o custo de gerenciamento do sistema (pessoa do gerente) por se tratar de um item comum para todas as modalidades.
- Taxas de retenção de resíduos de 0,009 L/m<sup>3</sup> para grade grossa, 0,023 L/m<sup>3</sup> para grade fina e 40 L de areia / 1000 m<sup>3</sup> de esgoto (baseados em Piveli, notas de aulas, EPUSP), e para o sistema por RAFA com FBAS foi considerado também a peneira estática de 3 mm de abertura e taxa de 0,0083 L/m<sup>3</sup> baseado em informação operacional. Todos os resíduos considerados com classe II A, não inerte, conforme NBR 10004/2004.
- Destinação do lodo para um aterro sanitário convencional, com referência ao de Franca, SP, considerando distância de 10 Km em relação a ETE. O custo de disposição é de aproximadamente R\$ 60,00/t. Para o lodo desaguado foi considerada a densidade de 1 ton/m<sup>3</sup> ao custo R\$ 60,00/m<sup>3</sup>. Para resíduos de gradeamento foi considerada a densidade verificada em laboratório, de 0,28 ton/m<sup>3</sup>, que resulta em R\$ 16,80/m<sup>3</sup>, para areia a densidade de 0,75 ton/m<sup>3</sup>, que resulta em R\$ 45,00/m<sup>3</sup> e para espuma a densidade de 0,83/m<sup>3</sup>, resultando em R\$50/m<sup>3</sup>
- Acúmulo de lodo em lagoas de estabilização de 50 L/hab x ano, conforme von Sperling (2002);
- Custos unitários de serviços, tais como serviços de caminhão tipo limpa fossa, capina de área verde, de acordo com banco de preços da SABESP, de 2010;
- Remoção e desaguamento de lodo em lagoas de estabilização foi baseado em um custo apurado por meio de um estudo de caso, baseado na limpeza da lagoa de Jaborandi, SP, publicado por Bueno et al. (2009), em que se compôs o custo

levando-se em conta a aquisição dos BAG's, a montagem, os serviços de dragagem e aplicação de polímeros para desaguamento, tudo ao custo de R\$ 55,86 / m<sup>3</sup> de lodo dragado.

Em razão das particularidades de cada sistema, foram adotadas algumas condições em comum entre os sistemas, para fins de composição e comparação na mesma base de dados. Essas condições implicam que tais custos podem não ser os reais dos sistemas mencionados, em razão de haver divergências em relação às práticas efetivamente adotadas. Também não foram considerados outros tipos de gastos que são comuns entre todos as tecnologias, como recursos humanos (treinamentos, horas extras), informática, automação, telemetria, e análises laboratoriais principalmente referentes à caracterização, padrão de lançamento e de corpo receptor, entre outros.

Diferente dos custos de implantação, o custo de operação tem parte que é fixo e parte variável, que é proporcional à vazão de projeto, podendo haver ganho em escala, como por exemplo, na quantidade de funcionários, quando em sistemas com vazões maiores. A variação se deve, por exemplo, ao fato de que a geração e material gradeado, areia, e lodo são proporcionais à vazão afluente, o consumo de energia elétrica é proporcional à carga orgânica afluente, bem como as dosagens de produtos químicos (hipoclorito de sódio, por exemplo) que são também proporcionais à vazão.

### **5.2.1 Custos de operação e manutenção de lagoas de estabilização, anaeróbias, facultativas, e de maturação.**

Nas pesquisas de campo realizadas em unidades da SABESP (que opera sistemas de água e esgoto em pelo menos 360 municípios do estado de São Paulo), verificou-se que a empresa não tem mantido funcionários durante todo o horário comercial. Geralmente os serviços de limpeza de grades de retenção de detritos são realizados pelo menos uma vez ao dia por um funcionário volante. A remoção de areia das caixas de areia é feita em torno de uma vez ao mês, dependendo da capacidade de retenção de cada dispositivo, e a remoção de escumas superficiais eventualmente,

quando ocorrem em grande quantidade. Os serviços de capina, jardinagem e pintura (conservação) são executados a cada três meses por empresas terceirizadas.

Algumas prefeituras têm optado por manter um funcionário diariamente, apenas horário comercial, com a finalidade de executar serviços rotineiros, pois o tamanho do sistema e a quantidade de serviços não requerem funcionários em outros turnos. A SABESP também adota este critério, com algumas exceções para os sistemas de maior capacidade, como por exemplo a ETE de Jales, que, em função da área, demanda serviços de capina e jardinagem com maior intensidade.

Nesta composição de custos não foi considerada a presença de funcionário com exclusividade para operação e manutenção do sistema, porém considerou-se pelo menos uma vez ao dia a ida de um funcionário para realização de limpeza de grades e inspeção geral na área.

Um dos fatores que diferenciam os sistemas por lagoas de estabilização das outras tecnologias de tratamento de esgotos é fato de que não se faz a remoção de lodo rotineiramente. Geralmente esta remoção se dá após muitos anos de operação, e havia até então, uma percepção de que para as lagoas não há uma preocupação em se remover lodo. Com o surgimento no mercado da tecnologia do uso de “bag’s” , a remoção de lodo tem se tornado mais freqüente.

No caso específico das lagoas de estabilização foram consideradas duas situações para efeito de composição de custos. Na primeira, a remoção de lodo foi simulada como se mantivesse a remoção contínua, mês a mês de acordo com a taxa de acúmulo específica com condicionamento em “bag’s” e posterior envio a um aterro sanitário. Na segunda, foi considerada a remoção de lodo e destinação a um aterro sanitário a cada 10 anos (exceção do último período com 8 anos, totalizando 28) e estabelecido o VPL (valor presente líquido), para verificação do custo unitário.

### **5.2.2 Custos de operação e manutenção de Lagoas aeradas de mistura completa, lagoa aerada facultativa, RAFA seguido de filtro biológico aerado submerso (FBAS)**

Sistemas baseados em lagoas aeradas, RAFA (Reator anaeróbio de fluxo ascendente) seguido de filtro biológico aerado submerso apresentam complexidade operacional maior em relação às lagoas de estabilização.

O RAFA requer controle mais rigoroso do material gradeado e da areia, e em alguns casos em que ocorre a exalação de odores a ponto de incomodar a população vizinha, requer a aplicação de soda cáustica no esgoto afluente para controle do pH e minimização de odores. No reator é necessário realizar análises rotineiras para se determinar o volume de descarte de lodo, remoção de escumas, e controle de odor.

Para os sistemas baseados em RAFA foi considerada a presença de pelo menos um operador em horário comercial, e a eventual visita de um técnico em manutenção, em função da quantidade de equipamentos eletromecânicos instalados.

Com a mecanização das unidades seqüentes do RAFA, bem como os sistemas por lagoas aeradas de mistura completa ou facultativas, são requeridas também as manutenções elétricas e mecânicas, tanto preventivos, quanto corretivos.

A geração de lodo tanto no RAFA quanto nas unidades subseqüentes, e nas lagoas de sedimentação requerem o desaguamento, seja por leito de secagem ou centrífugas, com a devida destinação do lodo.

### **5.2.3 Custos de operação e manutenção de sistemas por lodos ativados convencional e por aeração prolongada**

Sistemas por lodos ativados requerem, devido à complexidade da operação, mão de obra treinada para realizar constantes ajustes no processo. Além da limpeza das grades e remoção de areia, que podem ser automatizados, o processo exige, no

mínimo, a operação de descarte de lodo, o ajuste de quantidade de oxigênio dissolvido, o tratamento e desaguamento do lodo, e a logística da destinação final do lodo.

Além da operação, esse tipo de sistema requer atividade contínua de manutenção elétrica e mecânica, preventiva e corretiva.

A grande quantidade de equipamentos eletromecânicos faz com que a gestão da segurança patrimonial assuma papel relevante, razão pela qual se mantenham funcionários dedicados exclusivamente ao sistema.

Para efeito desta composição de custos, foi considerado que o sistema de lodos ativados convencional utiliza digestão anaeróbia do lodo.



## 6 ESTUDO DE CASO

### 6.1 Caracterização do problema

Propôs-se aplicar 3 métodos multicriteriais para auxílio à tomada de decisão a uma demanda existente no município de Restinga, estado de São Paulo.

O município de Restinga está localizado na região nordeste do estado de São Paulo, conforme Figura 6-1 entre os municípios de Batatais e Franca. Possui altitude média de 900 m, e coordenadas UTM 241110 E / 7719756 S (praça central).

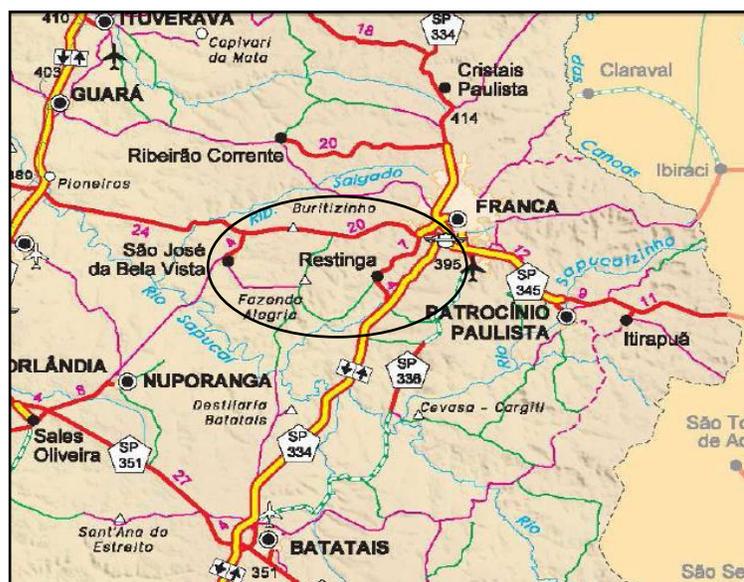


Figura 6-1 – Localização de Restinga

Em razão das disposições da Lei federal 11455, de 5 de janeiro de 2007, foi necessária a elaboração do plano municipal de saneamento. Um dos pontos importantes deste plano é o atendimento ao tratamento de esgoto para o novo período de prestação dos serviços de água e esgoto pela concessionária, e bem como devem ser levados em consideração os princípios citados na introdução, como a sustentabilidade econômica.

A estação de tratamento existente é composta por uma lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa, foi implantada no início da década de 80 e está localizada nas coordenadas UTM 240426 E / 7719437 S.

Em função do crescimento populacional previsto para o município ao longo dos anos, e proporcionalmente o acréscimo de vazão de esgoto, deverá ser implantado um novo sistema ou deverão ser feitas adequações na ETE existente para que haja continuidade de atendendo à legislação Federal CONAMA 357 de 2005, e ao decreto Estadual 8468 de 1976, que estabelecem os padrões de lançamento e de corpo receptor. O corpo receptor da ETE Restinga é o Ribeirão Santo Antonio, de Classe 2.

Nas Tabela 6-1 e Tabela 6-2 estão descritas respectivamente as características da ETE Restinga e a populações e vazões previstas. A População urbana foi estimada com base nos índices de crescimento divulgados pela Fundação SEADE para o município, e as vazões obtidas em função do volume de água micro medido e do índice de perdas real e previsto, considerando vazões de infiltração de 0,1 L/s x km de rede.

**Tabela 6-1 – Características atuais da ETE Restinga**

	Volume (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Profundidade (m)	TDH (dias)	Efic. Remoção final de DBO (%)
Lagoa anaeróbia	4980	2530	3,0	7,3	60
Lagoa facultativa	2980	2550	1,5	4,3	85

**Tabela 6-2 – População e vazões de esgoto atuais e previstas, Restinga SP**

Ano	População Urbana (hab)	Ligações de Esgotos (un)	Rede coletora (m)	Vazões de Esgoto		
				Média (L/s)	Máx Dia. (L/s)	Máx Hor. (L/s)
2009	5.524	1.563	14.696	7,9	9,2	13,0
2019	6.754	2.239	21.125	10,5	12,2	17,3
2029	7.781	2.832	26.752	12,8	14,8	20,9
2039	8.946	3.560	33.669	15,6	18,0	25,4

Na Figura 6-2 está representada a localização da ETE existente, bem como a localização em relação à zona urbana.



**Figura 6-2 – Imagem aérea da ETE existente (base: Google Earth, 2009)**

Na ocasião em que a estação de tratamento de esgoto foi construída, o perímetro urbano situava-se pelo menos a 500 metros de distância. Com o passar dos anos, foram construídas residências ao longo da rua de acesso à ETE. Esta rua até o

início da década de 80 era o leito dos trilhos da ferrovia Mogiana, que na, contra mão do desenvolvimento, foi desativada e os trilhos removidos.

A proximidade das residências com a estação de tratamento de esgoto tem trazido incômodos à população residente, que reclama das eventuais ocorrências de odores vindos principalmente da lagoa anaeróbia.

A prefeitura tem demonstrado interesse na desativação da ETE existente. Porém, essa decisão significa perder um investimento que a sociedade já pagou e que, em princípio, deveria ser preservado. No entanto, além das alternativas em que se prevê a construção de um novo sistema em outro local, foram estudadas outras quatro alternativas em que se mantêm as instalações existentes com adaptações ao processo.

Trata-se de um estudo de caso em que se considerou optar em manter o sistema existente com adaptações ou construir uma nova unidade. Para esta nova unidade são previstas duas opções de localização.

## **6.2 Alternativas para o atendimento ao tratamento de esgoto**

Para aplicação neste estudo de caso foram previstas ao todo 20 alternativas. Estas alternativas estão detalhadas nos itens 6.2.1 a 6.2.5.

As alternativas de 1 a 4 consideram adequação das instalações existentes, cujos dimensionamentos foram baseados nas metodologias de dimensionamento publicadas por von Sperling (2002), considerando a vazão de final de plano, ou seja o ano de 2039. Os custos de implantação foram estimados baseados no banco de preços da SABESP. Além do aumento de capacidade foram previstas medidas para minimização de odores.

A memória de cálculo de cada uma das alternativas de adaptação do sistema está descritas no ANEXO II – Memória de cálculo das alternativas de adaptação ao sistema existente.

As alternativas 5 a 12 (“a” e “b”) consideram a desativação da unidade de tratamento existente e construção de uma nova ETE em duas possíveis localizações: a primeira situada a aproximadamente 1.000 metros, e a segunda a 1.350 metros em relação ao perímetro urbano e à ETE existente. Essas áreas estão representadas como área 1 e área 2 na Figura 6-3. Independentemente da alternativa escolhida será necessária a implantação de um emissário, que deverá transportar o esgoto coletado do atual ponto de entrada da ETE existente até a nova área (prolongamento).

Os custos de implantação e de operação e manutenção das alternativas 5 a 12 foram baseados nos valores unitários parametrizados (em R\$/m<sup>3</sup> x d<sup>-1</sup> de capacidade para implantação e R\$ / m<sup>3</sup> tratado para operação e manutenção) estimados conforme itens 5.1 e 5.2.



**Figura 6-3 – Locais sugeridos para implantação do novo sistema de tratamento de esgoto – alternativas 5 a 12 (base: Google Earth, 2010)**

## 6.2.1 Alternativa 1 – Conversão da lagoa anaeróbia para lagoa aerada de mistura completa seguida de decantação

Esta alternativa consiste em manter as lagoas existentes, converter parte da lagoa anaeróbia em lagoa aerada de mistura completa por meio da inserção de aeradores, com divisão do volume com parede interna de separação, ficando a outra parte da primeira lagoa e a segunda lagoa como lagoas de sedimentação.

As características e os custos envolvidos nesta alternativa estão descritas nas Tabela 6-3 e Tabela 6-4, e o croqui da alternativa na Figura 6-4.

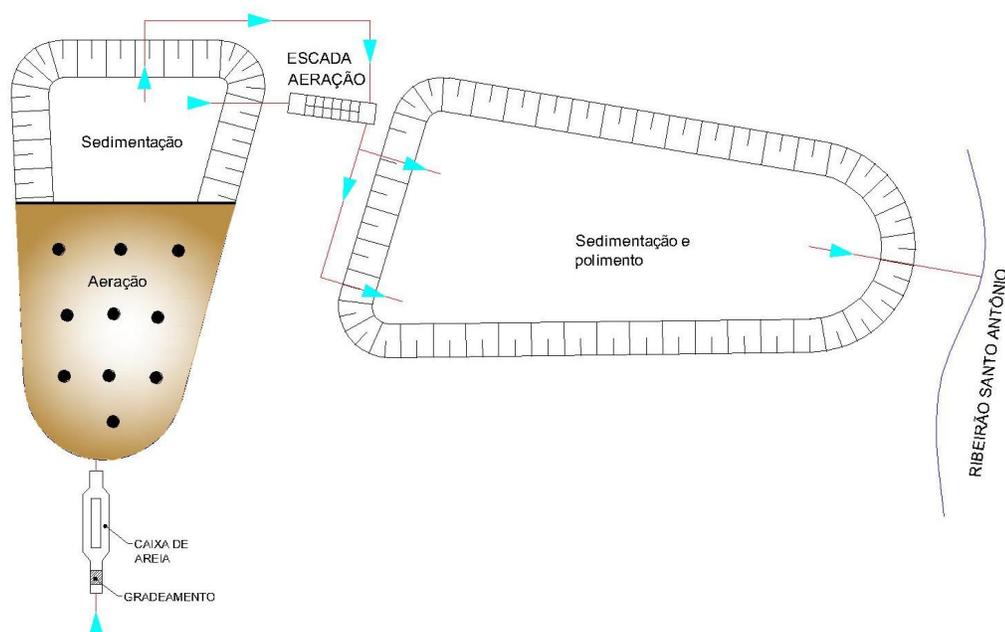
**Tabela 6-3 – Características das alterações para conversão de parte da lagoa anaeróbia para modalidade lagoa aerada de mistura completa.**

	Aeração			Sedimentação e acúmulo/digestão de lodo		
	Volume da parte aerada (m <sup>3</sup> )	TDH vazão máx. diária (dias)	Potência de aeração requerida (CV)	Volume necessário (m <sup>3</sup> )	Volume existente (m <sup>3</sup> )	Geração de lodo a 8 % (m <sup>3</sup> /ano)
Início de plano - 2014	3000	3,79	31	1508	4960	717
Final de plano - 2039	3000	1,92	48	2794	4960	1234

**Tabela 6-4 – Custos de investimentos (implantação) e operação e manutenção para conversão de parte da lagoa anaeróbia para modalidade lagoa aerada de mistura completa**

Investimento	
Adaptação da ETE (divisão interna), impermeabilização com manta sintética aquisição e implantação de aeradores de 5 CV, Instalações elétricas.	R\$ 980.630,00
Operação e manutenção	
Energia elétrica, manutenção eletromecânica, remoção e desaguamento de lodo, Transporte e disposição de lodo, desinfecção do efluente final com hipoclorito, Mão de obra de operação e manutenção	R\$ 20.969,44/mês
Custo unitário de operação e manutenção – final de plano	R\$ 0,519/m <sup>3</sup>
Valor presente líquido - VPL, 28 anos, 12% aa	R\$ 2.999.182,96

O VPL significa valor presente líquido. É a forma matemático-financeira de determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada. Basicamente, é o cálculo da atualização do montante total dos custos de investimento e de operação e manutenção descontadas as taxas de interesse. Para cálculo do valor presente das entradas e saídas de caixa, é utilizada a TMA (Taxa Mínima de Atratividade) como taxa de desconto. Neste caso a TMA é de 12 % ao ano.



**Figura 6-4 Croqui da configuração alterada de parte da lagoa anaeróbia para lagoa aerada de mistura completa.**

### **6.2.2 Alternativa 2 – Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa em área ao lado da ETE existente**

Esta alternativa consiste em converter a lagoa anaeróbia em lagoa aerada facultativa, manter a segunda lagoa como facultativa, com aeração apenas superficial

no início da lagoa (aerador de paletas) e uma terceira lagoa na modalidade facultativa, também com aeradores no início da lagoa (tipo paletas), apenas para minimizar odores.

As três lagoas deverão funcionar em paralelo. A divisão de vazão foi considerada em função dos volumes existentes da primeira e da segunda lagoa, e dos requisitos de tempo de detenção hidráulico necessários, conforme descritos nas Tabela 6-5 e Tabela 6-6.

**Tabela 6-5 - Características das alterações para conversão da modalidade atual para modalidade lagoa aerada facultativa e implantação de nova lagoa facultativa**

<b>Lagoa aerada facultativa</b>						
	<b>Vazão afluyente (L/s)</b>	<b>Vazão afluyente (%)</b>	<b>TDH (dias)</b>	<b>Potência de aeração (CV)</b>		
Início de plano	9,36	41	17,86	10		
Final de plano	15,60	41	9,01	15		
<b>Lagoa facultativa existente</b>						
	<b>Vazão afluyente (L/s)</b>	<b>Vazão afluyente (%)</b>	<b>TDH (dias)</b>	<b>Carga orgânica aplicada (kg DBO/haxd)</b>		
Início de plano	0,71	9	48,69	105		
Final de plano	1,40	9	24,57	171		
<b>Lagoa facultativa a construir</b>						
	<b>Vazão afluyente (L/s)</b>	<b>Vazão afluyente (%)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>TDH (dias)</b>	<b>Carga orgânica aplicada (kg DBO/haxd)</b>
Final de plano	7,80	50	14.209	20.203	29,98	170

**Tabela 6-6 - Custos de investimentos (implantação) e operação e manutenção para conversão da modalidade atual para modalidade lagoa aerada facultativa e nova lagoa facultativa**

<b>Investimento</b>	
Adaptação da lagoa anaeróbia, aquisição de aeradores, aquisição de terreno, implantação de uma Lagoa facultativa (2 etapas), instalações elétricas.	Inicial R\$ 1.068.091,03 2021: R\$ 555.350,00 (VPL só do investimento: R\$ 1.246.898,87 )
<b>Operação e manutenção</b>	
Energia elétrica, manutenção eletromecânica, remoção e desaguamento de lodo, transporte e disposição de lodo, desinfecção do efluente final com hipoclorito, Mão de obra de operação e manutenção, final da 2ª etapa	R\$ 12.255,10 /mês
Custo unitário de operação e manutenção, valor médio entre 1ª etapa e 2ª etapa	R\$ 0,343 / m <sup>3</sup>
Valor presente líquido - VPL, 28 anos, 12% aa	R\$ 2.121.631,31

### **6.2.3 Alternativa 3 – Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa na área 1**

A alternativa 3 possui características semelhantes às da alternativa 2, ou seja, converte-se a lagoa anaeróbia em aerada facultativa, mantém-se a lagoa facultativa existente e implanta-se uma terceira lagoa facultativa na área 1 (Figura 6-3), a 1,35 quilômetros de distância da ETE atual, devido a não haver espaço suficiente na área da ETE existente para implantação da ampliação.

**Tabela 6-7 - Custos de investimentos (implantação) e operação e manutenção para conversão do sistema atual para modalidade lagoa aerada facultativa e nova lagoa facultativa na área 1**

Investimento	
Adaptação da lagoa anaeróbia, aquisição de aeradores, aquisição de terreno, implantação de uma Lagoa facultativa (2 etapas), instalações elétricas, e emissário de esgoto bruto e tratado.	Inicial R\$ 1.309.518,91 2021: R\$ 555.350,00 (VPL do investimento: R\$ 1.488.326,75)
Operação e manutenção	
Energia elétrica, manutenção eletromecânica, remoção e desaguamento de lodo, Transporte e disposição de lodo, desinfecção do efluente final com hipoclorito, Mão de obra de operação e manutenção.	R\$ 12.255,10 /mês
Custo unitário de operação e manutenção, média entre início e final de plano	R\$ 0,343/m <sup>3</sup>
Valor presente líquido - VPL, 28 anos, 12% aa.	R\$ 2.363.059,19

#### **6.2.4 Alternativa 4 - Conversão das lagoas anaeróbia e facultativa em lagoas aeradas facultativas, com ampliação e aprofundamento das lagoas existentes**

Esta alternativa consiste em ampliar a área da lagoa anaeróbia existente em 13%, e aprofundar a lagoa facultativa deixando-a com até 4 metros de profundidade. Com essas transformações ambas as lagoas podem ser adaptadas para funcionar como lagoas aeradas facultativas em paralelo, com distribuição da vazão em 50% para cada lagoa.

As características desta alteração estão descritas nas Tabela 6-8 e Tabela 6-9.

**Tabela 6-8 - Características das alterações do sistema atual para modalidade lagoas aeradas facultativa.**

	Vazão afluyente (L/s)	TDH (dias)	Potência de aeração (CV)
Início de plano	9,36	17	40
Final de plano	15,60	8,8	50

**Tabela 6-9 - Custos de investimentos (implantação) e operação e manutenção para conversão do sistema atual para modalidade lagoa aerada facultativa**

<b>Investimento</b>	
Adaptação da lagoa anaeróbia e da facultativa, aquisição de aeradores, instalações elétricas.	Inicial R\$ 1.180.630,00
<b>Operação e manutenção</b>	
Energia elétrica, manutenção eletromecânica, remoção e desaguamento de lodo, transporte e disposição de lodo, desinfecção do efluente final com hipoclorito, Mão de obra de operação e manutenção.	R\$ 15.942,13 / mês
Custo unitário de operação e manutenção – final de plano	R\$ 0,394 / m <sup>3</sup>
Valor presente líquido - VPL, 28 anos, 12% aa	R\$ 2.715.245,93

### **6.2.5 Alternativas de implantação de novo sistema, da 5<sup>a</sup> a 12<sup>a</sup>**

Conforme já descrito nos 6.2.1 a 6.2.4, as alternativas 1<sup>a</sup> a 4<sup>a</sup> são baseadas em adaptação ao sistema existente. Além destas, foram consideradas mais 8 alternativas compostas por 8 modelos de sistemas de tratamento de esgotos em 2 possíveis locais de implantação, totalizando 20 alternativas.

Nas Tabela 6-11 e Tabela 6-12 são descritas as modalidades de tratamento da 5<sup>a</sup> alternativa até a 12<sup>a</sup>, o custo de implantação e de operação e manutenção de cada uma. Estes custos foram baseados nos custos unitários descritos nos itens 5.1 e 5.2 para a vazão de 15,6 L/s, além do valor Presente Líquido – VPL, calculado para 28 anos de período de operação, a uma taxa de oportunidade de 12% aa.

As tecnologias consideradas foram escolhidas por serem já consagradas, coerentes com a aplicabilidade para o caso em estudo, muito utilizadas pela concessionária SABESP e também por terem dados relativos a custos de implantação e operação.

Em razão da localização de cada alternativa (área 1 ou área 2), o custo de transporte do esgoto (emissários) foi considerado a parte, ou seja, não fez parte do

custo unitário, que obedeceram aos critérios já descritos nos itens 5.1 e 5.2. O comprimento considerado para o emissário final foi de 2.600 m para a área 1 e 1.665 m para área 2, com custo unitário de R\$ 147,00 / m (referência: SABESP, em PVC para esgoto de 200 mm e sem pavimentação, 2010).

**Tabela 6-10 – Custos de implantação estimados dos sistemas de tratamento de esgoto para cada alternativa**

Alt.	Modalidade	Vazão (m <sup>3</sup> /dia)	Custo unitário da ETE * (R\$/m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup> )	Custo de implantação da ETE (R\$)	Custo emissário (R\$)	Custo total de implantação (R\$)
5 a	Lagoas facultativas, área 1	1348	2.238,27	3.016.836,50	383.240,00	3.400.076,50
5 b	Lagoas facultativas, área 2	1348	2.238,27	3.016.836,50	245.421,00	3.262.257,50
6 a	Lagoas facultativa + maturação, área 1	1348	1.283,51	1.729.960,47	383.240,00	2.113.200,47
6 b	Lagoas facultativa + maturação, área 2	1348	1.283,51	1.729.960,47	245.421,00	1.975.381,47
7 a	Lagoas anaeróbia + facultativa, área 1	1348	1.035,28	1.395.396,49	383.240,00	1.778.636,49
7 b	Lagoas anaeróbia + facultativa, área 2	1348	1.035,28	1.395.396,49	245.421,00	1.640.817,49
8 a	Lagoas anaeróbia + facultativa + maturação, área 1	1348	1.769,99	2.385.659,02	383.240,00	2.768.899,02
8 b	Lagoas anaeróbia + facultativa + maturação, área 2	1348	1.769,99	2.385.659,02	245.421,00	2.631.080,02
9 a	Lagoa aerada + Lagoa de decantação, área 1	1348	1.750,00	2.358.720,00	383.240,00	2.741.960,00
9 b	Lagoa aerada + Lagoa de decantação, área 2	1348	1.750,00	2.358.720,00	245.421,00	2.604.141,00
10 a	Lodos ativados convencional, área 1	1348	2.800,00	3.773.952,00	383.240,00	4.157.192,00
10 b	Lodos ativados convencional, área 2	1348	2.800,00	3.773.952,00	245.421,00	4.019.373,00
11 a	Lodos ativados aeração prolongada, área 1	1348	2.200,31	2.965.662,25	383.240,00	3.348.902,25
11 b	Lodos ativados aeração prolongada, área 2	1348	2.200,31	2.965.662,25	245.421,00	3.211.083,25
12a	RAFA + Filtro biológico aerado submerso, área 1	1348	2.637,71	3.555.205,20	383.240,00	3.938.445,20
12 b	RAFA + Filtro biológico aerado submerso, área 2	1348	2.637,71	3.555.205,20	245.421,00	3.800.626,20

\*Custos unitários de acordo com os gráficos do item 5.1

Os custos de operação e manutenção dos sistemas constam na Tabela 6-11, e se referem somente aos custos incidentes nos sistemas de tratamento de esgoto, já que os custos dos sistemas de afastamento (emissário final) são praticamente iguais

por não haver custo de energia elétrica adicional, pelo fato de não existir estação elevatória em nenhuma das alternativas. O perfil topográfico do local foi estimado em função das cotas altimétricas do Google Earth.

A obtenção do custo estimado de operação e manutenção se dá pela multiplicação vazão pelo custo unitário apurado.

**Tabela 6-11 – Custos estimados de operação e manutenção para final de plano das alternativas de sistemas de tratamento de esgotos**

Alternativa	Modalidade	Vazão (m <sup>3</sup> /mês)	Custo unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo total operação / manutenção (R\$/mês)
5	Lagoas facultativas	40435	0,259	10.491,39
6	Lagoas facultativa + maturação	40435	0,201	8.112,25
7	Lagoa anaeróbia + facultativa	40435	0,233	9.427,03
8	Lagoas anaeróbia + facultativa + maturação	40435	0,156	6.322,61
9	Lagoa aerada + Lagoa de decantação	40435	0,609	24.614,11
10	Lodos ativados convencional	40435	0,874	35.341,86
11	Lodos ativados aeração prolongada	40435	0,529	21.384,44
12	RAFA + Filtro biológico aerado submerso	40435	0,242	9.803,14

**Tabela 6-12 – VPL de cada alternativa de sistema de tratamento de esgotos**

Alternativas	Modalidade	VPL 28 anos, 12 % a.a. (R\$)
5 a	Lagoas facultativas, área 1	4.405.293,61
5 b	Lagoas facultativas, área 2	4.267.474,61
6 a	Lagoas facultativa + maturação, área 1	2.890.463,90
6 b	Lagoas facultativa + maturação, área 2	2.752.644,90
7 a	Lagoas anaeróbia + facultativa, área 1	2.681.873,99
7 b	Lagoas anaeróbia + facultativa, área 2	2.544.054,99
8 a	Lagoas anaeróbia + facultativa + maturação, área 1	3.374.690,59
8 b	Lagoas anaeróbia + facultativa + maturação, área 2	3.236.871,59
9 a	Lagoa aerada + Lagoa de decantação, área 1	5.100.313,94
9 b	Lagoa aerada + Lagoa de decantação, área 2	4.962.494,94

### Continuação da Tabela 6-12 - VPL de cada alternativa

<b>Alternativas</b>	<b>Modalidade</b>	<b>VPL 28 anos, 12 % a.a. (R\$)</b>
<b>10 a</b>	Lodos ativados convencional, área 1	8.040.438,72
<b>10 b</b>	Lodos ativados convencional, área 2	7.902.619,72
<b>11 a</b>	Lodos ativados aeração prolongada, área 1	5.397.810,70
<b>11 b</b>	Lodos ativados aeração prolongada, área 2	5.259.991,70
<b>12 a</b>	RAFA + Filtro biológico aerado submerso, área 1	4.016.718,02
<b>12 b</b>	RAFA + Filtro biológico aerado submerso, área 2	3.878.899,02

### **6.3 Critérios para aplicação dos métodos multicriteriais de apoio à tomada de decisão**

De forma geral, o planejamento da implantação de uma ETE envolve diversas variáveis e as possíveis soluções são integradas.

Em princípio foram elencados diversos critérios que pudessem ser considerados para aplicação ao estudo de caso, sendo esses destacados na revisão bibliográfica. Porém, para atendimento aos objetivos de dar suporte a tomada de decisão quanto à escolher alternativas entre adaptar o sistema existente ou desativá-lo e implantar um novo sistema com opção de duas áreas, em consulta a especialistas e por análise do próprio autor, pode-se escolher quais os critério que se aplicavam a este estudo de caso.

Os critérios foram escolhidos por serem importantes tanto para a concessionária dos serviços de água e esgoto quanto para a prefeitura municipal, dado que foram consultados e não solicitaram a exclusão ou inclusão de novos critérios.

Para obtenção da função de valor original dentro de cada critério, foi elaborada uma lista com todos os critérios e níveis de impactos dentro de cada critério e aplicado, sob forma de tabela a ser preenchida, apenas pelos profissionais da área de

engenharia, que possuem conhecimento a respeito das técnicas de tratamento de esgoto. Essa lista teve por objetivo coletar a pontuação para o nível de referência dentro de cada critério, pelo método da “pontuação direta”, em que cada opinante atribuiu valores de “0” até “100”, para todos os níveis, de acordo com o grau de importância de cada nível de impacto, em função de seus ideais e conhecimentos a respeito do assunto.

Os níveis “bom” e “neutro” de cada critério foram obtidos por consulta de opinião a especialistas e profissionais de projeto e operação da área de saneamento.

Os descritores de cada critério estão relacionados nos itens 6.3.1, 6.3.2, e 6.3.3, com as respectivas médias das pontuações obtidas junto aos profissionais de engenharia descritas nas colunas “Função de valor original”. Após a transformação baseada nos níveis de referência “bom” equivalente a “0” e “neutro” equivalente a “100”, os valores na coluna “Função de valor transformada” foram consideradas nas matrizes de avaliação (“Payoff”).

Não foram considerados critérios a respeito do corpo receptor, por ser o mesmo em todas as alternativas e praticamente com o mesmo local de lançamento, não alterando significativamente a vazão para diluição dos poluentes remanescentes.

### **6.3.1 Critérios Econômicos**

Os valores descritos nos critérios “Custo de implantação de ETE” e “Custo de operação e manutenção de ETEs” são baseados nos valores unitários, conforme itens 5.1 e 5.2.

#### **6.3.1.1 Critério: “custo de implantação de ETE”**

A implantação de uma ETE é, neste caso, um investimento com dinheiro público. Existe uma variedade de alternativas tecnológicas, cujos dados levantados em projetos existentes revelaram valores de custo de implantação para a vazão de 15,6

L/s, variando de R\$ 980.630,00 a R\$ 4.157.192,00. O descritor deste critério, bem como suas funções de valores estão representados na Tabela 6-13.

**Tabela 6-13 – Descritor do critério “custo de implantação de ETE”**

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N5	bom	Até R\$ 1.000.000,00	100	100
N4		Até R\$ 1.500.000,00	86	50
N3	neutro	Até R\$ 2.000.000,00	72	0
N2		Até R\$ 3.000.000,00	42	-107
N1		Até R\$ 4.200.000,00	18,2	-192

$$\alpha = 3,571 \quad \beta = -257,14$$

#### 6.3.1.2 Critério: “custo de operação e manutenção de ETEs”

O custo de operação e manutenção também depende do tipo de tecnologia adotada. Variáveis, como consumo de energia elétrica, quantidade de funcionários, produção e disposição de resíduos incidem sobre este custo, que indiretamente é repassado ao município. O descritor deste critério, bem como suas funções de valores, estão representados na Tabela 6-14.

**Tabela 6-14 – Descritor do critério “custo de operação e manutenção de ETEs”**

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N4	bom	Até R\$ 0,25 / m <sup>3</sup> tratado	87,5	100
N3		Até R\$ 0,55 / m <sup>3</sup> tratado	82,5	90
N2	neutro	Até R\$ 0,80 / m <sup>3</sup> tratado	37,5	0
N1		Até R\$ 1,00 / m <sup>3</sup> tratado	7,75	-60

$$\alpha = 2,0 \quad \beta = -75,00$$

#### 6.3.1.3 Critério: “participação da Prefeitura Municipal no custo de implantação”

A concessionária dos serviços de água e esgoto é a responsável pela implantação da obra e, em princípio, deverá optar pela solução que, ao mesmo tempo, apresente o menor custo e atenda integralmente à legislação vigente. Por outro lado,

sempre existirão soluções que apresentam melhor desempenho que a solução de menor custo, seja no aspecto de dar proteção adicional ao meio ambiente, por meio de efluentes de melhor qualidade, seja no aspecto estético, pela melhor adequação das instalações quanto à localização, embelezamento, controle de odor, paisagismo, entre outros. Soluções mais elaboradas apresentam maiores custos e sua implantação deve contar com a participação financeira da Prefeitura Municipal, seja com recursos próprios, seja pela busca de recursos nas esferas estadual ou federal em complementação aos recursos sob responsabilidade da concessionária dos serviços de água e esgoto.

Na Tabela 6-15 está representado o descritor e as funções de valores para o critério referente à participação da prefeitura municipal no custo de implantação.

**Tabela 6-15 – Descritor para o critério “participação da Prefeitura Municipal no custo de implantação”**

<b>Níveis de impacto</b>	<b>Níveis de referência</b>	<b>Descrição</b>	<b>Função de valor original</b>	<b>Função de valor transformada</b>
N5	bom	Projeto de menor valor	94	100
N4		Custo até 1,5 x menor valor	72,8	57
N3	neutro	Custo até 2 x menor valor	45	0
N2		Custo até 3 x menor valor	18,4	-54
N1		Custo até 4,2 x menor valor	15,2	-61

$$\alpha = 2,041 \quad \beta = -91,84$$

## **6.3.2 Critérios construtivos**

### **6.3.2.1 Critério: “dificuldade para desapropriação de área”**

O benefício público sempre tem prioridade quando há necessidade do uso de uma área particular para implantação de uma obra pública.

Independente dessa prioridade pode haver áreas em que não há oposição do proprietário na desapropriação e outras áreas em que a oposição é extrema, o que pode gerar mal estar entre as partes, desgaste político em função da necessidade de

decreto de utilidade pública, e disputas judiciais. Além disso, a instalação da ETE numa determinada área pode contribuir para desvalorização das áreas no entorno.

Na Tabela 6-16 está representado o descritor e as funções de valores para o critério referente à dificuldade para desapropriação de área.

