UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

FERNANDA MARCHESI GROBÉRIO
LUIZA MAYER BRINGER

METODOLOGIA DE APOIO AO PROCESSO DE PRÉ-SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NO ÂMBITO DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA

VITÓRIA
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

FERNANDA MARCHESI GROBÉRIO
LUIZA MAYER BRINGER

METODOLOGIA DE APOIO AO PROCESSO DE PRÉ-SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NO ÂMBITO DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental apresentado à Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis

VITÓRIA
2014

RESUMO

No atual modelo de desenvolvimento socioeconômico do país, a disposição final de efluentes domésticos brutos em corpos d'água representa um dos principais problemas de degradação ambiental, constituindo a implantação de estações de tratamento de esgotos a mais usual medida de controle. Existem diversos níveis de sistemas de tratamento de esgotos e o processo de seleção de uma melhor alternativa, por si só, pode ser de difícil condução, uma vez que diversas variáveis interferem no referido processo. Considerando-se a realidade de uma bacia hidrográfica, com múltiplos lançamentos de diferentes cargas, o processo de seleção torna-se mais complexo. Este trabalho objetivou estabelecer metodologia de apoio ao processo de tomada de decisão associado à pré-seleção de processos de tratamento de esgotos no âmbito de uma bacia hidrográfica. A referida metodologia foi conformada com o emprego do modelo de qualidade de água QUAL-UFMG em conjunto com a Programação Não-Linear (PNL) e envolveu a análise de diferentes aspectos de natureza técnica e econômica. O modelo de otimização utilizado buscou minimizar o somatório de eficiências de tratamento no âmbito de uma bacia hidrográfica e atender às restrições de ordem ambiental, além de, adicionalmente, manter a equidade entre os diferentes lançamentos. Para avaliação das respostas produzidas pela metodologia proposta, foram considerados três diferentes cenários de disposição de efluentes na porção superior da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória. Adicionalmente, três conjuntos de critérios técnicos foram aplicados aos diferentes cenários de disposição de efluentes avaliados. O emprego combinado do modelo de qualidade de água e da técnica de otimização permitiu a apropriação de eficiências mínimas de remoção de DBO para os diferentes cenários de disposição considerados. Os diferentes cenários de disposição de efluentes e os aspectos de natureza técnica e econômica conduziram a pré-seleção de sistemas de tratamento de efluentes. As opções de tratamento variaram de tanques sépticos à combinação de reator UASB com filtro anaeróbio, considerados os menores custos presentes líquidos apropriados para cada planta de tratamento de esgotos. A incorporação da equidade entre sistemas de tratamento aumentou o somatório das eficiências e reduziu os custos totais associados ao tratamento de esgoto no âmbito da bacia hidrográfica.

Palavras chaves: modelagem de qualidade de água; otimização; programação não linear; tratamento de esgotos; pré-seleção.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aspectos importantes na seleção de sistemas de tratamento de esgotos. 19
Figura 2. Fluxograma para o planejamento de estações de tratamento de esgotos. 22
Figura 3. Fluxograma de concepção de projeto de sistemas se tratamento de esgoto. 23
Figura 4. Fases do modelo Prosel-I. 25
Figura 5. Representação esquemática de um trecho de um rio. 29
Figura 6. Localização da sub-bacia do rio Santa Maria da Vitória.....37
Figura 7. Fluxograma do processo de seleção de sistemas de tratamento de esgotos empregado neste trabalho.....38
Figura 8. Representação esquemática do sistema hídrico a ser estudado. 42
Figura 9. Representação esquemática do sistema hídrico a ser modelado conforme cenário A. 43
Figura 10. Representação esquemática do sistema hídrico a ser modelado conforme cenário B. 44
Figura 11. Representação esquemática do sistema hídrico a ser modelado conforme cenário C. 45
Figura 12. Planilha para definição dos critérios associados ao processo de pré-seleção dos sistemas de tratamento de esgotos.....50
Figura 13. Planilha de resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos.....51
Figura 14. Perfis de oxigênio dissolvido associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário A.....59
Figura 15. Perfis de demanda bioquímica de oxigênio associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário A. 60
Figura 16. Perfis de oxigênio dissolvido associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário B.....60
Figura 17. Perfis de demanda bioquímica de oxigênio associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário B. 61
Figura 18. Perfis de oxigênio dissolvido associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário C. 61
Figura 19. Perfis de demanda bioquímica de oxigênio associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário C. 62

Figura 20. Perfis de oxigênio dissolvido associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário A, com a inserção de equidade entre lançamentos. 65
Figura 21. Perfis de demanda bioquímica de oxigênio associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário A, com a inserção de equidade entre lançamentos. 65
Figura 22. Perfis de oxigênio dissolvido associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário B, com a inserção de equidade entre lançamentos. 66
Figura 23. Perfis de demanda bioquímica de oxigênio associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário B, com a inserção de equidade entre lançamentos. 66
Figura 24. Perfis de oxigênio dissolvido associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário C, com a inserção de equidade entre lançamentos. 67
Figura 25. Perfis de demanda bioquímica de oxigênio associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário C, com a inserção de equidade entre lançamentos. 67
Figura 26. Planilha de definição dos critérios técnicos associados ao processo de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 95
Figura 27. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 1, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 95
Figura 28. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 2, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 96
Figura 29. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 3, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 96
Figura 30. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 4, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 97
Figura 31. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 5, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 97

Figura 32. Planilha de definição dos critérios técnicos associados ao processo de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 98
Figura 33. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 1, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 98
Figura 34. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 2, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 99
Figura 35. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 3, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 99
Figura 36. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 4, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 100
Figura 37. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 5, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 100
Figura 38. Planilha de definição dos critérios técnicos associados ao processo de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 101
Figura 39. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 1, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade 101
Figura 40. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 2, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 102
Figura 41. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 3, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 102
Figura 42. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 4, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 103

Figura 43. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 5, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade. 103
Figura 44. Planilha de definição dos critérios técnicos associados ao processo de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 104
Figura 45. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 1, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 104
Figura 46. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 2, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 105
Figura 47. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 3, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 105
Figura 48. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 4, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 106
Figura 49. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 5, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 106
Figura 50. Planilha de definição dos critérios técnicos associados ao processo de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 107
Figura 51. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 1, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 107
Figura 52. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 2, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 108
Figura 53. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 3, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 108

Figura 54. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 4, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 109
Figura 55. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 5, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 109
Figura 56. Planilha de definição dos critérios técnicos associados ao processo de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 110
Figura 57. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 1, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 110
Figura 58. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 2, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 111
Figura 59. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 3, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 111
Figura 60. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 4, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 112
Figura 61. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 5, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade. 112

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1. Metodologias de seleção de processos de tratamento de águas residuárias. 24
Quadro 2. Histórico dos modelos matemáticos de qualidade de água. 27

Tabela 1. Características dos principais níveis de tratamento de esgotos. 16
Tabela 2. Concentrações de DBO após tratamento, eficiência de remoção de DBO e características gerais dos sistemas de tratamento. 17
Tabela 3. Limites técnicos de sistemas de tratamento de esgotos. 20
Tabela 4. Coeficientes e expoentes necessários à determinação de "K_2". 41
Tabela 5. Critérios técnicos e correspondentes valores associados ao primeiro exemplo de aplicação. 54
Tabela 6. Critérios técnicos e correspondentes valores associados ao segundo exemplo de aplicação. 54
Tabela 7. Critérios técnicos e correspondentes valores associados ao terceiro exemplo de aplicação. 55
Tabela 8. Eficiências mínimas de tratamento estimadas e concentrações mínimas de OD e máximas de DBO, por cenário simulado. 58
Tabela 9. Concentrações máximas de DBO efluentes estimadas para os cenários de simulação. 59
Tabela 10. Eficiências mínimas de tratamento estimadas e concentrações mínimas de OD e máximas de DBO, por cenário simulado com a inserção de equidade entre lançamentos. 64
Tabela 11. Concentração de DBO efluente de cada cenário simulado considerando a inserção de equidade entre lançamentos. 64
Tabela 12. Classificação dos sistemas de tratamento de esgotos para o Cenário A-3, em ordem crescente de custo presente líquido. 71
Tabela 13. Valores de custo presente líquido correspondente aos sistemas de tratamento selecionados para o Cenário A-3. 72
Tabela 14. Classificação dos sistemas de tratamento de esgotos para o Cenário B-3, em ordem crescente de custo presente líquido. 74
Tabela 15. Valores de custo presente líquido correspondente aos sistemas de tratamento selecionados para o Cenário B-3. 74

Tabela 16. Classificação dos sistemas de tratamento de esgotos para o Cenário C-3, em ordem crescente de custo presente líquido. 76
Tabela 17. Valores de custo presente líquido correspondente aos sistemas de tratamento selecionados para o Cenário C-3. 77
Tabela 18. Classificação dos sistemas de tratamento de esgotos para o Cenário A-3-E, em ordem crescente de custo presente líquido. 79
Tabela 19. Valores de custo presente líquido correspondentes aos sistemas de tratamento selecionados para o Cenário A-3-E. 80
Tabela 20. Classificação dos sistemas de tratamento de esgotos para o Cenário B-3-E, em ordem crescente de custo presente líquido. 81
Tabela 21. Valores de custo presente líquido correspondente aos sistemas de tratamento selecionados para o Cenário B-3-E. 82
Tabela 22. Classificação dos sistemas de tratamento de esgotos para o Cenário C-3-E, em ordem crescente de custo presente líquido. 83
Tabela 23. Valores de custo presente líquido correspondente aos sistemas de tratamento selecionados para o Cenário C-3-E. 84
Tabela 24. Somatório dos valores do CPL das melhores alternativas de tratamento de esgotos, por cenário de simulação, sem e com inserção de equidade. 85

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
2 OBJETIVOS 14
2.1 OBJETIVO GERAL 14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 15
3.1 O PROCESSO DE SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS 15
3.2 MODELOS DE SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA 26
3.3 MODELO DE OTIMIZAÇÃO 32
3.4 PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR (PNL) 34
4 ÁREA DE ESTUDO 36
5 METODOLOGIA 38
5.1 MODELO PARA SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA 39
5.2 CONSTANTES CINÉTICAS E CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS 40
5.3 CENÁRIOS SIMULADOS 42
5.4 PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO 45
5.4.1 Inserção da minimização das eficiências no problema de otimização 46
5.4.2 Inserção da minimização das eficiências e das condições de equidade no problema de otimização 48
5.5 PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS 48
5.6 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE PRÉ-SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS 53
5.7 ANÁLISE ECONÔMICA 55
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO 58