**Tabela 6-16 – Descritor do critério “dificuldade para desapropriação de área”**

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N4	bom	Sem necessidade de desapropriar	100	113
N3		Área particular localizada a 1 km de distância da cidade, não produtiva, com interesse do proprietário em desapropriar.	95	100
N2	neutro	Área particular localizada ao lado da ETE existente, sem manifestação de interesse pela venda por parte do proprietário.	57,5	0
N1		Área particular a ser negociada, atualmente com plantio de cana de açúcar, a 1,4 Km de distância do perímetro urbano.	38,75	-50

$$\alpha = 2,667 \quad \beta = -153,33$$

### 6.3.2.2 Critério: “impacto urbanístico e arquitetônico”

Existem tecnologias de tratamento de esgoto que são compactas, com estruturas de concreto armado e/ou metálicas, que ocupam pouco espaço e que podem ser implantadas na zona urbana. Existem outras formas que ocupam muito espaço e envolvem movimentação de solo, alterando a paisagem natural, e que usualmente são implantadas no meio rural. Qualquer que seja a solução, no entanto, há impactos urbanísticos e arquitetônicos associados que, na maioria das vezes, são negativos, sendo necessárias medidas de ordem estética para redução desses impactos que geram custos adicionais, tornando a obra mais cara.

Na Tabela 6-17 está representado o descritor e as funções de valores para o critério referente ao impacto urbanístico e arquitetônico.

**Tabela 6-17 – Descritor do critério “impacto urbanístico e arquitetônico”**

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N3	bom	Grande área utilizada para tratamento de esgoto <u>longe</u> do perímetro urbano, <u>sem</u> necessidade de obras de minimização de impactos.	96	100,0
N2		Pequena ou média área (aprox. 500 m <sup>2</sup> ) utilizada para o tratamento de esgoto, <u>longe</u> do perímetro urbano, com construção vertical em concreto armado <u>sem</u> necessidade de obras para minimização dos impactos.	58	28
N1	neutro	Grande área utilizada para o tratamento de esgoto, <u>perto</u> do perímetro urbano, <u>com</u> necessidade de obras de minimização de impactos.	43	0,0

$$\alpha = 1,887 \quad \beta = -81,13$$

Entende-se como minimização de impactos, ações de paisagismo, projetos artísticos desenvolvidos por profissionais de arquitetura, que envolvem obras de concreto armado, revestimentos e pinturas especiais, entre outros.

Uma ETE não necessariamente precisa ser um local “feio”. Pode conter paisagismo e um projeto de arquitetura que minimize o impacto das instalações. As lagoas de estabilização ocupam grandes áreas e quando em meio urbano se destacam facilmente. As instalações compactas em concreto armado ocupam espaços menores, mas dependendo do modelo adotado destacam-se negativamente no meio urbano, podendo ser semelhantes por exemplo a um presídio, conforme verifica-se na Figura 6-5.

Algumas características de ETE’s em meio urbano podem ser observadas nas Figura 6-5 e Figura 6-6.



**Figura 6-5 – Aspectos de uma ETE tipo RAFA em meio urbano a semelhança com um presídio paulista padrão (fonte: arquivo do autor e site “auriverde.am.br”)**



Destaque de ETE de Jales (SABESP) com paisagismo (fonte: arquivo do autor)

Destaque de ETE por lagoas de estabilização em relação à mancha urbana (fonte: Google Earth)

**Figura 6-6 – Aspectos de paisagismo e localização de ETE por lagoas de estabilização**

A correspondência entre a descrição do critério “impacto urbanístico e arquitetônico” (Tabela 6-17) e cada sistema de tratamento proposto estão descritos na Tabela 6-18.

**Tabela 6-18 – Correspondência entre a descrição e cada sistema de tratamento de esgotos, para o critério “impacto urbanístico e arquitetônico”**

Descrição	Correspondência
Grande área utilizada para tratamento de esgoto <u>longe</u> do perímetro urbano, <u>sem</u> necessidade de obras de minimização de impactos.	Lagoas, áreas 1 e 2
Pequena ou média área (aprox. 500 m <sup>2</sup> ) utilizadas para o tratamento de esgoto, <u>longe</u> do perímetro urbano, com construção vertical em concreto armado <u>sem</u> necessidade de obras de minimização de impactos.	Lodos ativados, RAFA, áreas 1 e 2
Grande área utilizada para o tratamento de esgoto, <u>perto</u> do perímetro urbano, <u>com</u> necessidade de obras de minimização de impactos.	Adaptações do sistema existente, e construção ao lado

### 6.3.2.3 Critério: “transporte de esgoto”

Quanto mais distante for a ETE, maior o investimento em obras para que o esgoto chegue até ela, por meio de tubulações e até mesmo por bombeamento.

Neste caso específico, se o local a ser escolhido for o atual não haverá necessidade de implantar obras de transporte, mas se for outro local mais distante, haverá necessidade de implantar e operar o transporte do esgoto, elevando os custos tanto de implantação quanto de operação. Na Tabela 6-19 está representado o descritor e as funções de valor do critério “transporte de esgoto”

**Tabela 6-19 – Descritivo do critério “transporte de esgoto”**

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N3	bom	Solução sem necessidade de ampliação de emissário de esgoto	100	100
N2	neutro	Solução com necessidade de ampliação de emissário de esgoto em aproximadamente 1,0 km	51,25	0
N1		Solução com necessidade de ampliação de emissário de esgoto em aproximadamente 1,4 km	32,5	-38

$\alpha = 2,051$      $\beta = -105,13$

### 6.3.2.4 Critério: “acessibilidade”

Em geral as estações de tratamento de esgoto são construídas em regiões baixas onde as estradas ficam danificadas nos períodos chuvosos. Se a ETE for instalada em local distante do meio urbano e se a estrada for de terra há grande chance delas ficarem intransitáveis. Por outro lado, se próxima à cidade o acesso não será prejudicado. Na Tabela 6-20 está representado o descritor e as funções de valor do critério “acessibilidade”.

**Tabela 6-20 – Descritor do critério “acessibilidade”**

<b>Níveis de impacto</b>	<b>Níveis de referência</b>	<b>Descrição</b>	<b>Função de valor original</b>	<b>Função de valor transformada</b>
N3	bom	Acesso por estrada asfaltada	97,50	100
N2	neutro	Acesso por estrada de terra pouca declividade	82,5	0
N1		Acesso por estrada de terra com declive acentuado	40	-283

$$\alpha = 6,667 \quad \beta = -550,00$$

Além do local atual, são previstas outras duas áreas passíveis de se implantar a ETE para Restinga. A área 1 tem acesso facilitado por uma estrada de terra existente com baixa declividade. Para acesso à área 2, será necessária a construção de um trecho de estrada partindo do atual acesso que é muito íngreme, não permitindo o tráfego de veículos leves em períodos de chuva. A ETE existente tem acesso asfaltado até próximo ao portão de entrada. Na Figura 6-7 estão representadas fotos da área 1 e da área 2.



Área 1: plantio de cana de açúcar



Área 2: cobertura com pasto

**Figura 6-7 – Fotos das áreas 1 e 2 em Restinga SP**

### 6.3.2.5 Critério: “Valor econômico da área de implantação”

O valor “econômico” da área de implantação corresponde ao benefício que a área destinada à implantação ou ampliação da ETE traria à população, nos dias de hoje e futuramente, caso ela não fosse utilizada para essa função. Na Tabela 6-21 está representado o descritor e as funções de valor do critério “valor econômico da área de implantação”.

**Tabela 6-21 – Descritor do critério “Valor econômico da área de implantação”**

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N3	bom	Área a ser implantada de difícil acesso, longe da cidade, não cultivada	100	100
N2	neutro	Área arborizada próximo ao meio urbano e ao lado de estrada	20	11
N1		Área cultivada, plana, ao lado da estrada.	10	0

$$\alpha = 1,111 \quad \beta = -11,11$$

Neste critério, considerando o valor econômico para um uso mais nobre, as áreas menos valorizadas são as mais interessantes para a implantação do empreendimento.

### 6.3.3 Critérios operacionais e de meio ambiente

Qualquer sistema de tratamento de esgoto deve, obrigatoriamente, atender os padrões mínimos exigido pela legislação. Porém, há possibilidade de atendimento de outros parâmetros de qualidade não exigidos pela legislação que proporcionam proteção adicional ao meio ambiente. Há possibilidade que muitos desses parâmetros venham a ser exigidos pela legislação no futuro em vista da crescente preocupação com a proteção ambiental.

#### 6.3.3.1 Critério: “qualidade do efluente final”

Há efluentes tratados que saem das ETE's ricos com muitas algas. Essas algas dão coloração esverdeada à água e são indesejáveis por motivos estéticos, de geração de gosto e odor em águas de abastecimento. A legislação vigente, no entanto, permite o lançamento de efluentes com algas, dentro do limite de concentração de sólidos em suspensão. Por outro lado, existem tecnologias em que os efluentes tratados não apresentam algas e têm aparência quase límpida, tecnologias essas que em geral implicam em obras mais caras.

Nas Tabela 6-22 e Tabela 6-23 estão representados o descritor e as funções de valor do critério “qualidade do efluente final”, bem como a correspondência entre este critério e o tipo de ETE considerada.

**Tabela 6-22 – Descritor do critério “qualidade do efluente final”**

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N4	bom	Esgoto tratado <u>sem</u> algas verdes, com boa remoção de nitrogênio amoniacal.	92,5	115
N3		Esgoto tratado <u>com</u> presença de algas verdes, com boa remoção de nitrogênio amoniacal.	87,25	100
N2	neutro	Esgoto tratado <u>sem</u> algas verdes, com baixa remoção de nitrogênio amoniacal.	70,75	54
N1		Esgoto tratado <u>com</u> presença de algas verdes, com baixa remoção de nitrogênio amoniacal	51,75	0

$$\alpha = 2,817 \quad \beta = -145,77$$

**Tabela 6-23 – Correspondência entre o descritor e o tipo de ETE, para qualidade do efluente final**

Descrição	Tipo de ETE correspondente
Esgoto tratado sem algas verdes, com boa remoção de nitrogênio amoniacal	Lodos ativados, Lagoas aeradas
Esgoto tratado com presença de algas verdes, com boa remoção de nitrogênio amoniacal	Lagoas facultativas, Lagoas facultativas + maturação
Esgoto tratado com presença de algas verdes, com baixa remoção de nitrogênio amoniacal	Lagoas anaeróbia + facultativa + maturação
Esgoto tratado sem algas verdes, com baixa remoção de nitrogênio amoniacal	RAFA + complementos

Levando-se em consideração que todos os sistemas propostos devem atender a pelo menos 80% de remoção de DBO, que é exigido pela legislação, outros parâmetros devem ser levados em consideração. A presença de nitrogênio amoniacal e de outras formas de nitrogênio é de interesse agrícola, e é interessante quando se utiliza o efluente para irrigação agrícola. Nos corpos d'água são indesejáveis, pois contribuem para eutrofização (crescimentos de algas), toxicidade para peixes, e odor em águas de abastecimento público. Além disso, as algas são indesejáveis também por motivos estéticos.

A legislação federal (Resolução CONAMA 357/2005) estabeleceu inicialmente o limite de 20 mg/L como padrão de lançamento, mas por meio da Resolução CONAMA 397/2006, este limite passou a não valer para o setor de saneamento. No entanto, esta resolução determinava a criação de um grupo de especialistas para definir um novo limite para o lançamento, que até o momento não foi divulgado. De acordo com o modelo de dimensionamento de lagoas facultativas publicado por von Sperling (2002), para se obter concentrações de nitrogênio amoniacal inferiores a 20 mg/L no efluente de lagoas facultativas o tempo de detenção hidráulica deve ser de aproximadamente 40 dias, pois é resultado da adoção de taxa de aplicação da ordem de 100 kg DBO / ha x d. A legislação poderia não considerar a concentração no efluente final, mas sim no corpo receptor, levando em conta a diluição. Exemplo da conveniência dessa

consideração é o caso da ETE de Rifaina operada pela SABESP que lança o efluente no Rio Grande (divisa de estado entre São Paulo e Minas Gerais). Reduzir ou não a concentração do nitrogênio no efluente final não faria diferença alguma, devido à vazão do corpo receptor ser extremamente superior à vazão de lançamento. Seria apenas um investimento elevado para atendimento à legislação sem efeito algum no corpo receptor. Isto porque existe uma grande diferença no custo da obra quando se utiliza uma taxa de aplicação de 200 kg DBO/ ha x d, que normalmente atenderia a eficiência de remoção de 80% de DBO, e quando se aplica a taxa de 100 kg DBO/ ha x d para atender o limite de concentração de 20 mg/L de nitrogênio amoniacal. Praticamente o custo da obra é dobrado. É muito importante o controle da eutrofização nos mananciais, porém é importante que os legisladores atentem para a realidade brasileira onde, em muitos lugares, nem se atende a população com água potável, exigindo, portanto, racionalidade na aplicação dos recursos públicos.

Sistemas que possuem unidades anaeróbias, se por um lado são mais econômicos, tanto na construção quanto na operação, tendem a converter o nitrogênio orgânico em nitrogênio amoniacal, elevando assim ainda mais a concentração deste.

Em resumo, os sistemas anaeróbios por si próprios elevam, por meio da amonificação, a concentração de nitrogênio amoniacal e sistemas aeróbios reduzem tais concentrações.

#### **6.3.3.2 Critério “geração de odor e distância em relação ao perímetro urbano”**

Existe a possibilidade da ocorrência de odores provenientes de estações de tratamento de esgoto. A intensidade do odor pode variar de acordo com a tecnologia adotada. Algumas geram mais, outras menos. Além disso, a proximidade com o meio urbano contribui para aumentar a sensação de incômodo.

Nas Tabela 6-24 e Tabela 6-25 estão representados o descritor e as funções de valor do critério “geração de odor e distância em relação ao perímetro urbano”, bem como a correspondência entre este critério e o tipo de ETE considerada.

**Tabela 6-24 – Descritor do critério “geração de odor e distância em relação ao perímetro urbano”**

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N4	bom	Longe da cidade com baixa possibilidade de gerar odor próximo a ETE	96	575
N3		Próximo à cidade, com alterações no processo para minimização da geração de odores	58	100
N2	neutro	Longe da cidade, com eventual possibilidade de gerar odor próximo a ETE	50	0
N1		Longe da cidade, com grande possibilidade de gerar odor próximo a ETE	24	-325

$$\alpha = 12,5 \quad \beta = -625$$

Sistemas baseados em reatores anaeróbios, tais como RAFA, lagoas anaeróbias, e lagoas de estabilização facultativas são mais vulneráveis à ocorrência de odores. Já os sistemas aerados, como lagoas aeradas e lodos ativados, em razão da introdução de oxigênio produzem menos odor.

**Tabela 6-25 - Correspondência entre o descritor e o tipo de ETE, para o critério “geração de odor e distância em relação ao perímetro urbano”**

Descrição	Sistema correspondente
Longe da cidade, com baixa possibilidade de gerar odor próximo a ETE.	Lodos ativados convencional / aeração prolongada
Próximo à cidade, local atual, com alterações no processo para minimização da geração de odores.	Lagoa aerada + lagoa de sedimentação, ou lagoa aerada facultativa.
Longe da cidade, com eventual possibilidade de gerar odor próximo a ETE.	Lagoa facultativa + complemento
Longe da cidade, com grande possibilidade de gerar odor próximo a ETE.	RAFA + complemento Lagoa anaeróbia + complemento

### 6.3.3.3 Critério: “necessidade de mão de obra especializada para operação”

Quanto mais sofisticada a tecnologia empregada, mais especialização de mão de obra será exigida, e vice-versa. O descritor do critério “necessidade de mão de obra especializada para operação” e as funções de valor estão representados na Tabela 6-26.

**Tabela 6-26 – Descritor do critério “necessidade de mão de obra especializada para operação”**

<b>Níveis de impacto</b>	<b>Níveis de referência</b>	<b>Descrição</b>	<b>Função de valor original</b>	<b>Função de valor transformada</b>
N2	bom	Operador com baixo nível de escolaridade, dedicação inferior a 1/2 dia e diariamente.	100	100
N1	neutro	Operador com médio nível de escolaridade, dedicação mínima de 8 h/d	0	0

A necessidade de mão de obra para operação de estações de tratamento de esgoto passa por dois aspectos, o de quantidade e o de qualidade. Neste caso em estudo, considera-se apenas um operador em cada sistema adotado, com exigências de maior ou menor escolaridade, conforme o tipo de processo de tratamento. O tempo de dedicação influi diretamente no custo de operação do sistema. Além disso, quanto maior o grau de complexidade da operação, maior preparo do operador será exigido e, conseqüente, maior escolaridade. Exceto sistemas por lagoas de estabilização, cuja rotina se resume em limpeza de grades, caixa de areia, remoção de escumas e capina, os demais sistemas exigem programação de atividades operacionais, cálculos e análises laboratoriais do processo.

Em função do porte do sistema considerado, com vazão de 15,6 L/s, não foi considerado presença de operador durante 24 h/d. A correspondência adotada para cada um dos sistemas está descrita na

**Tabela 6-27 - Correspondência entre o descritor e o tipo de ETE, para o critério “necessidade de mão de obra especializada para operação”**

<b>Descrição</b>	<b>Sistema correspondente</b>
Operador com baixo nível de escolaridade, dedicação inferior a 1/2 dia e diariamente. Operador com médio nível de escolaridade, dedicação mínima de 8 h/d	Lagoas de estabilização / lagoas aeradas Lodos ativados convencional / aeração prolongada, RAFA + complemento.

#### 6.3.3.4 Critério “Possibilidade de uso agrícola do efluente final”

Os efluentes do tratamento de esgoto advindos dos tratamentos secundários podem conter nutrientes, tais como os nitrogenados (Nitrogênio amoniacal) e fósforo. A remoção se dá apenas parcialmente, por meio da conversão ao nitrato e por final ao nitrogênio na forma gasosa, processo este denominado desnitrificação. Por isso, os efluentes de estações de tratamento de esgoto sem tratamento terciário ainda possuem nutrientes, que são de interesse agrícola, e dependendo da tecnologia utilizada no tratamento, pode haver maior ou menor disponibilidade.

A proximidade da ETE com área agrícola pode facilitar o uso do esgoto tratado como forma de fertirrigação. A vantagem da fertirrigação agrícola com efluente tratado se dá principalmente pela redução da quantidade de adubação convencional, do suprimento da necessidade de água em épocas de seca. Além disso, dá-se um destino adequado ao nitrogênio, o que pode fazer com que o processo tratamento da ETE seja mais simples e mais barato. A desvantagem da fertirrigação é que ela deve ser feita com cautela, com critérios técnicos de acordo com a legislação, para não contaminar o lençol freático e não colmatar o solo devido à salinização.

A produtividade de algumas culturas agrícolas estão representadas na Tabela 6-28.

**Tabela 6-28 - Produtividade de culturas irrigadas com esgoto sanitários (t.ha<sup>-1</sup>)**

Água de irrigação	Trigo <sup>a</sup>	Batata <sup>a</sup>	Algodão <sup>a</sup>	Sorgo <sup>b</sup>	Milho <sup>b</sup>	Girassol <sup>b</sup>
Efluente primário	3,45	20,78	2,3	8,7	8,9	2,2
Efluente lagoa estabilização	3,45	22,31	2,41	8,6	8,6	2,3
Água + NPK <sup>*</sup>	2,7	17,16	1,71	9,1	8,1	1,9

*Fonte: Feigin et al. (1991) e b Marecos do Monte e Mara (1987), citados por Beringielli (2005),  
\* Nitrogênio, fósforo e potássio*

Piveli (2006), em experimento desenvolvido na cidade de Lins (SP), utilizando efluente tratado de lagoa facultativa em cultura de milho, concluiu que, onde se utilizou efluente como fonte de água e nutrientes a produção equivalente a 7,02 ton/ha ficou um

pouco abaixo das parcelas em que o efluente foi utilizado como fonte de água, mas com adubação complementar, que foi equivalente a 8,30 ton/ha, que por sua vez, ficou bastante próximo ao resultado obtido com irrigação convencional (com adubação convencional), equivalente a 8,33 ton/ha. Concluiu que apesar disso, a diferença não é muito grande e o uso do esgoto tratado representa uma economia substancial de água e de fertilizantes. Reami (2008) e Cintra (2008) realizaram pesquisas com aplicação de efluente de lagoa de estabilização anaeróbia no solo no município de Restinga, SP, em cultura de milho, e obtiveram produtividade até 8,29 ton/ha. Concluíram que apesar dos riscos, durante a pesquisa não ocorreram impactos negativos no solo, e na água do lençol. Veronez (2009) utilizou efluente de lagoa facultativa em cultura de eucalipto e concluiu que a aplicação é viável tanto nos aspectos agrônômicos quanto ambientais, porém os cuidados para a não contaminação das águas subterrâneas e da salinização do solo devem ser tomados.

O proprietário da área próxima a ETE existente indicou que não pretende utilizar o efluente da ETE para fertirrigação.

Nas Tabela 6-29 e Tabela 6-30 estão representados o descritor e as funções de valor do critério “possibilidade de uso agrícola do efluente final”, bem como a correspondência entre este critério e o tipo de ETE considerada.

**Tabela 6-29 – Descritor do critério “possibilidade de uso agrícola do efluente final”**

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N4	bom	ETE em local com bom potencial para uso agrícola e efluente com boa quantidade de nutrientes	96	100
N3	neutro	ETE em local com bom potencial para uso agrícola e efluente com pouca quantidade de nutrientes	79,6	0
N2		ETE em local com baixo potencial para uso agrícola e efluente com boa quantidade de nutrientes	51,4	-172
N1		ETE em local com baixo potencial para uso agrícola e efluente pouca quantidade de nutrientes	50	-180

$$\alpha = 6,10 \quad \beta = -485$$

**Tabela 6-30 - Correspondência entre o descritor e o tipo de ETE e local, para o critério “possibilidade de uso agrícola do efluente final”**

Descrição	Sistemas correspondentes
ETE em local com bom potencial para uso agrícola e efluente com boa quantidade de nutrientes	Sistemas por Lagoas e RAFA, nas áreas 1 e 2
ETE em local com bom potencial para uso agrícola e efluente com pouca quantidade de nutrientes	Lodos ativados e lagoas aeradas, nas áreas 1 e 2
ETE em local com baixo potencial para uso agrícola e efluente com boa quantidade de nutrientes	Sistemas por Lagoas, no local atual
ETE em local com baixo potencial para uso agrícola e efluente pouca quantidade de nutrientes	Lodos ativados e lagoas aeradas, no local atual

### 6.3.3.5 Critério “geração de lodo”

Neste estudo, não está sendo considerado a utilização do lodo de esgoto na agricultura, uma vez que, conforme descrito no item 3.5, para esta utilização seria necessário, até então, o tratamento do lodo para convertê-lo em classe A, além de todo processo caracterização e manejo previsto na Resolução CONAMA 375/2005.

Todo este processo, em razão de sua complexidade e da estrutura que exige, de rotinas de análises de caracterização do lodo e do solo com parâmetros orgânicos, inorgânicos, e microbiológicos, torna-se impraticável para sistemas de pequeno porte. Dessa forma, considera-se que o lodo deva ser encaminhado apenas para um aterro sanitário.

Além de elevar os custos operacionais, a disposição do lodo acaba por ocupar grandes espaços nos aterros sanitários, que, de forma geral, são projetados para o recebimento de lixo doméstico e não lodo de esgoto, diminuindo assim a vida útil do aterro. A diminuição da vida útil do aterro exigirá do poder público investimentos em menor intervalo de tempo em relação ao previsto, para ampliação ou implantação de um novo aterro para o tratamento do lixo. A produção de lodo pode variar de uma tecnologia para outra. Nestes termos, o melhor mesmo é gerar menos lodo.

Nas Tabela 6-31 e Tabela 6-32 estão representados o descritor e as funções de valor do critério “geração de lodo”, bem como a correspondência entre este critério e o tipo de ETE considerada.

**Tabela 6-31 – Descritor do critério “geração de lodo”**

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N3	bom	ETE com baixa geração de lodo	100	100
N2	neutro	ETE com média geração de lodo	46	0
N1		ETE com muita geração de lodo	8	-70

$$\alpha = 1,852 \quad \beta = -85,19$$

**Tabela 6-32 - Correspondência entre o descritor e o tipo de ETE, para o critério “geração de lodo”**

Descrição	Sistemas correspondentes
ETE com baixa geração de lodo	RAFA/lagoa anaeróbia + lagoas de estabilização/aeradas facultativas
ETE com média geração de lodo	Lagoas aeradas mistura completa/ lodo ativado com aeração prolongada
ETE com muita geração de lodo	Lodos ativados

Sistemas aerados mecanicamente convertem, por meio da ação de microorganismos, matéria orgânica presente nos esgotos em lodo biológico, e embora grande parte desta conversão ocorra na forma de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e outros compostos em menor quantidade, a produção de lodo é bem maior em relação aos sistemas anaeróbios.

### 6.3.3.6 Critério “consumo de energia elétrica”

Além de elevar o custo de operação dos sistemas, a energia elétrica é uma fonte limitada e disputada por atividades industriais. O Brasil dispõe de energia luminosa com grande intensidade a maior parte do ano. Existem tecnologias de tratamento de esgoto que utilizam energia elétrica e outras que não utilizam, beneficiando-se da energia solar.

Nas Tabela 6-33 e Tabela 6-34 estão representados o descritor e as funções de valor do critério “consumo de energia elétrica”, bem como a correspondência entre este critério e o tipo de ETE considerada.

**Tabela 6-33 – Descritor do critério “consumo de energia elétrica”**

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N3	bom	Processo que não é dependente de energia elétrica	92	100
N2	neutro	Processo que é dependente parcialmente de energia elétrica	76	0
N1		Processo que é dependente totalmente de energia elétrica	20,2	-349

$$\alpha = 6,250 \quad \beta = -475,00$$

**Tabela 6-34 - Correspondência entre o descritor e o tipo de ETE, para o critério “consumo de energia elétrica”**

Descrição	Sistemas correspondentes
Processo que não depende de energia elétrica	Lagoas anaeróbias + facultativas ou só facultativas
Processo parcialmente dependente de energia elétrica	RAFA + FBAS lodos ativados
Processo que dependente totalmente de energia elétrica	Lodos ativados, Lagoas aeradas mistura completa, lodo ativado com aeração prolongada

### 6.3.3.7 Critério “emissão de gases de efeito estufa”

Dados bibliográficos dão conta que a decomposição de dejetos em condições anaeróbias produz gás carbônico e gás metano, sem a oportunidade para o seqüestro de carbono e recuperação de energia, com efeitos que favorecem o aquecimento global e que são amplamente difundidos nos meios de comunicação. A maior ou menor geração de gases de efeito estufa depende da tecnologia adotada.

Do trabalho desenvolvido por Caldeira et al.(2005), especificamente relacionado ao tratamento de esgotos e comparando-se dois processos, um por lodos ativados com tratamento anaeróbio de lodo e outro RAFA seguido de lodos ativados, destaca-se que o tratamento aeróbio tem maior geração de CO<sub>2</sub> *per capita* em relação ao processo anaeróbio, neste caso representado por um RAFA.

Nas Tabela 6-35 e Tabela 6-36 estão representados o descritor e as funções de valor do critério “emissão de gases de efeito estufa”, bem como a correspondência entre este critério e o tipo de ETE considerada.

**Tabela 6-35 – Descritor do critério “emissão de gases de efeito estufa”**

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N3	bom	Processo predominantemente aeróbio	97,5	100
N2	neutro	Processo anaeróbio e aeróbio no mesmo reator, com predominância do aeróbio	57,5	0
N1		Processo misto - anaeróbio e aeróbio independentes em reatores separados	32,5	-63

$$\alpha = 2,50 \quad \beta = -143,75$$

**Tabela 6-36 - Correspondência entre o descritor e o tipo de ETE, para o critério “emissão de gases de efeito estufa”**

Descrição	Sistemas correspondentes
Processo predominantemente aeróbio Processo anaeróbio e aeróbio no mesmo reator, com predominância do aeróbio Processo misto - anaeróbio e aeróbio independentes em reatores separados (produz gás carbônico e gás metano, sem a oportunidade para o seqüestro de carbono e recuperação de energia)	Lodos ativados, Lagoas aeradas mistura completa, lodo ativado com aeração prolongada Lagoas facultativas, aeradas facultativas RAFA /lagoas anaeróbias + processos aeróbios

### 6.3.4 Matriz de avaliação – “Payoff”

A matriz de avaliação “Payoff” relaciona em cada critério a pontuação do nível de referência da função de valor transformada com cada alternativa considerada.

A partir dessa matriz “Payoff” podem ser aplicados os métodos multicriteriais, para quantos grupos de opinantes forem necessários, baseados nas taxas de substituições obtidas por meio dos questionários. Neste caso, foram estabelecidos 5 grupos de opinantes, ou atores que tomam decisão conforme o grau de poder de decisão

A matriz “Payoff” do estudo de caso em questão, para auxílio à tomada de decisão quanto à escolha da tecnologia e do local para o esgoto do município de Restinga está representada na Tabela 6-37.

As planilhas com a modelagem dos métodos aplicados em Excel estão exemplificadas no ANEXO IV – MODELOS DE FORMATAÇÃO DOS MÉTODOS EM PLANILHAS DO EXCELL

**Tabela 6-37 – Matriz “Payoff” para o estudo de caso, ETE de Restinga**

Critério	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15															
Alternativa																														
1	N2	0	N3	90	N5	100	N4	113	N1	0	N3	100	N3	100	N2	11	N4	115	N3	100	N2	100	N1	-180	N2	0	N1	-349	N3	100
2	N4	50	N3	90	N4	57	N2	0	N1	0	N3	100	N3	100	N2	11	N3	100	N3	100	N2	100	N2	-172	N3	100	N2	0	N2	0
3	N4	50	N3	90	N3	0	N1	-50	N1	0	N1	-38	N2	0	N1	0	N3	100	N3	100	N2	100	N4	100	N3	100	N2	0	N2	0
4	N4	50	N3	90	N4	57	N4	113	N1	0	N3	100	N3	100	N2	11	N3	0	N3	100	N2	100	N1	-180	N3	100	N2	0	N2	0
5a	N1	-192	N4	100	N1	-61	N1	-50	N3	100	N1	-38	N2	0	N1	0	N1	0	N2	0	N2	100	N4	100	N3	100	N3	100	N2	0
5b	N1	-192	N4	100	N1	-61	N3	100	N3	100	N2	0	N1	-283	N3	100	N1	0	N2	0	N2	100	N4	100	N3	100	N3	100	N2	0
6a	N2	-107	N4	100	N2	-54	N1	-50	N3	100	N1	-38	N2	0	N1	0	N3	100	N2	0	N2	100	N4	100	N3	100	N3	100	N2	0
6b	N3	0	N4	100	N2	-54	N3	100	N3	100	N2	0	N1	-283	N3	100	N3	100	N2	0	N2	100	N4	100	N3	100	N3	100	N2	0
7a	N3	0	N4	100	N3	0	N1	-50	N3	100	N1	-38	N2	0	N1	0	N1	0	N1	-325	N2	100	N4	100	N3	100	N3	100	N1	-63
7b	N3	0	N4	100	N3	0	N3	100	N3	100	N2	0	N1	-283	N3	100	N1	0	N1	-325	N2	100	N4	100	N3	100	N3	100	N1	-63
8a	N2	-107	N4	100	N2	-54	N1	-50	N3	100	N1	-38	N2	0	N1	0	N1	0	N1	-325	N2	100	N4	100	N3	100	N3	100	N1	-63
8b	N2	-107	N4	100	N2	-54	N3	100	N3	100	N2	0	N1	-283	N3	100	N1	0	N1	-325	N2	100	N4	100	N3	100	N3	100	N1	-63
9a	N2	-107	N2	0	N2	-54	N1	-50	N3	100	N1	-38	N2	0	N1	0	N4	115	N4	575	N2	100	N3	0	N2	0	N1	-349	N3	100
9b	N2	-107	N2	0	N2	-54	N3	100	N3	100	N2	0	N1	-283	N3	100	N4	115	N4	575	N2	100	N3	0	N2	0	N1	-349	N3	100
10a	N1	-192	N1	-60	N1	-61	N1	-50	N2	28	N1	-38	N2	0	N1	0	N4	115	N4	575	N1	0	N3	0	N1	-70	N1	-349	N3	100
10b	N1	-192	N1	-60	N1	-61	N3	100	N2	28	N2	0	N1	-283	N3	100	N4	115	N4	575	N1	0	N3	0	N1	-70	N1	-349	N3	100
11a	N1	-192	N2	0	N1	-61	N1	-50	N2	28	N1	-38	N2	0	N1	0	N4	115	N4	575	N1	0	N3	0	N2	0	N1	-349	N3	100
11b	N1	-192	N2	0	N1	-61	N3	100	N2	28	N2	0	N1	-283	N3	100	N4	115	N4	575	N1	0	N3	0	N2	0	N1	-349	N3	100
12a	N1	-192	N3	90	N1	-61	N1	-50	N2	28	N1	-38	N2	0	N1	0	N2	54	N1	-325	N1	0	N4	100	N3	100	N2	0	N1	-63
12b	N1	-192	N3	90	N1	-61	N3	100	N2	28	N2	0	N1	-283	N3	100	N2	54	N1	-325	N1	0	N4	100	N3	100	N2	0	N1	-63

NI = nível de impacto. FV = função de valor transformada

Critérios:

1 – Custo de implantação	6 -Transporte de esgoto	11 - Necessidade de mão de obra especializada
2 - Custos de operação e manutenção	7 - Acessibilidade	12 -Possibilidade de uso agrícola do efluente final
3 - Participação da Prefeitura Municipal no custo de implantação	8 - Valor econômico da área de implantação	13 - Geração de lodo
4 - Dificuldade para desapropriação de área	9 - Qualidade do efluente final	14 - Consumo de energia elétrica
5 - Impacto urbanístico e arquitetônico	10 - Geração de odor e distância em relação ao perímetro urbano	15 - Emissão de gases de efeito estufa

## **6.4 Determinação das taxas de substituição – W**

Para determinação das taxas de substituição, ou “pesos” entre os critérios utilizados foi elaborado um questionário para obtenção do grau de importância de cada critério adotado, em parte adaptado do método “Swing Weights” descrito na fundamentação teórica, por conta de haver em comum, o fato de proporcionar ao opinante a possibilidade de comparar critério com critério e atribuir valor o grau de importância respectivo.

O questionário foi aplicado junto aos tomadores de decisão aqui denominados de opinantes “leigos” e também técnicos. Com isso, na descrição dos critérios não se abordaram termos técnicos. O questionário foi elaborado de forma a “obrigar” o opinante a fazer uma reflexão do grau de importância do critério antes de pontuar, por meio da polarização entre o que seria considerado de “pouca importância” e o que poderia ser considerado de “grande importância”, além de um meio termo, denominado “média importância”. Após essa reflexão, os opinantes puderam comparar critério com critério e segundo o grau de importância refletido, e pontuá-los de 0 a 100 de acordo com o grau de importância subjetivo de cada critério. Quanto maior a pontuação, mais importante foi considerado o critério na tomada de decisão. Este questionário consta no ANEXO III – QUESTIONÁRIO APLICADO.

## **6.5 Opinantes**

Dado que se tratava de uma relação entre o poder concedente (Prefeitura) e concessionária (SABESP), e com interesse público, neste trabalho foram identificados quatro grupos de opinantes, sendo dois em cada nível de interesse.

O primeiro nível de interesse é representado pela concessionária que presta os serviços de água e esgoto, que tende a buscar o equilíbrio econômico nos investimentos por meio de soluções que atendam a legislação e o bem estar da população servida, e a otimização dos serviços operacionais.

Para este primeiro nível de interesse foram selecionados 2 grupos de opinantes. Um representado por funcionários da concessionária dos serviços de água e esgoto, que participam diretamente da decisão, e outro por funcionários que não participam da decisão. As características destes grupos de opinantes do primeiro nível de interesse estão descritas no Quadro 6-1.

**Quadro 6-1 – Grupos de opinantes da concessionária de serviços de água e esgoto**

<b>Grupo de opinantes</b>	<b>Quantidade e formação</b>
Concessionária SABESP – funcionários que participam diretamente da decisão	2 engenheiros civis doutores, 2 engenheiros civis pós-graduados e 1 químico mestre
Concessionária SABESP – funcionários que não participam da decisão	18 engenheiros civis, 5 engenheiros elétricos, 1 advogado, 3 biólogos, 9 químicos, 3 profissionais formação administrativa, 2 tecnólogos, 16 técnicos de 2º grau (meio ambiente, e manutenção)

O segundo nível de interesse representa o poder concedente, representado pela prefeitura municipal e a sociedade civil, neste caso representado por estudantes de 2º grau, graduados e pós graduandos. Em tese, esse nível de interesse tende a se preocupar com soluções que tragam o menor nível de impacto para a população, principalmente condições relacionadas a odores gerados pelos sistemas de tratamento, a localização, quando se trata de desvalorização de áreas ou quando se tem para estas outras finalidades, a qualidade do efluente final e suas possíveis interferências no meio. Geralmente, pelo não conhecimento técnico, questões de custos de implantação e operacionais são relegadas a um segundo plano. Neste nível de interesse foram selecionados dois grupos de opinantes, conforme características descritas no Quadro 6-2.

**Quadro 6-2 – Grupos de opinantes da prefeitura e sociedade em geral**

<b>Grupo de opinantes</b>	<b>Quantidade e formação</b>
Prefeitura	1 engenheiro civil, assessor do prefeito
Estudantes de pós-graduação e de curso técnico em meio ambiente	4 engenheiros civis, 10 biólogos, 6 químicos, 5 profissionais de formação administrativa, 3 tecnólogos, 11 estudantes de curso técnico

Foi considerada ainda uma quinta resposta, composta por todos os participantes que opinaram. Em total foram respondidos 94 questionários por pessoas de múltiplas formações.

Na Figura 6-8 está representada a árvore de valores. Nesta estão descritas as taxas de substituição para cada grupo de opinantes, e é possível comparar a importância que cada grupo de opinantes atribui a cada um dos critérios, numa escala de 0 a 10, ou seja, “0” equivale a nenhuma importância e “10” equivalente à máxima importância.

Os critérios estão descritos no item 6.3, e a numeração correspondente conforme Tabela 6-38.