6.1 EFICIÊNCIAS DE TRATAMENTO RESULTANTES DA TÉCNICA DE OTIMIZAÇÃO 58

6.2 PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTOS 68

6.2.1 Resultados associados ao cenário A-3 69

6.2.2 Resultados associados ao cenário B-3 73

6.2.3 Resultados associados ao cenário C-3 75

6.2.4 Resultados associados aos diferentes cenários de simulação com inserção de equidade 78

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 86

8 REFERÊNCIAS 88

APÊNDICE 95

APÊNDICE A – PLANILHAS DE PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA ASSOCIADAS AO CENÁRIO A-3, SEM A INCORPORAÇÃO DA EQUIDADE 95

APÊNDICE B – PLANILHAS DE PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA ASSOCIADAS AO CENÁRIO B-3, SEM A INCORPORAÇÃO DA EQUIDADE 98

APÊNDICE C – PLANILHAS DE PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA ASSOCIADAS AO CENÁRIO C-3, SEM A INCORPORAÇÃO DA EQUIDADE 101

APÊNDICE D – PLANILHAS DE PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA ASSOCIADAS AO CENÁRIO A-3, COM A INCORPORAÇÃO DA EQUIDADE 104

APÊNDICE E – PLANILHAS DE PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA ASSOCIADAS AO CENÁRIO B-3, COM A INCORPORAÇÃO DA EQUIDADE 107

APÊNDICE F – PLANILHAS DE PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA ASSOCIADAS AO CENÁRIO C-3, COM A INCORPORAÇÃO DA EQUIDADE 110

1 INTRODUÇÃO

O atual modelo de desenvolvimento socioeconômico do país tem contribuído para a ocupação e uso do solo de maneira desordenada, muitas vezes agravada pelo acelerado crescimento populacional e pela instalação de grande número de empreendimentos numa determinada região. Esse atual cenário tem resultado num preocupante panorama no que diz respeito à degradação de recursos naturais, com severos comprometimentos sobre os recursos hídricos.

A qualidade dos corpos d'água tem sido alterada em diferentes escalas e um dos fatores que vem comprometendo mais severamente a qualidade da água é a disposição de efluentes industriais e domésticos. O crescente aumento do volume de esgotos fez com que boa parte dos corpos d'água receptores se tornasse poluído e com baixos níveis de oxigênio dissolvido. Dessa forma, torna-se cada vez mais necessário fazer uso de ferramentas que permitam quantificar, direta ou indiretamente, os impactos sobre os recursos hídricos. Nesse contexto, os modelos de qualidade de água e as técnicas de otimização apresentam-se como importantes instrumentos para a quantificação das alterações físicas, químicas e biológicas resultantes da contaminação de corpos d'água e para as atividades de gerenciamento associadas aos programas de monitoramento ambiental (ALBERTIN, 2008).

No cenário urbano brasileiro, a carência de sistema de esgotamento sanitário apresenta-se de forma muito evidente. Os índices nacionais médios de atendimento da população total, apropriados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em 2012, foram de 82,7% para abastecimento de água e de 48,3% para coleta de esgotos. Já o índice nacional médio de tratamento dos esgotos gerados assumiu valor de apenas 38,7%. Nesse contexto, torna-se evidente a necessidade de implantação de medidas de controle da poluição gerada por lançamento de esgotos.

Dentre as medidas de controle estão a regularização e a aeração do curso d'água e a aeração dos esgotos tratados. Entretanto, o tratamento individual ou coletivo dos esgotos antes do lançamento é, normalmente, a principal estratégia de controle, por meio da qual se busca reduzir as concentrações dos poluentes lançados e

possibilitar o atendimento de padrões de qualidade recomendados pela legislação ambiental brasileira (VON SPERLING, 2005).

Existem diversos níveis de sistemas de tratamento de esgotos e o processo de seleção de uma melhor alternativa, por si só, pode ser de difícil condução, uma vez que diversas variáveis interferem no referido processo, como o custo dos diferentes sistemas e seu retorno do ponto de vista da qualidade ambiental. Considerando-se a realidade de uma bacia hidrográfica, com múltiplos lançamentos de diferentes cargas, o processo de seleção torna-se mais complexo.

A decisão final sobre qual processo será adotado para o tratamento de esgotos domésticos deve decorrer de um balanceamento entre critérios técnicos e econômicos, com a apreciação dos méritos quantitativos e qualitativos de cada alternativa (VON SPERLING, 2005). No entanto, o custo é, usualmente, o aspecto de maior relevância para a seleção de estações de tratamento (METCALF E EDDY, 1991).

Diversas metodologias têm sido desenvolvidas com o objetivo de auxiliar a seleção de sistemas de tratamento de esgotos. Van Note *et al.* (1975), Arnold (1982), Câmara (1982), Tecle et al. (1988) e Souza (1992), citados por Souza e Foster (1996), constituem exemplos de metodologias de apoio ao processo de seleção de sistemas de tratamento de esgotos.

Este trabalho teve por objetivo estabelecer metodologia de apoio ao processo de tomada de decisão associado a pré-seleção de processos de tratamento de esgotos no âmbito de uma bacia hidrográfica. O processo de seleção incorporou o emprego do modelo QUAL-UFMG em conjunto com a Programação Não-Linear (PNL) para a determinação de eficiências mínimas de sistemas de tratamento de esgotos e, posteriormente, foi estabelecido um processo de análise das alternativas de tratamento de esgotos, avaliando a viabilidade das diferentes alternativas, considerando aspectos técnicos e econômicos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estabelecer metodologia de apoio para a pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos no âmbito de uma bacia hidrográfica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Selecionar eficiências mínimas de remoção de matéria orgânica para diferentes cenários de disposição de efluentes na porção superior da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória;
- Avaliar a influência da equidade entre lançamentos de efluentes no processo de apropriação de eficiências e de custos de tratamento de esgotos;
- Pré-selecionar sistemas de tratamento de esgotos para a porção superior da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, considerados diferentes cenários de disposição de efluentes e diferentes aspectos de natureza técnica e econômica.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O PROCESSO DE SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

Em estudos e projetos de sistemas de tratamento de esgotos é de suma importância definir, preliminarmente, o objetivo do tratamento e a que nível o mesmo deve ser processado, para que não haja concepções superestimadas, subestimadas ou desvinculadas de outros aspectos que não apenas a remoção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) com determinada eficiência. Para tanto, a adoção de um sistema de tratamento de esgoto deve seguir alguns critérios de seleção, tendo em vista a obtenção dos objetivos desejados e a exequibilidade das medidas propostas (OLIVEIRA, 2004).

De acordo com Von Sperling (2005), o tratamento dos esgotos é usualmente classificado nos seguintes níveis: preliminar, primário, secundário e terciário. Enquanto o tratamento preliminar tem por objetivo apenas a remoção de sólidos grosseiros, o tratamento primário visa a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. No tratamento secundário ocorre, principalmente, a remoção de matéria orgânica e, eventualmente, a de nitrogênio e fósforo. Por fim, no tratamento terciário ocorre a remoção de poluentes específicos ou a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário. As características dos principais níveis de tratamento de esgoto estão disponíveis na Tabela 1.

Segundo Von Sperling (2005), a integração de diferentes métodos de tratamento que usualmente são de diferentes níveis de tratamento e que podem ser divididos em operações e processos compõe os sistemas de tratamento de esgotos. Jordão e Pessoa (2005) e Von Sperling (2005) apresentaram diferentes características relacionadas aos sistemas de tratamento de esgoto, conforme Tabela 2.

Tabela 1. Características dos principais níveis de tratamento de esgotos.

Item	Nível de Tratamento		
	Preliminar	**Primário**	**Secundário**
Poluentes Removidos	Sólidos grosseiros	- Sólidos Sedimentáveis - DBO em suspensão	- Sólidos não sedimentáveis DBO em suspensão fina -DBO solúvel - Nutrientes (parcialmente) - Patogênicos (parcialmente)
Eficiências de remoção	-	- SS: 60-70% - DBO: 30-40% - Coliformes: 30-40%	- DBO: 60 a 90% - Coliformes: 60 a 90% - Nutrientes: 10 a 50%
Mecanismo de tratamento predominante	Físico	Físico	Biológico
Cumpre o padrão de lançamento?	Não	Não	Usualmente sim
Aplicação	- Montante de elevatória - Etapa inicial de tratamento	- Tratamento parcial - Etapa intermediária de tratamento mais complexo	Tratamento mais completo para matéria orgânica e sólidos em suspensão (para nutrientes e coliformes, com adaptações ou inclusão de etapas específicas)

Fonte: Von Sperling, 2005.

Tabela 2. Concentrações de DBO após tratamento, eficiência de remoção de DBO e características gerais dos sistemas de tratamento.

(Continua)

Sistemas de Tratamento	DBO do Efluente Tratado (mg/L)	Eficiência de Remoção de DBO (%)	Demanda de área (m²/hab)	Volume de lodo desidratado a ser disposto (L/hab.ano)	Consumo de energia elétrica (kWh/hab.ano)	Custos de Implantação (R$/hab)	Custos de Operação e Manutenção (R$/hab.ano)	Simplicidade Operacional
Tratamento primário (tanques sépticos)	200-250	30-35	0,03-0,05	15-35	0	30-50	1,50-2,50	Simples
Tratamento primário convencional	200-250	30-35	0,02-0,04	30-50	0	30-50	1,50-2,50	Simples
Tratamento primário avançado	60-150	45-80	0,04-0,06	40-110	0	40-60	8,00-15,00	Simples
Lagoa facultativa	50-80	75-85	2,00-4,00	15-30	0	40-80	2,00-4,00	Simples
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	50-80	75-85	1,50-3,00	20-60	0	30-75	2,00-4,00	Simples
Lagoa aerada facultativa	50-80	75-85	0,25-0,50	7-30	11-18	50-90	5,00-9,00	Relativamente Simples
Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação	50-80	75-85	0,20-0,40	10-35	16-22	50-90	5,00-9,00	Relativamente Simples
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	40-70	80-85	3,00-5,00	20-60	0	50-100	2,50-5,00	Relativamente Simples
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa alta taxa	40-70	80-85	2,00-3,50	20-60	<2	50-90	3,50-6,00	Relativamente Simples
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas	30-50	85-90	1,70-3,20	25-70	0	50-90	3,50-6,00	-
Infiltração lenta	<20	90-99	10,0-50,0	0	0	20-60	1,00-3,00	Simples
Infiltração rápida	<20	85-98	1,00-6,00	0	0	30-70	1,50-3,50	Simples
Escoamento superficial	30-70	80-90	2,00-3,50	0	0	40-80	2,00-4,00	Simples
Terras úmidas construídas	30-70	80-90	3,00-5,00	0	0	50-80	2,50-4,00	Simples
Tanque séptico + filtro anaeróbio	40-80	80-85	0,20-0,35	25-50	0	80-130	6,00-10,00	-
Tanque séptico + infiltração	<20	90-98	1,0-1,5	15-35	0	60-100	3,00-5,00	-
Reator UASB	70-100	60-75	0,03-0,10	10-35	0	30-50	2,50-3,50	Simples
UASB + lodos ativados	20-50	83-93	0,08-0,20	15-60	14-20	70-110	7,00-12,00	Simplicidade correspondente ao pós-tratamento
UASB + biofiltro aerado submerso	20-50	83-93	0,05-0,15	15-55	14-20	65-100	7,00-12,00	Simplicidade correspondente ao pós-tratamento

Tabela 2. Concentrações de DBO após tratamento, eficiência de remoção de DBO e características gerais dos sistemas de tratamento.