**Tabela 6-38 – Numeração e critério correspondente**

<b>Número</b>	<b>Critério</b>
1	Custo de implantação
2	Custo de operação e manutenção
3	Participação da Prefeitura Municipal no custo de implantação
4	Desapropriação de área
5	Impacto urbanístico e arquitetônico
6	Transporte de esgoto
7	Acessibilidade
8	Valor da área em função do uso
9	Qualidade do efluente final
10	Geração de odor e distância em relação ao perímetro urbano
11	Necessidade de mão de obra especializada para operação
12	Possibilidade de uso agrícola do efluente final
13	Geração de lodo
14	Consumo de energia elétrica
15	Emissão de gases de efeito estufa

**Figura 6-8 – Árvore de valores dos grupos de opinantes em relação aos critérios avaliados**

<b>Escolha das alternativas</b>															
<b>Grupo de opinantes / critérios</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Funcionários da SABESP que participam diretamente na decisão	9,98	9,79	4,00	3,89	7,68	7,31	6,82	4,61	6,76	8,40	6,39	4,20	8,11	7,58	4,47
Funcionários da SABESP que não participam diretamente na decisão	6,97	7,19	4,70	5,55	5,68	6,27	5,82	5,29	8,49	7,52	6,43	6,94	7,64	7,86	7,64
Representante da Prefeitura Municipal	1,85	4,63	1,85	9,26	9,26	1,85	1,85	9,26	9,26	9,26	9,26	9,26	4,63	9,26	9,26
Estudantes de pós-graduação e de curso técnico em meio ambiente	6,77	7,57	5,28	6,30	6,39	7,20	5,52	5,99	8,21	7,54	6,49	5,55	6,91	6,81	7,46
Todos os participantes	6,98	7,43	4,87	5,82	6,09	6,64	5,70	5,58	8,31	7,59	6,48	6,29	7,34	7,44	7,44

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 7.1.1 Custo de implantação

Na Tabela 7-1 estão descritas as características principais de cada projeto obtido e os respectivos custos unitários correspondentes.

**Tabela 7-1 – Características das estações de tratamento de esgoto selecionadas e custos unitários de implantação**

ETE	População atendida (hab)	Capacidade Vazão média (L/s)	Capacidade Vazão média (m <sup>3</sup> /d)	Contribuição <i>per capita</i> (L/ hab. x d)	Custo atualizado 2010 ( R\$)	Custo unitário de implantação (R\$/ m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup> de capacidade)
<b>1 -Lodo ativado convencional</b>						
1A	1.450	2,69	232	160	889.335,02	3.826,48
1B	32.200	44,44	3840	119	3.958.579,26	1.030,98
1C	321.889	619,00	53482	166	20.136.742,47	376,52
<b>2 -Lodo ativado com aeração prolongada</b>						
2A	3.316	7,71	666	201	1.883.701,58	2.827,77
2B	10.111	21,00	1814	179	4.428.461,27	2.440,73
2C	11.111	28,00	2419	218	4.262.089,10	1.761,78
2D	33.833	90,00	7776	230	10.090.425,91	1.297,64
<b>3 -RAFA + Filtro biológico aerado submerso</b>						
3A	528	1,11	96	182	332.049,04	3.462,45
3B	1.719	3,32	287	167	537.303,98	1.873,44
3C	2.647	7,88	681	257	1.687.339,71	2.478,35
3D	7.174	14,59	1261	176	3.722.476,95	2.952,00
3E	45572	80	6912	152	9.769.577,97	1.413,42
<b>4 - Lagoa aerada + lagoa de decantação</b>						
4A	280.00	62,80	5426	194	7.225.571,79	1.331,68
4B	31.148	55	4752	153	4.834.453,21	1.017,35
4C	40.004	92,90	8026	201	2.389.987,49	297,76
4D	79.841	142,38	12302	154	7.255.045,30	589,75
4E	86.778	240	20736	239	6.274.663,60	302,60

Continuação da Tabela 7-1 – Características das ETEs...

ETE	População atendida (hab)	Capacidade (L/s)	Capacidade (m <sup>3</sup> /d)	Contribuição <i>per capita</i> (L/ hab. x d)	Custo atualizado 2010 (R\$)	Custo unitário de implantação (R\$/ m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup> de capacidade)
<b>5 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa</b>						
5A	3.000	3,22	278	93	324.972,31	1.168,09
5B	5.200	8,20	708	136	331.799,46	468,33
5C	6.000	14,00	1209	202	1.385.010,80	1.145,02
5D	8.032	19,87	1716	214	1.446.592,30	842,63
5E	10.708	26,22	2265	212	935.070,64	412,76
5F	8.000	27,00	2332	292	680.666,80	291,78
5G	21.605	40,37	3488	161	1.437.233,39	412,05
5H	19.963	42,00	3629	182	3.575.171,19	985,22
5I	21.013	43,77	3781	180	1.051.258,13	277,98
5J	22.812	47,94	4142	182	3.498.206,95	844,57
5K	25.762	56,69	4898	190	1.141.866,54	233,13
5L	29.602	57,18	4940	167	3.616.651,22	732,12
5M	31.609	70,00	6048	191	3.007.024,85	497,19
5N	39.515	85,00	7344	186	4.412.331,08	600,81
<b>6 - Lagoa Facultativa</b>						
6A	777	1,01	87	112	382.196,09	4.379,77
6B	905	1,98	171	189	545.125,01	3.186,52
6C	4.482	12	1036	231	2.318.092,82	2.235,81
6D	30.778	60,3	5209	169	7.113.659,23	1.365,41
<b>7 - Lagoa Facultativa + lagoa de maturação</b>						
7A	812	1,77	153	189	456.226,74	2.979,93
7B	1.683	2,48	214	127	684.476,74	3.194,46
7C	3.316	7,71	666	201	1.375.144,29	2.064,33
7D	3.462	4,99	431	125	1.117.059,01	2.590,97
7E	7.776	15,91	1375	177	1.479.252,78	1.075,82
7F	9.813	15,6	1348	137	2.115.177,05	1.569,31
<b>8 - Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa + lagoa de maturação</b>						
8A	1.331	2,85	246	185	1.110.904,97	4.511,47
8B	5.367	12,7	1097	204	1.251.512,08	1.140,56
8C	10.980	23,51	2031	185	3.130.040,49	1.540,91
8D	23.184	48,3	4173	180	2.004.084,79	480,24

Não se objetiva ser exato quanto aos custos unitários em relação à vazões de projeto. Pode haver divergências de custos para a mesma vazão entre sistemas de mesma tecnologia, pois porque existem muitas variações de qualidade de materiais e equipamentos utilizados em cada tecnologia. Apesar de utilizarem a mesma tecnologia, alguns projetos são mais sofisticados em relação a outros, como por exemplo, em um

determinado projeto estar previsto o investimento em automação e outro não. Pode haver diferenças no acabamento de vias internas, sendo um sistema apenas com aplicação de brita, outro com asfaltamento. Lagoas de estabilização com manta de impermeabilização e outra apenas com o fundo compactado, contribuindo assim para as possíveis divergências entre custos de implantação para vazões semelhantes.

Na seqüência, estão representados gráficos com o custo unitário de implantação em função da vazão para cada sistema estudado.

Os dados representados são baseados nos projetos obtidos. Por esta razão, as curvas nos gráficos não necessariamente podem apresentar concordância. O ideal seria ter o maior número possível de dados para resultar em maior consistência às curvas nos referidos gráficos.

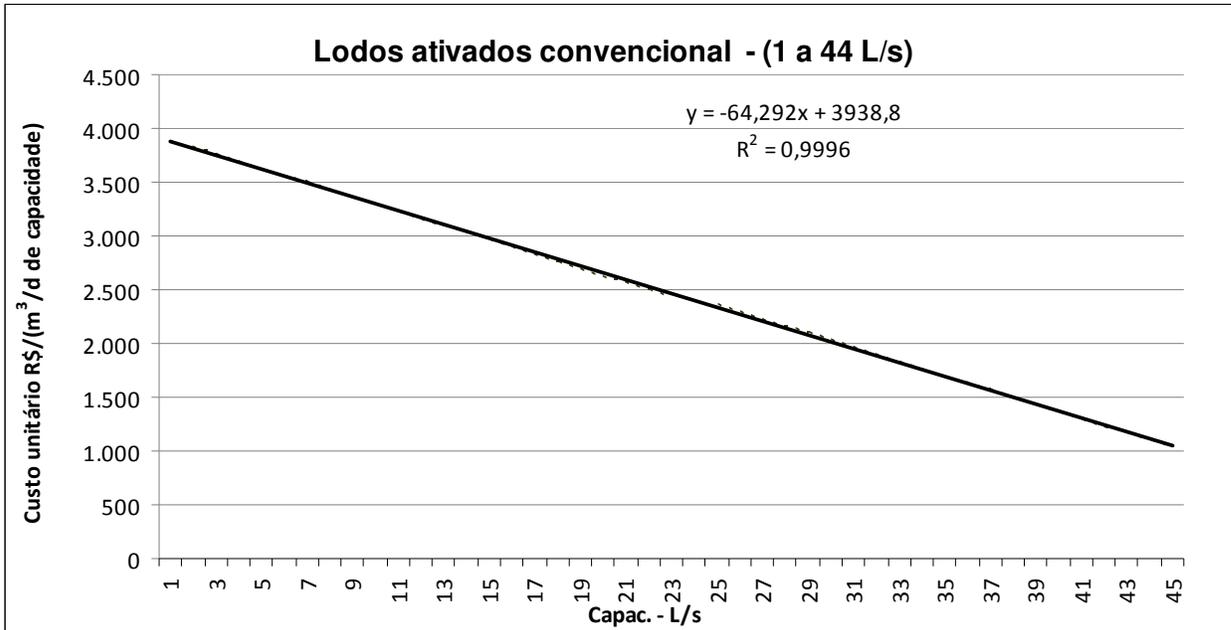
Em cada gráfico, a linha fina pontilhada indica a plotagem dos resultados obtidos na relação entre o custo unitário em “R\$/m<sup>3</sup>/d” em função da vazão em “L/s”, considerando para cada “L/s” a interpolação entre os resultados, razão pela qual se tornou uma linha e não apenas os pontos com os resultados dispersos. A linha grossa representa a curva de tendência, cuja modalidade foi escolhida objetivando a busca pelo coeficiente de correlação ( $r^2$ ) mais próximo de um.

Para composição do gráfico da modalidade “lagoa anaeróbia + lagoa facultativa”, os valores correspondentes às vazões de 8,2 L/s, de 26,22 L/s a 40,37, e 43,77 L/s, indicadas na Tabela 7-1, foram excluídos por apresentarem valores muito discrepantes e para que a curva da linha de tendência ficasse o mais próximo de  $r^2 = 1$ .

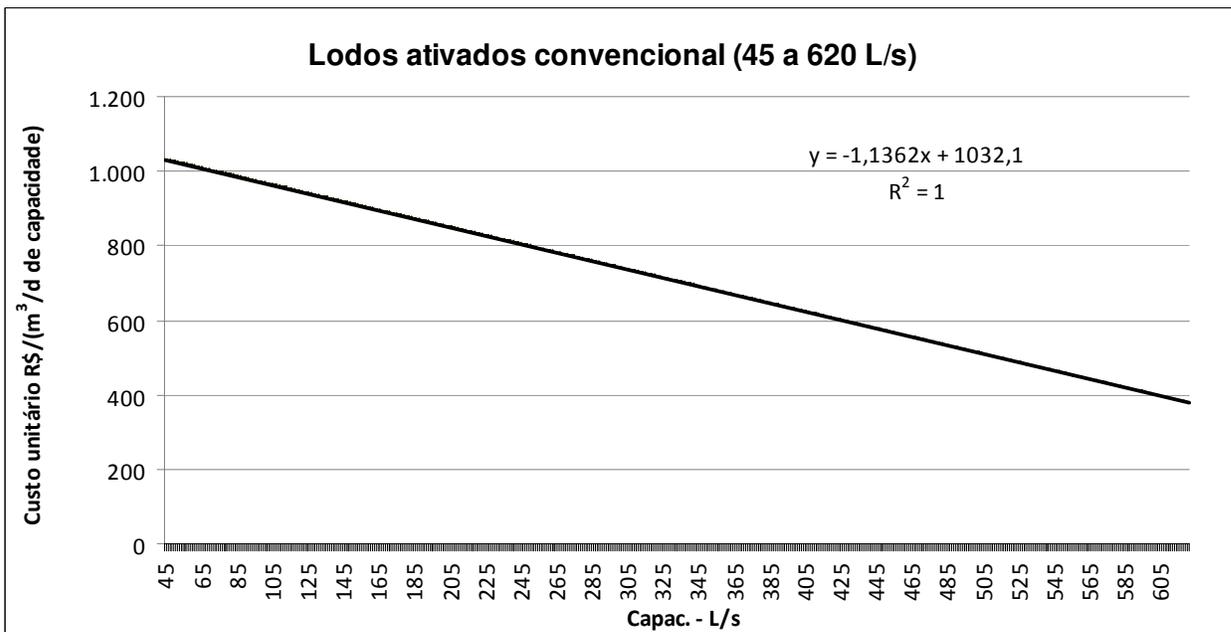
Para a modalidade “lodos ativados convencional” as informações estão separadas em duas figuras (gráficos), com vazão entre 1 L/s a 44 L/s e de 45 a 620 L/s, para melhor definição das linhas de tendência e equações.

Também estão representadas as respectivas equações para determinação do custo unitário, baseadas nas linhas de tendência de cada modalidade. Nas Figura 7-1 a

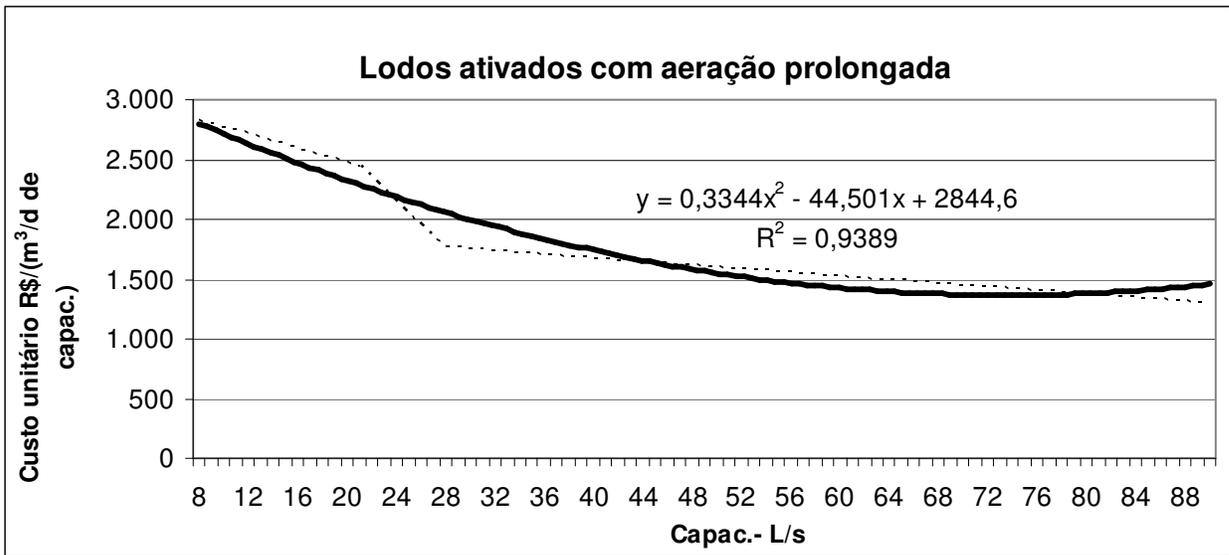
Figura 7-9 estão representados os custos unitários de implantação de cada modalidade e as respectivas equações.



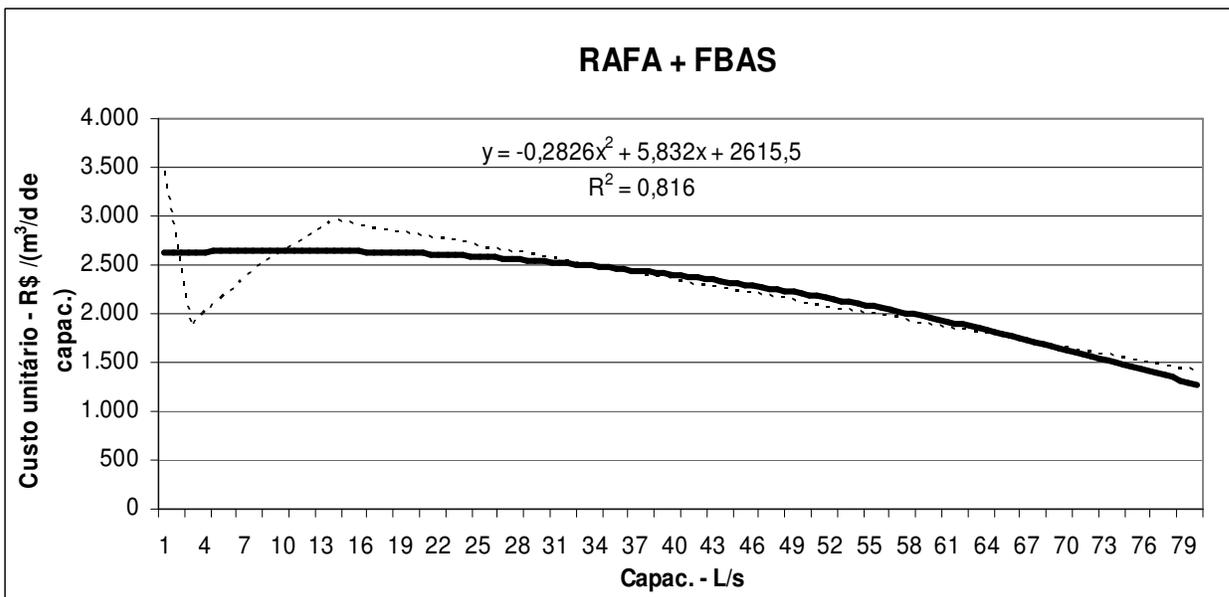
**Figura 7-1 – Custo unitário de implantação para lodos ativados convencionais – de 1,0 a 44 L/s**



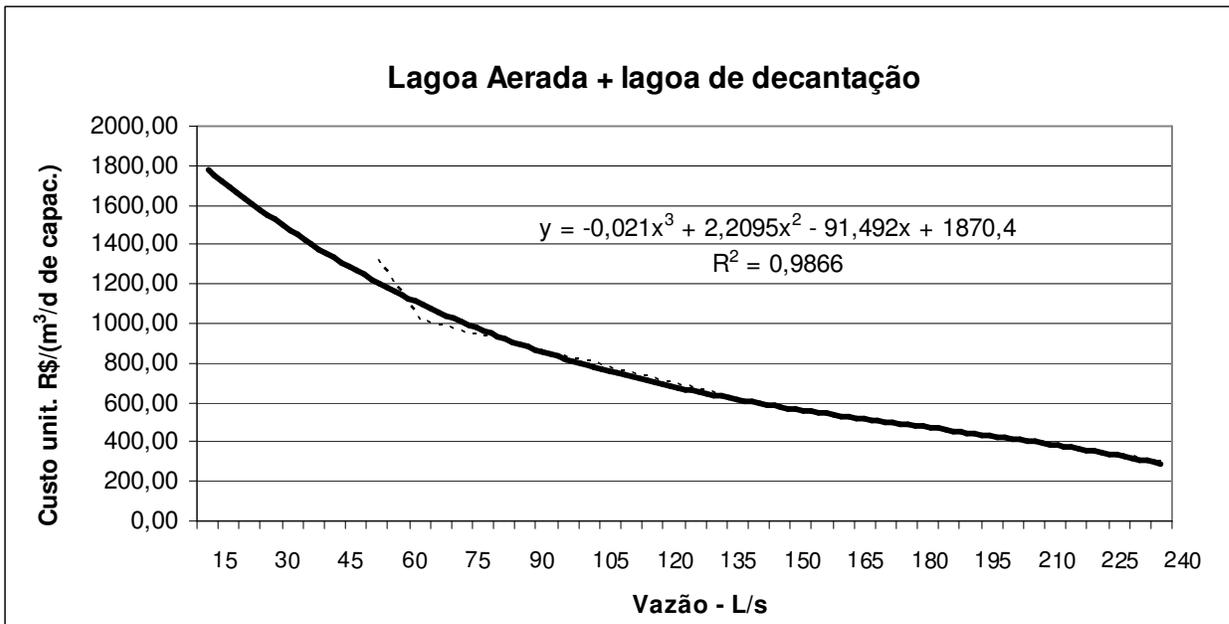
**Figura 7-2 – Custo unitário de implantação para lodos ativados convencionais – de 45 a 620 L/s**



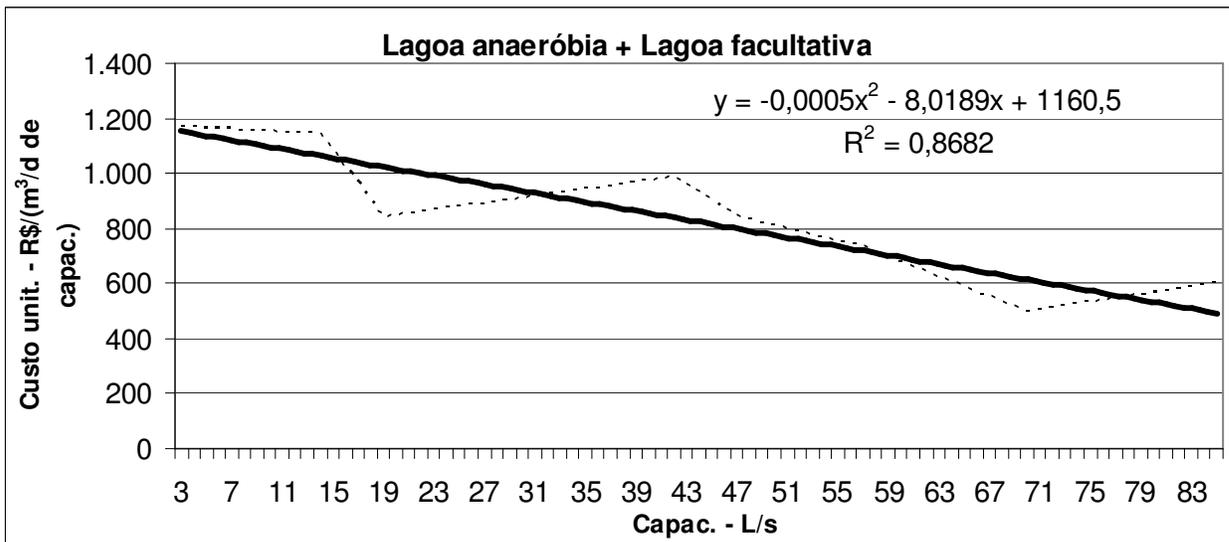
**Figura 7-3 - Custo unitário de implantação para lodos ativados com aeração prolongada**



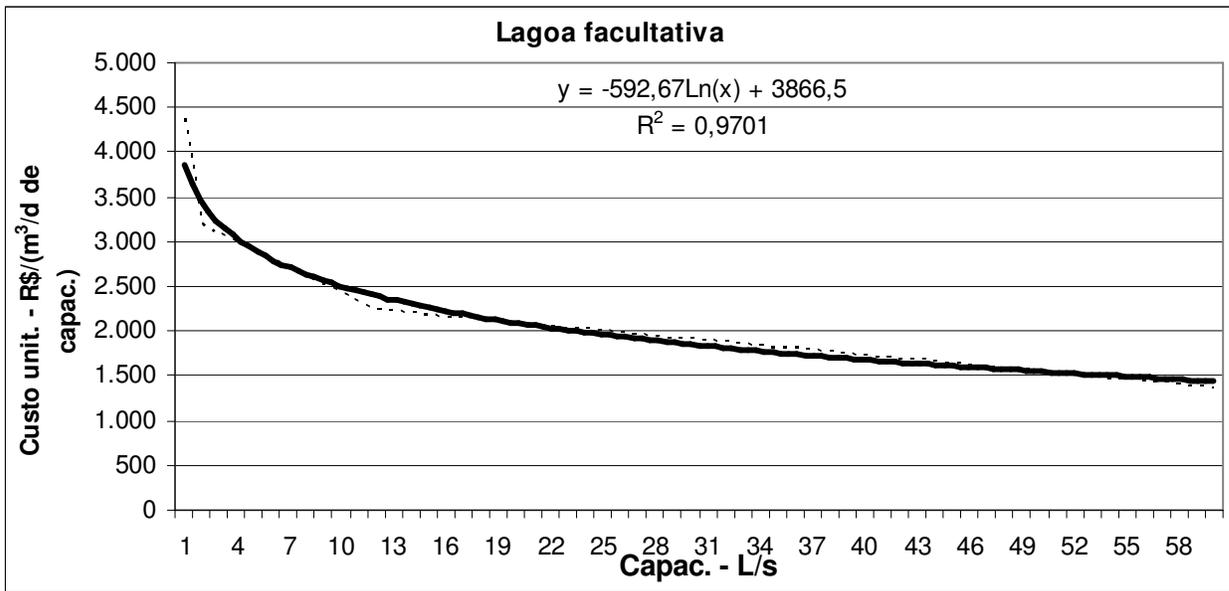
**Figura 7-4 - Custo unitário de implantação para RAFA com FBAS**



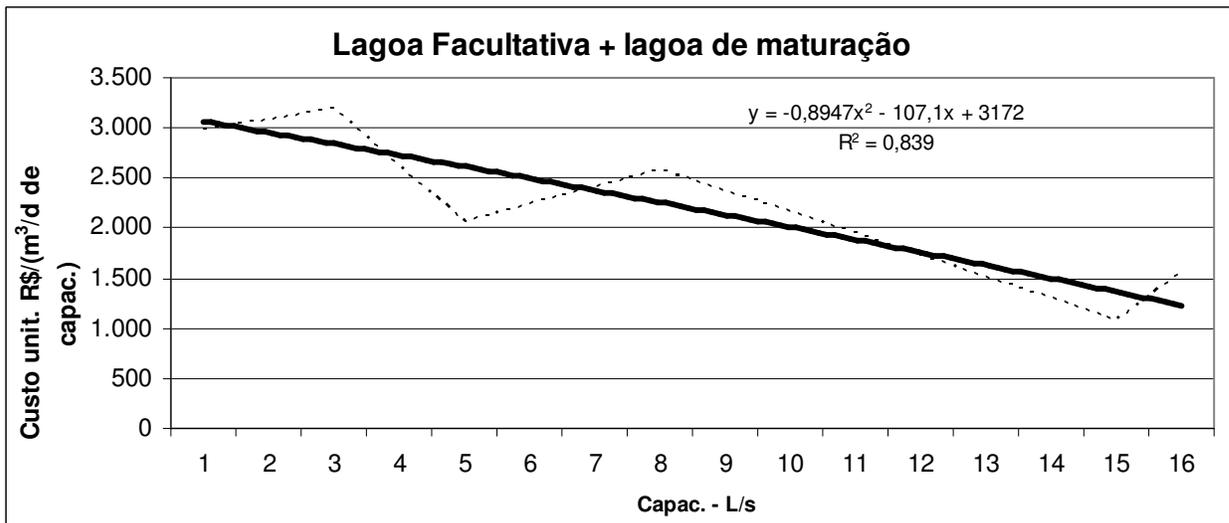
**Figura 7-5 – Custo unitário de implantação para Lagoa aerada com lagoa de decantação**



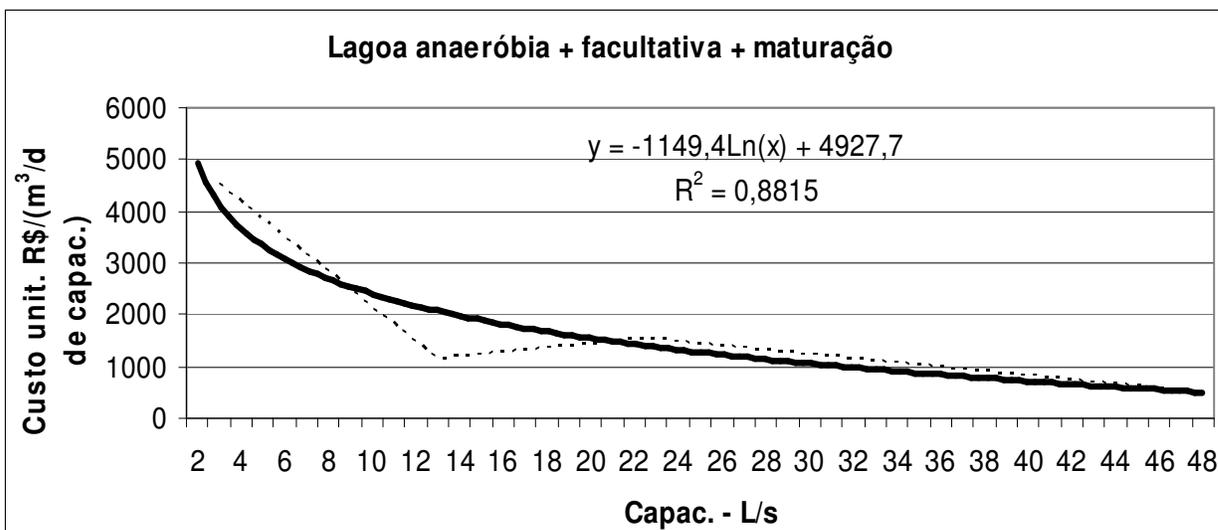
**Figura 7-6 – Custo unitário de implantação de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa**



**Figura 7-7 – Custo unitário de implantação de lagoa facultativa**



**Figura 7-8 - Custo unitário de lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação**



**Figura 7-9 - Custo unitário de lagoa anaeróbia, seguida de lagoa facultativa e de maturação**

A título de ilustração, estão representados na Tabela 7-2 os menores e maiores valores encontrados por modalidade do custo de implantação na unidade “R\$/habitante”, com as respectivas populações correspondentes, baseados nos 45 projetos considerados.

**Tabela 7-2 - Custos de implantação em R\$/hab. (2010)**

Modalidade	Menor valor		Maior valor	
	População (hab.)	Custo de implantação - (R\$/hab.)	População (hab.)	Custo de implantação - (R\$/hab.)
Lodo ativado convencional	321.889	62,56	1.450	613,33
Lodo ativado com aeração prolongada	36.722	136,00	3.316	568,06
RAFA + Filtro anaeróbio + Filtro aerado submerso	45.572	214,38	528	637,45
Lagoa aerada + lagoa de decantação	40.004	59,74	28.000	258,06
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	25.762	44,32	6.000	230,84
Lagoa Facultativa	30.778	231,13	905	602,35
Lagoa Facultativa + lagoa de maturação	7.776	190,23	812	561,86
Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa + lagoa de maturação	23.184	86,44	1.331	834,62

Nota-se que para os sistemas com maior população, o custo de implantação é menor em relação aos sistemas menor população.

A unidade adotada, neste estudo, para o custo unitário de implantação foi a “R\$ / m<sup>3</sup> . dia<sup>-1</sup> de capacidade”, tendo como vazão de referência a vazão média afluente de capacidade da ETE. Esta unidade foi escolhida por considerar que a relação de custo por habitante, conforme é divulgado em bibliografias será maior ou menor em função de alguns fatores, entre eles o consumo de água *per capita* que é característico de uma determinada população e que varia em função da tarifa aplicada que, sendo baixa, incentiva o consumo e o desperdício com o conseqüente aumento do índice de perdas de água na distribuição. Dessa forma, se um município tiver um consumo *per capita* de água elevado, em função de baixas tarifas e práticas comerciais permissivas, um sistema de tratamento de esgoto poderá ser de grande capacidade de vazão para uma pequena população, em relação a outro, cujo consumo seja mais equilibrado, prejudicando assim a comparação entre os sistemas na unidade “R\$/habitante”.

Esta variação de geração de esgoto *per capita* pode ser comparada nos projetos utilizados para fins de composição de custos, conforme Tabela 7-1, em que a contribuição de esgoto *per capita* referente à vazão de projeto, (incluso infiltração na rede) variou entre 93 a 292 L esgoto /hab. x d. , com valor médio de 185 L esgoto / hab. x d.

Sendo assim, a unidade “R\$ / m<sup>3</sup> . dia<sup>-1</sup> de capacidade” conduz à possibilidade de gerar menos erros de previsão do custo total numa etapa de planejamento, quando se utiliza esta relação de custo, pois está diretamente relacionada ao porte da obra.

Outra constatação importante verificada nos gráficos representados na unidade custo “R\$ / m<sup>3</sup> x dia<sup>-1</sup> de capacidade” x capacidade de tratamento (L/s) é que este custo diminui na medida em que se eleva a capacidade de tratamento, ou seja, ocorre um ganho em escala. Em outras palavras, o custo unitário é uma variável função da capacidade. Nos gráficos de custo unitário em função da vazão de tratamento ( Figura

7-1 a Figura 7-9), a maioria das linhas de tendências, baseada nos dados “plotados”, indicou redução dos custos com a elevação da capacidade de tratamento.

Para os sistemas pesquisados, considerando a vazão de 15 L/s de capacidade, o sistema que apresentou maior custo unitário de implantação foi o de lodo ativado convencional e o que apresentou menor foi de lagoa anaeróbia seguido de lagoa facultativa, conforme verifica-se na Tabela 7-3.

**Tabela 7-3 – Custos unitários de implantação considerando a vazão de 15 L/s**

<b>Sistema</b>	<b>Custo unitário de implantação, para 15 L/s – (R\$/m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> de capacidade)</b>
Lodos ativados convencional	2.800,00
RAFA + Filtro biológico aerado submerso	2.637,71
Lagoas facultativas	2.238,27
Lodos ativados aeração prolongada	2.200,31
Lagoas anaeróbia + facultativa + maturação	1.769,99
Lagoa aerada + Lagoa de decantação	1.750,00
Lagoas facultativa + maturação	1.283,51
Lagoas anaeróbia + facultativa	1.035,28

Verifica-se que o custo unitário para o sistema por lagoa facultativa seguida de maturação apresentou valor inferior em relação ao sistema composto apenas por lagoa facultativa. Uma hipótese é que, quando se projeta apenas a célula facultativa, a taxa de aplicação superficial adotada pode ser baixa (ex.: 100 kg DBO/ha x d), e quando se projeta a célula facultativa seguida de outra célula de maturação, a taxa de aplicação pode ser maior, da ordem de 200 kg DBO/ha x d. Com isso, a área para uma única célula facultativa de baixa taxa é praticamente o dobro, e seu custo praticamente proporcional.

Em relação ao custo unitário em “R\$ /habitante”, conforme Tabela 7-2, percebe-se uma grande variação de valores, chegando a quase 10 vezes a diferença entre o menor e o maior valor para uma mesma modalidade, que pode ser explicado por dois

fatores. Um já comentado e que está relacionado à contribuição “*per capita*” de esgoto, e o outro relacionado ao fato de que o custo unitário é reduzido quando se eleva a capacidade de tratamento, conforme verificado nos gráficos de custo de implantação (Figura 7-1 a Figura 7-9).

É importante ressaltar que a os valores custos unitários desenvolvidos neste trabalho podem sofrer alterações ao longo dos anos em função da inflação ou deflação, e não há como transformar em unidade científica porque, conforme verificado na Tabela 5-1, a proporção dos insumos (mão de obra, terraplanagem, estruturas de concreto, pavimentação e edificações) em cada tipo de sistema é diferente, e percebe-se na Tabela 5-2 que os índices de reajustes de cada um desses insumos tem se mostrado diferentes ao longo dos anos, podendo ter no mesmo período insumos com reajustes positivo e insumos com reajustes negativos.

### 7.1.2 Custo de operação e manutenção

Na Tabela 7-4 estão representados os custos médios estimados para os sistemas por lagoas de estabilização.

**Tabela 7-4– Custos médios de operação e manutenção de sistemas por lagoas de estabilização**

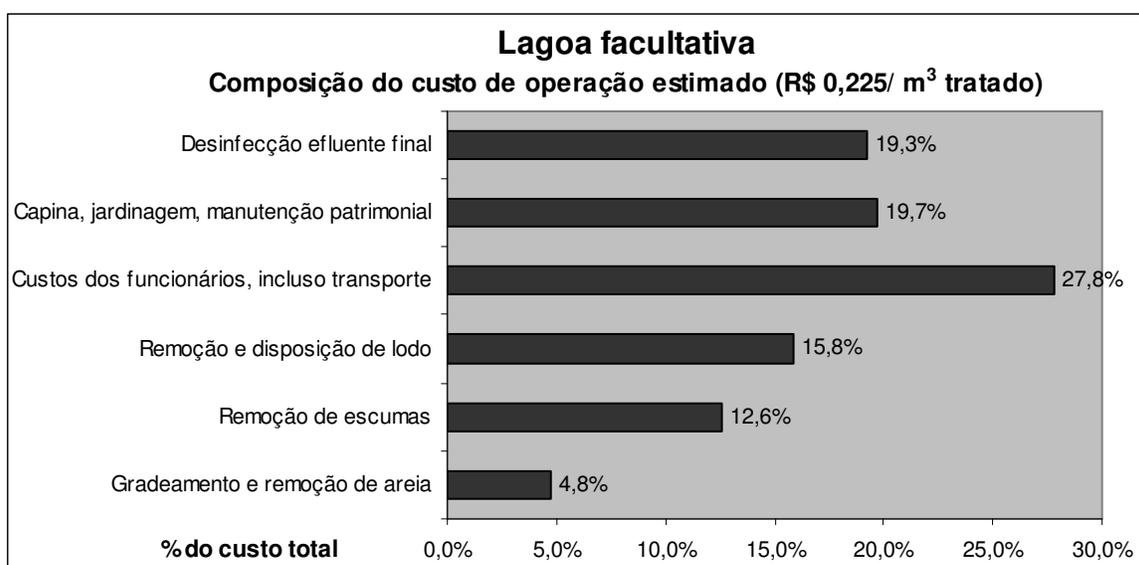
<b>Modalidade</b>	<b>Custo médio de operação composto (considerando remoção mensal de lodo) - R\$/m<sup>3</sup> tratado</b>	<b>Custo médio de operação composto (considerando remoção de lodo a cada 10 anos) - R\$/m<sup>3</sup> tratado</b>
Lagoa facultativa	0,259	0,225
Lagoa facultativa + lagoa de maturação	0,201	0,170
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	0,233	0,211
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	0,156	0,129

*Obs: Exceto para os sistemas com lagoas de maturação, considera-se a desinfecção do efluente final.*

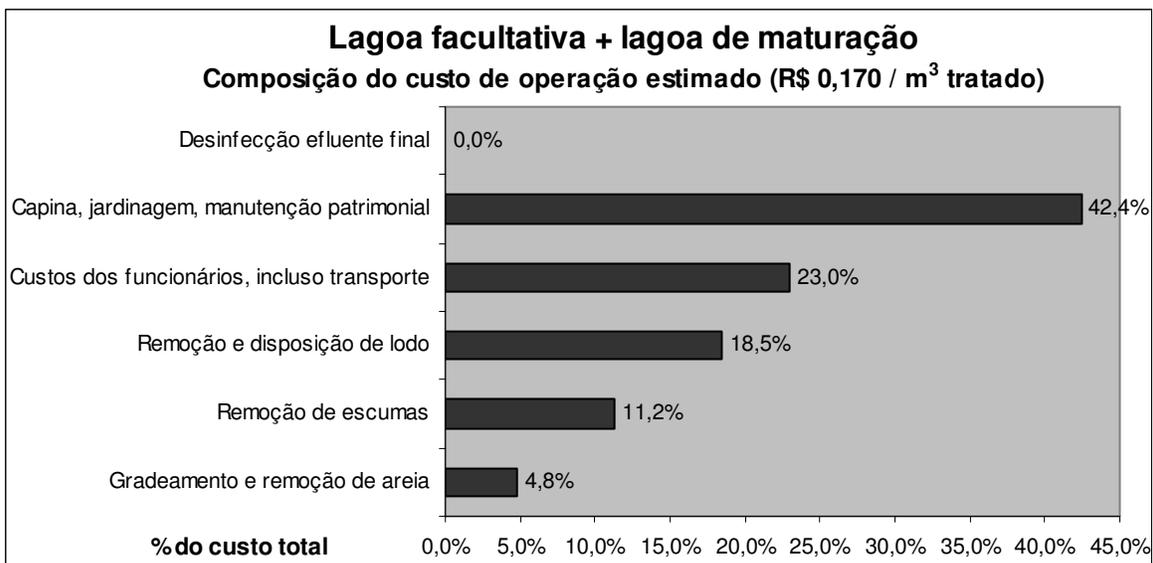
Comparando-se o custo do sistema por lagoa facultativa com o sistema de lagoa anaeróbia seguido de facultativa, nota-se que este último apresenta custo unitário

inferior, dado que a área ocupada é inferior devido a lagoa anaeróbia, reduzindo custos de manutenção de área verde, por exemplo.