(Conclusão)

Sistemas de Tratamento	DBO do Efluente Tratado (mg/L)	Eficiência de Remoção de DBO (%)	Demanda de área (m²/hab)	Volume de lodo desidratado a ser disposto (L/hab.ano)	Consumo de energia elétrica (kWh/hab.ano)	Custos de Implantação (R$/hab)	Custos de Operação e Manutenção (R$/hab.ano)	Simplicidade Operacional
UASB + filtro anaeróbio	40-80	75-87	0,05-0,15	10-50	0	45-70	3,50-5,50	Simplicidade correspondente ao pós-tratamento
UASB + filtro biológico de alta carga	20-60	80-93	0,10-0,20	15-55	0	60-90	5,00-7,50	Simplicidade correspondente ao pós-tratamento
UASB + flotação por ar dissolvido	20-50	83-93	0,05-0,15	25-75	8-12	60-90	6,00-9,00	Simplicidade correspondente ao pós-tratamento
UASB + lagoas de polimento	40-70	77-87	1,50-2,50	10-35	0	40-70	4,50-7,00	Simplicidade correspondente ao pós-tratamento
UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação	50-80	75-85	0,10-0,30	15-50	4-8	40-90	5,00-9,00	Simplicidade correspondente ao pós-tratamento
UASB + escoamento superficial	30-70	77-90	1,5-3,00	10-35	0	50-90	5,00-7,00	Simplicidade correspondente ao pós-tratamento
Lodos ativados convencional	15-40	85-93	0,12-0,25	35-90	18-26	100-160	10,00-20,00	Operação sofisticada
Lodo ativado aeração prolongada	10-35	90-97	0,12-0,25	40-105	20-35	90-120	10,00-20,00	Mais simples que lodo ativado convencional
Lodo ativado batelada	10-35	90-97	0,12-0,25	40-105	20-35	90-120	10,00-20,00	Mais simples que os demais sistemas de lodos ativados
Lodo ativado convencional com remoção biológica de N	15-40	85-93	0,12-0,25	35-90	15-22	110-170	10,00-22,00	Operação sofisticada
Lodo ativado convencional com remoção biológica de N/P	15-40	85-93	0,12-0,25	35-90	15-22	130-190	15,00-25,00	Operação sofisticada
Lodo ativado convencional + filtração terciária	10-20	93-98	0,15-0,30	40-100	18-26	130-190	15,00-25,00	Operação sofisticada
Filtro biológico percolador de baixa carga	15-40	85-93	0,15-0,30	35-80	0	120-150	10,00-15,00	Mais simples que lodos ativados
Filtro biológico percolador de alta carga	30-60	80-90	0,12-0,25	35-80	0	120-150	10,00-15,00	Mais simples que lodos ativados
Biofiltro aerado submerso com nitrificação	15-35	88-95	0,10-0,15	35-90	18-26	70-120	8,00-15,00	Mais sofisticada que os filtros percoladores
Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N	15-35	88-95	0,10-0,15	35-90	15-22	80-130	8,00-15,00	Mais sofisticada que os filtros percoladores
Tanque Séptico + Biodisco	15-35	88-95	0,10-0,20	20-75	0	120-150	10,00-15,00	-

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005) e Jordão e Pessoa (2005).

A definição dos critérios a serem utilizados na pré-seleção dos sistemas viáveis para o tratamento de esgotos pressupõe, para cada situação de disposição final de efluentes, o conhecimento dos limites técnicos e econômicos dos diferentes sistemas de tratamento. Em 2004, a Universidade de São Paulo (USP) divulgou um relatório contendo os referidos limites, com o objetivo de desenvolvimento de instrumentos específicos de apoio ao Programa Nacional de Despoluição das Bacias Hidrográficas (PRODES). O relatório apresentou, primeiramente, um conjunto mínimo de sistemas passíveis de serem empregados no tratamento de esgotos domésticos e, posteriormente, especificou os limites técnicos e econômicos associados a cada alternativa. A Tabela 3 apresenta alguns desses limites técnicos.

Von Sperling (2005) apresenta uma comparação entre os aspectos de maior relevância na seleção de sistemas de tratamento para países desenvolvidos e para países em desenvolvimento, conforme Figura 1. Segundo o referido autor, para os países desenvolvidos, a eficiência, a confiabilidade, os aspectos de disposição do lodo e os requisitos de área são aspectos críticos no processo de escolha do sistema de tratamento. Já para os países em desenvolvimento são considerados críticos no processo de seleção os custos de construção, a sustentabilidade, a simplicidade e custos operacionais.

Figura 1. Aspectos importantes na seleção de sistemas de tratamento de esgotos.
Fonte: Von Sperling (2005).

Tabela 3. Limites técnicos de sistemas de tratamento de esgotos.

(Continua)

Sistemas de Tratamento	Declividade do Terreno (%)	Taxa de Percolação (cm³/h)	Profundidades (espessuras) mínimas de solo aceitável (m)	Profundidade mínima da camada do solo aceitável (m)	Profundidade Lençol Freático (m)	Permite Afloramento de Rocha?
Tratamento primário (tanques sépticos)	1-20	0	0	0	0	N
Tratamento primário convencional	1-20	0	0	0	0	N
Tratamento primário avançado	1-20	0	0	0	0	N
Lagoa facultativa	1-20	0	0	0	0	N
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	1-20	0	0	0	0	N
Lagoa aerada facultativa	1-20	0	0	0	0	N
Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação	1-20	0	0	0	0	N
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	1-20	0	0	0	0	N
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa alta taxa	1-20	0	0	0	0	N
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas	1-20	0	0	0	0	N
Infiltração lenta	1-20	0,2-0,5	0,3	1	1,5	N
Infiltração rápida	1-20	0,2-0,5	0,3	1	1,5	N
Escoamento superficial	1-20	0	0	0	0	N
Terras úmidas construídas	1-20	0	0	0	0	N
Tanqué séptico + filtro anaeróbio	1-20	0	0	0	0	N
Tanque séptico + infiltração	1-20	0-0,5	0,3	1	1,5	N
Reator UASB	1-20	0	0	0	0	S
UASB + lodos ativados	1-8	0-0,5	0	0	0	S
UASB + biofiltro aerado submerso	1-20	0	0	0	0	N
UASB + filtro anaeróbio	1-20	0	0	0	0	N
UASB + filtro biológico de alta carga	1-20	0	0	0	0	N
UASB + flotação por ar dissolvido	1-20	0-0,5	0,3	0	1,5	S
UASB + lagoas de polimento	1-20	0	0	0	0	N
UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação	1-20	0	0	0	0	N
UASB + escoamento superficial	1-20	0	0	0	0	N
Lodos ativados convencional	1-8	0-0,5	0	0	0	S

Tabela 3. Limites técnicos de sistemas de tratamento de esgotos.

(Conclusão)

Sistemas de Tratamento	Declividade do Terreno (%)	Taxa de Percolação (cm^3/h)	Profundidades (espessuras) mínimas de solo aceitável (m)	Profundidade mínima da camada do solo aceitável (m)	Profundidade Lençol Freático (m)	Permite Afloramento de Rocha?
Lodo ativado aeração prolongada	1-8	0-0,5	0	0	0	S
Lodo ativado batelada	1-8	0-0,5	0	0	0	S
Lodo ativado convencional com remoção biológica de N	1-8	0-0,5	0	0	0	S
Lodo ativado convencional com remoção biológica de N/P	1-8	0-0,5	0	0	0	S
Lodo ativado convencional + filtração terciária	1-8	0	0	0	0	S
Filtro biológico percolador de baixa carga	1-20	0	0	0	0	N
Filtro biológico percolador de alta carga	1-20	0	0	0	0	N
Biofiltro aerado submerso com nitrificação	1-20	0	0	0	0	N
Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N	1-20	0	0	0	0	N
Tanque Séptico + Biodisco	1-20	0	0	0	0	N

Fonte: Adaptado de USP (2004).

Para Metcalf e Eddy (1991), o planejamento associado à implantação de uma estação de tratamento de esgotos, incluindo-se a seleção do sistema de tratamento, deve ocorrer conforme processo representado na Figura 2.

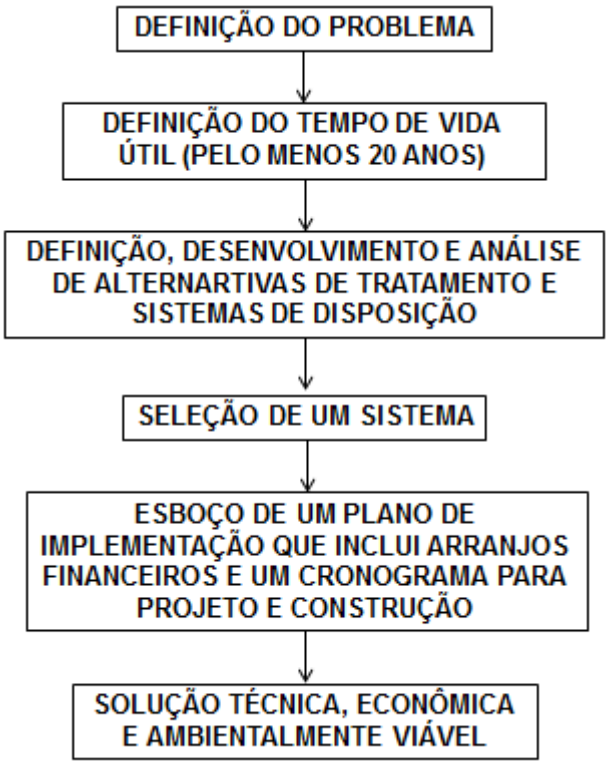

Figura 2. Fluxograma para o planejamento de estações de tratamento de esgotos.
Fonte: Oliveira (2004).