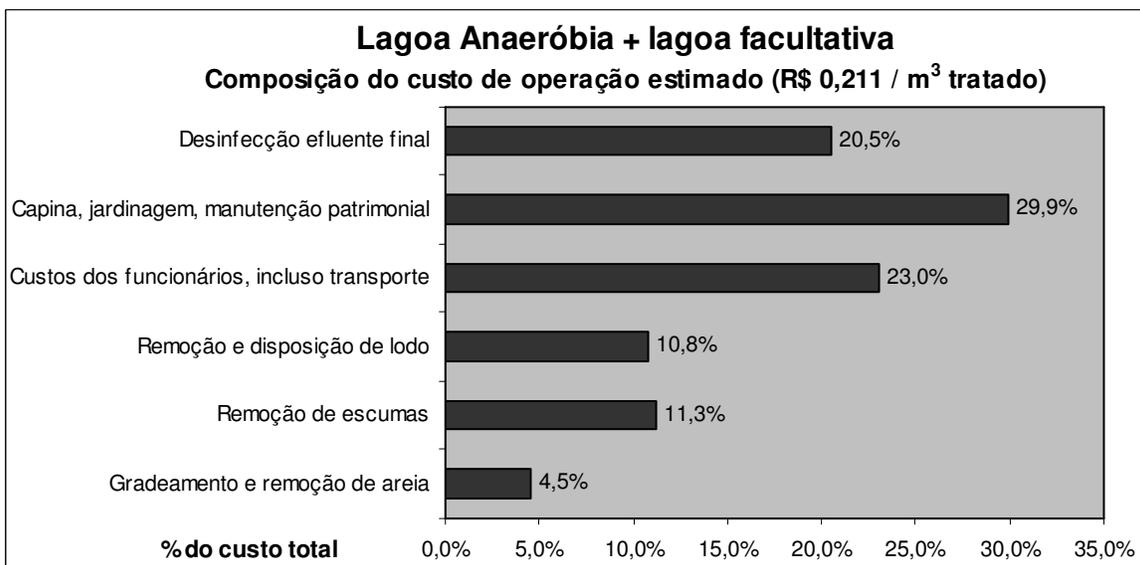
Nas Figura 7-10 a Figura 7-13 estão representados a distribuição dos custos médios de operação e manutenção em cada modalidade por lagoas de estabilização. Os valores em porcentagem foram obtidos a partir da composição dos custos do ANEXO I - Composição dos custos de operação, considerando remoção de lodo a cada 10 anos.



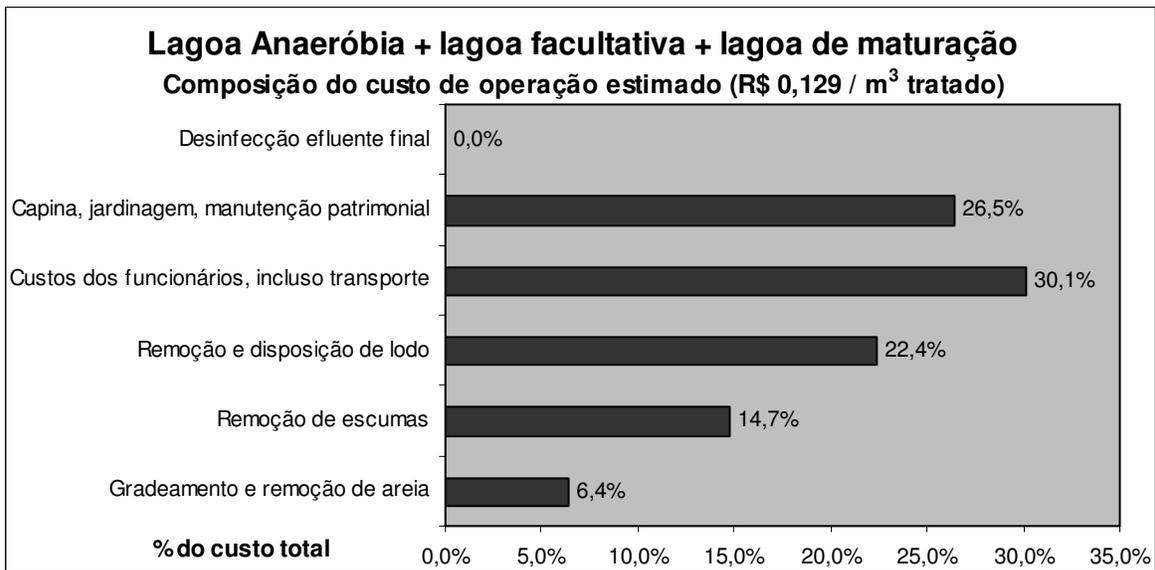
**Figura 7-10 – Distribuição em percentual dos custos de operação e manutenção da modalidade “lagoa facultativa”**



**Figura 7-11 – Distribuição em percentual dos custos de operação e manutenção da modalidade “lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação”**



**Figura 7-12 – Distribuição em percentual dos custos de operação e manutenção da modalidade “lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa”**



**Figura 7-13 – Distribuição em percentual dos custos de operação e manutenção da modalidade “ lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de maturação”**

Nota-se que é significativo o custo da remoção e disposição do lodo em todas as modalidades por lagoas de estabilização. Para composição da distribuição em percentual dos custos de operação e manutenção foi considerado a remoção e disposição de lodo a cada 10 anos, pois é a situação mais próxima da realidade.

Foi considerado um volume de lodo baseado na taxa de 50 L/hab. x ano, conforme von Sperling, (2002), e com custo unitário de R\$ 55,86 / m<sup>3</sup> dragado referente a dragagem e desaguamento por BAG's, apurado por Bueno et al. (2009) baseado na ETE de Jaborandi operado pela SABESP, incluso a operação e o uso de polímeros. É importante citar que o custo unitário apurado pode sofrer alterações em razão do método se tornar mais conhecido e utilizado, aumentando a oferta de prestação de serviços.

A desinfecção do efluente final também representa um custo significativo entre as modalidades, não sendo considerada para os sistemas dotados de lagoas de maturação.

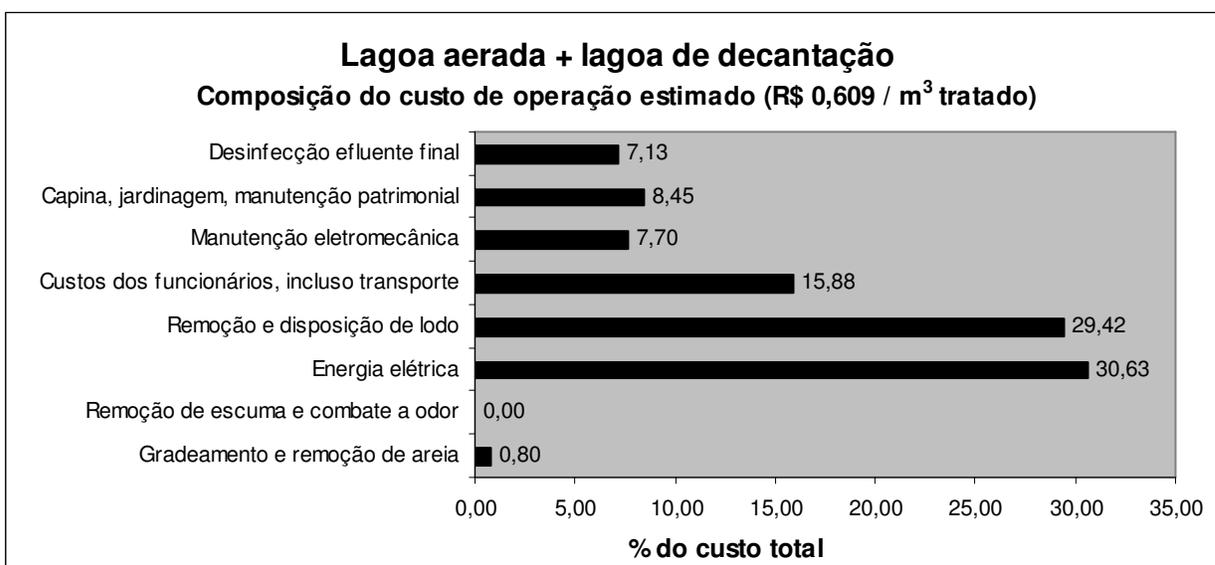
Na Tabela 7-5 estão representados os custos médios estimados para os sistemas por RAFA e lagoas aeradas.

**Tabela 7-5 - Custos médios de operação e manutenção de sistemas por RAFA`s e lagoas aeradas**

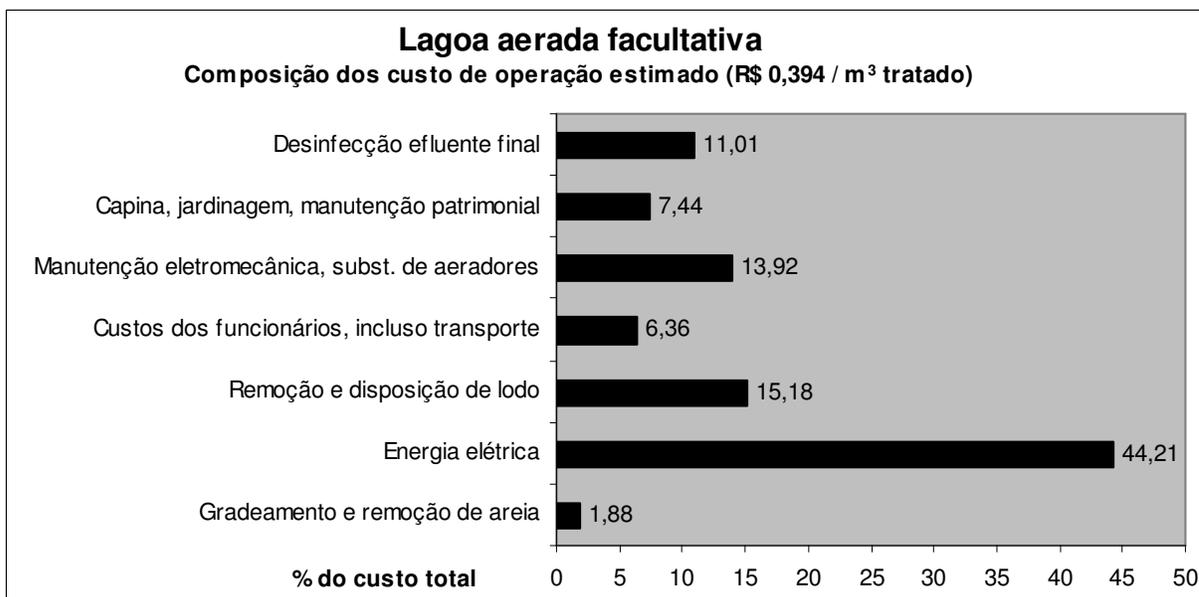
Modalidade	Custo de operação composto - R\$/m <sup>3</sup> tratado
Lagoa aerada + lagoa de decantação	0,609
Lagoa aerada facultativa	0,394
RAFA + FBAS	0,242

*Obs.: todos os sistemas com desinfecção por hipoclorito de sódio*

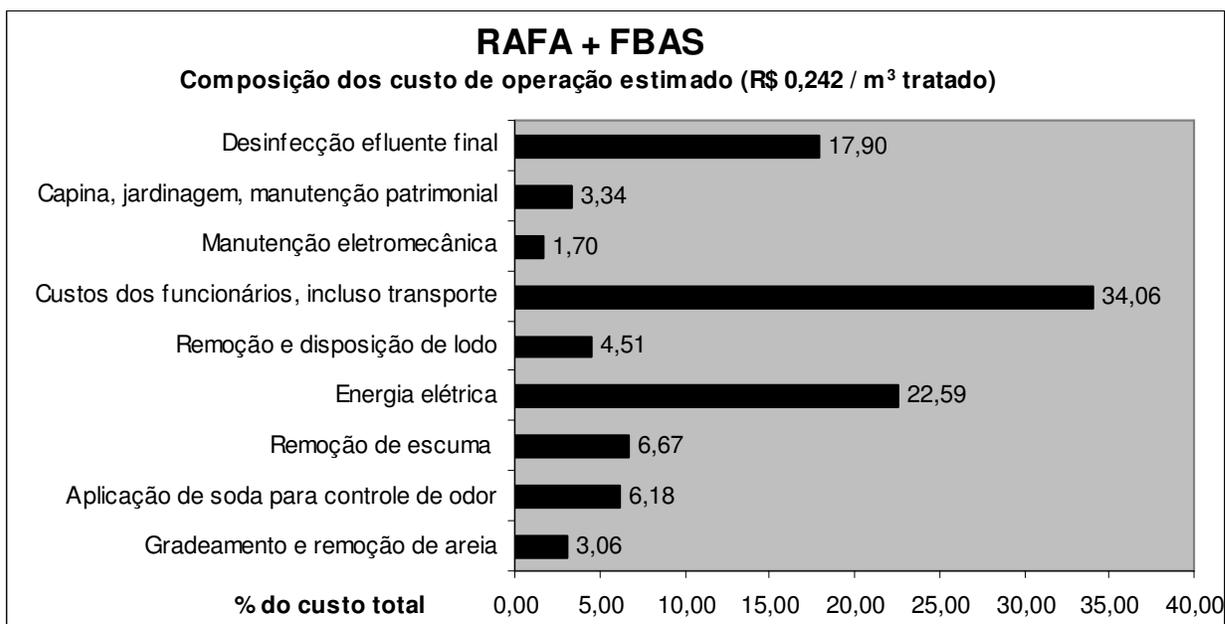
Nas Figura 7-14 a Figura 7-16 estão representados a distribuição dos custos médios de operação e manutenção em cada modalidade por lagoas aeradas e RAFA. Os valores em porcentagem foram obtidos a partir da composição dos custos do ANEXO I - Composição dos custos de operação.



**Figura 7-14 - Distribuição dos custos de operação e manutenção da modalidade “lagoa aerada com lagoa de decantação”**



**Figura 7-15 - Distribuição dos custos de operação e manutenção da modalidade “lagoa aerada facultativa”**



**Figura 7-16 - Distribuição dos custos de operação e manutenção da modalidade “RAFA seguido de FBAS”**

Na Tabela 7-6 estão representados os custos médios estimados para os sistemas por lodos ativados.

**Tabela 7-6 - Custos de operação e manutenção de sistemas por lodos ativados**

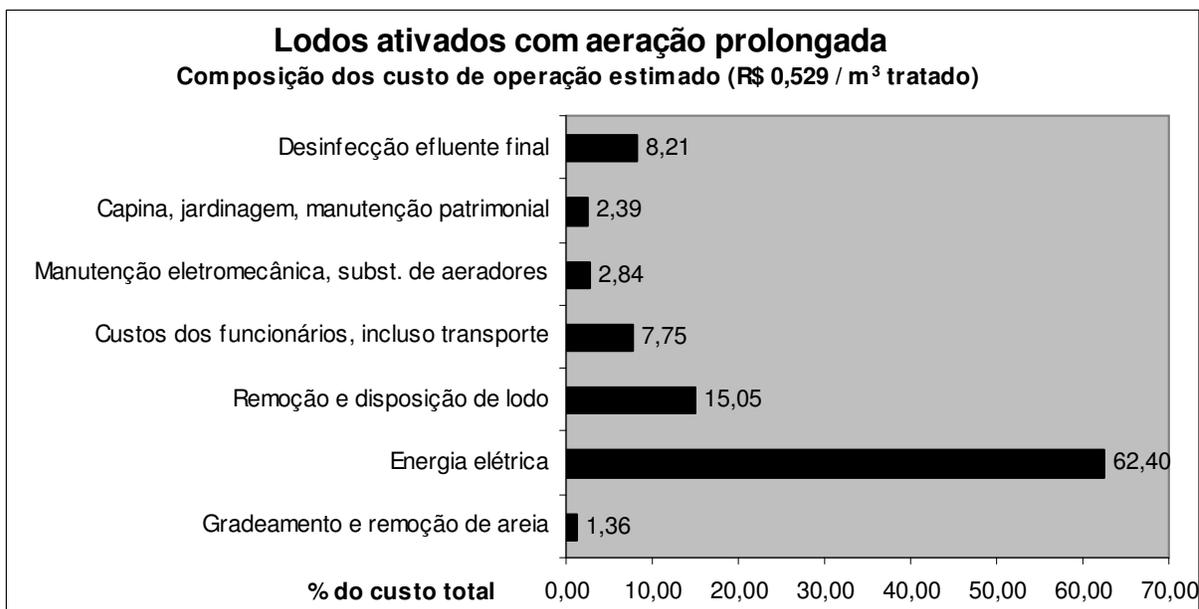
Modalidade	Custo de operação composto - R\$/m <sup>3</sup> tratado
Lodos ativados - convencional (tratamento anaeróbio de lodo)	0,870
Lodos ativados - aeração prolongada	0,529

*Obs.: todos os sistemas com desinfecção por hipoclorito de sódio*

Nas Figura 7-17 e Figura 7-18 estão representados a distribuição dos custos médios de operação e manutenção para as modalidade por lodos ativados. Os valores em porcentagem foram obtidos a partir da composição dos custos do ANEXO I - Composição dos custos de operação.



**Figura 7-17 - Distribuição dos custos de operação e manutenção da modalidade “lodos ativados convencional”**



**Figura 7-18 - Distribuição dos custos de operação e manutenção da modalidade “lodos ativados com aeração prolongada”**

A literatura trata o custo unitário em termos de “R\$/hab x ano”. Neste trabalho optou-se pela unidade “R\$/m<sup>3</sup> tratado”, considerando a capacidade máxima de final de plano.

Uma parcela dos custos que se destaca pela representatividade é a aplicação de hipoclorito de sódio para redução de microorganismos no efluente final. Embora neste caso não haja a exigência no momento, mas muitos sistemas têm passado a utilizar em razão das exigências de órgãos ambientais, além de ser padrão de qualidade de corpo receptor. Nas composições realizadas pode-se, verificar que o custo da aplicação de hipoclorito pode chegar a 18,6 % do custo total.

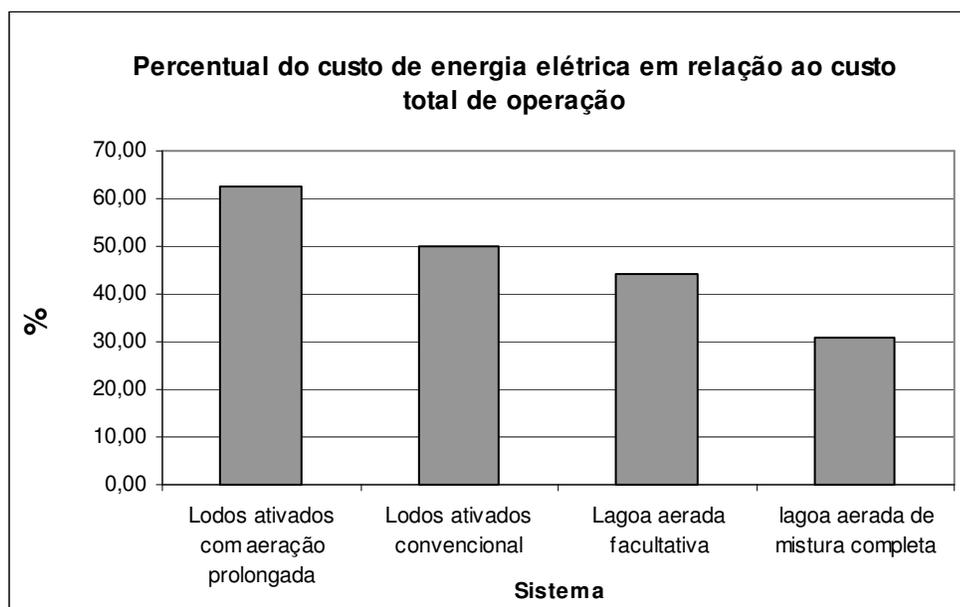
Além do hipoclorito de sódio líquido, tem sido utilizado também o mesmo na forma de pastilhas para sistemas com baixa vazão.

A atividade de remoção de lodo em sistemas existentes por lagoas de estabilização tem ocorrido recentemente com maior intensidade, em razão da disponibilidade no mercado dos “Bag’s” em geotecido. Por não haver outro método

facilmente adaptável que substituísse a retirada de operação do sistema para remoção do lodo, em muitos casos não era considerado na composição dos custos de operação a remoção e a disposição de lodo de lagoas de estabilização. Por isso, também não era levado em conta no momento da tomada de decisão, porém verifica-se que seu custo é significativo. Quando é considerada a remoção a cada 10 anos, trazendo a valor presente (VPL) esta operação pode representar até 22 % do custo total de operação, no caso da lagoa anaeróbia, seguida de facultativa e maturação, por exemplo.

Verifica-se também com base nos gráficos representados (Figura 7-10 a Figura 7-18) e resumidos na Figura 7-19, que os sistemas que utilizam energia elétrica, o custo deste insumo pode representar até pouco acima de 60 % do custo total de operação.

**Figura 7-19– Percentual do custo de energia elétrica em relação ao custo total de operação**



### **7.1.3 Ordem de preferência de importância dos critérios em função da formação dos opinantes**

Agrupando os opinantes de acordo com a formação, nota-se que existe uma diferença na ordem de importância dos critérios avaliados.

São descritos na Tabela 7-7 os 3 primeiros critérios em ordem de preferência, em função da profissão dos opinantes.

**Tabela 7-7 – Ordem de preferência dos critérios entre as formações profissionais consultadas**

<b>Critério mais valorizado</b>	<b>Engenheiros civis</b>	<b>W (%)</b>
1º	1 – Custo de implantação	8,68
2º	2 - Custos de operação e manutenção	8,35
3º	9 - Qualidade do efluente final	8,00
<b>Engenheiros elétricos</b>		
1º	9 - Qualidade do efluente final	8,70
2º	2 - Custos de operação e manutenção	8,21
3º	15 - Emissão de gases de efeito estufa	7,96
<b>Biólogos</b>		
1º	9 - Qualidade do efluente final	7,98
2º	10 - Geração de odor e distância em relação ao perímetro urbano	7,22
3º	14 - Consumo de energia elétrica	7,12
<b>Químicos /Eng.químicos</b>		
1º	9 - Qualidade do efluente final	9,02
2º	15 - Emissão de gases de efeito estufa	8,48
3º	13 - Geração de lodo	7,77
<b>Estudantes cursos técnicos</b>		
1º	9 - Qualidade do efluente final	8,12
2º	15 - Emissão de gases de efeito estufa	7,93
3º	13 - Geração de lodo	7,84

Nota-se que os dois critérios referentes a custos aparecem na ordem de preferência dos engenheiros civis e para as demais formações o critério mais importante é a qualidade do efluente final.

#### **7.1.4 Classificação final das alternativas por grupo de opinantes de acordo com os métodos multicriteriais aplicados**

Na seqüência, é descrita a classificação das alternativas por ordem de preferência, em função dos pesos atribuídos a cada critério para cada grupo de opinantes.

Para o método *Compromise programming* foi atribuído o valor 1 para o fator “S” da equação. Caso fosse diferente de 1, como por exemplo, 2, todos os critérios teriam seu peso elevados ao quadrado. Tendo por exemplo um critério com peso (W) equivalente a 2 e outro equivalente a 5, ao serem elevados ao quadrado, a diferença entre eles passaria de 3 para 21, não podendo assim comparar os resultados com os demais métodos utilizados, pois a estrutura dos pesos teria sido alterada.

Para composição das taxas de substituição, foi utilizada a soma dos pesos de cada critério, de todos os membros do grupo de decisão.

Para a análise de sensibilidade, foi considerada a variação de 10 % a mais e de 10 % a menos no valor da taxa de substituição para o critério que apresentou maior desvio padrão entre os resultados de pontuação. De acordo com Ensslin et al., (2001), para realizar uma análise de sensibilidade, em função das taxas de substituição, escolhe-se a taxa de um dos critérios e modifica-se este valor. Entretanto, esta alteração também afeta as demais taxas de substituição do modelo, já que a soma deve ser igual a um (neste caso 100). Por conseqüência, as demais taxas do modelo devem ser recalculadas de tal forma que a proporção entre elas não se modifique.

Estão descritos a seguir os resultados por grupo de opinantes para cada um dos três métodos, o método baseado em MAUT (Teoria da Utilidade Multi Atributo), o método da Programação por Compromisso CP – “Compromise Programming”, e o Método CGT - Teoria dos Jogos Cooperativos (Cooperative Game Theory).

#### 7.1.4.1 Grupo de opinantes: Funcionários da concessionária SABESP, que participam diretamente da decisão

O critério que apresentou maior variação de valores de pesos atribuídos foi o critério 8 – qualidade do efluente final, com desvio padrão de 22,55, que em razão disto, este critério foi escolhido para atribuição da variação de 10 % acima e abaixo. Os resultados para os modelos de avaliação multicritério estão expressos na Tabela 7-8 e Tabela 7-9.

**Tabela 7-8 – Taxas de substituição para grupo de opinantes de funcionários de SABESP que participam diretamente da decisão**

Critério	$\Sigma$ dos pesos	W (%)	Análise de sensibilidade	
			Wn' Avaliação + 10 %	Wn' Avaliação - 10 %
1	487	9,98	9,91	10,05
2	478	9,79	9,72	9,86
3	195	4,00	3,97	4,02
4	190	3,89	3,86	3,92
5	375	7,68	7,63	7,74
6	357	7,31	7,26	7,37
7	333	6,82	6,77	6,87
8	225	4,61	4,58	4,64
9	330	6,76	7,44	6,08
10	410	8,40	8,34	8,46
11	312	6,39	6,35	6,44
12	205	4,20	4,17	4,23
13	396	8,11	8,05	8,17
14	370	7,58	7,53	7,64
15	218	4,47	4,43	4,50
$\Sigma$	<b>4881</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

**Tabela 7-9 – Classificação das alternativas, considerando todas, para grupo de opinantes de funcionários de SABESP que participam diretamente da decisão**

Classificação das alternativas									
Ordem	Método MAUT			Método CP			Método CGT		
	W	W+10%	W-10%	W	W+10%	W-10%	W	W+10%	W-10%
1º	2	2	2	1	1	1	2	2	2
2º	4	4	4	6b	6b	6b	6b	6b	6b
3º	3	3	3	2	2	2	1	1	1
4º	6b	6b	6b	4	4	4	9b	9b	9b
5º	6a	6a	6a	9b	9b	9b	4	6a	4
6º	9a	9a	9a	7b	7b	7b	6a	4	6a
7º	1	1	1	3	3	3	9a	9a	9a
8º	9b	9b	9b	6a	6a	6a	3	3	3
9º	5a	5a	5a	9a	9a	9a	7b	7b	7b
10º	5b	5b	5b	7a	7a	7a	8b	8b	8b
11º	11a	11a	11a	8b	8b	8b	5b	5b	5b
12º	7a	7a	7a	5b	5b	5b	7a	11b	7a
13º	11b	11b	11b	8a	8a	8a	11b	7a	11b
14º	7b	7b	7b	5a	5a	5a	8a	8a	8a
15º	10a	10a	10a	11b	11b	11b	5a	5a	5a
16º	8a	8a	8a	10b	10b	10b	11a	11a	11a
17º	10b	10b	10b	12b	11a	12b	10b	10b	10b
18º	8b	8b	8b	11a	12b	11a	12b	12b	12b
19º	12a	12a	12a	10a	10a	10a	10a	10a	10a
20º	12b	12b	12b	12a	12a	12a	12a	12a	12a

Verifica-se que não ocorreram resultados diferentes para as análises de sensibilidade entre os 3 métodos para a 1ª e a 2ª ordem de classificação, mas diferenças entre os resultados para os três métodos.

Como de fato a maior pontuação deste grupo de opinantes foi para o critério do custo de implantação, prevaleceram alternativas com menores custos de implantação.

Considerando o maior número de resultados para cada ordem de classificação entre os três métodos, as respostas das alternativas de melhor compromisso estão resumidas no quadro a seguir.

**Quadro 7-1 – Alternativas de melhor compromisso para grupo de opinantes de funcionários de SABESP que participam diretamente da decisão**

<b>Análise</b>	<b>Alternativas de melhor compromisso</b>
Entre todas as alternativas	2 -Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa em área ao lado da ETE existente.
Entre as alternativas de adaptação do sistema	2 -Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa em área ao lado da ETE existente
Entre as alternativas para implantação de novo sistema	6b - Lagoas facultativa + maturação, área 2

**7.1.4.2 Grupo de opinantes: Funcionários da concessionária SABESP, que não participam diretamente da decisão**

Os resultados para o grupo de opinantes de funcionários da concessionária SABESP que não participam diretamente da decisão estão expressos nas Tabela 7-10 e Tabela 7-11.

**Tabela 7-10 - Taxas de substituição para grupo de opinantes de funcionários de SABESP que não participam diretamente da decisão**

<b>Critério</b>	<b><math>\Sigma</math> dos pontos</b>	<b>W (%)</b>	<b>Análise de sensibilidade</b>	
			<b>Wn' Avaliação + 10 %</b>	<b>Wn' Avaliação - 10 %</b>
1	4192	6,97	6,93	7,02
2	4320	7,19	7,14	7,24
3	2822	4,70	4,66	4,73
4	3337	5,55	5,51	5,59
5	3412	5,68	5,64	5,71
6	3769	6,27	6,90	5,64
7	3497	5,82	5,78	5,86
8	3180	5,29	5,26	5,33
9	5105	8,49	8,44	8,55
10	4521	7,52	7,47	7,57
11	3866	6,43	6,39	6,48
12	4173	6,94	6,90	6,99

Continuação da Tabela 7-10 – Taxas de substituição...

Critério	$\Sigma$ dos pontos	W (%)	Análise de sensibilidade	
			Wn' Avaliação + 10 %	Wn' Avaliação - 10 %
13	4594	7,64	7,59	7,69
14	4727	7,86	7,81	7,92
15	4591	7,64	7,59	7,69
$\Sigma$	<b>60106</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

O critério que apresentou maior variação das respostas foi o critério 6 – transporte de esgoto, com desvio padrão de 28,66.

**Tabela 7-11 - Classificação das alternativas para o grupo de opinantes de funcionários da SABESP que não diretamente participam da decisão**

Classificação das alternativas									
Ordem	Método MAUT			Método CP			Método CGT		
	W	W+10%	W-10%	W	W+10%	W-10%	W	W+10%	W-10%
1°	2	2	2	6b	6b	6b	6b	6b	6b
2°	6b	6b	3	1	1	1	9b	9b	9b
3°	3	3	6b	9b	9b	9b	2	2	2
4°	4	4	4	2	2	2	1	1	1
5°	6a	6a	6a	7b	4	7b	6a	6a	6a
6°	9a	9a	9a	4	7b	4	9a	9a	9a
7°	9b	9b	9b	3	3	3	3	4	3
8°	1	1	1	6a	6a	6a	4	3	4
9°	5a	5a	5a	9a	9a	9a	7b	7b	7b
10°	5b	5b	5b	5b	5b	5b	11b	11b	11b
11°	11a	11a	11a	8b	8b	8b	5b	5b	5b
12°	11b	11b	11b	7a	7a	7a	8b	8b	8b
13°	7a	7a	7a	11b	11b	11b	10b	10b	7a
14°	7b	7b	7b	10b	10b	10b	7a	7a	10b
15°	10a	10a	10a	5a	5a	5a	11a	11a	11a
16°	10b	10b	10b	8a	8a	8a	5a	5a	5a
17°	8a	8a	8a	12b	12b	12b	8a	12b	8a
18°	8b	8b	8b	11a	11a	11a	12b	8a	12b
19°	12a	12a	12a	10a	10a	10a	10a	10a	10a
20°	12b	12b	12b	12a	12a	12a	12a	12a	12a

A análise de sensibilidade indicou alteração nos resultados a partir da 2ª ordem de classificação para o método MAUT. Houve também diferença entre as respostas para os três métodos aplicados.

Considerando o maior número de resultados para cada ordem de classificação entre os três métodos, as respostas das alternativas de melhor compromisso estão resumidas no quadro a seguir.

**Quadro 7-2 - Alternativas de melhor compromisso para grupo de opinantes de funcionários de SABESP que não participam diretamente da decisão**

<b>Análise</b>	<b>Alternativas de melhor compromisso</b>
Entre todas as alternativas	6b - Lagoas facultativa + maturação, área 2
Entre as alternativas de adaptação do sistema	2 - Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa em área ao lado da ETE existente.
Entre as alternativas para implantação de novo sistema	6b - Lagoas facultativa + maturação, área 2

#### **7.1.4.3 Opinante: Representante da Prefeitura municipal**

Os resultados para as respostas do representante da Prefeitura municipal estão expressos nas Tabela 7-12 e Tabela 7-13. Neste caso só houve uma resposta de pesquisa, razão pela qual não há análise de sensibilidade.

**Tabela 7-12 – Taxas de substituição de acordo com o representante da Prefeitura municipal**

<b>Critério</b>	<b><math>\Sigma</math> dos pontos</b>	<b>W (%)</b>
1	20	1,85
2	50	4,63
3	20	1,85
4	100	9,26
5	100	9,26

Continuação da Tabela 7-12 – taxas de substituição ...

<b>Critério</b>	<b>Σ dos pontos</b>	<b>W (%)</b>
6	20	1,85
7	20	1,85
8	100	9,26
9	100	9,26
10	100	9,26
11	100	9,26
12	100	9,26
13	50	4,63
14	100	9,26
15	100	9,26
<b>Σ</b>	<b>1080</b>	<b>100</b>

**Tabela 7-13 - Classificação das alternativas para o opinante representante da Prefeitura Municipal**

<b>Classificação das alternativas</b>			
<b>Ordem</b>	<b>Método MAUT</b>	<b>Método CP</b>	<b>Método CGT</b>
1º	9b	9b	9b
2º	6b	6b	6b
3º	5b	5b	5b
4º	11b	7b	11b
5º	9a	8b	2
6º	6a	11b	10b
7º	10b	9a	9a
8º	3	6a	6a
9º	5a	10b	1
10º	11a	1	7b
11º	4	3	8b
12º	10a	12b	3
13º	2	5a	12b
14º	7b	2	4
15º	8b	7a	5a
16º	1	4	11a
17º	7a	8a	10a
18º	8a	11a	7a
19º	12b	10a	8a
20º	12a	12a	12a

Neste caso, para as primeiras três ordens de classificação não ocorrem divergências entre os modelos aplicados.

A área 2 é a primeira área sugerida pela Prefeitura municipal para implantação da nova ETE, mesmo antes de seu representante ter participado da avaliação multicriterial.

Entre os três métodos, as respostas das alternativas de melhor compromisso estão resumidas no quadro a seguir.

**Quadro 7-3 - Alternativas de melhor compromisso para o opinante representante da Prefeitura Municipal**

<b>Análise</b>	<b>Alternativas de melhor compromisso</b>
Entre todas as alternativas	9b - Lagoa aerada + Lagoa de decantação, área 2
Entre as alternativas de adaptação do sistema	2 - Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa em área ao lado da ETE existente
Entre as alternativas para implantação de novo sistema	9b - Lagoa aerada + Lagoa de decantação, área 2

#### **7.1.4.4 Grupo de opinantes: Estudantes de pós-graduação e de curso técnico em meio ambiente**

Os resultados para o grupo de opinantes de estudantes de pós-graduação e de curso técnico em meio ambiente estão expressos nas Tabela 7-14 e Tabela 7-15.

**Tabela 7-14 - Taxas de substituição para grupo de opinantes dos estudantes de pós-graduação e de curso técnico em meio ambiente**

Critério	$\Sigma$ dos pontos	W (%)	Análise de sensibilidade	
			Wn' Avaliação + 10 %	Wn' Avaliação - 10 %
1	2986	6,77	6,72	6,82
2	3338	7,57	7,52	7,62
3	2330	5,28	5,25	5,32
4	2780	6,30	6,26	6,35
5	2818	6,39	6,35	6,44
6	3174	7,20	7,15	7,25
7	2434	5,52	5,48	5,56
8	2643	5,99	5,95	6,04
9	3618	8,21	8,15	8,26
10	3325	7,54	7,49	7,59
11	2863	6,49	7,14	5,84
12	2449	5,55	5,52	5,59
13	3046	6,91	6,86	6,96
14	3003	6,81	6,76	6,86
15	3288	7,46	7,40	7,51
$\Sigma$	<b>44095</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

O critério que apresentou maior variação das respostas foi o critério 11, necessidade de mão de obra especializada, com desvio padrão de 35,86.

**Tabela 7-15 - Classificação das alternativas para o grupo de opinantes dos estudantes de pós-graduação e de curso técnico em meio ambiente**

Ordem	Classificação das alternativas								
	Método MAUT			Método CP			Método CGT		
	W	W+10%	W-10%	W	W+10%	W-10%	W	W+10%	W-10%
1°	2	2	2	1	1	1	6b	6b	6b
2°	4	4	4	6b	6b	6b	9b	9b	9b
3°	6b	6b	6b	9b	9b	9b	2	2	2
4°	3	3	3	2	2	2	1	1	1
5°	9b	9b	9b	4	4	4	4	4	4
6°	9a	9a	9a	7b	7b	7b	6a	6a	6a
7°	6a	6a	6a	3	3	3	9a	9a	9a
8°	1	1	1	6a	6a	6a	3	3	3

Continuação da Tabela 7-15 – Classificação das alternativas...