De acordo com Oliveira (2004), a *United States Environmental Protection Agency (EPA)* propõe que a escolha de sistemas de tratamento de esgotos deve se dar de acordo com as atividades estabelecidas no fluxograma apresentado pela Figura 3.

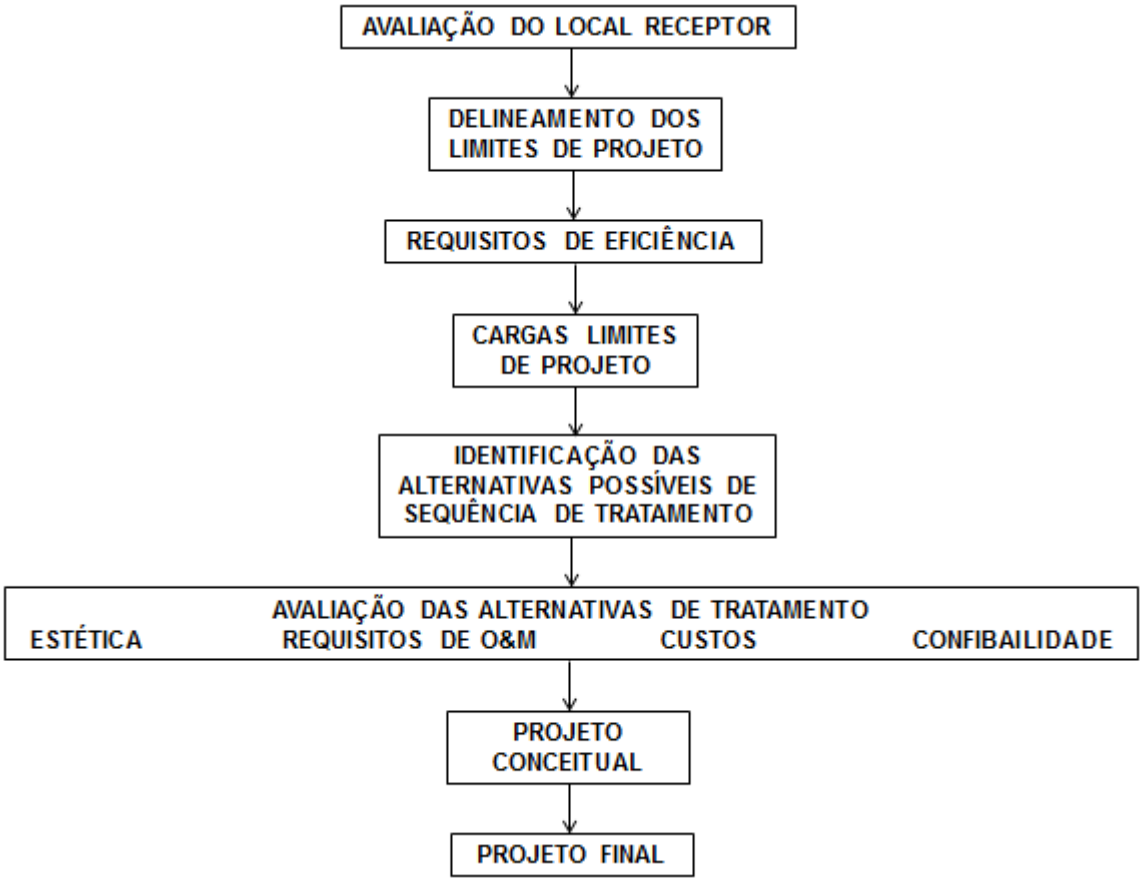

Figura 3. Fluxograma de concepção de projeto de sistemas se tratamento de esgoto.
Fonte: Oliveira (2004).

De acordo com o trabalho de Souza e Foster (1996), diversas metodologias têm sido pesquisadas e desenvolvidas com o objetivo de produzir uma ferramenta que auxilie a seleção de processos de tratamento de águas residuárias. Tais metodologias diferem entre si, basicamente, por duas grandes abordagens: a Econômica e a de Tecnologia Apropriada. Na abordagem de Tecnologia Apropriada, os principais modelos que a utilizam são os Modelos USAI-REID, WBANK e PROSEL-I.

Já as metodologias associadas à abordagem econômica, que realizam a “seleção preliminar” ou “planejamento ótimo”, são baseadas na otimização e empregam usualmente o custo como variável de decisão (PASSOS, 2012). O Quadro 1 apresenta, resumidamente, a evolução das metodologias disponíveis para auxiliar na seleção de sistemas de tratamento de águas residuárias.

Quadro 1. Metodologias de seleção de processos de tratamento de águas residuárias.

Metodologia	Referências	Aplicação	Abordagem
EPA-Bechtel	VAN NOTE et al. (1975)	Tratamento de Águas Residuárias	Analítica usando critério econômico de mínimo custo.
MAPMAT	ARNOLD (1982)	Abastecimento de água e saneamento (países em desenvolvimento)	Analítica usando critérios de eficiência em abordagem de tecnologia apropriada.
Câmara	CÂMARA (1982)	Tratamento de águas residuárias (incluindo lodo)	Analítica, usando abordagem de custo efetividade.
Tecle e colaboradores	TECLE et al. (1988)	Sistema de águas residuárias incluindo tratamento	Analítica, usando critérios de eficiência em abordagem de análise de decisão.
PROSEL-I	SOUZA (1992)	Tratamento de Águas residuárias	Analítica, usando critérios de eficiência para medir graus de tecnologia apropriada.

Fonte: Souza e Foster (1996).

SOUZA (1998) desenvolveu uma metodologia baseada em conceitos e corolários de Tecnologia Apropriada e em métodos de análise de decisão com múltiplos objetivos, que pode auxiliar na seleção de processos de tratamento de águas residuárias municipais. Para a aplicação da metodologia proposta, o autor utilizou o modelo PROSEL-I (Process Selection Model - Version I), dividido em seis etapas, apresentado pela Figura 4.

Na Fase I, o processo de seleção deve ser totalmente planejado, ou seja, todos os passos a serem realizados devem ser conhecidos e todos os requisitos e dados para se obter um resultado devem ser estabelecidos. Na Fase II, vários dados relacionados ao caso particular são pesquisados e fornecidos ao Modelo. Na Fase III, são selecionadas as alternativas viáveis do ponto de vista técnico. Na Fase IV, as alternativas selecionadas são analisadas quanto aos seus graus de adaptabilidade às condições específicas do caso sob análise, com o objetivo de se avaliar o grau com que cada alternativa se ajusta ao contexto existente. Na Fase V, o Modelo estima os custos de construção, operação e manutenção, além dos benefícios de cada alternativa de acordo com o efeito de redução das concentrações de contaminantes que seriam descarregados no ambiente se eles não fossem removidos do efluente por cada uma das alternativas de tratamento. Na Fase VI, são analisados todos os resultados para cada alternativa viável de cada fase anterior.

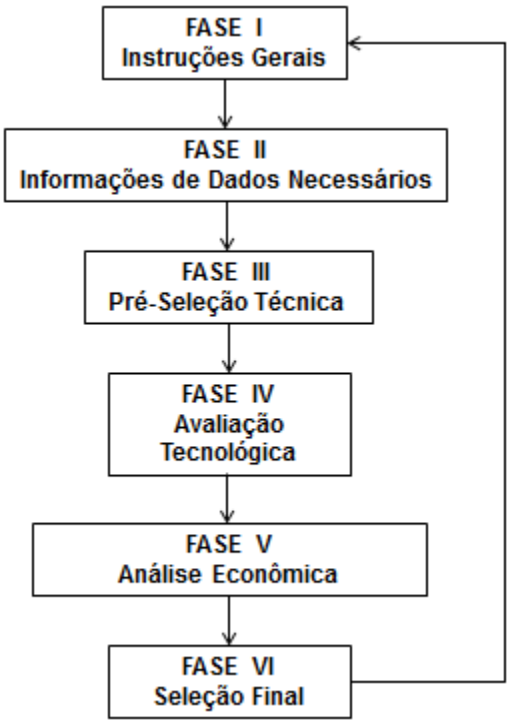

Figura 4. Fases do modelo Prosel-I.
Fonte: Souza (1998).

Segundo Metcalf e Eddy (1991), o custo é o aspecto de maior relevância para a seleção de sistemas de tratamento de esgotos, principalmente para o cliente – não somente o custo inicial de construção, como os custos anuais de operação e manutenção. Compõem os custos operacionais das estações de tratamento de esgoto os gastos com pessoal (encargos e benefícios), energia elétrica, materiais de tratamento, serviços, água, materiais e rateio de despesas de pessoal de apoio. Segundo Sampaio e Gonçalves (1999), os custos com pessoal, encargos sociais e benefícios, energia elétrica e materiais de tratamento correspondem aproximadamente 75% do custo operacional. Dessa forma, quando se pretende reduzir os custos de estações de tratamento esses itens devem ser considerados.

A melhor alternativa para a solução de problemas ambientais é aquela em que se é alcançada a eco eficiência – eficiência ecológica e econômica. Normalmente as soluções ecológicas levam à economia, uma vez que a redução do consumo de matérias-primas e energia, reciclagem ou reutilização de produtos são, concomitantemente, alternativas ecológicas e econômicas. No entanto, o processo para se atingir esse ideal ecológico-econômico é complexo. Sendo assim, no caso da escolha do melhor sistema de tratamento de esgoto, deve-se buscar a

minimização do consumo de energia, da geração de resíduos e dos custos de implantação, operação e manutenção, com garantia da eficiência de remoção de poluentes e matéria orgânica, uma vez que deverão ser atendidos aos requisitos ambientais do local a ser implantado (OLIVEIRA, 2004).

É relevante ressaltar que, no Brasil, a implantação de uma estação de tratamento de esgoto ocorre com o progressivo crescimento do número de unidades que darão forma final à estação. Em muitos casos implanta-se, numa primeira etapa, um processo menos eficiente ou que remova menor quantidade de poluentes, reservando-se, para uma segunda etapa, a conformação de um sistema mais eficiente (VON SPERLING, 1998). Entretanto, o problema de seleção de uma estação de tratamento de esgoto torna-se mais complicado quando observado no âmbito de uma bacia hidrográfica, com múltiplos lançamentos, de diferentes cargas, em corpos d'água com diferentes capacidades de assimilação.

Diante desse contexto, é necessário que seja realizada, primeiramente, uma adequada avaliação da capacidade de autodepuração do curso d'água receptor de diferentes efluentes, para que sejam identificados os limites de cargas que o mesmo poderá receber. Uma alternativa que tem se apresentado como interessante ferramenta de auxílio ao planejamento, seleção e escalonamento da implantação de sistemas de tratamento de esgotos no âmbito de bacias hidrográficas é o emprego combinado de modelagem da qualidade da água com técnicas de otimização, itens que serão detalhados nos tópicos a seguir.

3.2 MODELOS DE SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Os modelos de simulação da qualidade da água são compostos por expressões matemáticas que definem os processos físicos, químicos e biológicos que podem ocorrer no corpo d'água. A maioria dos modelos é composto de equações de conservação de quantidade de movimento e massa. Selecionando-se uma variável de qualidade de particular interesse e os processos que a afetam, o balanço de massa pode ser desenvolvido e envolverá três fenômenos fundamentais: a entrada do constituinte no volume de controle, o transporte dele através do volume de

controle e as reações ocorridas que resultam no aumento ou decaimento da concentração do constituinte (ALBERTIN, 2008).

A entrada de poluentes advém de processos naturais e do despejo de esgoto doméstico, efluentes industriais ou atividades agrícolas, na forma de poluição pontual ou difusa. Os processos de transporte descrevem os movimentos dos poluentes por meio dos fenômenos de difusão, dispersão e advecção e são dependentes das características hidrológicas e hidrodinâmicas do corpo d'água (ALBERTIN, 2008).

De acordo com Tucci (1998) a escolha de um modelo matemático para a simulação da qualidade da água em rios depende das características do sistema simulado, do nível de precisão esperado em função dos objetivos desejados, dos dados disponíveis e da disponibilidade de metodologia para representar os processos identificados. Segundo Albertin (2008) não há um único melhor modelo para todos os corpos d'água e todas as situações de planejamento. A seleção também depende de tempo e recursos disponíveis.

O modelo de Streeter e Phelps (1925) foi o precursor dos atuais modelos de qualidade de água. Foi aplicado pela primeira vez nos Estados Unidos no rio Ohio, em 1925, num estudo que tinha por finalidade aumentar a eficiência das ações a serem tomadas no controle da poluição. O Quadro 2 apresenta um breve histórico dos modelos de qualidade da água, estabelecidos a partir do modelo de Streeter-Phelps.

Quadro 2. Evolução histórica dos modelos matemáticos de qualidade de água.

(Continua)

Ano	Modelo	Características
1925	Streeter-Phelps	Este modelo representa o balanço de OD e DBO definidos na forma de equações diferenciais ordinárias de primeira ordem.
1963	Camp	É um modelo de simulação de OD/DBO que modifica as equações originais adicionando os termos referentes à sedimentação e/ou suspensão, DBO de escoamento superficial e fotossíntese.

Quadro 2. Evolução histórica dos modelos matemáticos de qualidade de água.

(Conclusão)

1971	Qual I	O modelo Qual I, desenvolvido pelo Texas WDB, usa equações unidimensionais de dispersão-advecção pela solução de diferenças finitas. É diferente dos modelos acima citados, que utilizam um trecho como elemento computacional e necessitam apenas de lançamento no início e final de cada trecho a ser alimentado. Utiliza um elemento computacional padrão de um comprimento estabelecido através do sistema. Elementos computacionais com propriedades hidrológicas e físicas similares são agrupados no mesmo trecho.
1974	Simox	Dissolved Oxygen Simulation Model - O modelo de simulação oxigênio dissolvido inclui OD/DBO, bactéria (Chik's Law) e uma substância conservativa. A versão mais recente também simula o decaimento de primeira ordem de nitrogênio e fósforo para representar sedimentação, absorção e transformação.
1976	CE-QUAL-W2	O modelo Ce-QUAL-W2 é bidimensional (vertical), hidrodinâmico e de qualidade de água. Inclui temperatura, salinidade, ciclo de OD/carbono, ciclos de nitrogênio, fósforo, fitoplânctons e bactérias. Vários níveis de complexidade são possíveis devido a organização modular das simulações de qualidade d'agua. O CE-QUAL-W2 tem sido aplicado largamente para rios, lagos, reservatórios e estuários nos Estados Unidos.
1985	Qual2-E (EPA)	Qual2-E é um modelo unidimensional de estado permanente, usado frequentemente para simular os efeitos da poluição de fontes pontuais e não pontuais na qualidade de água de rios. Ciclos detalhados de OD/DBO e de nutriente são simulados, considerando os efeitos de respiração de algas, reaeração e demanda de oxigênio de sedimentos. Os metais podem ser simulados arbitrariamente como constituintes conservativos ou não. Sua hidrodinâmica baseia-se na equação unidimensional de advecção-dispersão. É amplamente utilizado em todo o mundo, havendo diversos casos de aplicação no Brasil.
1985	HSPF	Hydrologic Simulation Program-Fortran. Este modelo combina as cargas de escoamento da bacia e cargas, transporte e formação, os rios de OD/DBO, nutrientes, algas e pesticidas/tóxicos. O HSPF requer uma extensa gama de dados de entrada e coeficientes para parametrizar cada processo de qualidade e quantidade de água. As simulações detalhadas de ciclo de nutriente incluem nitrificação e desnitrificação, absorção de amônia e de ortofosfato, uptake (coletor ascendente de gás), vaporização e imobilização. As transformações de tóxicos no rio abrangem solubilidade, volatilização, fotólises, oxidação e biodegradação. Somente a variação em uma dimensão é considerada no corpo d'agua. O HSPF inclui três compartimentos de algas e considera a respiração, crescimento, assentamento e morte usando a cinética de Michaelis-Menten. É um modelo altamente detalhado e tem sido largamente aplicado nos Estados Unidos.
1985	Mike 11	Este modelo foi desenvolvido pelo Instituto Dinamarquês de hidráulica para simular processos de águas pluviais, escoamentos em bacias e qualidade de água em corpos de águas unidimensionais. Os módulos de águas pluviais escoamento usam uma abordagem parâmetro global para simular escoamentos, mas as cargas poluentes não são simuladas.
1985	Wasp	Water Analysis Simulation Program – Este programa de simulação de análise da água foi desenvolvido para simular os processos de hidrodinâmica e de grande qualidade de água em 1, 2 ou 3 dimensões para avaliar o destino e transporte de contaminantes convencionais e tóxicos. Ciclos de OD/DBO detalhados, nitrogênio, fósforo e fitoplancton são simulados, usando-se o componente de qualidade da água neutro. O módulo “toxi” também avalia a cinética de substâncias tóxicas.
2007	Qual-UFMG	O modelo Qual-UFMG, desenvolvido para o ambiente computacional da planilha Excel, possibilita a modelagem de rios através da utilização de um modelo baseado no QUAL2-E, modelo desenvolvido pela EPA. O Qual-UFMG torna possível uma simulação rápida e simples do OD, DBO, nitrogênio total e suas frações, fósforo total e suas frações e os coliformes termotolerantes.

Fonte: Adaptado de Lima (2001), com inclusão de informações sobre o modelo QUAL-UFMG.

O QUAL2E é um dos modelos mais conhecidos e utilizados, dada sua versatilidade e facilidade de compreensão e aplicação. Foi desenvolvido pela EPA na década de

80, sendo ainda largamente empregado em diferentes estudos de qualidade ambiental. O modelo simula quinze variáveis de qualidade e permite avaliar impactos causados pelo despejo de águas residuárias domésticas e industriais. Dentre as variáveis modeladas estão Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), temperatura, algas e clorofila-a, nitrogênio total, amônia, nitrito, nitrato, fósforo total, fósforo dissolvido e coliformes.

Segundo Palmieri (2003), o modelo QUAL2E se aplica a correntes bem misturadas e considera os principais mecanismos de transporte (difusão e advecção) apenas ao longo da principal direção do fluxo (eixo longitudinal). Sua utilização se estende à presença de descargas poluidoras múltiplas, pontos de retirada e fluxos de afluentes na corrente em estudo. O QUAL2E permite a simulação de qualquer sistema fluvial ramificado e unidimensional, e trabalha em regime permanente e não uniforme.

O primeiro passo para a utilização do modelo é executar a representação esquemática, que consiste na divisão do rio em trechos (ou tramos), com características hidráulicas constantes. Cada trecho é então subdividido em elementos computacionais de igual comprimento, de tal modo que todo o rio seja igualmente dividido em elementos de mesmo comprimento (Figura 5) (PALMIERI, 2003).

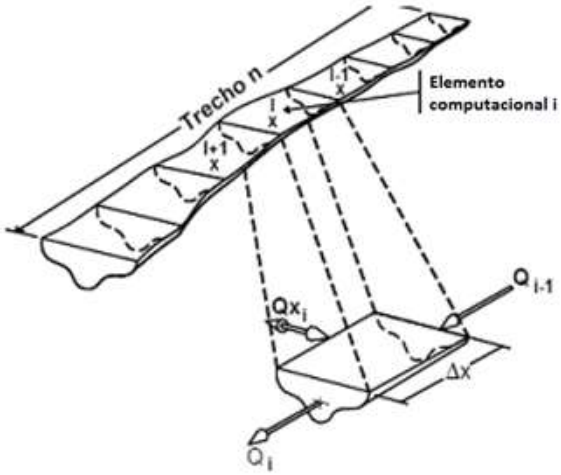

Figura 5. Representação esquemática de um trecho de um rio.
Fonte: Reis (2009).

A Figura 5 ilustra um trecho de um rio dividido em elementos computacionais de comprimento Δx. Em cada um desses elementos computacionais está descrito o

balanço hidráulico em função das entradas (Q_{i-1}), das fontes e retiradas externas (Q_x) e do fluxo de saída (Q_{i+1}). O balanço de massa de um constituinte dentro de cada elemento é feito da mesma forma. Nesses balanços são considerados os fenômenos da advecção e dispersão como responsáveis pelo transporte de massa ao longo do eixo longitudinal do sistema.