Ordem	Classificação das alternativas								
	Método MAUT			Método CP			Método CGT		
	W	W+10%	W-10%	W	W+10%	W-10%	W	W+10%	W-10%
9 <sup>o</sup>	5b	5b	5b	5b	5b	5b	7b	7b	7b
10 <sup>o</sup>	11b	11b	11b	8b	8b	8b	5b	5b	11b
11 <sup>o</sup>	5a	5a	5a	9a	9a	9a	11b	8b	5b
12 <sup>o</sup>	11a	11a	11a	11b	7a	11b	8b	11b	8b
13 <sup>o</sup>	10b	10b	10b	7a	11b	7a	10b	10b	10b
14 <sup>o</sup>	7b	7b	10a	10b	10b	10b	7a	7a	7a
15 <sup>o</sup>	10a	10a	7b	5a	5a	5a	12b	12b	12b
16 <sup>o</sup>	7a	7a	7a	8a	8a	12b	5a	5a	11a
17 <sup>o</sup>	8b	8b	8b	12b	12b	8a	11a	8a	5a
18 <sup>o</sup>	8a	8a	8a	11a	11a	11a	8a	11a	8a
19 <sup>o</sup>	13b	13b	13b	10a	10a	10a	10a	10a	10a
20 <sup>o</sup>	13a	13a	13a	12a	12a	12a	12a	12a	12a

Para este grupo de opinantes os resultados entre os três métodos são divergentes e a análise de sensibilidade altera os resultados a partir da ordem 10<sup>a</sup>.

Considerando o maior número de resultados para cada ordem de classificação entre os três métodos, as respostas das alternativas de melhor compromisso estão resumidas no quadro a seguir.

**Quadro 7-4 - Alternativas de melhor compromisso para o grupo de opinantes dos estudantes de pós-graduação e de curso técnico em meio ambiente**

Análise	Alternativas de melhor compromisso
Entre todas as alternativas	6b - Lagoas facultativa + maturação, área 2
Entre as alternativas de adaptação do sistema	2 - Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa em área ao lado da ETE existente
	1 - Conversão de lagoa anaeróbia para lagoa aerada de mistura completa
Entre as alternativas para implantação de novo sistema	6b - Lagoas facultativa + maturação, área 2

#### 7.1.4.5 Grupo de opinantes: Todos os participantes

Os resultados para o grupo de opinantes formado por todos os participantes estão expressos nas Tabela 7-16 e Tabela 7-17.

**Tabela 7-16 - Taxas de substituição para grupo de opinantes representado por todos os participantes**

Critério	Σ dos pontos	W (%)	Análise de sensibilidade	
			Wn' Avaliação + 10 %	Wn' Avaliação - 10 %
1	7685	6,98	6,93	7,02
2	8186	7,43	7,38	7,48
3	5367	4,87	4,84	4,90
4	6407	5,82	5,78	5,86
5	6705	6,09	6,05	6,13
6	7320	6,64	6,60	6,69
7	6284	5,70	5,67	5,74
8	6148	5,58	5,54	5,62
9	9153	8,31	8,25	8,36
10	8356	7,59	7,53	7,64
11	7141	6,48	6,44	6,53
12	6927	6,29	6,92	5,66
13	8086	7,34	7,29	7,39
14	8200	7,44	7,39	7,49
15	8197	7,44	7,39	7,49
Σ	<b>110162</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

O critério que apresentou maior variação das respostas foi o critério 12 – possibilidade de uso do efluente final, com desvio padrão de 26,50.

**Tabela 7-17 - Classificação das alternativas para o grupo de opinantes representado por todos os participantes**

Classificação das alternativas									
Ordem	Método MAUT			Método CP			Método CGT		
	W	W+10%	W-10%	W	W+10%	W-10%	W	W+10%	W-10%
1°	2	2	2	6b	6b	1	6b	6b	6b
2°	4	6b	4	1	1	6b	9b	9b	2
3°	6b	3	6b	9b	9b	9b	2	2	9b
4°	3	4	3	2	2	2	1	1	1
5°	6a	6a	6a	7b	7b	4	6a	6a	4
6°	9b	9b	9b	4	4	7b	9a	9a	6a
7°	9a	9a	9a	3	3	3	4	4	9a
8°	1	1	1	6a	6a	6a	3	3	3
9°	5b	5b	5b	9a	9a	9a	7b	7b	7b
10°	5a	5a	5a	5b	5b	5b	5b	5b	11b
11°	11b	11b	11b	8b	8b	8b	11b	11b	5b
12°	11a	11a	11a	7a	7a	7a	8b	8b	8b
13°	7b	7b	7b	11b	11b	11b	10b	10b	10b
14°	7a	7a	7a	10b	10b	10b	7a	7a	7a
15°	10b	10b	10b	5a	5a	5a	5a	5a	11a
16°	10a	10a	10a	8a	8a	8a	11a	11a	5a
17°	8b	8b	8b	12b	12b	12b	12b	12b	12b
18°	8a	8a	8a	11a	11a	11a	8a	8a	8a
19°	12b	12b	12b	10a	10a	10a	10a	10a	10a
20°	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a

Para a soma dos pesos de todos os opinantes em cada critério, a análise de sensibilidade já apresenta alteração dos resultados a partir da 1ª ordem de classificação, e os resultados entre os três métodos são divergentes.

Considerando o maior número de resultados para cada ordem de classificação entre os três métodos, as respostas das alternativas de melhor compromisso estão resumidas no quadro a seguir.

**Quadro 7-5 - Alternativas de melhor compromisso para o grupo de opinantes formado por todos os opinantes**

<b>Análise</b>	<b>Alternativas de melhor compromisso</b>
Entre todas as alternativas	6b - Lagoas facultativa + maturação, área 2
Entre as alternativas de adaptação do sistema	2 - Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa em área ao lado da ETE existente.
Entre as alternativas para implantação de novo sistema	6b - Lagoas facultativa + maturação, área 2



## **8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **8.1 Custo unitário de implantação**

Além da aplicação neste estudo de caso, estes custos unitários podem auxiliar em outros estudos relacionados ao assunto, na etapa de planejamento da implantação do sistema, em que não se tenha ainda o projeto desenvolvido, e poderão servir da mesma forma para auxiliar na decisão, por meio de um ou mais modelos multicriteriais de apoio à tomada de decisão.

Por esta razão, não se deve utilizar simplesmente o valor médio para qualquer vazão de projeto, mas sim encontrar aquele custo que mais se aproxima da vazão correspondente.

Recomenda-se que sempre que for utilizar uma unidade de custo unitário é necessário observar a variação em função da capacidade de tratamento, na sua proporcionalidade, conforme gráficos e equações das Figura 7-1 a Figura 7-9.

Fora a inflação, é importante levar em consideração que o custo de implantação pode sofrer alterações em função da localização, que altera o custo de mão de obra em função da disponibilidade, e altera o custo do transporte de insumos em função da distância.

Além disso, cada tipo de obra pode demandar alguma particularidade construtiva, como por exemplo, um tipo de fundação mais sofisticada devido à

qualidade do solo local, rebaixamento de lençol freático, transporte de solo, impermeabilização de fundo de lagoas por mantas sintéticas, entre outras.

## **8.2 Custos de operação e manutenção**

Verificou-se que, apesar de serem valores menores, os sistemas por lagoas de estabilização possuem custos representativos quando se considera a devida manutenção, com a remoção de lodo e com a desinfecção do efluente final.

Ficou evidente que os sistemas mais caros são aqueles que utilizam a energia elétrica, tanto pelo custo da energia quanto pelo custo de mão de obra, pois são sistemas mais sofisticados. São os sistemas que apresentam melhor qualidade do efluente final, porém, se uma prefeitura de um município de pequeno porte optar pela escolha de um destes modelos, terá grande dificuldade em encontrar mão de obra apropriada para operação e manutenção, além de um significativo acréscimo de gastos com energia elétrica para o caixa da prefeitura.

Os custos apurados foram compostos em função de práticas observadas nas empresas de saneamento, que evidentemente podem não ser seguidas por outras instituições, e que podem resultar em custos divergentes.

Recomenda-se utilizar a unidade de custo unitário em “R\$/m<sup>3</sup> tratado”, e não em “R\$/hab. x ano”, por razões já detalhadas no item 7.1.2.

## **8.3 Aplicação dos questionários**

Neste trabalho não foi adotado o envio dos questionários por meio de correio eletrônico. Todos os questionários foram oferecidos impressos, de forma tornar o

pedido mais “pessoal”, facilitando a leitura e a resposta, independente do acesso a um computador. Todavia, percebeu-se que, mesmo na forma impressa, muitos questionários deixaram de ser preenchidos e entregues.

Outra constatação é a não observância de algumas instruções. No questionário era solicitado que apenas para o critério mais importante deveria ser dado o valor 100, porém dos 94 questionários, em 31 foram atribuídos o valor 100 para mais de um critério.

Por isso, recomenda-se que os questionários a serem aplicados deva ser o mais simplificado e menos extenso possível, pois caso contrário, as pessoas não se motivam a responder.

#### **8.4 Ordem de importância dos critérios em função da formação dos opinantes**

Nota-se pelos resultados apresentados na Tabela 7-7 que, em função das formações dos opinantes, há uma diferenciação na ordem de importância dos critérios valorados por meio dos questionários aplicados. Os custos de implantação e de operação e manutenção prevaleceram entre os engenheiros civis, enquanto para as demais formações profissionais em primeiro lugar prevaleceu a qualidade do efluente final.

Tal fato indica a importância da participação de opinantes multidisciplinares no processo de auxílio à tomada de decisão, não devendo ficar a cargo de apenas um grupo de opinião de mesma formação e ou profissão.

## **8.5 Modelos multicriteriais e resultados das escolhas das alternativas**

Constata-se que entre os três métodos aplicados podem ocorrer divergências nas respostas de classificação.

Os resultados expressos na avaliação multicriterial pelo representante da prefeitura municipal coincidiram com o que já havia sido sugerido quanto ao local de implantação da ETE, o que indica que de fato, os resultados dos modelos aplicados foram fiéis às intenções da prefeitura quanto à localização (área 2).

Da mesma forma, a empresa de saneamento tende a priorizar alternativas de menor custo, e já sinalizava antes da aplicação dos métodos de apoio à tomada de decisão a preferência por adaptar o sistema existente (alternativas 1 e 2), o que corresponde à maior parte dos resultados obtidos.

Os três métodos apresentaram resultados semelhantes entre as primeiras ordens de classificação apenas para o opinante representante da prefeitura municipal. Para os demais, ocorreram divergências entre os resultados dos três métodos já para a primeira ordem de classificação.

Contudo, tanto o método MAUT quanto o CP são baseados em somas ponderadas, de forma que, se tiver um valor muito baixo para um determinado critério, o impacto na soma total não é muito significativo, ou pode alterar pouco a soma total. Já no método CGT o resultado é obtido por um produtório, e, neste caso, se houver algum valor de critério muito baixo, o resultado final será afetado de forma bem mais significativa. Portanto, o método CGT tende a produzir resultados mais consistentes.

Verifica-se que os resultados obtidos para as respostas dadas pelo representante da Prefeitura Municipal diferem dos resultados dos demais grupos de

opinantes, porém traduziram a intenção já expressa em desativar a ETE existente, principalmente devido à proximidade com o meio urbano.

Considerando a 1ª ordem de preferência entre os 3 métodos, em relação à análise entre todas as 20 alternativas, os resultados são expressos no quadro a seguir.

**Quadro 8-1 – Resultados das alternativas de melhor compromisso para todos os grupos de opinantes**

<b>Grupo de opinantes</b>	<b>Alternativas de melhor compromisso</b>
Funcionários da concessionária SABESP, que participam diretamente da decisão	2 - Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa em área ao lado da ETE existente
Funcionários da concessionária SABESP, que não participam diretamente da decisão	6b - Lagoas facultativa + maturação, área 2
Representante da Prefeitura municipal	9b - Lagoa aerada + Lagoa de decantação, área 2
Estudantes de pós-graduação e de curso técnico em meio ambiente	6b - Lagoas facultativa + maturação, área 2
Todos os participantes	6b - Lagoas facultativa + maturação, área 2

Os critérios que mais pesaram para a aplicação dos métodos nas respostas dos funcionários da Sabesp que participam diretamente da decisão foram *os menores custos de implantação e de operação e manutenção*, além dos seguintes conceitos mais pontuados (com “W” acima de 7,5) baseados no questionário aplicado:

*“Em nenhuma hipótese deverá haver incômodos à vizinhança devido à ocorrência de maus odores, independente do custo da obra; os impactos urbanísticos e arquitetônicos devem ser reduzidos ao mínimo independente do custo das medidas necessárias; a solução a ser adotada deverá necessariamente permitir o uso do esgoto tratado como forma de fertirrigação; a solução a ser adotada deverá privilegiar a baixa geração de lodos e formas de disposição de baixo impacto ambiental, independente de fatores de custo de implantação e operação; a solução a ser adotada deverá privilegiar a utilização*

*de fontes de energia naturais reduzindo ao mínimo a necessidade de utilização de energia elétrica”*

Para o representante da prefeitura municipal foram 9 critérios com máxima pontuação, que se traduziram nos seguintes conceitos baseados no questionário aplicado:

*“Somente desapropriar área se não houver oposição do proprietário, mesmo que ela não seja a melhor opção para projeto; os impactos urbanísticos e arquitetônicos devem ser reduzidos ao mínimo independente do custo das medidas necessárias; a estação de tratamento de esgoto deve ser implantada somente em locais em que não haja benefício relevante atual e futuro que pode ser proporcionado pela área onde será implantada a obra; a estação de tratamento de esgoto deve ser implantada de modo a prover a melhor qualidade possível do efluente final, independente do custo da obra; em nenhuma hipótese deverá haver incômodos à vizinhança devido à ocorrência de maus odores, independente do custo da obra; a solução a ser adotada deverá necessariamente dispensar a necessidade de utilização de mão de obra especializada; a solução a ser adotada deverá necessariamente permitir o uso do esgoto tratado como forma de fertirrigação; a solução a ser adotada deverá privilegiar a utilização de fontes de energia naturais reduzindo ao mínimo a necessidade de utilização de energia elétrica”*

Houve inconsistência em relação à análise de sensibilidade apenas para o método CP para o grupo de opinantes com “todos os participantes”, porém não ocorre prejuízos para o resultado final, dados que os demais resultados são coerentes entre as primeiras ordens de preferência.

## 8.6 Conclusões finais

Conclui-se que os métodos aplicados traduziram a opinião dos participantes do processo de decisão, por meio de análise e pontuação dos diversos critérios adotados, de forma coerente entre os resultados nas primeiras ordens de classificação.

A aplicação dos métodos multicriteriais se fez importante porque, mesmo sendo aplicados à pessoas leigas, não houve a necessidade que estas estudassem os métodos de tratamento de esgoto para que pudessem colaborar com a tomada de decisão.

Além disso, sem a elaboração de projetos de engenharia que demandariam tempo e mão de obra especializada, e sem a necessidade de se conhecer com detalhes a operação dos sistemas, foi possível por meio dos custos unitários levantados e tratados, chegar aos valores de custo de implantação de cada sistema nas diferentes tecnologias possíveis de serem implantadas, bem como os custos de operação e manutenção.

Finalizando, este trabalho é apenas um indicativo para dar suporte à tomada de decisão, e caberá aos decisores que de fato tomam a decisão chegarem a um consenso sobre a opção a ser implantada, de forma a atender na medida do possível os anseios de ambas as partes.



## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Além Sobrinho, P. **Lagoas Aeradas – Aspectos Teóricos, Resultados Experimentais, Considerações Sobre Projeto**. IV Curso Internacional Sobre Controle da Poluição das Águas. JICA - CETESB/São Paulo, 1998.

Além Sobrinho, P. **Apostila sobre tratamento de esgoto**. Curso Internacional de técnicas de tratamento de esgoto. JICA – Franca SP, 2007.

Alves, F. V. **Seleção de sítio e tecnologia para estação de tratamento de esgoto por meio de SIG e métodos multicriteriais. Estudo de caso: Paulínia, SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

Bana e Costa, C. **Introdução geral à abordagens multicritério de apoio à tomada de decisão. Investigação Operacional**, Lisboa, V. 8, n. 1. 1988.

BELLINGIERI, P. H. **Avaliação de contaminação em água subterrânea, pela prática de irrigação com efluente desinfetado de lagoa anaeróbia no cultivo de milho**. 2005. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Bohrz, G. I., Silveira, D. D. **Avaliação da emissão de metano em lagoas anaeróbias utilizadas no tratamento de efluentes industriais**. 2009, IV Simpósio Brasil-Alemanha.

Bueno, R. C. R.; Belli, P. E.; Coraucci FILHO, B.; Reami, L.; **Cost of sludge removal in the stabilization ponds using bags - a study of the case WWTP of Jaborandi city - São Paulo state**, 04/2009, 8th IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds e 2nd Latin-American Conference on Waste Stabilization Ponds, Vol. 1, pp.1-3, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2009

Caldeira, R. L. A., Campos R. H., Vidal, C., Gonçalves, R.F.. **Potencial do tratamento anaeróbio de esgoto sanitário na redução de emissão de gases de efeito estufa**. 23º Congresso da ABES, Campo Grande MS, 2005.

Carneiro A.C., Barbosa R.F.M., Souza M.A.A. **Tecnologia apropriada em saneamento: uma nova abordagem com o emprego de análise multiobjetivo e multicritério**, 21º Congresso da ABES, João Pessoa PB, 2001.

Chernicharo, C. A. L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Politécnica, 2007. 379 p.

Chernicharo, C.A.L. **Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. FINEP/CNPq/Caixa Econômica Federal. Rio de Janeiro, 2.000.

Cintra Filho, O.A. **Influência na qualidade da água subterrânea pela irrigação com efluente de lagoa anaeróbia em cultura de milho**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Ensslin, L.; Montibeller Neto, G. e Noronha, S.M. **Apoio à Decisão: Metodologias para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas**. Florianópolis SC, Editora Insular. 2001.

FITZ, P. R. . **Geração de critérios para utilização em SIGs através da aplicação de metodologias multicritério em apoio à decisão**. In: X Conferência Iberoamericana de SIG, 2005, San Juan - Porto Rico. Las Tecnologías Geográficas: Aplicaciones Locales para la Conservación Global, 2005.

Gartner I. R., Gama M. L. S. **Avaliação multicriterial dos impactos ambientais da suinocultura no Distrito Federal: um estudo de caso**. 2006, consultado em 07/12/2009, em: [www.ageconsearch.umn.edu/bitstream/.../Artigo%20%20\(04.117\).pdf](http://www.ageconsearch.umn.edu/bitstream/.../Artigo%20%20(04.117).pdf)

Gonçalves, R. F. **Desinfecção de efluentes sanitários**– Rio de Janeiro : ABES, RiMa, 2003, 438 p. Projeto PROSAB

Jordão E.P., Pessoa C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 5ª Ed. Rio de Janeiro, 2009.

Jurgensen, D. **Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado**. Apresentação do Programa de Educação e Qualificação. Sanepar, 2006.

Kalavrouziotis, I.K. , Filintas A.T., Koukoulakis P.H. Hatzopoulos, J.N. **Application of multicriteria analysis in the management and planning of treated municipal wastewater and sludge reuse in agriculture and land development: the case of Sparti's wastewater treatment plant, Greece**. Fresenius Environmental Bulletin, PSP Volume 20 – No 2. 2011. Consultado em 19/04/2011: [http://www3.aegean.gr/environment/labs/Remote\\_sensing/publications/FEB%20%20Vol.%20%20No%20%20%20pp%20287-295%20\(48\).pdf](http://www3.aegean.gr/environment/labs/Remote_sensing/publications/FEB%20%20Vol.%20%20No%20%20%20pp%20287-295%20(48).pdf)

Karimi, A. R., Mehrdadi N.; Hashemian S. J.; Nabi Bidhendi G. R.; Tavakkoli Moghaddam R. **Selection of wastewater treatment process based on the analytical hierarchy process and fuzzy analytical hierarchy process methods** Faculty of the

Environment, University of Tehran, Tehran, Int. J. Environ. Spring 2011. Consultado em 19/04/2011, em [http://www.ijar.lit.az/pdf/9/2011\(1-110\).pdf](http://www.ijar.lit.az/pdf/9/2011(1-110).pdf)

Lei nº 11455 de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm), consultado em 12/02/2010

Leoneti, A.B. **Avaliação de modelo de tomada de decisão para escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. 2009. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEARP)

Libâneo P. A. C., Nunes C. M. , Soares S. R. A., **Custos unitários de implantação de estações de tratamento de esgotos a partir da base de dados do programa despoluição de bacias hidrográficas – Prodes**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande MS, 2005.

Ludovice, M.L., Teixeira Pinto M.A., Neder K. D., **Controle de odores em estações de tratamento de esgoto**. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu, PR, 1997.

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. McGraw-Hill International Editions, 3rd ed., New York, 2001.

Mikos, W. L., Ferreira J. C. E., **Metodologia multicritério em apoio à decisão (MCDA) construtivista: uma visão do processo de validação**. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Florianópolis, SC, Brasil, 2004

MONTIBELLER NETO, G. **Mapas cognitivos: uma ferramenta de apoio à estruturação de problemas**, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

Nascimento, M.S.F. ; Ferreira, O. M.; **Tratamento de esgoto urbano: comparação de custos e avaliação da eficiência**. UCG. , Goiânia GO, Consultado em 27/12/2010 em [www.ucg.br/.../TRATAMENTO%20DE%20ESGOTO%20URBANO%20-%20COMPARAÇÃO%20DE%20CUSTOS%20E%20AVALIAÇÃO...](http://www.ucg.br/.../TRATAMENTO%20DE%20ESGOTO%20URBANO%20-%20COMPARAÇÃO%20DE%20CUSTOS%20E%20AVALIAÇÃO...)

OLIVEIRA, S.V.W.B. **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. 2004. 293f. Tese (Doutorado em Administração)- Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, USP, São Paulo, 2004.

Piveli R. P. **Monitoramento de Sistema de Lagoas de Estabilização, Pós-Tratamento por Processo Físico-Químico, Desinfecção Final e Utilização Agrícola**. Tese de Livre-docência. Escola Politécnica da USP, EPUSP, Brasil, 2006.

Piveli, R. P. **Concepção das estações de tratamento de esgotos. Material didático do curso Internacional de técnicas de Tratamento de esgoto**, promovido pela da JICA (Japan International Cooperation Center) , Franca SP, 2006

Reami, L. **Avaliação de produtividade agrícola e de concentrações de metais nos grãos, de cultura de milho irrigada com efluente anaeróbio**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de texto, 2004.

Silva Jr. **Memorial de caracterização de empreendimento**, Estação de tratamento de esgoto de Franca. SABESP, 2010

SOUZA, F. C. B. **Sistema de apoio à decisão em ambiente espacial aplicado em um estudo de caso de avaliação de áreas destinadas para deposição de resíduos sólidos na região metropolitana de Porto Alegre**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SOUZA, M. A. A., CORDEIRO NETTO, O. M., e LOPES JÚNIOR, R. P. **Cap. 10 - Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para Seleção de Alternativas de Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios** In: PROSAB, Finep. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Rio de Janeiro, 2001b.

VERONEZ, A. H. **Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa: eficiência do sistema solo-planta no pós-tratamento**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP, 2009. 129p. Dissertação (Mestrado), 2009.

Vieira, S.M.M. **Apresentação sobre inventário de gases de efeito estufa**. 1º. Seminário Internacional sobre Sustentabilidade em Estações de Tratamento de Esgotos, Rio de Janeiro, 2011.

von Sperling, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: lagoas de estabilização**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2002. 196 p.

Zuffo, A. C., **Notas de aula, disciplina Modelos de auxílio à tomada de decisão**, FEC Unicamp, 2009.

Zuffo, A. C., **Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos**. 1998. 301 f. Tese (doutorado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos.

## 10 ANEXO I - COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DE OPERAÇÃO

**Tabela 10-1 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade Lagoa facultativa**

<b>Custo de operação – lagoa facultativa (Baseado em sistema em operação)</b>		
<b>Vazões de projeto</b>		
População	hab	5926
Vazão Média	l/s	8,87
Vazão Média	m <sup>3</sup> /d	766
Vazão mensal	m <sup>3</sup> /mês	22991
<b>gradeamento</b>		
Taxa retenção de sólidos - Grade grossa 40 mm	L/m <sup>3</sup>	0,009
Taxa retenção de sólidos - Grade média, 25 mm	L/m <sup>3</sup>	0,023
Total gradeado - grade grossa	L/mês	210
Total gradeado - grade média	L/mês	536
Volume útil da caçamba	L	5000
Qtde de caçambas retiradas	caçambas/mês	0,15
Custo unitário para remoção até aterro sanitário	R\$/caçamba	70,00
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	16,80
Custo Total mensal	R\$/mês	22,97
Qtde de sacos por caçamba	Sacos/caç.	2
Qtde mensal de sacos de cal	Sacos/mês	0,3
Custo unitário saco de cal	R\$/saco	8,00
Custo total mensal	R\$/mês	2,39
<b>Areia</b>		
Taxa de acúmulo	L/1000 m <sup>3</sup> esgoto	40
Quantidade de areia por dia	m <sup>3</sup> /d	0,03
Quantidade de areia por mês	m <sup>3</sup> /mês	0,95
Volume de acumulação	m <sup>3</sup>	1,00
Limpezas por mês (arredondando)	limpeza/mês	1,00
Custo remoção de caçamba	R\$ / viagem	179,97
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	45,00
Custo total mensal	R\$	222,73
<b>Remoção de espuma - odores</b>		
Viagens mensais do caminhão	Viagens / mês	1
Custo de cada viagem	R\$ / viagem	353,93
Volume de cada caminhão	m <sup>3</sup> /viagem	6
Custo para disposição no aterro	R\$/m <sup>3</sup>	50,00
Custo total (viagem + disposição)	R\$/mês	653,93
<b>Remoção de lodo</b>		
Dragagem		
Taxa de acúmulo de lodo na lagoa facultativa	L / hab x ano	50
Volume total anual	m <sup>3</sup> /ano	296
Concentração do lodo interno da lagoa	%	4
Volume mensal estimado	m <sup>3</sup> /mês	24,69

Continuação da Tabela 10-1

<b>Custo de operação – lagoa facultativa (Baseado em sistema em operação)</b>		
Custo unitário para remoção de lodo	R\$/m <sup>3</sup>	55,86
Custo total mensal para remoção de lodo	R\$/mês	1.379,28
<b>Transporte e disposição de lodo no aterro</b>		
Concentração do lodo dentro do BAG	%	30
Volume mensal transportado - 30 %	m <sup>3</sup> /mês	3,29
Distância ETE - Aterro	km	10
Custo unitário de transporte	R\$ / m <sup>3</sup> x km	0,80
Custo do transporte	R\$/mês	26,42
Densidade do lodo	Ton/m <sup>3</sup>	1,00
Custo unitário da disposição no aterro	R\$/t	60,00
Custo total de disposição no aterro	R\$/mês	197,53
Custo total (Transporte + disposição)	R\$/mês	223,96
<b>Custo de funcionários</b>		
Operação		
Salário base operador de sistema de saneamento	R\$/mês	1.100,00
Encargos 122 % + insalubridade de 20 % SM	R\$/mês	1.942,00
Custo mensal de 1 funcionário - 8 h/d	R\$/mês	3.042,00
Custo mensal de 1 funcionário - 2 h/d dedicação a ETE	R\$/mês	760,50
Manutenção		
Salário base técnico de manutenção	R\$/mês	1.800,00
Encargos 122 % + periculosidade de 20 % SM	R\$/mês	4.536,00
Custo mensal de 1 funcionário	R\$/mês	6.336,00
Custo mensal de 1 funcionário - 1 dia/mês dedicação a ETE	R\$/mês	211,20
<b>Transporte de funcionário até a ete</b>		
Distância ida e volta	km	20
Consumo de combustível	Km/L	10
Preço do combustível	R\$/Litro	2,50
Total de dias no mês com ida à ETE	dia/mês	22,00
Custo de combustível	R\$/mês	110,00
Distância mensal percorrida	Km/Mês	440,00
Custo do veículo	R\$/km	0,82
Custo total do veículo	R\$/mês	360,80
Custo total: carro + combustível	R\$/mês	470,80
<b>Capina, jardinagem e pintura de bordas</b>		
Total de área verde - tirado do projeto	m <sup>2</sup>	7.963
Custo unitário para capina e remoção de mato	R\$/m <sup>2</sup>	0,29
Custo unitário para capina/jardinagem	R\$/evento	2.309,27
Frequência de capina/jardinagem	eventos/ano	4
Custo proporcional mensal	R\$/Mês	769,76
<b>Manutenção patrimonial</b>		
Substituição Guarda corpos/grades/cerca	Eventos/ano	1,00
Custo estimado anual	R\$ / ano	3.000,00
Custo estimado mensal	R\$ / mês	250,00

Continuação da Tabela 10-1

<b>Desinfecção efluente final</b>		
Dosagem - puro	mg/l	7,0
Dosagem - puro	Kg/m <sup>3</sup>	0,007
Consumo médio hipoclorito - puro	Kg/mês	161
% de hipoclorito ativo comercial	%	10
Consumo médio hipoclorito comercial	Kg/mês	1609
Custo unitário do hipoclorito comercial	R\$ /Kg	0,62
Custo mensal	R\$ / mês	997,81
<b>Custo total mensal</b>	R\$/mês	<b>5.965,33</b>
<b>Custo total</b>	R\$/m <sup>3</sup> tratado	<b>0,259</b>

**Tabela 10-2 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade Lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação**

<b>Custo de operação – Lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação (Baseado em sistema em operação)</b>		
<b>Vazões de projeto</b>		
População	hab	7776
Vazão Média	l/s	13,16
Vazão Média	m <sup>3</sup> /d	1137
Vazão mensal	m <sup>3</sup> /mês	34111
<b>Gradeamento</b>		
Taxa retenção de sólidos - Grade grossa 40 mm	L/m <sup>3</sup>	0,009
Taxa retenção de sólidos - Grade média, 25 mm	L/m <sup>3</sup>	0,023
Total gradeado - grade grossa	L/mês	311
Total gradeado - grade média	L/mês	795
Volume útil da caçamba	L	5000
Qtde de caçambas retiradas	caçambas/mês	0,22
Custo unitário para remoção até aterro sanitário	R\$/caçamba	70,00
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	16,80
Custo Total mensal	R\$/mês	34,09
Qtde de sacos por caçamba	Sacos/caç.	2
Qtde mensal de sacos de cal	Sacos/mês	0,4
Custo unitário saco de cal	R\$/saco	8,00
Custo total mensal	R\$/mês	3,54
<b>Areia</b>		
Taxa de acúmulo	L/1000 m <sup>3</sup> esgoto	40
Quantidade de areia por dia	m <sup>3</sup> /d	0,05
Quantidade de areia por mês	m <sup>3</sup> /mês	1,41
Volume de acumulação	m <sup>3</sup>	2,00
Limpezas por mês	limpeza/mês	0,70
Limpezas por mês (arredondando)	limpeza/mês	1,00
Custo remoção de caçamba	R\$ / viagem	179,97
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	45,00

## Continuação da Tabela 10-2

Custo total mensal	R\$	243,42
<b>Remoção de espuma - odores</b>		
Viagens mensais do caminhão	Viagens / mês	1
Custo de cada viagem	R\$ / viagem	353,93
Volume de cada caminhão	m <sup>3</sup> /viagem	6
Custo para disposição no aterro	R\$/m <sup>3</sup>	50,00
<b>Custo total (viagem + disposição)</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>653,93</b>
<b>Remoção de lodo</b>		
Dragagem		
Taxa de acumulo de lodo na lagoa facultativa	L / hab x ano	50
Volume total anual	m <sup>3</sup> /ano	389
Concentração do lodo interno da lagoa	%	4
Volume mensal estimado	m <sup>3</sup> /mês	32,40
Custo unitário para remoção de lodo	R\$/m <sup>3</sup>	55,86
Custo total mensal para remoção de lodo	R\$/mês	1.809,86
Transporte e disposição de lodo no aterro		
Concentração do lodo dentro do BAG	%	30
Volume mensal transportado - 30 %	m <sup>3</sup> /mês	4,32
Distância ETE - Aterro	km	10
Custo unitário de transporte	R\$ / m <sup>3</sup> x km	0,80
Custo do transporte	R\$/mês	34,67
Densidade do lodo	Ton/m <sup>3</sup>	1,00
Custo unitário da disposição no aterro	R\$/t	60,00
Custo total de disposição no aterro	R\$/mês	259,20
<b>Custo total (Transporte + disposição)</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>293,87</b>
<b>Custo de funcionários</b>		
Operação		
Salário base operador de sistema de saneamento	R\$/mês	1.100,00
Encargos 122 % + insalubridade de 20 % SM	R\$/mês	1.942,00
Custo mensal de 1 funcionário - 8 h/d	R\$/mês	3.042,00
Custo mensal de 1 funcionário - 2 h/d dedicação a ETE	R\$/mês	760,50
Manutenção		
Salário base técnico de manutenção	R\$/mês	1.800,00
Encargos 122 % + periculosidade de 20 % SM	R\$/mês	4.536,00
Custo mensal de 1 funcionário	R\$/mês	6.336,00
Custo mensal de 1 funcionário - 0,5 dia/mês dedicação a ETE	R\$/mês	105,60
<b>Transporte de funcionário até a ETE</b>		
Distância ida e volta	km	20
Consumo de combustível	Km/L	10
Preço do combustível	R\$/Litro	2,50
Total de dias no mês com ida à ETE	dia/mês	22,00
Custo de combustível	R\$/mês	110,00
Distância mensal percorrida	Km/Mês	440,00
Custo do veículo	R\$/km	0,82
Custo total do veículo	R\$/mês	360,80
<b>Custo total: carro + combustível</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>470,80</b>

## Continuação da Tabela 10-2

Capina, jardinagem e pintura de bordas		
Total de área verde - tirado do projeto	m <sup>2</sup>	21.219
Custo unitário para capina e remoção de mato	R\$/m <sup>2</sup>	0,29
Custo unitário para capina/jardinagem	R\$/evento	6.153,51
Frequência de capina/jardinagem	eventos/ano	4
Custo proporcional mensal	R\$/Mês	2.051,17
Manutenção patrimonial		
Substituição Guarda corpos/grades/cerca	Eventos/ano	1,00
Custo estimado anual	R\$ / ano	5.000,00
Custo estimado mensal	R\$ / mês	416,67
Custo total mensal	R\$/mês	6.843,45
<b>Custo total</b>	<b>R\$/m<sup>3</sup> tratado</b>	<b>0,201</b>

**Tabela 10-3 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade Lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa**

<b>Custo de operação Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa (Baseado em sistema em operação)</b>		
Vazões de projeto		
População	hab	4520
Vazão Média	l/s	10,6
Vazão Média	m <sup>3</sup> /d	916
Vazão mensal	m <sup>3</sup> /mês	27475
Gradeamento		
Taxa retenção de sólidos - Grade grossa 40 mm	L/m <sup>3</sup>	0,009
Taxa retenção de sólidos - Grade média, 25 mm	L/m <sup>3</sup>	0,023
Total gradeado - grade grossa	L/mês	251
Total gradeado - grade média	L/mês	641
Volume útil da caçamba	L	5000
Qtde de caçambas retiradas	caçambas/mês	0,18
Custo unitário para remoção até aterro sanitário	R\$/caçamba	70,00
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	16,80
Custo Total mensal	R\$/mês	27,46
Qtde de sacos por caçamba	Sacos/caç.	2
Qtde mensal de sacos de cal	Sacos/mês	0,4
Custo unitário saco de cal	R\$/saco	8,00
Custo total mensal	R\$/mês	2,85
Areia		
Taxa de acúmulo	L/1000 m <sup>3</sup> esgoto	40
Quantidade de areia por dia	m <sup>3</sup> /d	0,04
Quantidade de areia por mês	m <sup>3</sup> /mês	1,14
Volume de acumulação	m <sup>3</sup>	1,50
Limpezas por mês	limpeza/mês	0,76
Limpezas por mês (arredondando)	limpeza/mês	1,00
Custo remoção de caçamba	R\$ / viagem	179,97

### Continuação da Tabela 10-3

Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	45,00
Custo total mensal	R\$	231,07
<b>Remoção de espuma - odores</b>		
Viagens mensais do caminhão	Viagens / mês	1
Custo de cada viagem	R\$ / viagem	353,93
Volume de cada caminhão	m <sup>3</sup> /viagem	6
Custo para disposição no aterro	R\$/m <sup>3</sup>	50,00
Custo total (viagem + disposição)	R\$/mês	653,93
<b>Remoção de lodo</b>		
Dragagem		
Taxa de acumulo de lodo na lagoa facultativa	L / hab x ano	50
Volume total anual	m <sup>3</sup> /ano	226
Concentração do lodo interno da lagoa	%	4
Volume mensal estimado	m <sup>3</sup> /mês	18,83
Custo unitário para remoção de lodo	R\$/m <sup>3</sup>	55,86
Custo total mensal para remoção de lodo	R\$/mês	1.052,03
Transporte e disposição de lodo no aterro		
Concentração do lodo dentro do BAG	%	30
Volume mensal transportado - 30 %	m <sup>3</sup> /mês	2,51
Distância ETE - Aterro	km	10
Custo unitário de transporte	R\$ / m <sup>3</sup> x km	0,80
Custo do transporte	R\$/mês	20,15
Densidade do lodo	Ton/m <sup>3</sup>	1,00
Custo unitário da disposição no aterro	R\$/t	60,00
Custo total de disposição no aterro	R\$/mês	150,67
Custo total (Transporte + disposição)	R\$/mês	170,82
<b>Custo de funcionários</b>		
Operação		
Salário base operador de sistema de saneamento	R\$/mês	1.100,00
Encargos 122 % + insalubridade de 20 % SM	R\$/mês	1.942,00
Custo mensal de 1 funcionário - 8 h/d	R\$/mês	3.042,00
Custo mensal de 1 funcionário - 2 h/d dedicação a ETE	R\$/mês	760,50
Manutenção		
Salário base técnico de manutenção	R\$/mês	1.800,00
Encargos 122 % + periculosidade de 20 % SM	R\$/mês	4.536,00
Custo mensal de 1 funcionário	R\$/mês	6.336,00
Custo mensal de 1 funcionário - 0,5 dia/mês dedicação a ETE	R\$/mês	105,60
<b>Transporte de funcionário até a ETE</b>		
Distância ida e volta	km	20
Consumo de combustível	Km/L	10
Preço do combustível	R\$/Litro	2,50
Total de dias no mês com ida à ETE	dia/mês	22,00
Custo de combustível	R\$/mês	110,00
Distância mensal percorrida	Km/Mês	440,00
Custo do veículo	R\$/km	0,82
Custo total do veículo	R\$/mês	360,80

### Continuação da Tabela 10-3

Custo total: carro + combustível	R\$/mês	470,80
<b>Capina, jardinagem e pintura de bordas</b>		
Total de área verde - tirado do projeto	m <sup>2</sup>	14.532
Custo unitário para capina e remoção de mato	R\$/m <sup>2</sup>	0,29
Custo unitário para capina/jardinagem	R\$/evento	4.214,28
Frequência de capina/jardinagem	eventos/ano	4
Custo proporcional mensal	R\$/Mês	1.404,76
<b>Manutenção patrimonial</b>		
Substituição Guarda corpos/grades/cerca	Eventos/ano	1,00
Custo estimado anual	R\$ / ano	4.000,00
Custo estimado mensal	R\$ / mês	333,33
<b>Desinfecção efluente final</b>		
Dosagem - puro	mg/l	7,0
Dosagem - puro	Kg/m <sup>3</sup>	0,007
Consumo médio hipoclorito - puro	Kg/mês	192
% de hipoclorito ativo comercial	%	10
Consumo médio hipoclorito comercial	Kg/mês	1923
Custo unitário do hipoclorito comercial	R\$ /Kg	0,62
Custo mensal	R\$ / mês	1.192,42
Custo total mensal	R\$/mês	6.405,58
<b>Custo total</b>	<b>R\$/m<sup>3</sup> tratado</b>	<b>0,233</b>