Dentre as limitações do QUAL2E podem ser citados os limites dos números máximos de trechos, elementos computacionais e junções, ausências da conversão de biomassa de algas mortas para DBO, do processo de desnitrificação, e das variações da concentração de oxigênio dissolvido (OD) causadas pelos bentos. Para superar algumas limitações do modelo QUAL2E foram realizadas modificações que podem ser encontradas na nova versão criada do modelo, denominada QUAL2K. O modelo QUAL2K também trabalha em regime permanente e não uniforme, podendo ser utilizado em rios e tributários, e considera outros parâmetros não tratados no QUAL2E. Adicionalmente, conta com a vantagem de ser implementado em planilhas do programa Microsoft Excel (CHAPRA *et al.*, 2005).

Von Sperling (2007) desenvolveu o modelo QUAL-UFMG, também implementado em planilhas do programa Microsoft Excel, que é uma adaptação ao modelo QUAL2E. Os parâmetros passíveis de serem modelados são DBO, OD, Nitrogênio Total e sua fração orgânica, amoniacal, nitrito e nitrato, Fósforo Total e suas frações orgânicas e inorgânicas, e coliformes termotolerantes. As simplificações na implementação do QUAL-UFMG, em relação ao QUAL2E, envolvem a integração numérica pelo método de Euler, a desconsideração da dispersão longitudinal e a não inclusão da modelagem de algas e todas suas inter-relações com os demais constituintes.

Os modelos de qualidade de água vem sendo amplamente utilizados para se avaliar e controlar a qualidade da água em diversas bacias, que estão sujeitas a alterações por meio de sua ocupação e da instalação de empreendimentos que podem provocar impactos locais. Reis (2009) utilizou o modelo QUAL2E para modelagem da qualidade de água no Alto Rio das Velhas, principal afluente do rio São Francisco, localizado em Minas Gerais, de forma a gerar uma ferramenta de apoio ao gerenciamento da qualidade da água. Os dados quantitativos, qualitativos e hidráulicos utilizados para fazer a calibração do modelo foram obtidos de quatro

campanhas de amostragem de água referentes ao ano de 2004 em que foram simulados os parâmetros OD e DBO. Nas conclusões o autor menciona que o processo de calibração e validação do modelo se mostrou bastante eficiente na previsão da qualidade da água e que o software se apresentou como uma ferramenta de formulação matemática consistente e de grande valor na gestão dos recursos hídricos.

Roques (2006) utilizou os modelos computacionais QUAL2E e GWLF para avaliação da poluição causada por fontes pontuais e difusas e posterior análise de outorgas para diluição de efluentes em corpos de água. A metodologia foi aplicada em uma sub-bacia do rio Santa Maria da Vitória, no Espírito Santo, e teve como proposta analisar cada lançamento paralelamente quanto à outorga para diluição em rio (em termos de DBO e temperatura) e em lago/reservatório (em termos de fósforo total). A autora observou que os modelos se mostraram eficientes para suporte à tomada de decisão, permitindo a avaliação dos pedidos de outorgas para diluição de efluentes, auxiliando na decisão quanto à alocação dos lançamentos e captações e na verificação dos efeitos da redução da carga lançada, tanto para rios, como para lagos e reservatórios.

Paula (2011) utilizou o modelo QUAL-UFMG para avaliar a capacidade de autodepuração do rio Jordão considerando as contribuições reais do córrego Brejo Alegre, tendo em vista o lançamento de efluentes brutos no referido córrego de parte da cidade de Araguari, Minas Gerais. Segundo o autor, as simulações para os períodos de estiagem e chuvoso apresentaram ajustes satisfatórios entre os dados medidos e os estimados, evidenciando-se a prevalência de desoxigenação por demanda carbonácea sobre a nitrificação e a importância da reaeração natural no processo de autodepuração. Além disso, foi verificado que os parâmetros de OD, nitrogênio e frações, fósforo e coliformes termotolerantes respeitaram os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005, em toda sua extensão, para rios de Classe 2. Porém, com relação à DBO, todo o trecho simulado apresentou concentrações superiores ao padrão de qualidade ambiental devido ao recebimento de cargas poluidoras provenientes do córrego Brejo Alegre.

Trevisa (2011) implementou o modelo QUAL-UFMG para verificar as condições dos recursos hídricos da bacia do rio Papaquara, bacia localizada no norte da Ilha de

Santa Catarina, considerando as cargas poluidoras que são lançadas de forma difusa ao longo da extensão do rio objeto de simulação. Foram realizadas medições de campo ao longo de todo o curso do rio principal para a calibração do modelo. Após a calibração do modelo, o autor concluiu que os resultados obtidos apontaram para a melhoria da qualidade das águas do rio com o aumento da cobertura de coleta e tratamento de esgotos na região e apresentaram o percentual de atendimento a padrões de qualidade no curso de água.

3.3 MODELO DE OTIMIZAÇÃO

Otimização consiste em se encontrar uma solução ou um conjunto de soluções ótimas para uma determinada função ou conjunto de funções. Assim, um modelo de otimização obtém as melhores soluções para uma função matemática sujeita ou não a restrições.

De maneira geral, o modelo de otimização é constituído por uma função objetivo e funções de restrição, que determinam a região viável das variáveis de decisão. Matematicamente, um problema de otimização pode ser representado por meio da Equação (1) (GONZAGA, 2004).

$$\min f(x) \qquad (1)$$

$$x \in \Omega \quad \text{com } x \in R^n \quad \text{e} \quad f : R^n \rightarrow R$$

Na equação, tem-se que a função f representa a função-objetivo do problema de otimização; o espaço Ω representa um subconjunto do espaço real (R^n) onde está contida a solução do problema, conhecido como espaço de busca. Um ponto $x \in \Omega$ é solução ótima do problema, ou minimizador global da função f, se e somente se, a função aplicada neste ponto for menor ou igual do que a função aplicada a qualquer outro ponto x.

É importante citar que o problema de otimização pode corresponder à minimização ou maximização de uma função-objetivo. É possível observar que “Maximizar *f*” é

equivalente a “Minimizar (*–1)f*”, razão pela qual se pode, sem perda de generalidade, falar apenas em “Minimização”.

Técnicas de otimização são conhecidas há mais de um século e podem ser aplicadas em diversos campos da ciência. De acordo com Yeh (1985) *apud* Santos (2007), os mais importantes avanços no campo da engenharia de recursos hídricos foram o desenvolvimento e a adoção de técnicas de otimização para o planejamento e gerenciamento de sistemas complexos de recursos hídricos. Segundo Lanna (2002), simular o comportamento da realidade que os sistemas de recursos hídricos representam e otimizar os processos que atuam sobre esta realidade são os propósitos para a análise de tais sistemas. Dessa forma, torna-se possível a utilização de duas técnicas: a de simulação e a de otimização.

A maioria dos modelos de otimização é baseada em algum tipo de programação matemática e, segundo Santos (2007), uma classificação básica das técnicas de otimização é dada por:

- Programação Linear (PL);
- Programação Dinâmica (PD);
- Programação Não-Linear (PNL) e
- Métodos Heurísticos (Algoritmos genéticos, redes neurais, lógica fuzzy, etc.).

Segundo Albertin (2008), técnicas de otimização vem sendo empregadas em problemas de alocação de cargas poluidoras, estabelecendo-se a eficiência de tratamento como variável de decisão para a maximização da eficiência econômica, tendo como restrição a qualidade desejável do corpo d’água. De acordo com Valory (2013), os trabalhos de Lynn *et al.* (1962) e Revelle *et al.* (1968), por meio da Programação Linear (PL), constituíram-se as primeiras tentativas de solução para este tipo de problema. Posteriormente Graves *et al.* (1972) e Smeers e Tyteca (1982), utilizaram a Programação Não Linear (PNL); Klemetson e Grenney (1985) utilizaram a Programação Dinâmica (PD). Albertin (2008) ressalta que devido às limitações impostas por cada técnica de otimização e ao desenvolvimento dos computadores e softwares, métodos heurísticos vêm sendo utilizados pelos pesquisadores com o objetivo de encontrar o ótimo global em problemas lineares ou não. Os trabalhos de Neelakantan e Pundarikanthan (1999), Jairaj e Vedula (2000),

e Burn e Yulianti (2001), citados pela referida autora, utilizaram, respectivamente, redes neurais, lógica fuzzy e algoritmo genético como técnicas de otimização. Em função do foco do presente trabalho, a PNL receberá destaque, sendo objeto de estudo da próxima seção.

3.4 PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR (PNL)

A otimização não linear é usada em situações nas quais a função objetivo ou as restrições não são lineares. Os modelos matemáticos que representam sistemas hídricos envolvem um conjunto de formulações não lineares, o que eventualmente permite a aplicação da PNL para a determinação de soluções ótimas (VALORY, 2013).

Cirilo (2002) classifica a PNL quanto aos métodos utilizados na solução dos problemas em técnicas analíticas e técnicas de busca numérica. Nas técnicas analíticas, as soluções ótimas são obtidas pela resolução de sistemas de equações, com apoio de derivadas, podendo a otimização ser reduzida à procura das raízes desses sistemas. Já as técnicas de busca numérica usam informações passadas em um processo iterativo, para se gerar melhores soluções no processo de otimização.

Segundo Labadie (2004) *apud* Santos (2007), os algoritmos de programação não linear, comumente considerados como os mais poderosos e robustos, são a programação linear sucessiva (ou sequencial), a programação quadrática sucessiva, o método Lagrangeano aumentado (ou método dos multiplicadores) e o método do gradiente reduzido generalizado. Vários programas computacionais estão disponíveis, atualmente, para a resolução de problemas de PNL. Cirilo (2002) descreve, dentre outros, alguns programas mais difundidos, como o ADS, da Universidade da Califórnia, o GAMS, da GAMS Development Corporation, o LANCELOT e o SOLVER.

Dentre as vantagens da utilização da PNL, destaca-se a sua abrangência, oferecendo uma formulação matemática mais geral, não necessitando de simplificações, o que aumenta a precisão nos resultados a serem alcançados (SIMONOVIC, 1992, *apud* SANTOS, 2007). No entanto, de acordo com Albertin *et*

al. (2006) uma desvantagem da aplicação da PNL nos problemas de gerenciamento dos recursos hídricos é que a técnica não distingue necessariamente o ótimo local do ótimo global.

Louzada *et al.* (2013), em seu estudo, empregou a PNL e a modelagem computacional de qualidade de água no processo de seleção de níveis de tratamento de esgotos para a bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, curso d'água localizado no estado do Espírito Santo. Como uma de suas conclusões, tem-se que o uso combinado de modelo computacional de qualidade de água e técnica de otimização constituiu uma alternativa eficiente para a seleção dos níveis de tratamento, podendo subsidiar e fundamentar tomadas de decisões relativas à seleção dos sistemas de tratamento de esgotos numa bacia hidrográfica.

Valory *et al.* (2013) combinou um modelo de qualidade de água e técnicas de otimização (Algoritmo Genético e Programação Não Linear), como alternativa metodológica para o processo de seleção de ETE's e os resultados foram comparados com aqueles obtidos pela implantação de um algoritmo de Busca Exaustiva. As técnicas de otimização estimaram eficiências de remoção de matéria orgânica muito próximas daquelas estimadas pelo algoritmo de Busca Exaustiva, e num tempo de processamento computacional substancialmente menor.

4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo considerada neste trabalho é a porção superior da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória. A área de drenagem da bacia do rio Santa Maria da Vitória é de aproximadamente 1660 km^2, com altitudes variando de 0 a 1300 m, e seu perímetro é de 291 km. A bacia é delimitada a Leste com a baia de Vitória, ao Norte e a Oeste com as bacias dos rios Reis Magos e Doce e, ao Sul, com as bacias do rio Jucu, Bubu e Formate (HABTEC, 1997).

O rio Santa Maria da Vitória é um importante manancial de abastecimento de grande parte da Região Metropolitana da Grande Vitória e drena os municípios de Santa Maria de Jetibá, Santa Leopoldina e parte dos municípios de Cariacica e Serra. Os conflitos existentes estão relacionados à perda da qualidade de suas águas, muito em virtude das cargas orgânicas dos efluentes descartados no rio (IEMA, 2014). Seus afluentes cortam vários povoados com atividades econômicas voltadas para a agricultura, principalmente produção de hortigranjeiros, e seu curso principal recebe os efluentes domésticos da cidade de Santa Maria de Jetibá por meio do córrego São Luiz. As águas da bacia do rio são utilizadas para usos como abastecimento público, irrigação e geração de energia elétrica e, em função destes usos, sua qualidade é um fator de grande importância para o desenvolvimento regional (CAIADO *et al.*, 1999).

O rio Santa Maria da Vitória tem como principais afluentes os rios Posmoser, Claro, São Luís, Bonito, da Prata, Timbuí, Magaraí, das Pedras, Caramuru, Duas Bocas, Triunfo, Jequitibá, Farinhas, Fumaça e São Miguel. A Figura 6 apresenta a porção superior da bacia hidrográfica, região da bacia objeto do presente estudo.

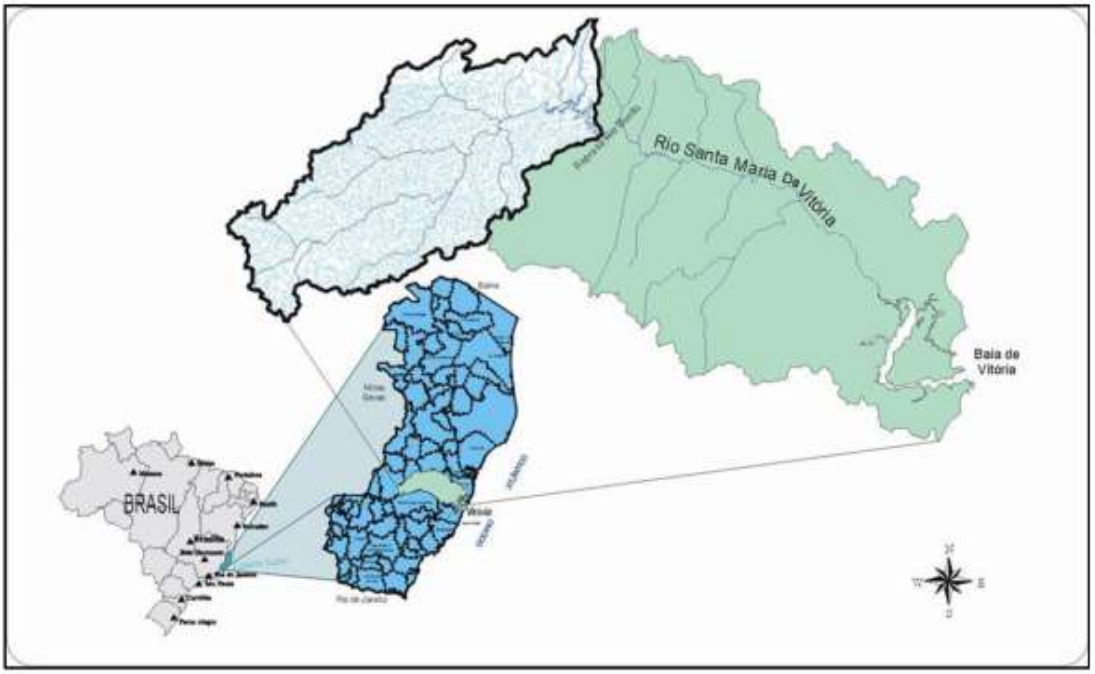

Figura 6. Localização da sub-bacia do rio Santa Maria da Vitória.
Fonte: Zamprogno (1999).

5 METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho, estabelecida com o objetivo de oferecer subsídios para o processo de tomada de decisão associado à seleção de sistemas de tratamento de esgotos domésticos, envolve a integração de um modelo de simulação de qualidade de água com um modelo de otimização, além de análise técnica e econômica de alternativas de tratamento de esgotos. A Figura 7 apresenta as etapas que conformam a referida metodologia.

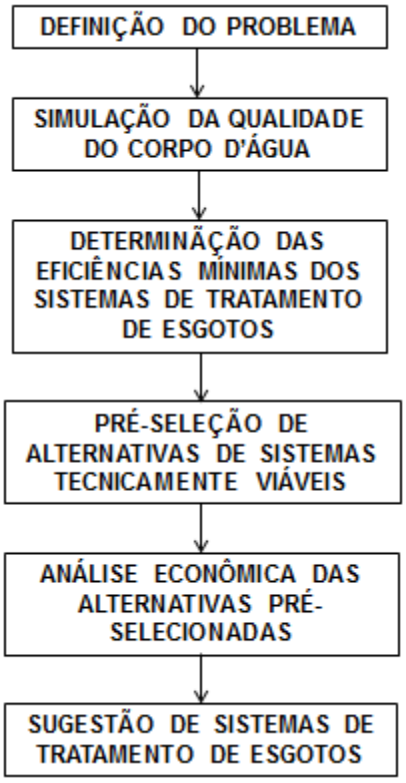

Figura 7. Fluxograma do processo de seleção de sistemas de tratamento de esgotos empregado neste trabalho.

Nos tópicos subsequentes serão apresentadas considerações sobre o modelo de simulação da qualidade da água, as constantes cinéticas e informações hidrodinâmicas necessárias na modelagem, os cenários de disposição de efluentes simulados, o problema de otimização, o processo de pré-seleção técnica e, por fim, a análise econômica de sistemas de tratamento de esgotos viáveis tecnicamente.

5.1 MODELO PARA SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

O modelo QUAL-UFMG, desenvolvido com base no modelo QUAL2E no ambiente da planilha do Excel, tem como objetivo possibilitar a modelagem de rios. Suas planilhas permitem uma simulação rápida e simples. O modelo computacional é utilizado para simular a qualidade das águas por meio da modelagem dos parâmetros DBO e OD, nitrogênio total e suas frações, fósforo total e suas frações e coliformes termotolerantes (VON SPERLING, 2007).

De acordo com Von Sperling (2007), a estrutura do programa é similar a do QUAL2E. No entanto, possui como simplificação o fato de não se incluírem as algas e todas as suas inter-relações com os demais constituintes. Os resultados obtidos pelo modelo podem ser visualizados por meio de gráficos contidos nas planilhas do programa Microsoft Excel.

Neste trabalho, o programa foi utilizado para simular a qualidade das águas do rio Santa Maria da Vitória por meio da modelagem dos parâmetros DBO e OD. As equações (2) e (3) são utilizadas pelo QUAL-UFMG para modelagem dos parâmetros DBO e OD, respectivamente.

$$\frac{dL}{dt} = - K_1 . L - K_s . L + L_{rd} \quad (2)$$

$$\frac{dC}{dt} = K_2 (C_s - C) + K_1 . L - S_d + F - R \quad (3)$$

Nas equações (2) e (3):

- K_1 = Coeficiente de decomposição da DBO (d^{-1});
- L = Concentração de DBO última em um tempo de percurso t qualquer (mg/l);
- K_s = Coeficiente de remoção de DBO por sedimentação (d^{-1});
- L_{rd} = Taxa de entrada de DBO última difusa na massa líquida (mgDBO/l.d).
- C = Concentração de oxigênio dissolvido em um tempo t qualquer (mg/l);
- K_2 = Coeficiente de reaeração (d^{-1});
- C_s = Concentração de saturação do OD (mg/l);
- S_d = Demanda de oxigênio pelo sedimento (mgO_2/l.d);

- F = Taxa de produção de OD por fotossíntese ($mgO_2/l.d$);
- R = Taxa de consumo de OD por respiração ($mgO_2/l.d$);

Como o processo de modelagem não inclui as algas e todas as suas inter-relações com os demais constituintes, as taxas de produção (F) e consumo (R) foram desconsideradas.

Segundo Von Sperling (1996) o lodo que não se encontra totalmente estabilizado representa uma fonte de DBO, compensando o decaimento da mesma devido ao processo de sedimentação. Dessa forma, os coeficientes de decaimento da DBO na sedimentação K_s e a demanda do sedimento S_d também não foram considerados.

Neste trabalho foram considerados apenas lançamentos pontuais. Assim, as simulações não levaram em conta cargas difusas e vazões incrementais, assumindo-se nula a taxa de DBO última difusa na massa líquida (L_{rd}).

5.2 CONSTANTES CINÉTICAS E CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS

As constantes cinéticas e informações hidrodinâmicas consideradas neste trabalho serão obtidas a partir do trabalho proposto por Salim (2004), que considerou múltiplas fontes de poluição pontual para a porção superior da bacia do rio Santa Maria da Vitória, mesmo sistema hídrico objeto de análise do presente estudo.