**Tabela 10-4 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade Lagoa anaeróbia, seguida de facultativa e maturação**

<b>Custos de operação - Lagoa anaeróbia + facultativa + maturação - (Baseado em sistema em operação)</b>		
<b>Vazões de projeto</b>		
População	hab	7180
Vazão Média	l/s	13,3
Vazão Média	m <sup>3</sup> /d	1149
Vazão mensal	m <sup>3</sup> /mês	34474
<b>Gradeamento</b>		
Taxa retenção de sólidos - Grade grossa 40 mm	L/m <sup>3</sup>	0,009
Taxa retenção de sólidos - Grade média, 25 mm	L/m <sup>3</sup>	0,023
Total gradeado - grade grossa	L/d	10
Total gradeado - grade grossa	L/mês	315
Total gradeado - grade média	L/d	26
Total gradeado - grade média	L/mês	804
Volume útil da caçamba	L	5000
Qtde de caçambas retiradas	caçambas/mês	0,22
Custo unitário para remoção até aterro sanitário	R\$/caçamba	70,00
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	16,80
Custo Total mensal	R\$/mês	34,45

## Continuação da Tabela 10-4

Qtde de sacos por caçamba	Sacos/caç.	2
Qtde mensal de sacos de cal	Sacos/mês	0,4
Custo unitário saco de cal	R\$/saco	8,00
<b>Custo total mensal</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>3,58</b>
<b>Areia</b>		
Taxa de acúmulo	L/1000 m <sup>3</sup> esgoto	40
Quantidade de areia por dia	m <sup>3</sup> /dia	0,05
Quantidade de areia por mês	m <sup>3</sup> /mês	1,42
Volume de acumulação	m <sup>3</sup>	2,00
Limpezas por mês	limpeza/mês	0,71
Limpezas por mês (arredondando)	limpeza/mês	1,00
Custo remoção de caçamba	R\$ / viagem	179,97
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	45,00
<b>Custo total mensal</b>	<b>R\$</b>	<b>244,09</b>
<b>Remoção de espuma - odores</b>		
Viagens mensais do caminhão	Viagens / mês	1
Custo de cada viagem	R\$ / viagem	353,93
Volume de cada caminhão	m <sup>3</sup> /viagem	6
Custo para disposição no aterro	R\$/m <sup>3</sup>	50,00
<b>Custo total (viagem + disposição)</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>653,93</b>
<b>Remoção de lodo</b>		
Dragagem		
Taxa de acúmulo de lodo na lagoa facultativa	L / hab x ano	50
Volume total anual	m <sup>3</sup> /ano	359
Concentração do lodo interno da lagoa	%	4
Volume mensal estimado	m <sup>3</sup> /mês	29,92
Custo unitário para remoção de lodo	R\$/m <sup>3</sup>	55,86
<b>Custo total mensal para remoção de lodo</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>1.671,15</b>
Transporte e disposição de lodo no aterro		
Concentração do lodo dentro do BAG	%	30
Volume mensal transportado - 30 %	m <sup>3</sup> /mês	3,99
Distância ETE - Aterro	km	10
Custo unitário de transporte	R\$ / m <sup>3</sup> x km	0,80
Custo do transporte	R\$/mês	32,02
Densidade do lodo	Ton/m <sup>3</sup>	1,00
Custo unitário da disposição no aterro	R\$/t	60,00
Custo total de disposição no aterro	R\$/mês	239,33
<b>Custo total (Transporte + disposição)</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>271,35</b>
<b>Custo de funcionários</b>		
Operação		
Salário base operador de sistema de saneamento	R\$/mês	1.100,00
Encargos 122 % + insalubridade de 20 % SM	R\$/mês	1.942,00
Custo mensal de 1 funcionário - 8 h/d	R\$/mês	3.042,00
Custo mensal de 1 funcionário - 2 h/d dedicação a ETE	R\$/mês	760,50
Manutenção		
Salário base técnico de manutenção	R\$/mês	1.800,00
Encargos 122 % + periculosidade de 20 % SM	R\$/mês	4.536,00

## Continuação da Tabela 10-4

Custo mensal de 1 funcionário	R\$/mês	6.336,00
Custo mensal de 1 funcionário - 0,5 dia/mês dedicação a ETE	R\$/mês	105,60
<b>Transporte de funcionário até a ete</b>		
Distância ida e volta	km	20
Consumo de combustível	Km/L	10
Preço do combustível	R\$/Litro	2,50
Total de dias no mês com ida à ETE	dia/mês	22,00
Custo de combustível	R\$/mês	110,00
Distância mensal percorrida	Km/Mês	440,00
Custo do veículo	R\$/km	0,82
Custo total do veículo	R\$/mês	360,80
Custo total: carro + combustível	R\$/mês	470,80
<b>Capina, jardinagem e pintura de bordas</b>		
Total de área verde - tirado do projeto	m <sup>2</sup>	7.845
Custo unitário para capina e remoção de mato	R\$/m <sup>2</sup>	0,29
Custo unitário para capina/jardinagem	R\$/evento	2.275,05
Frequência de capina/jardinagem	eventos/ano	4
Custo proporcional mensal	R\$/Mês	758,35
<b>Manutenção patrimonial</b>		
Substituição Guarda corpos/grades/cerca	Eventos/ano	1,00
Custo estimado anual	R\$ / ano	5.000,00
Custo estimado mensal	R\$ / mês	416,67
Custo total mensal	R\$/mês	5.390,46
<b>Custo total</b>	<b>R\$/m<sup>3</sup> tratado</b>	<b>0,156</b>

**Tabela 10-5 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade Lagoa aerada com lagoa de decantação**

<b>Custos de operação - Lagoa aerada + lagoa de decantação -(modelado)</b>		
<b>Vazões de projeto</b>		
População	hab	6000
Vazão Média	l/s	14
Vazão Média	m <sup>3</sup> /d	1210
Vazão mensal	m <sup>3</sup> /mês	36288
<b>Gradeamento</b>		
Taxa retenção de sólidos - Grade grossa 40 mm	L/m <sup>3</sup>	0,009
Taxa retenção de sólidos - Grade média, 25 mm	L/m <sup>3</sup>	0,023
Total gradeado - grade grossa	L/mês	331
Total gradeado - grade média	L/mês	846
Volume útil da caçamba	L	5000
Qtde de caçambas retiradas	caçambas/mês	0,2
Custo unitário para remoção até aterro sanitário	R\$/caçamba	70,00
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	16,80

## Continuação da Tabela 10-5

Custo Total mensal	R\$/mês	<b>36,26</b>
Qtde de sacos de cal por caçamba	Sacos/caç.	1
Qtde mensal de sacos de cal	Sacos/mês	0,2
Custo unitário sacco de cal	R\$/saco	8,00
<b>Custo total mensal</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>1,88</b>
<b>Areia</b>		
Taxa de acúmulo	L/1000 m <sup>3</sup> esgoto	40
Quantidade de areia por dia	m <sup>3</sup> /d	0,05
Quantidade de areia por mês	m <sup>3</sup> /mês	1,50
Volume de acumulação	m <sup>3</sup>	10,00
Limpezas por mês	limpeza/mês	0,15
Limpezas por mês (arredondando)	limpeza/mês	1,00
Custo remoção de caçamba	R\$ / viagem	70,00
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	45,00
<b>Custo total mensal</b>	<b>R\$</b>	<b>137,50</b>
<b>Remoção de lodo</b>		
<b>Dragagem</b>		
Taxa de acumulo de lodo na lagoa facultativa	L / hab x ano	
Volume total anual	m <sup>3</sup> /ano	
Concentração do lodo interno da lagoa	%	8
Volume mensal estimado	m <sup>3</sup> /mês	<b>87,83</b>
Custo unitário para remoção de lodo	R\$/m <sup>3</sup>	55,86
<b>Custo total mensal para remoção de lodo</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>4.906,37</b>
<b>Transporte e disposição de lodo no aterro</b>		
Concentração do lodo dentro do BAG	%	30
Volume mensal transportado - 30 %	m <sup>3</sup> /mês	23,42
Distância ETE - Aterro	km	10
Custo unitário de transporte	R\$ / m <sup>3</sup> x km	0,80
Custo do transporte	R\$/mês	187,99
Densidade do lodo	Ton/m <sup>3</sup>	1,00
Custo unitário da disposição no aterro	R\$/t	60,00
Custo total de disposição no aterro	R\$/mês	1.405,33
<b>Custo total (Transporte + disposição)</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>1.593,33</b>
<b>Energia elétrica</b>		
Total de aeradores	un	6,00
Potência de cada aerador	CV	8,00
Tempo de funcionamento diária	H/dia	24,00
Potência total	kW	<b>35,33</b>
Demanda anual	kW	<b>423,94</b>
Consumo anual	kWh/ano	<b>309.473</b>
Tarifa - Consumo	R\$/kW/Mês	0,254
Tarifa - Demanda	R\$/kWh	6,088
Custo total anual	R\$/ano	<b>81.187,14</b>
Custo total mensal	R\$/mês	<b>6.765,59</b>

## Continuação da Tabela 10-5

<b>Manutenção eletromecânica</b>		
Custo de cada aerador com instalações	R\$	35.000,00
Custo de implantação eletromecânica	R\$	210.000,00
% sobre o custo de implantação referente a manutenção	% aa	4
Custo estimado anual de manutenção	R\$	8.400,00
Custo estimado mensal de manutenção	R\$	<b>700,00</b>
<b>Substituição de aeradores</b>		
Custo de cada aerador sem instalações	R\$	20.000,00
Frequência de substituição	anos	10
Número de aeradores a serem substituídos	un	6
Custo total de aquisição	R\$	120.000,00
Custo mensal de substituição de aeradores	R\$/mês	<b>1.000,00</b>
<b>Custo de funcionários</b>		
<b>Operação</b>		
Salário base operador de sistema de saneamento	R\$/mês	1.100,00
Encargos 122 % + insalubridade de 20 % SM	R\$/mês	1.942,00
Custo mensal de 1 funcionário - 8 h/d	R\$/mês	3.042,00
Custo mensal de 1 funcionários - 8 h/d dedicação a ETE	R\$/mês	<b>3.042,00</b>
<b>Manutenção</b>		
Salário base técnico de manutenção	R\$/mês	1.800,00
Encargos 122 % + periculosidade de 20 % SM	R\$/mês	4.536,00
Custo mensal de 1 funcionário	R\$/mês	6.336,00
Custo mensal de 1 funcionário - 2 dias/mês dedicação a ETE	R\$/mês	<b>422,40</b>
Distância ida e volta	km	20
Consumo de combustível	Km/L	10
Preço do combustível	R\$/Litro	2,50
Total de dias no mês com ida à ETE	dia/mês	2,00
Custo de combustível	R\$/mês	10,00
Distância mensal percorrida	Km/Mês	40,00
Custo do veículo	R\$/km	0,82
Custo total do veículo	R\$/mês	32,80
Custo total: carro + combustível	R\$/mês	<b>42,80</b>
<b>Capina, jardinagem e pintura de bordas</b>		
Total de área verde - tirado do projeto	m <sup>2</sup>	15.000
Custo unitário para capina e remoção de mato	R\$/m <sup>2</sup>	0,29
Custo unitário para capina/jardinagem	R\$/evento	4.350,00
Frequência de capina/jardinagem	eventos/ano	4
Custo proporcional mensal	R\$/Mês	<b>1.450,00</b>
<b>Manutenção patrimonial</b>		
Substituição Guarda corpos/grades/cerca	Eventos/ano	1,00
Custo estimado anual	R\$ / ano	5.000,00
Custo estimado mensal	R\$ / mês	<b>416,67</b>
<b>Desinfecção efluente final</b>		
Dosagem - puro	mg/l	7,0
Dosagem - puro	Kg/m <sup>3</sup>	0,007
Consumo médio hipoclorito - puro	Kg/mês	254

## Continuação da Tabela 10-5

% de hipoclorito ativo comercial	%	10
Consumo médio hipoclorito comercial	Kg/mês	2540
Custo unitário do hipoclorito comercial	R\$ /Kg	0,62
Custo mensal	R\$ / mês	<b>1.574,90</b>
<b>Custo total mensal</b>	R\$/mês	<b>22.089,70</b>
<b>Custo total</b>	R\$/m <sup>3</sup> tratado	<b>0,609</b>

**Tabela 10-6 - Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade Lagoa aerada facultativa**

<b>Custo de operação - Lagoas aeradas facultativas – (Modelado)</b>		
<b>Vazões de projeto</b>		
População	hab	8946
Vazão Média	l/s	15,6
Vazão Média	m <sup>3</sup> /d	1348
Vazão mensal	m <sup>3</sup> /mês	40435
<b>Gradeamento</b>		
Taxa retenção de sólidos - Grade grossa 40 mm	L/m <sup>3</sup>	0,009
Taxa retenção de sólidos - Grade média, 25 mm	L/m <sup>3</sup>	0,023
Total gradeado - grade grossa	L/mês	369
Total gradeado - grade média	L/mês	943
Volume útil da caçamba	L	5000
Qtde de caçambas retiradas	caçambas/mês	0,3
Custo unitário para remoção até aterro sanitário	R\$/caçamba	70,00
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	16,80
Custo Total mensal	R\$/mês	40,41
Qtde de sacos de cal por caçamba	Sacos/caç.	2
Qtde mensal de sacos de cal	Sacos/mês	0,5
Custo unitário saco de cal	R\$/saco	8,00
<b>Areia</b>		
Taxa de acúmulo	L/1000 m <sup>3</sup> esgoto	40
Quantidade de areia por dia	m <sup>3</sup> /d	0,05
Quantidade de areia por mês	m <sup>3</sup> /mês	1,67
Volume de acumulação	m <sup>3</sup>	2,00
Limpezas por mês	limpeza/mês	0,84
Limpezas por mês (arredondando)	limpeza/mês	1,00
Custo remoção de caçamba	R\$ / viagem	179,97
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	45,00
Custo total mensal	R\$	255,18

## Continuação da Tabela 10-6

<b>Remoção de lodo</b>		
Dragagem		
Taxa de acúmulo de lodo na lagoa anaeróbia	L / hab x ano	50
Volume total anual	m <sup>3</sup> /ano	447
Concentração do lodo interno da lagoa	%	4
Volume mensal estimado	m <sup>3</sup> /mês	37,28
Custo unitário para remoção de lodo	R\$/m <sup>3</sup>	55,86
Custo total mensal para remoção de lodo	R\$/mês	2.082,18
Transporte e disposição de lodo no aterro		
Concentração do lodo dentro do BAG	%	30
Volume mensal transportado - 30 %	m <sup>3</sup> /mês	4,97
Distância ETE - Aterro	km	10
Custo unitário de transporte	R\$ / m <sup>3</sup> x km	0,80
Custo do transporte	R\$/mês	39,89
Densidade do lodo	Ton/m <sup>3</sup>	1,00
Custo unitário da disposição no aterro	R\$/t	60,00
Custo total de disposição no aterro	R\$/mês	298,20
Custo total (Transporte + disposição)	R\$/mês	338,09
<b>Energia elétrica</b>		
Total de aeradores	un	10,00
Potência de cada aerador	CV	5,00
Tempo de funcionamento diária	H/dia	24,00
Potência total	kW	36,80
Demanda anual	kW	441,60
Consumo anual	kWh/ano	322.368
Tarifa - Consumo	R\$/kW/Mês	0,254
Tarifa - Demanda	R\$/kWh	6,088
Custo total anual	R\$/ano	84.569,93
Custo total mensal	R\$/mês	7.047,49
<b>Manutenção eletromecânica</b>		
Custo de cada aerador com instalações	R\$	34.063,00
Custo de implantação eletromecânica	R\$	340.630,00
% sobre o custo de implantação referente a manutenção	% aa	4
Custo estimado anual de manutenção	R\$	13.625,20
Custo estimado mensal de manutenção	R\$	1.135,43
<b>Substituição de aeradores</b>		
Custo de cada aerador sem instalações	R\$	13.000,00
Frequência de substituição	anos	10,00
Número de aeradores a serem substituídos	un	10,00
Custo total de aquisição	R\$	130.000,00
Custo mensal de substituição de aeradores	R\$/mês	1.083,33
<b>Funcionários</b>		
Operação		
Salário base operador de sistema de saneamento	R\$/mês	1.100,00
Encargos 122 % + insalubridade de 20 % SM	R\$/mês	1.942,00
Custo mensal de 1 funcionário - 8 h/d	R\$/mês	3.042,00

## Continuação da Tabela 10-6

Custo mensal de 1 funcionário - 2 h/d dedicação a ETE	R\$/mês	760,50
<b>Manutenção</b>		
Salário base técnico de manutenção	R\$/mês	1.800,00
Encargos 122 % + periculosidade de 20 % SM	R\$/mês	4.536,00
Custo mensal de 1 funcionário	R\$/mês	6.336,00
Custo mensal de 1 funcionário - 1 dia/mês dedicação a ETE	R\$/mês	211,20
<b>Transporte de funcionários</b>		
Distância ida e volta	km	20
Consumo de combustível	Km/L	10
Preço do combustível	R\$/Litro	2,50
Total de dias no mês com ida à ETE	dia/mês	2,00
Custo de combustível	R\$/mês	10,00
Distância mensal percorrida	Km/Mês	40,00
Custo do veículo	R\$/km	0,82
Custo total do veículo	R\$/mês	32,80
<b>Custo total: carro + combustível</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>42,80</b>
<b>Capina, jardinagem e pintura de bordas</b>		
Total de área verde - tirado do projeto	m <sup>2</sup>	7.963
Custo unitário para capina e remoção de mato	R\$/m <sup>2</sup>	0,29
Custo unitário para capina/jardinagem	R\$/evento	2.309,27
Frequência de capina/jardinagem	eventos/ano	4
<b>Custo proporcional mensal</b>	<b>R\$/Mês</b>	<b>769,76</b>
<b>Manutenção patrimonial</b>		
Substituição Guarda corpos/grades/cerca	Eventos/ano	1,00
Custo estimado anual	R\$ / ano	5.000,00
<b>Custo estimado mensal</b>	<b>R\$ / mês</b>	<b>416,67</b>
<b>Desinfecção efluente final</b>		
Dosagem - puro	mg/l	7,0
Dosagem - puro	Kg/m <sup>3</sup>	0,007
Consumo médio hipoclorito - puro	Kg/mês	283
% de hipoclorito ativo comercial	%	10
Consumo médio hipoclorito comercial	Kg/mês	2830
Custo unitário do hipoclorito comercial	R\$ /Kg	0,62
<b>Custo mensal</b>	<b>R\$ / mês</b>	<b>1.754,89</b>
<b>Custo total mensal</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>15.942,13</b>
<b>Custo total</b>	<b>R\$/m<sup>3</sup> tratado</b>	<b>0,394</b>

**Tabela 10-7 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade Lodos ativados convencional**

<b>Vazões de projeto</b>		
População	hab	5926
Vazão Média	l/s	8,87
Vazão Média	m <sup>3</sup> /d	766
Vazão mensal	m <sup>3</sup> /mês	22991
<b>GRADEAMENTO</b>		
Taxa retenção de sólidos - Grade grossa 40 mm	L/m <sup>3</sup>	0,009
Taxa retenção de sólidos - Grade média, 25 mm	L/m <sup>3</sup>	0,023
Total gradeado - grade grossa	L/mês	210
Total gradeado - grade média	L/mês	536
Volume útil da caçamba	L	5000
Qtde de caçambas retiradas	caçambas/mês	0,149
Custo unitário para remoção até aterro sanitário	R\$/caçamba	70,00
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	16,80
<b>Custo Total mensal</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>22,97</b>
<b>CAL</b>		
Qtde de sacos por caçamba	Sacos/caç.	1
Qtde mensal de sacos de cal	Sacos/mês	0,1
Custo unitário saco de cal	R\$/saco	8,00
<b>Custo total mensal</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>1,19</b>
<b>AREIA</b>		
Taxa de acúmulo	L/1000 m <sup>3</sup> esgoto	40
Quantidade de areia por dia	m <sup>3</sup> /d	0,03
Quantidade de areia por mês	m <sup>3</sup> /mês	0,95
Volume de acumulação	m <sup>3</sup>	0,50
Limpezas por mês	limpeza/mês	1,90
Limpezas por mês (arredondando)	limpeza/mês	2,00
Custo remoção de caçamba	R\$ / viagem	179,97
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	45,00
<b>Custo total mensal</b>	<b>R\$</b>	<b>402,70</b>
<b>REMOÇÃO DE LODO</b>		
<b>Retirada</b>		
Volume de lodo para aterro	m <sup>3</sup> /d	0,830
<b>Transporte e disposição de lodo no aterro</b>		
Volume mensal transportado - 30 %	m <sup>3</sup> /mês	24,91
Distância ETE - Aterro	km	10
Custo unitário de transporte	R\$ / m <sup>3</sup> x km	0,80
Custo do transporte	R\$/mês	199,91
Densidade do lodo	Ton/m <sup>3</sup>	1,00
Custo unitário da disposição no aterro	R\$/t	60,00
Custo total de disposição no aterro	R\$/mês	1.494,42
<b>Custo total (Transporte + disposição)</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>1.694,33</b>
Volume de lodo descartado	m <sup>3</sup> /d	<b>6,92</b>
Dosagem - puro	mg/l	227,43
Dosagem - puro	Kg/m <sup>3</sup>	0,227

## Continuação da Tabela 10-7

Consumo médio polímero - puro	Kg/d	1,57
% de polímero ativo comercial	%	28
Consumo médio polímero comercial	Kg/d	5,62
Consumo médio polímero comercial	Kg/mês	<b>174</b>
Custo unitário	R\$ /Kg	<b>9,65</b>
Custo mensal	R\$ / mês	<b>1.681,09</b>
<b>ENERGIA ELÉTRICA</b>		
<b>Total de aeradores</b>	un	4,00
Potência de cada aerador	CV	10,00
Tempo de funcionamento diária	H/dia	24,00
Potência total	kW	<b>29,44</b>
Demanda anual	kW	<b>353,28</b>
Consumo anual	kWh/ano	<b>257.894</b>
Tarifa - Consumo	R\$/kW/Mês	0,254
Tarifa - Demanda	R\$/kWh	6,088
Custo total anual	R\$/ano	<b>67.655,95</b>
Custo total mensal	R\$/mês	<b>5.638,00</b>
Centrífuga + bba alimentação + dosador de poli	un	1,00
Potência de cada aerador	CV	10,00
Tempo de funcionamento diária	H/dia	15,00
Potência total	kW	<b>7,36</b>
Demanda anual	kW	<b>88,32</b>
Consumo anual	kWh/ano	<b>40.296</b>
Tarifa - Consumo	R\$/kW/Mês	0,254
Tarifa - Demanda	R\$/kWh	6,088
Custo total anual	R\$/ano	<b>10.772,88</b>
Custo total mensal	R\$/mês	<b>897,74</b>
<b>Bomba de recirculação</b>	un	1,00
Potência	CV	25,00
Tempo de funcionamento diária	H/dia	24,00
Potência total	kW	<b>18,40</b>
Demanda anual	kW	<b>220,80</b>
Consumo anual	kWh/ano	<b>161.184</b>
Tarifa - Consumo	R\$/kW/Mês	0,254
Tarifa - Demanda	R\$/kWh	6,088
Custo total anual	R\$/ano	<b>42.284,97</b>
Custo total mensal	R\$/mês	<b>3.523,75</b>
<b>MANUTENÇÃO ELETROMECÂNICA</b>		
Custo de implantação eletromecânica	R\$	100.000,00
% sobre o custo de implantação referente a manutenção	% aa	4
Custo estimado anual de manutenção	R\$	4.000,00
Custo estimado mensal de manutenção	R\$	<b>333,33</b>
<b>SUBSTITUIÇÃO DE AERADORES</b>		
Custo de cada aerador sem instalações	R\$	25.000,00
Frequência de substituição	anos	10
Número de aeradores a serem substituídos	un	4
Custo total de aquisição	R\$	100.000,00

## Continuação da Tabela 10-7

Custo mensal de substituição de aeradores	R\$/mês	<b>833,33</b>
<b>CUSTO DE FUNCIONARIOS</b>		
<b>Operação</b>		
Salário técnico de sistema de saneamento	R\$/mês	1100,00
Encargos 122 % + insalubridade de 20 % SM	R\$/mês	1942,00
Custo mensal de 1 funcionário - 8 h/d	R\$/mês	3042,00
Custo mensal de 1 funcionário - 8 h/d dedicação a ETE	R\$/mês	3042,00
<b>Manutenção</b>		
Salário base técnico de manutenção	R\$/mês	1800,00
Encargos 122 % + periculosidade de 20 % SM	R\$/mês	4536,00
Custo mensal de 1 funcionário	R\$/mês	6.336,00
Custo mensal de 1 funcionário - 4dias/mês dedicação a ETE	R\$/mês	<b>422,4</b>
<b>TRANSPORTE DE FUNCIONÁRIO ATÉ A ETE para manutenção</b>		
Distância ida e volta	km	20
Consumo de combustível	Km/L	10
Preço do combustível	R\$/Litro	2,50
Total de dias no mês com ida à ETE	dia/mês	2,00
Custo de combustível	R\$/mês	10,00
Distância mensal percorrida	Km/Mês	40,00
Custo do veículo	R\$/km	0,82
Custo total do veículo	R\$/mês	32,80
Custo total: carro + combustível	R\$/mês	<b>42,80</b>
<b>Capina, jardinagem e pintura de bordas</b>		
Total de área verde - tirado do projeto	m <sup>2</sup>	1.500
Custo unitário para capina e remoção de mato	R\$/m <sup>2</sup>	0,29
Custo unitário para capina/jardinagem	R\$/evento	435,00
Frequência de capina/jardinagem	eventos/ano	4
Custo proporcional mensal	R\$/Mês	<b>145,00</b>
<b>Manutenção patrimonial</b>		
Custo estimado anual	R\$ / ano	5.000,00
Custo estimado mensal	R\$ / mês	<b>416,67</b>
<b>Desinfecção efluente final</b>		
Dosagem - puro	mg/l	7,0
Dosagem - puro	Kg/m <sup>3</sup>	0,007
Consumo médio hipoclorito - puro	Kg/mês	161
% de hipoclorito ativo comercial	%	10
Consumo médio hipoclorito comercial	Kg/mês	1609
Custo unitário do hipoclorito comercial	R\$ /Kg	0,62
Custo mensal	R\$ / mês	<b>997,81</b>
<b>Custo total mensal</b>	R\$/mês	<b>23.044,72</b>
<b>Custo total</b>	<b>R\$/m<sup>3</sup> tratado</b>	<b>0,870</b>

**Tabela 10-8 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade lodos ativados com aeração prolongada**

<b>Custos de operação - Lodos ativados Aeração prolongada (Baseado em sistema em operação)</b>		
<b>Vazões de projeto</b>		
População	hab	15000
Vazão Média	l/s	33
Vazão Média	m <sup>3</sup> /d	2851
Vazão mensal	m <sup>3</sup> /mês	85536
<b>GRADEAMENTO</b>		
Taxa retenção de sólidos - Grade grossa 40 mm	L/m <sup>3</sup>	0,009
Taxa retenção de sólidos - Grade média, 25 mm	L/m <sup>3</sup>	0,023
Total gradeado - grade grossa	L/mês	781
Total gradeado - grade média	L/mês	1995
Volume útil da caçamba	L	5000
Qtde de caçambas retiradas	caçambas/mês	0,6
Custo unitário para remoção até aterro sanitário	R\$/caçamba	70,00
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	16,80
<b>Custo Total mensal</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>85,48</b>
<b>CAL</b>		
Qtde de sacos por caçamba	Sacos/caç.	2
Qtde mensal de sacos de cal	Sacos/mês	1,1
Custo unitário saco de cal	R\$/saco	8,00
<b>Custo total mensal</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>8,88</b>
<b>AREIA</b>		
Taxa de acúmulo	L/1000 m <sup>3</sup> esgoto	40
Quantidade de areia por dia	m <sup>3</sup> /d	0,11
Quantidade de areia por mês	m <sup>3</sup> /mês	3,54
Volume de acumulação	m <sup>3</sup>	2,00
Limpezas por mês	limpeza/mês	1,77
Limpezas por mês (arredondando)	limpeza/mês	2,00
Custo remoção de caçamba	R\$ / viagem	179,97
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	45,00
<b>Custo total mensal</b>	<b>R\$</b>	<b>519,04</b>
<b>REMOÇÃO DE ESCUMA - odores</b>		
Viagens mensais do caminhão	Viagens / mês	0
Custo de cada viagem	R\$ / viagem	353,93
Volume de cada caminhão	m <sup>3</sup> /viagem	6
Custo para disposição no aterro	R\$/m <sup>3</sup>	50,00
<b>Custo total (viagem + disposição)</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>0,00</b>
<b>ENERGIA ELÉTRICA</b>		
Total de aeradores	un	6,00
Potência de cada aerador	CV	30,41
Tempo de funcionamento diária	H/dia	24,00
<b>Potência total</b>	<b>kW</b>	<b>134,28</b>
<b>Demanda anual</b>	<b>kW</b>	<b>1.611,36</b>
<b>Consumo anual</b>	<b>kWh/ano</b>	<b>1.176.293</b>

## Continuação da Tabela 10-8

Tarifa - Consumo	R\$/kW/Mês	0,254
Tarifa - Demanda	R\$/kWh	6,088
Custo total anual	R\$/ano	<b>308.588,33</b>
Custo total mensal	R\$/mês	<b>25.715,69</b>
Centrífuga + bba alimentação + dosador de poli	un	1,00
Potência de cada aerador	CV	10,00
Tempo de funcionamento diária	H/dia	11,00
Potência total	kW	<b>7,36</b>
Demanda anual	kW	<b>88,32</b>
Consumo anual	kWh/ano	<b>29.550</b>
Tarifa - Consumo	R\$/kW/Mês	0,254
Tarifa - Demanda	R\$/kWh	6,088
Custo total anual	R\$/ano	<b>8.043,49</b>
Custo total mensal	R\$/mês	<b>670,29</b>
Recirculação	un	1,00
Potência de cada aerador	CV	25,34
Tempo de funcionamento diária	H/dia	12,00
Potência total	kW	<b>18,65</b>
Demanda anual	kW	<b>223,80</b>
Consumo anual	kWh/ano	<b>81.687</b>
Tarifa - Consumo	R\$/kW/Mês	0,254
Tarifa - Demanda	R\$/kWh	6,088
Custo total anual	R\$/ano	<b>22.110,99</b>
Custo total mensal	R\$/mês	<b>1.842,58</b>
<b>Consumo de polímero</b>		
Volume de lodo descartado	m <sup>3</sup> /d	<b>22,12</b>
Dosagem - puro	mg/l	227,43
Dosagem - puro	Kg/m <sup>3</sup>	0,227
Consumo médio polímero - puro	Kg/d	5,03
% de polímero ativo comercial	%	28
Consumo médio polímero comercial	Kg/d	17,97
Consumo médio polímero comercial	Kg/mês	<b>557</b>
Custo unitário	R\$ /Kg	<b>9,65</b>
Custo mensal	R\$ / mês	<b>5.374,75</b>
Secagem final	%	26
Volume de lodo para aterro	m <sup>3</sup> /d	0,68
<b>Transporte e disposição de lodo no aterro</b>		
Volume mensal transportado - 30 %	m <sup>3</sup> /mês	21,10
Distância ETE - Aterro	km	10
Custo unitário de transporte	R\$ / m <sup>3</sup> x km	0,80
Custo do transporte	R\$/mês	169,35
Densidade do lodo	Ton/m <sup>3</sup>	1,00
Custo unitário da disposição no aterro	R\$/t	60,00
Custo total de disposição no aterro	R\$/mês	1.265,94
Custo total (Transporte + disposição)	R\$/mês	<b>1.435,29</b>

## Continuação da Tabela 10-8

<b>MANUTENÇÃO ELETROMECÂNICA</b>		
Custo de cada aerador com instalações	R\$	35.000,00
Custo de implantação eletromecânica	R\$	210.000,00
% sobre o custo de implantação referente a manutenção	% aa	4
Custo estimado anual de manutenção	R\$	8.400,00
Custo estimado mensal de manutenção	R\$	<b>700,00</b>
<b>SUBSTITUIÇÃO DE AERADORES</b>		
Custo de cada aerador sem instalações	R\$	35.000,00
Frequência de substituição	anos	10
Número de aeradores a serem substituídos	un	2
Custo total de aquisição	R\$	70.000,00
Custo mensal de substituição de aeradores	R\$/mês	<b>583,33</b>
<b>CUSTO DE FUNCIONARIOS</b>		
<b>Operação</b>		
Salário base operador de sistema de saneamento	R\$/mês	1.100,00
Encargos 122 % + insalubridade de 20 % SM	R\$/mês	1.942,00
Custo mensal de 1 funcionário - 8 h/d	R\$/mês	3.042,00
Custo mensal de 1 funcionário - 8 h/d dedicação a ETE	R\$/mês	<b>3.042,00</b>
<b>Manutenção</b>		
Salário base técnico de manutenção	R\$/mês	1.800,00
Encargos 122 % + periculosidade de 20 % SM	R\$/mês	4.536,00
Custo mensal de 1 funcionário	R\$/mês	6.336,00
Custo mensal de 1 funcionário - 2 dia/mês dedicação a ETE	R\$/mês	<b>422,40</b>
<b>TRANSPORTE DE FUNCIONÁRIO ATÉ A ETE</b>		
Distância ida e volta	km	20
Consumo de combustível	Km/L	10
Preço do combustível	R\$/Litro	2,50
Total de dias no mês com ida à ETE	dia/mês	2,00
Custo de combustível	R\$/mês	10,00
Distância mensal percorrida	Km/Mês	40,00
Custo do veículo	R\$/km	0,82
Custo total do veículo	R\$/mês	32,80
Custo total: carro + combustível	R\$/mês	<b>42,80</b>
<b>Capina, jardinagem e pintura de bordas</b>		
Total de área verde - tirado do projeto	m <sup>2</sup>	6.880
Custo unitário para capina e remoção de mato	R\$/m <sup>2</sup>	0,29
Custo unitário para capina/jardinagem	R\$/evento	1.995,20
Frequência de capina/jardinagem	eventos/ano	4
Custo proporcional mensal	R\$/Mês	<b>665,07</b>
<b>Manutenção patrimonial</b>		
Substituição Guarda corpos/grades/cerca	Eventos/ano	1,00
Custo estimado anual	R\$ / ano	5.000,00
Custo estimado mensal	R\$ / mês	<b>416,67</b>
<b>Desinfecção efluente final</b>		
Dosagem - puro	mg/l	7,0
Dosagem - puro	Kg/m <sup>3</sup>	0,007

Continuação da Tabela 10-8

Consumo médio hipoclorito - puro	Kg/mês	599
% de hipoclorito ativo comercial	%	10
Consumo médio hipoclorito comercial	Kg/mês	5988
Custo unitário do hipoclorito comercial	R\$ /Kg	0,62
Custo mensal	R\$ / mês	<b>3.712,26</b>
<b>Custo total mensal</b>	R\$/mês	<b>45.236,53</b>
<b>Custo total</b>	R\$/m <sup>3</sup> tratado	<b>0,529</b>

**Tabela 10-9 – Estimativa de custos de operação e manutenção para a modalidade RAFA seguido de filtro biológico aerado submerso**

<b>Custos e operação - RAFA + FBAS (Baseado em sistema em operação)</b>		
<b>Vazões de projeto</b>		
População	hab	8946
Vazão Média	l/s	15,6
Vazão Média	m <sup>3</sup> /d	1348
Vazão mensal	m <sup>3</sup> /mês	40435
<b>GRADEAMENTO</b>		
Taxa retenção de sólidos - Grade grossa 25 mm	L/m <sup>3</sup>	0,023
Taxa retenção de sólidos - Peneira estática 3 mm	L/m <sup>3</sup>	0,0083
Total gradeado - grade grossa	L/mês	943
Total gradeado - grade média	L/mês	340
Volume útil da caçamba	L	5000
Qtde de caçambas retiradas	caçambas/mês	0,3
Custo unitário para remoção até aterro sanitário	R\$/caçamba	70,00
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	17,50
Custo Total mensal	R\$/mês	<b>40,42</b>
Qtde de sacos por caçamba	Sacos/caç.	2
Qtde mensal de sacos de cal	Sacos/mês	0,5
Custo unitário saco de cal	R\$/saco	8,00
Custo total mensal	R\$/mês	<b>4,11</b>
<b>AREIA</b>		
Taxa de acúmulo	L/1000 m <sup>3</sup> esgoto	40
Quantidade de areia por dia	m <sup>3</sup> /d	0,05
Quantidade de areia por mês	m <sup>3</sup> /mês	1,67
Volume de acumulação	m <sup>3</sup>	2,00
Limpezas por mês	limpeza/mês	0,84
Limpezas por mês (arredondando)	limpeza/mês	1,00
Custo remoção de caçamba	R\$ / viagem	179,97
Custo unitário para disposição em aterro sanitário	R\$/m <sup>3</sup>	45,00
Custo total mensal	R\$	<b>255,18</b>
<b>Soda - Dosagem MÉDIA para redução de odor</b>		
Dosagem	mg/l	15
Tempo de dosagem por dia	h/d	8
Quantidade diária	Kg/dia	7

## Continuação da Tabela 10-9

Dias de dosagem por mês	dias/mês	31
Quantidade mensal	kg/mês	209
Custo unitário	R\$/kg	2,90
Custo mensal	R\$/mês	<b>605,85</b>
<b>REMOÇÃO DE ESCUMA - odores</b>		
Viagens mensais do caminhão	Viagens / mês	1
Custo de cada viagem	R\$ / viagem	353,93
Volume de cada caminhão	m <sup>3</sup> /viagem	6
Custo para disposição no aterro	R\$/m <sup>3</sup>	50,00
Custo total (viagem + disposição)	R\$/mês	<b>653,93</b>
<b>REMOÇÃO DE LODO</b>		
<b>Transporte e disposição de lodo no aterro</b>		
Concentração do lodo dentro do BAG	%	
Volume mensal transportado - 30 %	m <sup>3</sup> /mês	<b>6,5</b>
Distância ETE - Aterro	km	10
Custo unitário de transporte	R\$ / m <sup>3</sup> x km	0,80
Custo do transporte	R\$/mês	52,17
Densidade do lodo	Ton/m <sup>3</sup>	1,00
Custo unitário da disposição no aterro	R\$/t	60,00
Custo total de disposição no aterro	R\$/mês	390,00
Custo total (Transporte + disposição)	R\$/mês	<b>442,17</b>
<b>ENERGIA ELÉTRICA</b>		
<b>Sopradores + unidade de pré tratamento</b>		
	un	1,00
Potência de cada aerador	CV	10,55
Tempo de funcionamento diária	H/dia	24,00
Potência total	kW	<b>7,76</b>
Demanda anual	kW	<b>93,18</b>
Consumo anual	kWh/ano	<b>68.020</b>
Tarifa - Consumo	R\$/kW/Mês	0,254
Tarifa - Demanda	R\$/kWh	6,088
Custo total anual	R\$/ano	<b>17.844,26</b>
Custo total mensal	R\$/mês	<b>1.487,02</b>
<b>Bomba de retorno de lodo</b>		
	un	1,00
Potência de cada aerador	CV	10,00
Tempo de funcionamento diária	H/dia	12,00
Potência total	kW	<b>7,36</b>
Demanda anual	kW	<b>88,32</b>
Consumo anual	kWh/ano	<b>32.237</b>
Tarifa - Consumo	R\$/kW/Mês	0,254
Tarifa - Demanda	R\$/kWh	6,088
Custo total anual	R\$/ano	<b>8.725,84</b>
Custo total mensal	R\$/mês	<b>727,15</b>
<b>MANUTENÇÃO ELETROMECÂNICA</b>		
Custo dos equipamentos eletromecânicos	R\$	50.000,00
% sobre o custo de implantação referente a manutenção	% aa	4
Custo estimado anual de manutenção	R\$	2.000,00

## Continuação da Tabela 10-9

Custo estimado mensal de manutenção	R\$	<b>166,67</b>
<b>CUSTO DE FUNCIONARIOS</b>		
<b>Operação</b>		
Salário base operador de sistema de saneamento	R\$/mês	1.100,00
Encargos 122 % + insalubridade de 20 % SM	R\$/mês	1.942,00
Custo mensal de 1 funcionário - 8 h/d	R\$/mês	3.042,00
Custo mensal de 1 funcionário - 8 h/d dedicação a ETE	R\$/mês	<b>3.042,00</b>
<b>Manutenção</b>		
Salário base técnico de manutenção	R\$/mês	1.800,00
Encargos 122 % + periculosidade de 20 % SM	R\$/mês	4.536,00
Custo mensal de 1 funcionário	R\$/mês	6.336,00
Custo mensal de 1 funcionário - 1 dia/mês dedicação a ETE	R\$/mês	<b>211,20</b>
<b>TRANSPORTE DE FUNCIONÁRIO ATÉ A ETE para manutenção</b>		
Distância ida e volta	km	20
Consumo de combustível	Km/L	10
Preço do combustível	R\$/Litro	2,50
Total de dias no mês com ida à ETE	dia/mês	4,00
Custo de combustível	R\$/mês	20,00
Distância mensal percorrida	Km/Mês	80,00
Custo do veículo	R\$/km	0,82
Custo total do veículo	R\$/mês	65,60
Custo total: carro + combustível	R\$/mês	<b>85,60</b>
<b>Capina, jardinagem e pintura de bordas</b>		
Total de área verde - tirado do projeto	m <sup>2</sup>	700
Custo unitário para capina e remoção de mato	R\$/m <sup>2</sup>	0,33
Custo unitário para capina/jardinagem	R\$/evento	231,00
Frequência de capina/jardinagem	eventos/ano	4
Custo proporcional mensal	R\$/Mês	<b>77,00</b>
<b>Manutenção patrimonial</b>		
Substituição Guarda corpos/grades/cerca	Eventos/ano	1,00
Custo estimado anual	R\$ / ano	3.000,00
Custo estimado mensal	R\$ / mês	<b>250,00</b>
<b>Desinfecção efluente final</b>		
Dosagem - puro	mg/l	7,0
Dosagem - puro	Kg/m <sup>3</sup>	0,007
Consumo médio hipoclorito - puro	Kg/mês	283
% de hipoclorito ativo comercial	%	10
Consumo médio hipoclorito comercial	Kg/mês	2830
Custo unitário do hipoclorito comercial	R\$ /Kg	0,62
Custo mensal	R\$ / mês	<b>1.754,89</b>
<b>Custo total mensal</b>	<b>R\$/mês</b>	<b>9.803,19</b>
<b>Custo total</b>	<b>R\$/m<sup>3</sup> tratado</b>	<b>0,242</b>

**Tabela 10-10 – Custo unitário de operação da modalidade lagoa facultativa composto por meio de valor presente líquido - VPL**

Ano	Tx Juros anual - %	Fator	Total de desembolsos - R\$	VPL - R\$	Vazão anual (m <sup>3</sup> /ano)	VPL – vazão (m <sup>3</sup> /ano)
2010	12,00	1,0000	52.345,11	52.345,11	275892	275892
2011	12,00	1,1200	52.345,11	46.736,71	275892	246333
2012	12,00	1,2544	52.345,11	41.729,20	275892	219940
2013	12,00	1,4049	52.345,11	37.258,22	275892	196375
2014	12,00	1,5735	52.345,11	33.266,27	275892	175335
2015	12,00	1,7623	52.345,11	29.702,02	275892	156549
2016	12,00	1,9738	52.345,11	26.519,66	275892	139776
2017	12,00	2,2107	52.345,11	23.678,27	275892	124800
2018	12,00	2,4760	52.345,11	21.141,31	275892	111428
2019	12,00	2,7731	52.345,11	18.876,17	275892	99490
2020	12,00	3,1058	244.733,21	78.797,55	275892	88830
2021	12,00	3,4785	52.345,11	15.047,97	275892	79312
2022	12,00	3,8960	52.345,11	13.435,69	275892	70815
2023	12,00	4,3635	52.345,11	11.996,15	275892	63227
2024	12,00	4,8871	52.345,11	10.710,85	275892	56453
2025	12,00	5,4736	52.345,11	9.563,26	275892	50405
2026	12,00	6,1304	52.345,11	8.538,62	275892	45004
2027	12,00	6,8660	52.345,11	7.623,77	275892	40182
2028	12,00	7,6900	52.345,11	6.806,94	275892	35877
2029	12,00	8,6128	52.345,11	6.077,62	275892	32033
2030	12,00	9,6463	244.733,21	25.370,70	275892	28601
2031	12,00	10,8038	52.345,11	4.845,04	275892	25537
2032	12,00	12,1003	52.345,11	4.325,93	275892	22800
2033	12,00	13,5523	52.345,11	3.862,44	275892	20358
2034	12,00	15,1786	52.345,11	3.448,61	275892	18176
2035	12,00	17,0001	52.345,11	3.079,11	275892	16229
2036	12,00	19,0401	52.345,11	2.749,21	275892	14490
2037	12,00	21,3249	52.345,11	2.454,65	275892	12938
2038	12,00	23,8839	210.996,39	8.834,26	275892	11551
			VPL	<b>558.821,32</b>		<b>2.478.734,68</b>
			Volume mensal tratado	22991	m <sup>3</sup>	
			Volume anual tratado	275892	m <sup>3</sup>	
			<b>Custo unitário</b>	<b>0,225</b>	<b>R\$/m<sup>3</sup> tratado</b>	
			Gradeamento e remoção de areia		4,8%	
			Remoção de escumas		12,6%	
			Remoção e disposição de lodo		15,8%	
			Custos dos funcionários, incluso transporte		27,8%	
			Capina, jardinagem, manutenção patrimonial		19,7%	
			Desinfecção efluente final		19,3%	

**Tabela 10-11– Custo unitário de operação da modalidade lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação composto por meio de valor presente líquido - VPL**

<b>Ano</b>	<b>Tx Juros anual - %</b>	<b>Fator</b>	<b>Total de desembolsos – R\$</b>	<b>VPL - R\$</b>	<b>Vazão anual (m³/ano)</b>	<b>VPL – vazão (m³/ano)</b>
2010	12,00	1,0000	56.876,53	56.876,53	409329	409329
2011	12,00	1,1200	56.876,53	50.782,61	409329	365472
2012	12,00	1,2544	56.876,53	45.341,62	409329	326314
2013	12,00	1,4049	56.876,53	40.483,59	409329	291352
2014	12,00	1,5735	56.876,53	36.146,06	409329	260136
2015	12,00	1,7623	56.876,53	32.273,27	409329	232264
2016	12,00	1,9738	56.876,53	28.815,42	409329	207379
2017	12,00	2,2107	56.876,53	25.728,05	409329	185159
2018	12,00	2,4760	56.876,53	22.971,48	409329	165321
2019	12,00	2,7731	56.876,53	20.510,25	409329	147608
2020	12,00	3,1058	309.325,04	99.594,38	409329	131793
2021	12,00	3,4785	56.876,53	16.350,64	409329	117672
2022	12,00	3,8960	56.876,53	14.598,79	409329	105064
2023	12,00	4,3635	56.876,53	13.034,63	409329	93808
2024	12,00	4,8871	56.876,53	11.638,06	409329	83757
2025	12,00	5,4736	56.876,53	10.391,13	409329	74783
2026	12,00	6,1304	56.876,53	9.277,79	409329	66770
2027	12,00	6,8660	56.876,53	8.283,74	409329	59616
2028	12,00	7,6900	56.876,53	7.396,20	409329	53229
2029	12,00	8,6128	56.876,53	6.603,75	409329	47526
2030	12,00	9,6463	309.325,04	32.066,73	409329	42434
2031	12,00	10,8038	56.876,53	5.264,47	409329	37887
2032	12,00	12,1003	56.876,53	4.700,42	409329	33828
2033	12,00	13,5523	56.876,53	4.196,80	409329	30204
2034	12,00	15,1786	56.876,53	3.747,15	409329	26967
2035	12,00	17,0001	56.876,53	3.345,67	409329	24078
2036	12,00	19,0401	56.876,53	2.987,20	409329	21498
2037	12,00	21,3249	56.876,53	2.667,14	409329	19195
2038	12,00	23,8839	258.835,33	10.837,25	409329	17138
			<b>VPL</b>	<b>626.910,81</b>		<b>3.677.581,55</b>
Volume mensal tratado				34111	m³	
Volume anual tratado				409329	m³	
<b>Custo unitário</b>				<b>0,170</b>	<b>R\$/m³ tratado</b>	
Gradeamento e remoção de areia				4,8%		
Remoção de escumas				11,2%		
Remoção e disposição de lodo				18,5%		
Custos dos funcionários, incluso transporte				23,0%		
Capina, jardinagem, manutenção patrimonial				42,4%		
Desinfecção efluente final				0,0%		

**Tabela 10-12 - Custo unitário de operação da modalidade lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa composto por meio de valor presente líquido - VPL**

Ano	Tx Juros anual - %	Fator	Total de desembolsos - R\$	VPL - R\$	Vazão anual (m <sup>3</sup> /ano)	VPL - vazão (m <sup>3</sup> /ano)
2010	12,00	1,0000	62.192,75	62.192,75	329702	329702
2011	12,00	1,1200	62.192,75	55.529,24	329702	294377
2012	12,00	1,2544	62.192,75	49.579,68	329702	262837
2013	12,00	1,4049	62.192,75	44.267,57	329702	234676
2014	12,00	1,5735	62.192,75	39.524,62	329702	209532
2015	12,00	1,7623	62.192,75	35.289,84	329702	187082
2016	12,00	1,9738	62.192,75	31.508,78	329702	167037
2017	12,00	2,2107	62.192,75	28.132,84	329702	149141
2018	12,00	2,4760	62.192,75	25.118,61	329702	133161
2019	12,00	2,7731	62.192,75	22.427,33	329702	118894
2020	12,00	3,1058	208.934,94	67.271,46	329702	106155
2021	12,00	3,4785	62.192,75	17.878,93	329702	94782
2022	12,00	3,8960	62.192,75	15.963,33	329702	84626
2023	12,00	4,3635	62.192,75	14.252,97	329702	75559
2024	12,00	4,8871	62.192,75	12.725,87	329702	67464
2025	12,00	5,4736	62.192,75	11.362,38	329702	60235
2026	12,00	6,1304	62.192,75	10.144,98	329702	53782
2027	12,00	6,8660	62.192,75	9.058,02	329702	48019
2028	12,00	7,6900	62.192,75	8.087,52	329702	42874
2029	12,00	8,6128	62.192,75	7.221,00	329702	38281
2030	12,00	9,6463	208.934,94	21.659,61	329702	34179
2031	12,00	10,8038	62.192,75	5.756,54	329702	30517
2032	12,00	12,1003	62.192,75	5.139,76	329702	27247
2033	12,00	13,5523	62.192,75	4.589,08	329702	24328
2034	12,00	15,1786	62.192,75	4.097,39	329702	21721
2035	12,00	17,0001	62.192,75	3.658,38	329702	19394
2036	12,00	19,0401	62.192,75	3.266,41	329702	17316
2037	12,00	21,3249	62.192,75	2.916,44	329702	15461
2038	12,00	23,8839	179.586,50	7.519,16	329702	13804
			VPL	<b>626.140,49</b>		<b>2.962.185,75</b>
Volume mensal tratado				27475	m <sup>3</sup>	
Volume anual tratado				329702	m <sup>3</sup>	
Custo unitário				<b>0,211</b>	R\$/m <sup>3</sup> tratado	
Gradeamento e remoção de areia				4,5%		
Remoção de escumas				11,3%		
Remoção e disposição de lodo				10,8%		
Custos dos funcionários, incluso transporte				23,0%		
Capina, jardinagem, manutenção patrimonial				29,9%		
Desinfecção efluente final				20,5%		

**Tabela 10-13 - Custo unitário de operação da modalidade lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e de maturação composto por meio de valor presente líquido - VPL**

Ano	Tx Juros anual - %	Fator	Total de desembolsos – R\$	VPL - R\$	Vazão anual (m <sup>3</sup> /ano)	VPL – vazão (m <sup>3</sup> /ano)
2010	12,00	1,0000	41.375,59	41.375,59	413683	413683
2011	12,00	1,1200	41.375,59	36.942,49	413683	369360
2012	12,00	1,2544	41.375,59	32.984,37	413683	329786
2013	12,00	1,4049	41.375,59	29.450,33	413683	294452
2014	12,00	1,5735	41.375,59	26.294,93	413683	262903
2015	12,00	1,7623	41.375,59	23.477,62	413683	234735
2016	12,00	1,9738	41.375,59	20.962,16	413683	209585
2017	12,00	2,2107	41.375,59	18.716,22	413683	187129
2018	12,00	2,4760	41.375,59	16.710,91	413683	167080
2019	12,00	2,7731	41.375,59	14.920,45	413683	149178
2020	12,00	3,1058	274.474,91	88.373,57	413683	133195
2021	12,00	3,4785	41.375,59	11.894,49	413683	118924
2022	12,00	3,8960	41.375,59	10.620,08	413683	106182
2023	12,00	4,3635	41.375,59	9.482,22	413683	94806
2024	12,00	4,8871	41.375,59	8.466,27	413683	84648
2025	12,00	5,4736	41.375,59	7.559,17	413683	75578
2026	12,00	6,1304	41.375,59	6.749,25	413683	67481
2027	12,00	6,8660	41.375,59	6.026,12	413683	60251
2028	12,00	7,6900	41.375,59	5.380,46	413683	53795
2029	12,00	8,6128	41.375,59	4.803,99	413683	48031
2030	12,00	9,6463	274.474,91	28.453,93	413683	42885
2031	12,00	10,8038	41.375,59	3.829,71	413683	38290
2032	12,00	12,1003	41.375,59	3.419,38	413683	34188
2033	12,00	13,5523	41.375,59	3.053,02	413683	30525
2034	12,00	15,1786	41.375,59	2.725,91	413683	27254
2035	12,00	17,0001	41.375,59	2.433,85	413683	24334
2036	12,00	19,0401	41.375,59	2.173,08	413683	21727
2037	12,00	21,3249	41.375,59	1.940,25	413683	19399
2038	12,00	23,8839	227.855,04	9.540,12	413683	17321
			<b>VPL</b>	<b>478.759,94</b>		<b>3.716.704,76</b>
Volume mensal tratado				34474	m <sup>3</sup>	
Volume anual tratado				413683	m <sup>3</sup>	
<b>Custo unitário</b>				<b>0,129</b>	<b>R\$/m<sup>3</sup> tratado</b>	
Gradeamento e remoção de areia				6,4%		
Remoção de escumas				14,7%		
Remoção e disposição de lodo				22,4%		
Custos dos funcionários, incluso transporte				30,1%		
Capina, jardinagem, manutenção patrimonial				26,5%		
Desinfecção efluente final				0,0%		



## 11 ANEXO II – MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS ALTERNATIVAS DE ADAPTAÇÃO AO SISTEMA EXISTENTE

### 11.1 Alternativa 1 - Conversão da lagoa anaeróbia para lagoa aerada de mistura completa seguida de decantação

**Tabela 11-1 – Seqüência de cálculos da conversão da lagoa anaeróbia para lagoa aerada de mistura completa seguido de decantação**

Ano	População Doméstica	Vazão média (com infiltração) (l/s)	Vazão máxima diária (l/s)	Vazão máxima horária (l/s)	Volume da lagoa aerada (ex anaeróbia) (m <sup>3</sup> )	So - Conc. DBO afluente (mg/l)	Tdh Q. máxima diária (dias)	Carga orgânica afluente (kgDBO/dia)	Y adotado
2009	5.524	7,87	9,15	12,99	3000	438,60	3,79	298	0,6
2010	5.676	8,22	9,56	13,55	3000	431,43	3,63	307	0,6
2011	5.800	8,55	9,94	14,09	3000	423,89	3,49	313	0,6
2012	5.926	8,87	10,31	14,61	3000	417,45	3,37	320	0,6
					(suprimida*)				
2036	8.579	14,69	17,00	23,94	3000	364,90	2,04	463	0,6
2037	8.700	14,99	17,35	24,41	3000	362,69	2,00	470	0,6
2038	8.822	15,29	17,69	24,89	3000	360,61	1,96	476	0,6
2039	8.946	15,60	18,05	25,38	3000	358,44	1,92	483	0,6
							2 a 4 dias		

\*As informações entre 2013 a 2035 estão de posse do autor e não alteram os resultados

#### Seqüência 1 da Tabela 11-1

Kd adotado	Profundidade lagoa (m)	A (m <sup>2</sup> )	ta (oC)	te (oC)	f (m/dia)	TL (°C)	K 20oC (l/mg.dia)	KT (l/mg.d)	DBO solúvel saída da lagoa - S (mg/l)	SSV estimada (mg/l)
0,06	3	1337	15	20	0,49	17,55	0,052	0,048	11,28	208,85
0,06	3	1337	15	20	0,49	17,60	0,052	0,048	11,67	206,78
0,06	3	1337	15	20	0,49	17,65	0,052	0,048	12,03	204,28
0,06	3	1337	15	20	0,49	17,70	0,052	0,048	12,38	202,17
					(suprimida)					
0,06	3	1337	15	20	0,49	18,30	0,052	0,049	18,68	185,06
0,06	3	1337	15	20	0,49	18,32	0,052	0,049	19,00	184,10
0,06	3	1337	15	20	0,49	18,34	0,052	0,049	19,32	183,20
0,06	3	1337	15	20	0,49	18,36	0,052	0,049	19,66	182,23

### Seqüência 2 da Tabela 11-1

Conc. SSV final (85 % rem.)	Sp - Conc. DBO final particulada (mg/l)	S - Conc. DBO final total (mg/l)	Efic. Remoção DBO solúvel (%)	Efic. Remoção DBO total (%)	RO (para Q. max. Diária) (Kg O <sup>2</sup> /dia)	RO (para Q. max. Diária) (Kg O <sup>2</sup> /h)	Eficiências Alta rotação (kg O <sub>2</sub> /CV x h)
31,33	18,80	30,08	97,43	<b>93,14</b>	405,47	16,89	1,00
31,02	18,61	30,28	97,30	<b>92,98</b>	415,86	17,33	1,00
30,64	18,39	30,41	97,16	<b>92,82</b>	424,29	17,68	1,00
30,33	18,20	30,58	97,03	<b>92,68</b>	432,82	18,03	1,00
				(suprimida)			
27,76	16,66	35,34	94,88	<b>90,32</b>	610,40	25,43	1,00
27,62	16,57	35,57	94,76	<b>90,19</b>	618,14	25,76	1,00
27,48	16,49	35,81	94,64	<b>90,07</b>	625,96	26,08	1,00
27,34	16,40	36,06	94,52	<b>89,94</b>	633,85	26,41	1,00

### Seqüência 3 da Tabela 11-1

EO Padrão - Eficiência Alta rotação (kg O <sub>2</sub> /kWx h)	Índice de eficiência de oxigenação no campo (adotado)	EO Campo (Kg O <sub>2</sub> / kWxh)	Potência total de aeração necessária (kW)	Potência total de aeração necessária - Alta rotação (CV)	Densidade de potência (W/m <sup>3</sup> )	Área da lagoa (m <sup>2</sup> )	Potência de cada aerador adotado (CV)	Numero de aeradores
1,359	0,55	0,75	22,61	31	7,54	1337	5	6
1,359	0,55	0,75	23,19	32	7,73	1337	5	6
1,359	0,55	0,75	23,66	32	7,89	1337	5	6
1,359	0,55	0,75	24,13	33	8,04	1337	5	7
				(suprimida)				
1,359	0,55	0,75	34,03	46	11,34	1337	5	9
1,359	0,55	0,75	34,47	47	11,49	1337	5	9
1,359	0,55	0,75	34,90	47	11,63	1337	5	9
1,359	0,55	0,75	35,34	48	11,78	1337	5	10

### Seqüência 4 da Tabela 11-1

Numero de aeradores - adotado para garantir a mistura	Diâmetro de influencia de cada aerador para mistura(m)	Área de influencia de cada aerador para mistura (m)	Área total misturada (m <sup>2</sup> )	Diâmetro de influencia de cada aerador para aeração(m)	Área de influencia de cada aerador para aeração (m)	Área total aerada (m <sup>2</sup> )	Tempo de detenção adotado para clarificação (d)
8	15	177	1414	45	1590	12723	1,0
8	15	177	1414	45	1590	12723	1,0
8	15	177	1414	45	1590	12723	1,0
8	15	177	1414	45	1590	12723	1,0
				(suprimida)			
9	15	177	1590	45	1590	14314	1,0
9	15	177	1590	45	1590	14314	1,0
9	15	177	1590	45	1590	14314	1,0
10	15	177	1767	45	1590	15904	1,0

## Seqüência 5 da Tabela 11-1

Volume de clarificação (m <sup>3</sup> )	Carga anual SSV afluente (kgSSV/ano)	Carga anual SSf afluente (kgSSf/ano)	Carga anual SSV retido - Mov (kgSSV/ano)	Carga anual SSf retido - Mof (kgSSf/ano)	Fração de sólidos secos adot.(%)	Volume de lodo acumulado por ano (m <sup>3</sup> )	Volume total de lagoas necessário (m <sup>3</sup> )	Volume restante da 1ª lagoa (m <sup>3</sup> )
791	60277	20092	51236	17079	8	717	1508	1980
826	62310	20770	52963	17654	8	742	1567	1980
858	64012	21337	54410	18137	8	762	1620	1980
890	65708	21903	55852	18617	8	782	1673	1980
				(suprimida)				
1469	99240	33080	84354	28118	8	1181	2650	1980
1499	100714	33571	85607	28536	8	1199	2698	1980
1528	102202	34067	86872	28957	8	1216	2745	1980
1559	103705	34568	88149	29383	8	1234	2794	1980

### Observações

Estimativa de temperatura da lagoa no inverno

$$TL = [ ( A \times f \times ta ) + ( Q \times Te ) ] / [ ( A \times f ) + Q ]$$

TL = Temperatura da lagoa (°C)

A = Área superficial da lagoa = volume /altura

Q = vazão média - m<sup>3</sup>/d

ta = temperatura média do ar no mês mais frio (adotado)

te = temperatura média dos esgotos

f = coeficiente de troca de calor

$$KT = K 20^{\circ}C \times 1,035^{(TL - 20)}$$

$$K20 \text{ oC} = 0,052$$

De acordo com Metcalf & Eddy, os valores dos coeficientes cinéticos e estequiométricos para estimativa de SSV no meio líquido são:

Y = 0,4 a 0,8 Coeficiente de produção de biomassa

Kd = 0,03 a 0,08 Coeficiente de respiração endógena

S = DBO solúvel no efluente das lagoas aeradas

$$S = (1 + Kd \times t_{dh}) / (KT \times Y \times t_{dh})$$

$$SSV \text{ estimada} = [Y \times (S_o - S)] / (1 + Kd \times t_{dh})$$

Para estimativa da concentração de DBO particulada, utiliza-se a concentração de SSV do efluente final, considerado que a lagoa de sedimentação remova 85 % do SSV do efluente do tanque de aeração.

$$Conc. \text{ SSV final (85 \% rem.)} = 0,15 \times SSV \text{ estimada}$$

De acordo com Arceivala, o valor dos K' está na faixa de 0,01 a 0,03

Sp = DBO particulada = 0,3 a 0,6 mgDBO / mg SSV final (85% rem.)

Adotando 0,6:

$$Sp - DBO \text{ particulada} = 0,6 \text{ mgDBO} \times SSV \text{ final (85\% rem.) (mg/l)}$$

A concentração final de DBO - S, e a Efic. de remoção são dados pela equação:

$$S = S_s + S_p$$

$$Efic. \text{ Remoção DBO} = [(S_o - S) / S_o] \times 100$$

### Lagoas de sedimentação

De acordo com von Sperling, os critérios para dimensionamento da lagoa de sedimentação são os seguintes:

Volume destinado a clarificação:

Tdh > = 1 d (Metcalf & Eddy: < 2 dias)

Profundidade > = 1,5 m

Volume total da lagoa

Tdh final de plano < = 2 d

Profundidade > = 3 m

Estimativa de lodo acumulado, (modificado de Arceivala, 1981)

$$V_t = [(M_{ov} / K_{lv}) \times (1 - e^{-K_{lv}t}) + t \times M_{of}] / 1000 \times \text{fração de sólidos secos}$$

onde:

$V_t$  = volume de lodo acumulado após período de  $t$  anos

$M_{ov}$  = massa de sólidos em suspensão voláteis retidos na lagoa por unidade de tempo (kg SSV/ano)

$M_{of}$  = massa de sólidos em suspensão fixos retidos na lagoa por unidade de tempo (kg SSf/ano)

$K_{lv}$  = Coeficiente de degradação dos sólidos em suspensão voláteis no lodo em condições anaeróbias ( $\text{ano}^{-1}$ ).  $K_{lv}$  varia de 0,4 a 0,6  $\text{ano}^{-1}$ , com uma valor média de 0,5  $\text{ano}^{-1}$

$t$  = período de anos (ano)

Fração de sólidos secos = fração de sólidos secos no lodo = 1 - fração de umidade no lodo

Volume de clarificação =  $t \times h \text{ clarif.} \times \text{vazão máxima diária (m}^3/\text{d)}$

Área requerida de lagoa =  $\text{Volume} \times 1,10 \text{ (taludes)} / h \text{ clarif.}$

Cargas de lodo afluentes às lagoas de seimentação:

Carga SSV =  $\text{vazão máxima diária (m}^3/\text{d)} \times \text{Conc. SSV (kg/m}^3) \times 365 \text{ d/ano}$

Carga SSf =  $\text{vazão máxima diária (m}^3/\text{d)} \times \text{Conc. SSV (kg/m}^3) / 3 \times 365 \text{ d/ano}$

sendo SSf = 1/3 SSV

$M_{ov}$  e  $M_{of}$ , considerados que a lagoa retém 85 % dos sólidos afluentes.

Fração de sólidos secos, considerado 8 %, ou 92 % de umidade

**Tabela 11-2 - Resumo dos custos da alternativa 1**

Item	Quant.	P.unit	Total – R\$
Aerador	1,00	13.000,00	13.000,00
QEC	1,00	12.000,00	12.000,00
Cabo	70,00	66,00	4.620,00
Subtotal			29.620,00
Eventuais	15,0%		4.443,00
Total			34.063,00
Construção Civil	1,00	40.000,00	40.000,00
Adaptação da ETE	1,00	400.000,00	600.000,00
10 aeradores 5 CV	10,00	34.063,00	340.630,00
<b>Total</b>			<b>980.630,00</b>

## 11.2 - 2ª e 3ª Alternativas: Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa

### Configuração:

1a lagoa: totalmente facultativa aerada

2a lagoa: só facultativa

3a lagoa - só facultativa - nova

Proporção da vazão e população para garantir eficiência na lagoa facultativa aeróbia

41 %

Contribuição per capita de DBO

54 g DBO/hab x d

**Tabela 11-3 – Memória de cálculo da 1ª lagoa da alternativa conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa**

Ano	População Doméstica	Vazão média (com infiltração) (l/s)	População Doméstica	Vazão média (com infiltração) (l/s)	Volume da lagoa aerada (ex anaeróbia) (m³)	So - Conc. DBO afluente (mg/l)	Tdh Q. máxima diária (dias)	Carga orgânica afluente (kgDBO/dia)
2009	5524	7,87	2.265	3,23	4980	438,60	17,86	122
2010	5676	8,22	2.327	3,37	4980	431,43	17,10	126
2011	5800	8,55	2.378	3,51	4980	423,89	16,44	128
2012	5926	8,87	2.430	3,64	4980	417,45	15,85	131
					(suprimida*)			
2036	8579	14,69	3.517	6,02	4980	364,90	9,57	190
2037	8700	14,99	3.567	6,15	4980	362,69	9,38	193
2038	8822	15,29	3.617	6,27	4980	360,61	9,19	195
2039	8946	15,60	3.668	6,40	4980	358,44	9,01	198

\*As informações entre 2013 a 2035 estão de posse do autor e não alteram os resultados

**Seqüência 1 da Tabela 11-3**

K adotado (d-1)	S - Conc. DBO solúvel no efluente (mg/l)	relação de DBO/SS	SS no efluente final (mg/l)	DBO part. (mg/l)	DBO total (mg/l)	Efic. Remoção DBO total (%)	RO (para Q. max. Diária) (Kg O2/dia)	RO (para Q. max. Diária) (Kg O2/h)	Eficiências Alta rotação (kg O2/CV x h)	EO Padrão - Eficiência Alta rotação (kg O2/kW x h)
0,7	32	0,35	60	21	53,49	87,81	135,89	5,66	1,00	1,359
0,7	33	0,35	60	21	54,27	87,42	139,17	5,80	1,00	1,359
0,7	34	0,35	60	21	54,89	87,05	141,77	5,91	1,00	1,359
0,7	35	0,35	60	21	55,52	86,70	144,42	6,02	1,00	1,359
							(suprimida)			
0,7	47	0,35	60	21	68,41	81,25	198,32	8,26	1,00	1,359
0,7	48	0,35	60	21	68,95	80,99	200,58	8,36	1,00	1,359
0,7	48	0,35	60	21	69,50	80,73	202,87	8,45	1,00	1,359
0,7	49	0,35	60	21	70,04	80,46	205,16	8,55	1,00	1,359

### Seqüência 2 da Tabela 11-3

Potência total de aeração necessária (kW)	Potência total de aeração necessária - Alta rotação (CV)	Densidade de potência (W/m <sup>3</sup> )	Área da lagoa (m <sup>2</sup> )	Potência de cada aerador adotado (CV)	Numero de aeradores	Numero de aeradores adotados	Diâmetro de influencia de cada aerador para mistura(m)	Área de influência de cada aerador para mistura (m)
7,58	10	1,52	2530	3	3,4	3,0	12	113
7,76	11	1,56	2530	3	3,5	3,0	12	113
7,90	11	1,59	2530	3	3,6	4,0	12	113
8,05	11	1,62	2530	3	3,6	4,0	12	113
							(suprimida)	
11,06	15	2,22	2530	3	5,0	5,0	12	113
11,18	15	2,25	2530	3	5,1	5,0	12	113
11,31	15	2,27	2530	3	5,1	5,0	12	113
11,44	16	2,30						

### Seqüência 3 da Tabela 11-3

Área total misturada (m <sup>2</sup> )	Diâmetro de influencia de cada aerador para aeração(m)	Área de influencia de cada aerador para aeração (m)	Área total aerada (m <sup>2</sup> )
339	35	962	2886
339	35	962	2886
452	35	962	3848
452	35	962	3848
	(suprimida)		
565	35	962	4811
565	35	962	4811
565	35	962	4811

**Tabela 11-4 – Verificação de capacidade da 2ª lagoa**

Lagoa facultativa			
Volume	2980	m <sup>3</sup>	
Área	2550	m <sup>2</sup>	
Profundidade	1,5	m	
Coeficiente de remoção de DBO - K	0,3	d <sup>-1</sup>	(0,30 a 0,35 d <sup>-1</sup> )
Sólidos suspensos SS no efluente final	80	mg/l	
Admitindo relação de DBO/SS	0,35	mg/l DBO /mg/l SS	
DBO particulada	28	mg/l	
Proporção da vazão e população para garantir eficiência na lagoa facultativa aeróbia	9	%	

**Tabela 11-5 - Memória de cálculo da 2ª lagoa da alternativa conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa**

Ano	População Doméstica	Vazão média (com infiltração) (l/s)	So - Conc. DBO afluente (mg/l)	Carga orgânica afluente (kgDBO/dia)	Taxa de aplicação superficial - (KgDBO/ha x d)	TDH - Lagoa Facultativa (dias)	Conc. DBO solúvel efluente - S.Sol. (mg/L)	Conc. DBO part. efluente - S.Part. (mg/L)	Conc. DBO Total (mg/l)	Efic. Rem. final DBO - (mg/L)
2009	497	0,71	438,60	26,85	105,28	48,69	28,11	28,00	56,11	87,21
2010	511	0,74	431,43	27,59	108,18	46,61	28,80	28,00	56,80	86,84
2011	522	0,77	423,89	28,19	110,54	44,81	29,35	28,00	57,35	86,47
2012	533	0,80	417,45	28,80	112,94	43,19	29,91	28,00	57,91	86,13
				(suprimida*)						
2036	772	1,32	364,90	41,69	163,51	26,08	41,35	28,00	69,35	80,99
2037	783	1,35	362,69	42,28	165,81	25,56	41,84	28,00	69,84	80,74
2038	794	1,38	360,61	42,88	168,14	25,06	42,33	28,00	70,33	80,50
2039	805	1,40	358,44	43,48	170,50	24,57	42,82	28,00	70,82	80,24

\*As informações entre 2013 a 2035 estão de posse do autor e não alteram os resultados

## 11.2.1 Pré dimensionamento da 3ª lagoa das alternativas 2 e 3

Proporção de vazão /população = vazão total/população - % vazão/população para 1a lagoa - % vazão/população para 2a lagoa

Vazão média total de final de plano: 15,60 l/s  
População total de final de plano: 8946 hab.

% proporcional para nova lagoa: 50 %

Para nova lagoa:

Vazão média total de final de plano: 7,80 l/s  
População total de final de plano: 4473 hab.

Vazão total de projeto - 2039 (máxima média): 7,80 L/s  
Vazão total de projeto - 2039 (máxima média): 673,9 m<sup>3</sup>/d  
População 2039: 4.473 hab.  
Vazão de projeto "per capita" - 2039: 0,151 (m<sup>3</sup>/d) / hab  
Contribuição de DBO per capita: 54 g. DBO/d  
A carga orgânica afluente é dado pelo equação:

Carga orgânica afluente = Contribuição "per capita" de DBO x população / 1000  
Carga orgânica afluente = 241,55 Kg DBO / dia

A concentração de DBO afluente é estimado pela equação:

Concentração DBO afluente = Contribuição "per capita" de DBO x população / vazão  
Concentração DBO afluente: 358,44 mg/l

Considerando tratamento anaeróbio a montante da Lagoa a ser projetada

Eficiência de remoção 0,00 %  
Carga orgânica afluente 241,55 Kg DBO / dia  
Concentração DBO afluente - So 358,44 mg/l

Taxa de aplicação adotada	170	Kg DBO/ha x d	
A área superficial total é dada pela equação:			
Área Superficial total = Carga orgânica total / Taxa de aplicação superficial adotada			
Área Superficial total (necessária para fim de plano):		1,4209	ha
Área Superficial total (necessária para fim de plano):		<b>14.209</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
Adotando numero de células:	2	células	
Para cada lagoa, a área superficial será de:		7.104	m <sup>2</sup>
Adotando:			
Profundidade de lâmina líquida	1,5	m	
Considerando a inclinação dos talude interno na proporção:			
Vertical:	1,00	m	
Horizontal:	2,00	m	
A projeção horizontal do talude será de:	3,00	m	
Medidas aproximadas de cada lagoa, adotando L = 2 x B :			
Largura:	60	m	
Comprimento:	119	m	
Volume de cada lagoa = ( área sup. a ser ampliada x prof. da lâmina líquida) - Vol. dos taludes			
Volume de cada lagoa =		9.879	m <sup>3</sup>
Tempo de detenção total = Volume total do sistema/ vazão média final de plano			
Tempo de detenção total final de plano =		29,32	dias

**Tabela 11-6 - Custos estimados para 2ª alternativa**

Item	Quant	Punit	Total
Aerador - 3 CV	1,00	9.000,00	9.000,00
QEC	1,00	12.000,00	12.000,00
Cabo	70,00	66,00	4.620,00
Subtotal			25.620,00
Eventuais	15,0%		3.843,00
Total			29.463,00
Aerador bx pot.	1,00	3.000,00	3.000,00
QEC	1,00	12.000,00	12.000,00
Cabo	70,00	66,00	4.620,00
Total			19.620,00
1a Etapa			
Construção Civil	1,00	20.000,00	20.000,00
Adaptação da ETE	1,00	200.000,00	200.000,00
aeradores conv.	4,00	29.463,00	117.852,00
aeradores	4,00	19.620,00	78.480,00
Total			416.332,00
2a etapa			
aeradores	2,00	19.620,00	39.240,00
total			39.240,00
<hr/>			
Custo total da área		52.093,75	R\$
Custo total do emissário		83.555,28	R\$
Investimento da etapa imediata		1.068.091,03	R\$
Investimento nas demais etapas		555.350,00	R\$

**Tabela 11-7 - Custos estimados para 3ª alternativa**

Custo total da área	52.093,75	R\$
Custo total do emissário	324.983,16	R\$
Investimento da etapa imediata	1.309.518,91	R\$
Investimento nas demais etapas	555.350,00	R\$

### 11.3 - 4ª Alternativa: conversão das lagoas anaeróbia e facultativa em lagoas aeradas facultativas, com ampliação e aprofundamento das lagoas existentes

**Divisão das vazões**

	Volume	%
Vazão para 1a lagoa - anaeróbia	4980	62,56
Vazão para 2a lagoa - facultativa	2980	37,44

**Tabela 11-8 - Memória de cálculo da 1ª lagoa da alternativa de conversão das lagoas anaeróbia e facultativa em lagoas aeradas facultativas, com ampliação e aprofundamento das lagoas existentes**

1a lagoa	População e vazões totais				População e vazões proporcionais				Volume da lagoa aerada (ex anaeróbia) (m³)	
	Ano	População Doméstica	Vazão média (com infiltração) (l/s)	Vazão máxima diária (l/s)	Vazão máxima horária (l/s)	População Doméstica	Vazão média (com infiltração) (l/s)	Vazão máxima diária (l/s)		Vazão máxima horária (l/s)
	2009	5524	7,87	9,15	12,99	3.456	4,92	5,73	8,13	4980
	2010	5676	8,22	9,56	13,55	3.551	5,14	5,98	8,48	4980
	2011	5800	8,55	9,94	14,09	3.629	5,35	6,22	8,81	4980
	2012	5926	8,87	10,31	14,61	3.707	5,55	6,45	9,14	4980
				(suprimida*)						
	2036	8579	14,69	17,00	23,94	5.367	9,19	10,64	14,98	4980
	2037	8700	14,99	17,35	24,41	5.443	9,38	10,85	15,27	4980
	2038	8822	15,29	17,69	24,89	5.519	9,57	11,07	15,57	4980
	2039	8946	15,60	18,05	25,38	5.597	9,76	11,29	15,88	4980

\*As informações entre 2013 a 2035 estão de posse do autor e não alteram os resultados

### Seqüência 1 da Tabela 11-8

P/ Q. média com 54 g DBO x hab x d	P/ Q. máx. diária	P/ Q. média com 54 g DBO x hab x d	Estimativa de S (DBO solúvel na saída)						
			So - Conc. DBO afluente (mg/l)	Tdh Q. máxima diária (dias)	Carga orgânica afluente (kgDBO/dia)	K adotado (d-1)	S - Conc. DBO solúvel no efluente (mg/l)	relação de DBO/SS	SS no efluente final (mg/l)
438,60	10,07	187	0,7	55	0,35	60	21	75,51	82,78
431,43	9,64	192	0,7	56	0,35	60	21	76,67	82,23
423,89	9,27	196	0,7	57	0,35	60	21	77,59	81,70
417,45	8,94	200	0,7	58	0,35	60	21	78,52	81,19
				(suprimida)					
364,90	5,42	290	0,7	76	0,35	60	21	97,14	73,38
362,69	5,31	294	0,7	77	0,35	60	21	97,88	73,01
360,61	5,21	298	0,7	78	0,35	60	21	98,62	72,65
358,44	5,11	302	0,7	78	0,35	60	21	99,37	72,28

### Seqüência 2 da Tabela 11-8

Necessidade de Aeração								
RO (para Q. max. Diária) (Kg O <sub>2</sub> /dia)	RO (para Q. max. Diária) (Kg O <sub>2</sub> /h)	Eficiências Alta rotação (kg O <sub>2</sub> /CV x h)	EO Padrão - Eficiência Alta rotação (kg O <sub>2</sub> /kWxh)	Índice de eficiência de oxigenação no campo (adotado)	EO Campo (Kg O <sub>2</sub> / kWxh)	Potência total de aeração necessária (kW)	Potência total de aeração necessária - Alta rotação (CV)	Densidade de potência (W/m <sup>3</sup> )
228,02	9,50	1,00	1,359	0,55	0,75	12,71	17	2,55
232,90	9,70	1,00	1,359	0,55	0,75	12,99	18	2,61
236,73	9,86	1,00	1,359	0,55	0,75	13,20	18	2,65
240,61	10,03	1,00	1,359	0,55	0,75	13,42	18	2,69
				(suprimida)				
318,51	13,27	1,00	1,359	0,55	0,75	17,76	24	3,57
321,60	13,40	1,00	1,359	0,55	0,75	17,93	24	3,60
324,72	13,53	1,00	1,359	0,55	0,75	18,11	25	3,64
327,83	13,66	1,00	1,359	0,55	0,75	18,28	25	3,67

> 3,0

### Seqüência 3 da Tabela 11-8

Aeração adotada								
Área da lagoa (m <sup>2</sup> )	Potência de cada aerador adotado (CV)	Numero de aeradores	Diâmetro de influencia de cada aerador para mistura(m)	Área de influencia de cada aerador para mistura (m)	Área total misturada (m <sup>2</sup> )	Diâmetro de influencia de cada aerador para aeração(m)	Área de influencia de cada aerador para aeração (m)	Área total aerada (m <sup>2</sup> )
2530	5	3	15	177	611	45	1590	5495
2530	5	4	15	177	624	45	1590	5612
2530	5	4	15	177	634	45	1590	5705
2530	5	4	15	177	644	45	1590	5798
				(suprimida)				
2530	5	5	15	177	853	45	1590	7675
2530	5	5	15	177	861	45	1590	7750
2530	5	5	15	177	869	45	1590	7825

**Tabela 11-9 - Memória de cálculo da 2ª lagoa da alternativa de conversão das lagoas anaeróbia e facultativa em lagoas aeradas facultativas, com ampliação e aprofundamento das lagoas existentes**

2a lagoa	População e vazões totais				População e vazões proporcionais				Volume da lagoa aerada (ex anaeróbia) (m <sup>3</sup> )	
	Ano	População Doméstica	Vazão média (com infiltração) (l/s)	Vazão máxima diária (l/s)	Vazão máxima horária (l/s)	População Doméstica	Vazão média (com infiltração) (l/s)	Vazão máxima diária (l/s)		Vazão máxima horária (l/s)
	2009	5.524	7,87	9,15	12,99	2.068	2,95	3,43	4,86	2980
	2010	5.676	8,22	9,56	13,55	2.125	3,08	3,58	5,07	2980
	2011	5.800	8,55	9,94	14,09	2.171	3,20	3,72	5,27	2980
	2012	5.926	8,87	10,31	14,61	2.219	3,32	3,86	5,47	2980
						(suprimida*)				
	2036	8.579	14,69	17,00	23,94	3.212	5,50	6,37	8,96	2980
	2037	8.700	14,99	17,35	24,41	3.257	5,61	6,49	9,14	2980
	2038	8.822	15,29	17,69	24,89	3.303	5,72	6,62	9,32	2980
	2039	8.946	15,60	18,05	25,38	3.349	5,84	6,76	9,50	2980

\*As informações entre 2013 a 2035 estão de posse do autor e não alteram os resultados

**Seqüência 1 da Tabela 11-9**

P/ Q. média com 54 g DBO x hab x d	P/ Q. máx. diária	P/ Q. média com 54 g DBO x hab x d	Estimativa de S (DBO solúvel na saída)									
			So - Conc. DBO afluente (mg/l)	Tdh Q. máxima diária (dias)	Carga orgânica afluente (kgDBO/dia)	K adotado (d-1)	S - Conc. DBO solúvel no efluente (mg/l)	relação de DBO/SS	SS no efluente final (mg/l)	DBO part. (mg/l)	DBO total (mg/l)	Efic. Remoção DBO total (%)
			438,60	10,07	112	0,7	55	0,35	80	28	82,51	81,19
			431,43	9,64	115	0,7	56	0,35	80	28	83,67	80,61
			423,89	9,27	117	0,7	57	0,35	80	28	84,59	80,04
			417,45	8,94	120	0,7	58	0,35	80	28	85,52	79,51
								(suprimida)				
			364,90	5,42	173	0,7	76	0,35	80	28	104,14	71,46
			362,69	5,31	176	0,7	77	0,35	80	28	104,88	71,08
			360,61	5,21	178	0,7	78	0,35	80	28	105,62	70,71
			358,44	5,11	181	0,7	78	0,35	80	28	106,37	70,32

### Seqüência 2 da Tabela 11-9

Necessidade de Aeração								
RO (para Q. max. Diária) (Kg O <sub>2</sub> /dia)	RO (para Q. max. Diária) (Kg O <sub>2</sub> /h)	Eficiências Alta rotação (kg O <sub>2</sub> /CV x h)	EO Padrão - Eficiência <u>Alta rotação</u> (kg O <sub>2</sub> /kWx h)	Índice de eficiência de oxigenação no campo (adotado)	EO Campo (Kg O <sub>2</sub> / kWxh)	Potência total de aeração necessária (kW)	Potência total de aeração necessária - <u>Alta rotação</u> (CV)	Densidade de potência (W/m <sup>3</sup> )
136,44	5,69	1,00	1,359	0,55	0,75	7,61	10	2,55
139,37	5,81	1,00	1,359	0,55	0,75	7,77	11	2,61
141,66	5,90	1,00	1,359	0,55	0,75	7,90	11	2,65
143,98	6,00	1,00	1,359	0,55	0,75	8,03	11	2,69
				(suprimida)				
190,59	7,94	1,00	1,359	0,55	0,75	10,63	14	3,57
192,44	8,02	1,00	1,359	0,55	0,75	10,73	15	3,60
194,31	8,10	1,00	1,359	0,55	0,75	10,83	15	3,64
196,17	8,17	1,00	1,359	0,55	0,75	10,94	15	3,67

### Seqüência 3 da Tabela 11-9

Aeração adotada								
Área da lagoa (m <sup>2</sup> )	Potência de cada aerador adotado (CV)	Numero de aeradores	Diâmetro de influencia de cada aerador <u>para mistura</u> (m)	Área de influencia de cada aerador para mistura (m)	Área total misturada (m <sup>2</sup> )	Diâmetro de influencia de cada aerador <u>para aeração</u> (m)	Área de influencia de cada aerador para <u>aeração</u> (m)	Área total aerada (m <sup>2</sup> )
2530	5	2	15	177	365	45	1590	3288
2530	5	2	15	177	373	45	1590	3358
2530	5	2	15	177	379	45	1590	3414
2530	5	2	15	177	386	45	1590	3470
				(suprimida)				
2530	5	3	15	177	510	45	1590	4593
2530	5	3	15	177	515	45	1590	4637
2530	5	3	15	177	520	45	1590	4682

### Tabela 11-10 – Custos estimados para alternativa 4

Item	Quant.	P.unit	Total
Aerador - 5 CV	1,00	13.000,00	13.000,00
QEC	1,00	12.000,00	12.000,00
Cabo	180,00	66,00	11.880,00
Subtotal			36.880,00
Eventuais	15,0%		5.532,00
Total			42.412,00
Construção Civil	1,00	40.000,00	40.000,00
Adaptação da ETE	2,00	400.000,00	800.000,00
8 aeradores	8,00	42.578,75	340.630,00
Total			1.180.630,00

## 12 ANEXO III – QUESTIONÁRIO APLICADO

Um determinado município possui uma estação de tratamento de esgoto que deverá passar por ampliação de capacidade, ou ser desativada e construída outra em outro local a ser definido.

Para auxiliar a tomada de decisão sobre qual tecnologia deve ser implantada, e qual local deve ser escolhido, são apresentados na seqüência uma série de critérios, os quais você é convidado (a) a expor a importância de cada um, segundo seu ponto de vista, seus valores.

Por favor, leia cada um dos critérios, reflita, e marque um “X” no campo específico da folha anexa, indicando o grau de importância você acredita que deva ser dado no momento da tomada de decisão.

### 1 – Custo de implantação

A implantação de uma estação de tratamento de esgotos é, neste caso, um investimento com dinheiro público. Existe uma variedade de alternativas tecnológicas, cujos dados levantados em projetos existentes revelaram valores de custo de implantação variando de R\$ 80,00 / habitante a R\$ 1.300,00 / habitante.

Numa escala que vai de “O custo de implantação da ETE é irrelevante. O que vale são aspectos como: tecnologia de ponta, alta eficiência na remoção dos poluentes, beleza estética, impactos reduzidos” (**pouca importância**) até “O menor custo de implantação da ETE é o mais importante, independente de aspectos como: tecnologia de ponta, alta eficiência na remoção dos poluentes, beleza estética, impactos reduzidos” (**grande importância**), em sua opinião, qual o grau de importância que deve ser dado a este critério na tomada de decisão? Assinale com “X” no campo específico da folha anexa.

### 2 – Custos de operação e manutenção

O custo de operação e manutenção também depende do tipo de tecnologia adotada. Variáveis, como consumo de energia elétrica, quantidade de funcionários, produção e disposição de resíduos incidem sobre o este custo, que indiretamente é repassado ao munícipe.

Numa escala que vai de “O custo de operação da ETE é pouco importante. O que vale são baixos custos para a implantação do sistema” (**pouca importância**) até “O menor custo de operação da ETE é o que importa, independente dos custos de implantação do sistema” (**grande importância**), em sua opinião, qual o grau de importância que deve ser dado a este critério na tomada de decisão? Assinale com “X” no campo específico da folha anexa.

### 3 – Participação da Prefeitura Municipal no custo de implantação

A concessionária dos serviços de água e esgoto é a responsável pela implantação da obra e, em princípio, deverá optar pela solução que, ao mesmo tempo, apresente o menor custo e atenda integralmente a legislação vigente. Por outro lado, sempre existirão soluções que apresentam melhor performance que a solução de menor custo, seja no aspecto de dar proteção adicional ao meio ambiente, através de efluentes de melhor qualidade, seja no aspecto estético, através do melhoramento das instalações quanto à localização, embelezamento, controle de odor, paisagismo, entre outros. Soluções mais elaboradas apresentam maiores custos e sua implantação deve contar com a participação financeira da Prefeitura Municipal, seja com recursos próprios, seja pela busca de recursos nas esferas estadual ou federal em complementação ao recursos sob responsabilidade da concessionária dos serviços de água e esgoto.

Numa escala que vai de “A participação, ou não, da Prefeitura Municipal com recursos financeiros no projeto é pouco importante. O que vale é o aprimoramento geral da solução” (**pouca importância**) até “Não deve haver qualquer participação financeira da Prefeitura Municipal em nenhuma hipótese” (**grande importância**), em sua opinião, qual o grau de importância que deve ser dado a este critério na tomada de decisão? Assinale com “X” no campo específico da folha anexa.

#### 4 – Dificuldade para a desapropriação da área

O benefício público sempre tem prioridade quando há necessidade do uso de uma área particular para implantação de uma obra pública.

Independente dessa prioridade pode haver áreas em que não há oposição do proprietário na desapropriação e outras áreas em que a oposição é extrema, o que pode gerar mal estar entre as partes, desgaste político em função da necessidade de decreto de utilidade pública, e disputas judiciais. Além disso, a instalação da estação de tratamento de esgoto numa determinada área pode contribuir para desvalorização das áreas no entorno.

Numa escala que vai de “*Desapropriar a área mais indicada para o projeto independente da opinião do proprietário*” (**pouca importância**) até “*Somente desapropriar área se não houver oposição do proprietário, mesmo que ela não seja a melhor opção para o projeto*” (**grande importância**), em sua opinião, qual o grau de importância que deve ser dado a este critério na tomada de decisão? Assinale com “X” no campo específico da folha anexa.

#### 5 – Impacto urbanístico e arquitetônico

Existem tecnologias de tratamento de esgoto que são compactas, com estruturas de concreto armado e metálicas, que ocupam pouco espaço e que podem ser implantadas na zona urbana.

Existem outras formas que ocupam muito espaço e envolvem movimentação de solo, alterando a paisagem natural e que usualmente são implantadas no meio rural.

Qualquer que seja a solução, no entanto, há impactos urbanísticos e arquitetônicos associados que, na maioria das vezes, são negativos, sendo necessárias medidas de ordem estética para redução desses impactos que geram custos adicionais, tornando a obra mais cara.

Numa escala que vai de “*Os impactos urbanísticos e arquitetônicos têm pouca importância, o que vale é uma obra de baixo custo*” (**pouca importância**) até “*Os impactos urbanísticos e arquitetônicos devem ser reduzidos ao mínimo independente do custo das medidas necessárias*” (**grande importância**), em sua opinião, qual o grau de importância que deve ser dado a este critério na tomada de decisão? Assinale com “X” no campo específico da folha anexa.

#### 6 – Transporte de esgoto

Quanto mais distante for a estação de tratamento de esgoto, maior o investimento em obras para que o esgoto chegue até ela, por meio de tubulações e até mesmo por bombeamento.

Neste caso específico, se o local a ser escolhido for o atual existente não haverá necessidade de implantar obras de transporte, mas se for outro local mais distante, haverá necessidade de se implantar e operar o transporte do esgoto, elevando os custos tanto de implantação quanto de operação.

Numa escala que vai de “*A estação de tratamento de esgoto deve ser implantada em local distante de possíveis vizinhanças independente do custo das obras de transporte do esgoto*” (**pouca importância**) até “*A estação de tratamento de esgoto deve ser implantada no local que proporcione os menores custos das obras de transporte do esgoto*” (**grande importância**), em sua opinião, qual o grau de importância que deve ser dado a este critério na tomada de decisão? Assinale com “X” no campo específico da folha anexa.

#### 7 – Acessibilidade

Sendo a ETE instalada distante do meio urbano, e se a estrada for de terra, em dias chuvosos ficam intransitáveis. Por outro lado, se próxima à cidade o acesso não será prejudicado.

Numa escala que vai de “*A estação de tratamento de esgoto deve ser implantada no local mais adequado ao projeto independente do custo das obras para garantia de acesso*” (**pouca importância**) até “*A estação de tratamento de esgoto deve ser implantada no local que proporcione os menores custos para garantia de acesso*” (**grande importância**), em sua opinião, qual o grau de importância que deve ser dado a este critério na tomada de decisão? Assinale com “X” no campo específico da folha anexa.

## 8 – Valor “econômico” da área de implantação

Trata-se do benefício que a área a ser implantada ou ampliada a ETE traria à população nos dias de hoje, e futuramente, caso não ela não fosse utilizada para a implantação da obra.

Numa escala que vai de “A estação de tratamento de esgoto deve ser implantada no local mais adequado ao projeto, independente do benefício atual e futuro que pode ser proporcionado pela área onde será implantada a obra” (**pouca importância**) até “A estação de tratamento de esgoto deve ser implantada somente em locais em que não haja benefício relevante atual e futuro que pode ser proporcionado pela área onde será implantada a obra” (**grande importância**), em sua opinião, qual o grau de importância que deve ser dado a este critério na tomada de decisão? Assinale com “X” no campo específico da folha anexa.

## 9 – Qualidade do efluente final

Qualquer sistema de tratamento de esgoto deve, obrigatoriamente, atender os padrões mínimos exigido pela legislação. Porém, há possibilidade de atendimento de outros parâmetros de qualidade não exigidos pela legislação que proporcionam proteção adicional ao meio ambiente. Há possibilidade que muitos desses parâmetros venham a ser exigidos pela legislação no futuro em vista da crescente preocupação com a proteção ambiental.

Por exemplo, há efluentes tratados que saem das ETE's ricos em algas. Essas algas dão coloração esverdeada na água e são indesejáveis por motivos estéticos, de geração de gosto e odor em águas de abastecimento. A legislação vigente, no entanto, permite o lançamento de efluentes ricos em algas. Por outro lado, existem tecnologias em que efluente tratado não apresenta algas e tem aparência quase límpida, tecnologias essas que em geral implicam em obras mais caras.

Numa escala que vai de “O baixo custo da ETE é o que importa, desde que atendida a legislação vigente” (**pouca importância**) até “A estação de tratamento de esgoto deve ser implantada de modo a prover a melhor qualidade possível do efluente final, independente do custo da obra” (**grande importância**), em sua opinião, qual o grau de importância que deve ser dado a este critério na tomada de decisão? Assinale com “X” no campo específico da folha anexa.

## 10 - Geração de odor e distância em relação ao perímetro urbano

Existe grande possibilidade de ocorrência de maus odores provenientes de estações de tratamento de esgoto.

A intensidade do odor varia de acordo com a tecnologia adotada. Algumas geram mais, outras menos. Além disso, a proximidade com o meio urbano contribui para aumentar a sensação de incômodo.

Numa escala que vai de “Eventuais incômodos à vizinhança pela ocorrência de odores são aceitáveis desde que o custo da obra seja minimizado” (**pouca importância**) até “Em nenhuma hipótese deverá haver incômodos à vizinhança devido à ocorrência de maus odores, independente do custo da obra” (**grande importância**), em sua opinião, qual o grau de importância que deve ser dado a este critério na tomada de decisão? Assinale com “X” no campo específico da folha anexa.

## 11 - Necessidade de mão de obra especializada para operação

Quanto mais sofisticado a tecnologia empregada, mais especialização de mão de obra será exigida. E vice versa.

Numa escala que vai de “A solução a ser adotada deverá ser a mais apropriada ao projeto independente de eventual necessidade de utilização de mão de obra especializada” (**pouca importância**) até “A solução a ser adotada deverá necessariamente dispensar a necessidade de utilização de mão de obra especializada” (**grande importância**), em sua opinião, qual o grau de importância que deve ser dado a este critério na tomada de decisão? Assinale com “X” no campo específico da folha anexa.

## 12 - Possibilidade de uso agrícola do efluente final

A proximidade da ETE com área agrícola pode facilitar o uso do esgoto tratado como forma de fertirrigação.

A vantagem da fertirrigação agrícola com efluente tratado se dá principalmente pela redução da quantidade de adubação convencional, do suprimento da necessidade de água em épocas de seca. Além

disso, utiliza-se também o nitrogênio, que pode fazer com que o processo tratamento da ETE seja mais simples e mais barato.

Como desvantagem, a fertirrigação deve ser feita com cautela, com critérios técnicos de acordo com a legislação, para não contaminar o lençol freático.

Numa escala que vai de “*A solução a ser adotada deverá ser a mais apropriada ao projeto independente uso do esgoto tratado como forma de fertirrigação*” (**pouca importância**) até “*A solução a ser adotada deverá necessariamente permitir o uso do esgoto tratado como forma de fertirrigação*” (**grande importância**), em sua opinião, qual o grau de importância que deve ser dado a este critério na tomada de decisão? Assinale com “X” no campo específico da folha anexa.

### 13 - Geração de lodo

Além de elevar os custos operacionais, a disposição do lodo acaba por ocupar grandes espaços nos aterros sanitários, que de forma geral são projetados para o recebimento de lixo doméstico e não lodo de esgoto, diminuindo assim a vida útil do aterro.

A diminuição da vida útil do aterro exigirá do poder público investimentos em menor intervalo de tempo em relação ao previsto, para ampliação ou implantação de um novo aterro para o tratamento do lixo. A produção de lodo pode variar de uma tecnologia para outra. Nestes termos, o melhor mesmo é gerar menos lodo.

Numa escala que vai de “*A solução a ser adotada deverá ser a mais barata independente da quantidade de lodo a ser gerada e da forma de disposição final*” (**pouca importância**) até “*A solução a ser adotada deverá privilegiar a baixa geração de lodos e formas de disposição de baixo impacto ambiental, independente de fatores de custo de implantação e operação*” (**grande importância**), em sua opinião, qual o grau de importância que deve ser dado a este critério na tomada de decisão? Assinale com “X” no campo específico da folha anexa.

### 14 - Consumo de energia elétrica

Além de elevar o custo de operação dos sistemas, a energia elétrica é uma fonte limitada e disputada por atividades industriais.

O Brasil dispõe de energia luminosa com grande intensidade a maior parte do ano.

Existem tecnologias de tratamento de esgoto que utilizam energia elétrica e outras que não utilizam, se beneficiando da energia solar.

Numa escala que vai de “*A solução a ser adotada deverá ser a mais apropriada ao projeto independente da quantidade de energia elétrica necessárias ao processo*” (**pouca importância**) até “*A solução a ser adotada deverá privilegiar a utilização de fontes de energia naturais reduzindo ao mínimo a necessidade de utilização de energia elétrica*” (**grande importância**), em sua opinião, qual o grau de importância que deve ser dado a este critério na tomada de decisão? Assinale com “X” no campo específico da folha anexa.

### 15 – Emissão de gases de efeito estufa

Dados literários dão conta que a decomposição de dejetos em condições anaeróbias produzem gás carbônico e gás metano, sem a oportunidade para o sequestro de carbono e recuperação de energia, com efeitos deletérios para o aquecimento global, cujos efeitos são amplamente difundidos nos meios de comunicação.

Dependendo da tecnologia adotada, pode haver maior ou menor geração de gases de efeito estufa.

Numa escala que vai de “*A solução a ser adotada deverá ser a mais apropriada ao projeto independente da quantidade de gases do efeito estufa gerados no processo*” (**pouca importância**) até “*A solução a ser adotada deverá privilegiar tecnologias que reduzam ao mínimo a quantidade de gases do efeito estufa gerados no processo*” (**grande importância**), em sua opinião, qual o grau de importância que deve ser dado a este critério na tomada de decisão? Assinale com “X” no campo específico da folha anexa.

Assinale com “X” a sua opinião sobre a importância de cada critério:

Critério		Pouca importância	Média importância	Grande importância
1	Custo de implantação			
2	Custo de operação e manutenção			
3	Participação da Prefeitura Municipal no custo de implantação			
4	Desapropriação de área			
5	Impacto urbanístico e arquitetônico			
6	Transporte de esgoto			
7	Acessibilidade			
8	Valor da área em função do uso			
9	Qualidade do efluente final			
10	Geração de odor e distância em relação ao perímetro urbano			
11	Necessidade de mão de obra especializada para operação			
12	Possibilidade de uso agrícola do efluente final			
13	Geração de lodo			
14	Consumo de energia elétrica			
15	Emissão de gases de efeito estufa			

Agora que você conheceu os principais critérios que podem ser considerados para auxílio à tomada de decisão quanto à escolha de uma tecnologia de tratamento de esgoto e de um local para sua implantação, e refletiu sobre a importância de cada um, atribua o valor “100” para o critério que achar mais importante entre todos os 15 critérios, e atribua valores entre “99” a “1” **comparativamente** entre os demais critérios, na medida da sua escala de importância.

Critério		Valores – de 1 a 100
1	Custo de implantação	
2	Custo de operação e manutenção	
3	Participação da Prefeitura Municipal no custo de implantação	
4	Desapropriação de área	
5	Impacto urbanístico e arquitetônico	
6	Transporte de esgoto	
7	Acessibilidade	
8	Valor da área em função do uso	
9	Qualidade do efluente final	
10	Geração de odor e distância em relação ao perímetro urbano	
11	Necessidade de mão de obra especializada para operação	
12	Possibilidade de uso agrícola do efluente final	
13	Geração de lodo	
14	Consumo de energia elétrica	
15	Emissão de gases de efeito estufa	

Nome: \_\_\_\_\_

Profissão: \_\_\_\_\_ Formação: \_\_\_\_\_



## 13 ANEXO IV – MODELOS DE FORMATAÇÃO DOS MÉTODOS EM PLANILHAS DO EXCELL

**Tabela 13-1 - Exemplo de planilha do Método MAULT**

Critério 1		Critério 2		Critério 3		Critério 4		Critério 5		Critério 6	
Impacto	Ponto	Impacto	Ponto	Impacto	Ponto	Impacto	Ponto	Impacto	Ponto	Impacto	Ponto
N2	0	N3	90	N5	100	N4	113,3	N1	0	N3	100
N4	50	N3	90	N4	56,73	N2	0	N1	0	N3	100
N4	50	N3	90	N3	0	N1	-50	N1	0	N1	-38,5
N4	50	N3	90	N4	56,73	N4	113,3	N1	0	N3	100
N1	-192	N4	100	N1	-60,8	N1	-50	N3	100	N1	-38,5
(suprimida**)											
N1	-192	N2	0	N1	-60,8	N3	100	N2	28,3	N2	0
N1	-192	N3	90	N1	-60,8	N1	-50	N2	28,3	N1	-38,5
N1	-192	N3	90	N1	-60,8	N3	100	N2	28,3	N2	0

\*\* foram suprimidas linhas e colunas (alternativas e critérios respectivamente). As informações constam do original, em Excel (posse do autor).

### Seqüência encurtada da Tabela 13-1

Critério 14		Critério 15	
Impacto	Ponto	Impacto	Ponto
N1	-349	N3	100
N2	0	N2	0
N2	0	N2	0
N2	0	N2	0
N3	100	N2	0
(encurtada)			
N1	-349	N3	100
N2	0	N1	-62,5
N2	0	N1	-62,5

Critério	W	W+10%	W-10%
1	6,97	6,93	7,02
2	7,19	7,14	7,24
3	4,70	4,66	4,73
4	5,55	5,51	5,59
5	5,68	5,64	5,71
6	6,27	6,90	5,64
(encurtada)			

Pontuação total	Pontuação total +10 %	Pontuação total - 10 %
2152	2204	2099
4345	4383	4307
4180	4126	4234
4065	4105	4026
2030	1991	2070
(encurtada)		
1292	1283	1301
-2346	-2356	-2336
-2391	-2375	-2407

**Tabela 13-2 – Exemplo de planilha do método CP**

		1	2	3	4	5a	5b	
Critério	w	Conversão para lagoa aerada de mistura completa	Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa em área ao lado da ETE existente	Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa na área 1	Conversão das lagoas anaeróbia e facultativa em lagoas aeradas facultativas, com ampliação e aprofundamento das lagoas existentes	Lagoas facultativas, área 1	Lagoas facultativas, área 2	
1	9,98	0,100	0	50	50	50	-192	-192
2	9,79	0,098	90	90	90	90	100	100
3	4,00	0,040	100	57	0	57	-61	-61
4	3,89	0,039	113	0	-50	113	-50	100
5	7,68	0,077	0	0	0	0	100	100
6	7,31	0,073	100	100	-38	100	-38	0
7	6,82	0,068	100	100	0	100	0	-283
8	4,61	0,046	11	11	0	11	0	100
9	6,76	0,068	115	100	100	0	0	0
10	8,40	0,084	100	100	100	100	0	0
11	6,39	0,064	100	100	100	100	100	100
12	4,20	0,042	-180	-172	100	-180	100	100
13	8,11	0,081	0	100	100	100	100	100
14	7,58	0,076	-349	0	0	0	100	100
15	4,47	0,045	100	0	0	0	0	0

100 1

0,021	0,000	0,000	0,000	0,100	0,100
0,006	0,006	0,006	0,006	0,000	0,000
0,000	0,011	0,025	0,011	0,040	0,040
0,000	0,027	0,039	0,000	0,039	0,003
0,077	0,077	0,077	0,077	0,000	0,000
0,000	0,000	0,073	0,000	0,073	0,053
0,000	0,000	0,018	0,000	0,018	0,068
0,041	0,041	0,046	0,041	0,046	0,000
0,000	0,009	0,009	0,068	0,068	0,068
0,044	0,044	0,044	0,044	0,054	0,054
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,042	0,041	0,000	0,042	0,000	0,000

**Resultados**      **0,231**    **0,255**    **0,337**    **0,289**    **0,437**    **0,385**

Seqüência da Tabela 13-2 (suprimida\*\*\* entre alternativas 6 a e 9 b)

10b	11a	11b	12a	12b		
Lodos ativados convencional, área 2	Lodos ativados aeração prolongada, área 1	Lodos ativados aeração prolongada, área 2	RAFA + Filtro anaeróbio + Filtro aerado submerso, área 1	RAFA + Filtro anaeróbio + Filtro aerado submerso, área 2		Mínimo
-192	-192	-192	-192	-192	-192	50
-60	0	0	90	90	-60	100
-61	-61	-61	-61	-61	-61	100
100	-50	100	-50	100	-50	113
28	28	28	28	28	0	100
0	-38	0	-38	0	-38	100
-283	0	-283	0	-283	-283	100
100	0	100	0	100	0	100
115	115	115	54	54	0	115
575	575	575	-325	-325	-325	575
0	0	0	0	0	0	100
0	0	0	100	100	-180	100
-70	0	0	100	100	-70	100
-349	-349	-349	0	0	-349	100
100	100	100	-63	-63	-63	100

0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
0,098	0,061	0,061	0,006	0,006
0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
0,003	0,039	0,003	0,039	0,003
0,055	0,055	0,055	0,055	0,055
0,053	0,073	0,053	0,073	0,053
0,068	0,018	0,068	0,018	0,068
0,000	0,046	0,000	0,046	0,000
0,000	0,000	0,000	0,036	0,036
0,000	0,000	0,000	0,084	0,084
0,064	0,064	0,064	0,064	0,064
0,015	0,015	0,015	0,000	0,000

**0,496    0,511    0,459    0,561    0,509**

Resultados

\*\*\*de posse do autor

**Tabela 13-3 – Exemplo de planilha do método CGT**

Critério	w	w	1	2	3	4	5a	5b	6a																																																																																				
			Conversão para lagoa aerada de mistura completa	Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa em área ao lado da ETE existente	Conversão da lagoa anaeróbia em aerada facultativa, e implantação de terceira lagoa facultativa na área 1	Conversão das lagoas anaeróbia e facultativa em lagoas aeradas facultativas, com ampliação e aprofundamento das lagoas existentes	Lagoas facultativas, área 1	Lagoas facultativas, área 2	Lagoas facultativa + maturação, área 1																																																																																				
1	6,93	0,069	0	50	50	50	-192	-192	-107																																																																																				
2	7,38	0,074	90	90	90	90	100	100	100																																																																																				
3	4,84	0,048	100	57	0	57	-61	-61	-54																																																																																				
4	5,78	0,058	113	0	-50	113	-50	100	-50																																																																																				
5	6,05	0,060	0	0	0	0	100	100	100																																																																																				
6	6,60	0,066	100	100	-38	100	-38	0	-38																																																																																				
7	5,67	0,057	100	100	0	100	0	-283	0																																																																																				
8	5,54	0,055	11	11	0	11	0	100	0																																																																																				
9	8,25	0,083	115	100	100	0	0	0	100																																																																																				
10	7,53	0,075	100	100	100	100	0	0	0																																																																																				
11	6,44	0,064	100	100	100	100	100	100	100																																																																																				
12	6,92	0,069	-180	-172	100	-180	100	100	100																																																																																				
13	7,29	0,073	0	100	100	100	100	100	100																																																																																				
14	7,39	0,074	-349	0	0	0	100	100	100																																																																																				
15	7,39	0,074	100	0	0	0	0	0	0																																																																																				
			100	1																																																																																									
			<table border="1"> <tbody> <tr><td>1,44</td><td>1,46</td><td>1,46</td><td>1,46</td><td>1,00</td><td>1,00</td><td>1,36</td></tr> <tr><td>1,45</td><td>1,45</td><td>1,45</td><td>1,45</td><td>1,45</td><td>1,45</td><td>1,45</td></tr> <tr><td>1,28</td><td>1,26</td><td>1,22</td><td>1,26</td><td>1,00</td><td>1,00</td><td>1,10</td></tr> <tr><td>1,34</td><td>1,26</td><td>1,00</td><td>1,34</td><td>1,00</td><td>1,34</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>1,00</td><td>1,00</td><td>1,00</td><td>1,00</td><td>1,32</td><td>1,32</td><td>1,32</td></tr> <tr><td>1,39</td><td>1,39</td><td>1,00</td><td>1,39</td><td>1,00</td><td>1,27</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>1,40</td><td>1,40</td><td>1,38</td><td>1,40</td><td>1,38</td><td>1,00</td><td>1,38</td></tr> <tr><td>1,15</td><td>1,15</td><td>1,00</td><td>1,15</td><td>1,00</td><td>1,29</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>1,48</td><td>1,46</td><td>1,46</td><td>1,00</td><td>1,00</td><td>1,00</td><td>1,46</td></tr> <tr><td>1,58</td><td>1,58</td><td>1,58</td><td>1,58</td><td>1,55</td><td>1,55</td><td>1,55</td></tr> <tr><td>1,35</td><td>1,35</td><td>1,35</td><td>1,35</td><td>1,35</td><td>1,35</td><td>1,35</td></tr> <tr><td>1,00</td><td>1,17</td><td>1,48</td><td>1,00</td><td>1,48</td><td>1,48</td><td>1,48</td></tr> </tbody> </table>							1,44	1,46	1,46	1,46	1,00	1,00	1,36	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,28	1,26	1,22	1,26	1,00	1,00	1,10	1,34	1,26	1,00	1,34	1,00	1,34	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,32	1,32	1,32	1,39	1,39	1,00	1,39	1,00	1,27	1,00	1,40	1,40	1,38	1,40	1,38	1,00	1,38	1,15	1,15	1,00	1,15	1,00	1,29	1,00	1,48	1,46	1,46	1,00	1,00	1,00	1,46	1,58	1,58	1,58	1,58	1,55	1,55	1,55	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,00	1,17	1,48	1,00	1,48	1,48	1,48
1,44	1,46	1,46	1,46	1,00	1,00	1,36																																																																																							
1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45																																																																																							
1,28	1,26	1,22	1,26	1,00	1,00	1,10																																																																																							
1,34	1,26	1,00	1,34	1,00	1,34	1,00																																																																																							
1,00	1,00	1,00	1,00	1,32	1,32	1,32																																																																																							
1,39	1,39	1,00	1,39	1,00	1,27	1,00																																																																																							
1,40	1,40	1,38	1,40	1,38	1,00	1,38																																																																																							
1,15	1,15	1,00	1,15	1,00	1,29	1,00																																																																																							
1,48	1,46	1,46	1,00	1,00	1,00	1,46																																																																																							
1,58	1,58	1,58	1,58	1,55	1,55	1,55																																																																																							
1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35																																																																																							
1,00	1,17	1,48	1,00	1,48	1,48	1,48																																																																																							
<b>Resultados</b>	<b>25,09</b>	<b>27,13</b>	<b>16,36</b>	<b>16,97</b>	<b>8,14</b>	<b>13,01</b>	<b>17,89</b>																																																																																						

Seqüência da Tabela 13-3 (suprimida\*\*\*\* entre alternativas 6 b e 9 b)

10a	10b	11a	11b	12a	12b		
Lodos ativados convencional, área 1	Lodos ativados convencional, área 2	Lodos ativados aeração prolongada, área 1	Lodos ativados aeração prolongada, área 2	RAFA + Filtro anaeróbio + Filtro aerado submerso, área 1	RAFA + Filtro anaeróbio + Filtro aerado submerso, área 2	Mínimo	Mínimo-1 (para não zerar)
-192	-192	-192	-192	-192	-192	-192	-193
-60	-60	0	0	90	90	-60	-61
-61	-61	-61	-61	-61	-61	-61	-62
-50	100	-50	100	-50	100	-50	-51
28	28	28	28	28	28	0	-1
-38	0	-38	0	-38	0	-38	-39
0	-283	0	-283	0	-283	-283	-284
0	100	0	100	0	100	0	-1
115	115	115	115	54	54	0	-1
575	575	575	575	-325	-325	-325	-326
0	0	0	0	0	0	0	-1
0	0	0	0	100	100	-180	-181
-70	-70	0	0	100	100	-70	-71
-349	-349	-349	-349	0	0	-349	-350
100	100	100	100	-63	-63	-63	-64

1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,35	1,35	1,45	1,45
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,34	1,00	1,34	1,00	1,34
1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
1,00	1,27	1,00	1,27	1,00	1,27
1,38	1,00	1,38	1,00	1,38	1,00
1,00	1,29	1,00	1,29	1,00	1,29
1,48	1,48	1,48	1,48	1,39	1,39
1,67	1,67	1,67	1,67	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,43	1,43	1,43	1,43	1,48	1,48

**5,98      9,55      8,10      12,93      5,03      8,03**      Resultados  
 \*\*\*\* de posse do autor