Adotou-se, para a constante K_1 nas simulações, o valor de 0,23 dia^{-1}, conforme sugerido por Salim (2004). As variáveis vazão, velocidade média e altura de lâmina d'água relacionaram-se entre si por meio das expressões (4) e (5):

$$U=aQ^b \quad (4)$$

$$H= \alpha Q^\beta \quad (5)$$

Em que:

Q = vazão no trecho;

U = velocidade média no trecho (m/s);

H = profundidade média no trecho (m);

a, b, α, β = constantes empíricas.

Os valores dos coeficientes a, b, α e β (Tabela 4) são os mesmos utilizados por Roques (2006) em seu trabalho desenvolvido para o mesmo trecho no Rio Santa Maria da Vitória.

Tabela 4. Coeficientes e expoentes necessários à determinação de "K_2".

Coeficientes	Valores
a	0,0603
b	0,7765
α	0,5487
β	0,4775

Fonte: Roques (2006).

O coeficiente de reaeração K_2 é dado pela Equação (6):

$$K_2 = 0{,}90.Q^{-0{,}04} \quad (6)$$

Os valores assumidos para a temperatura média da água e para a altitude média foram respectivamente, 21ºC e 900m, conforme apresentado por Caiado *et al.* (1999). A concentração de saturação de oxigênio dissolvido foi estimada a partir da expressão proposta por Pöpel (1979), e assumiu o valor de 8,00 mg/L.

5.3 CENÁRIOS SIMULADOS

O sistema hídrico no qual foram realizadas as simulações está representado na Figura 8, que inclui informações sobre qualidade e disponibilidade de água do rio Santa Maria da Vitória e de seus principais afluentes. É importante destacar que o rio Alto Posmoser torna-se um afluente do rio Santa Maria da Vitória no quilômetro 24, e o rio São Luiz no quilômetro 36.

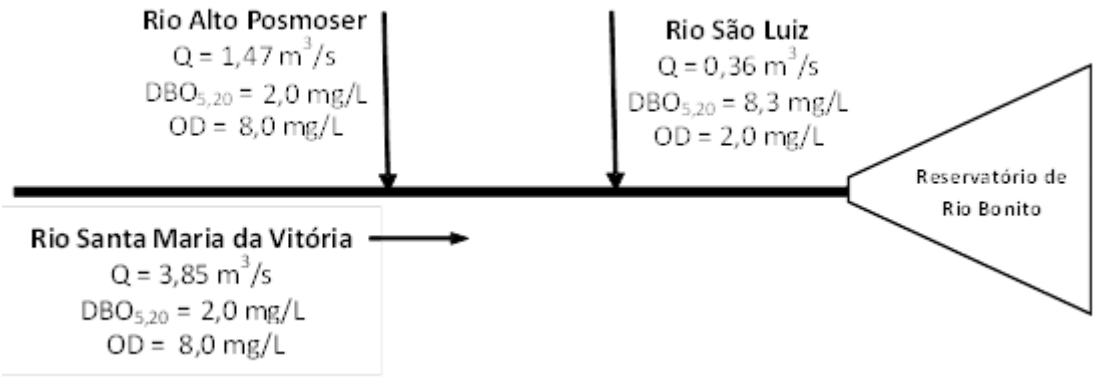

Figura 8. Representação esquemática do sistema hídrico a ser estudado.
Fonte: Adaptado de Salim (2004).

Foram simulados três cenários (Cenários A, B e C) nos quais o esgoto bruto apresentou DBO de 350 mg/L e concentração nula de OD. Os cenários considerados, semelhantes àqueles empregados por Salim (2004), podem ser assim detalhados:

- Cenário A: lançamento de cinco efluentes de mesma carga e sem nenhum tipo de tratamento (P1 = P2 = P3 = P4 = P5 = 40 L/s), dispostos no rio Santa Maria da Vitória nos quilômetros 8, 16, 25, 32 e 40 (Figura 9).

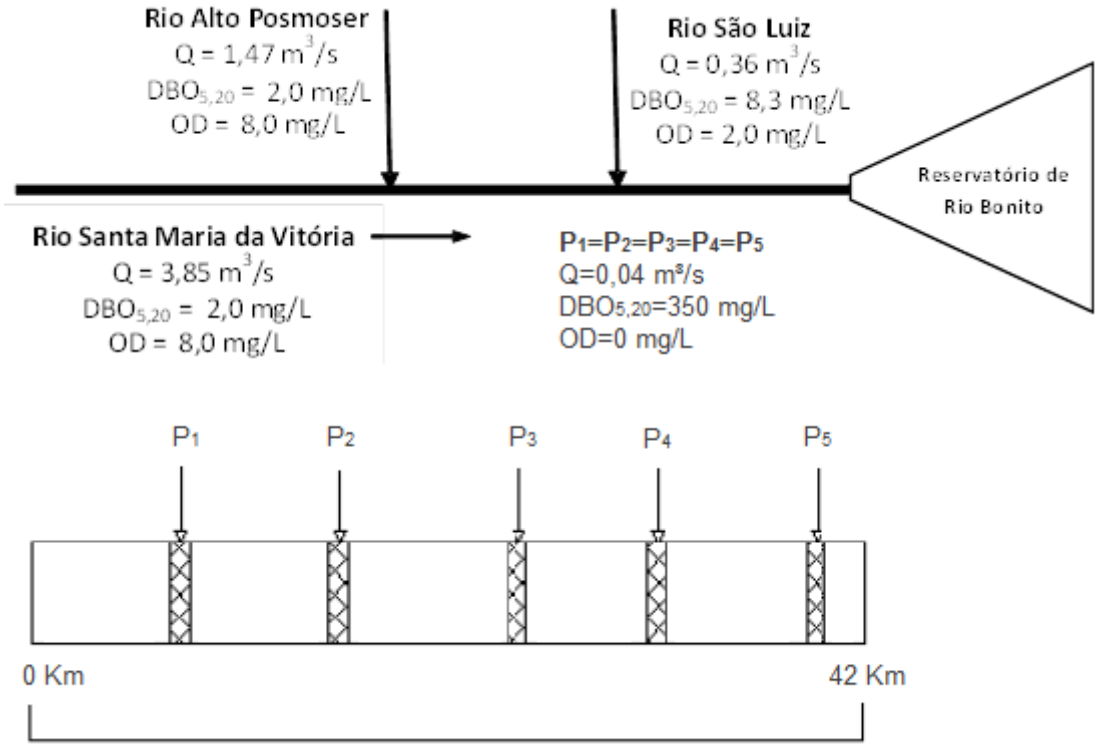

Figura 9. Representação esquemática do sistema hídrico a ser modelado conforme cenário A.
Fonte: Adaptado de Salim (2004).

- Cenário B: lançamento de cinco efluentes com diferentes cargas orgânicas. As características de qualidade dos efluentes são iguais àquelas consideradas no cenário A com vazões diferenciadas (P1 = 60 L/s, P2 = 50 L/s, P3 = 40 L/s, P4 = 30 L/s e P5 = 20 L/s), conforme Figura 10.

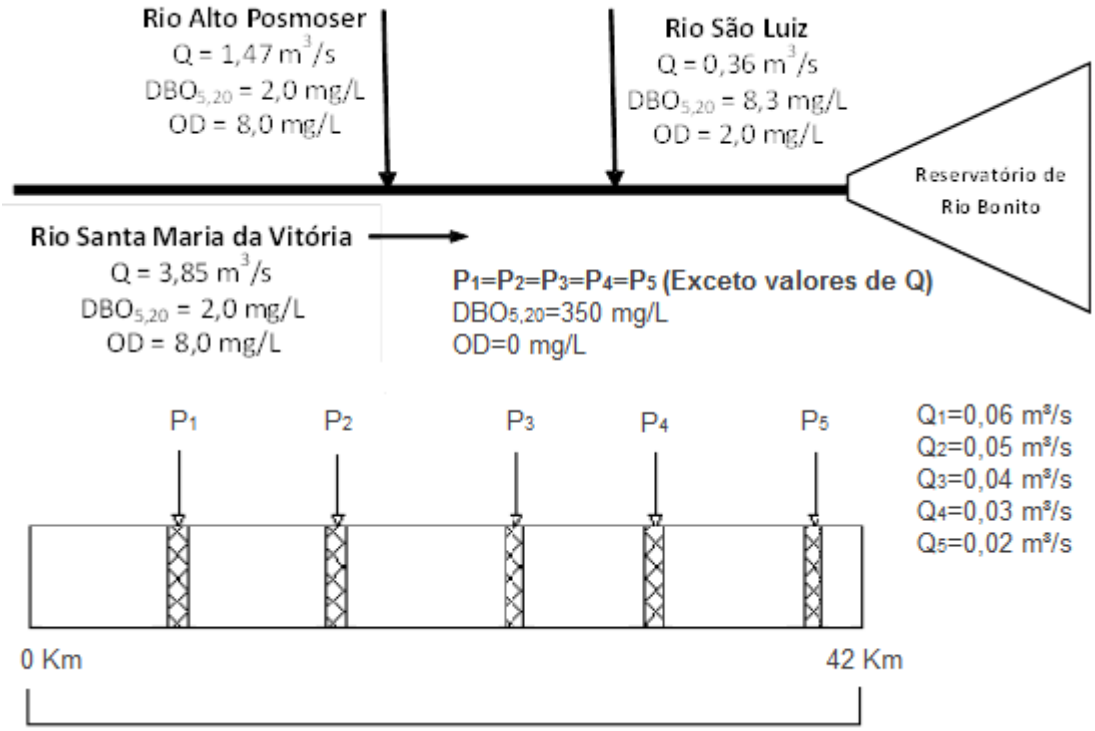

Figura 10. Representação esquemática do sistema hídrico a ser modelado conforme cenário B.
Fonte: Adaptado de Salim (2004).

- Cenário C: situação hipotética na qual as vazões dos rios Posmoser e Santa Maria assumiram o mesmo valor, influenciando de forma significativa a capacidade de autodepuração ao longo do curso d'água principal. Considerou-se a disposição de esgotos brutos em quatro pontos à montante do Rio Posmoser (quilômetros 4, 8, 12 e 16), todas com vazão de 20 L/s; adicionalmente considerou-se um ponto de disposição de esgotos no quilômetro 25, com vazão de 50 L/s (Figura 11).

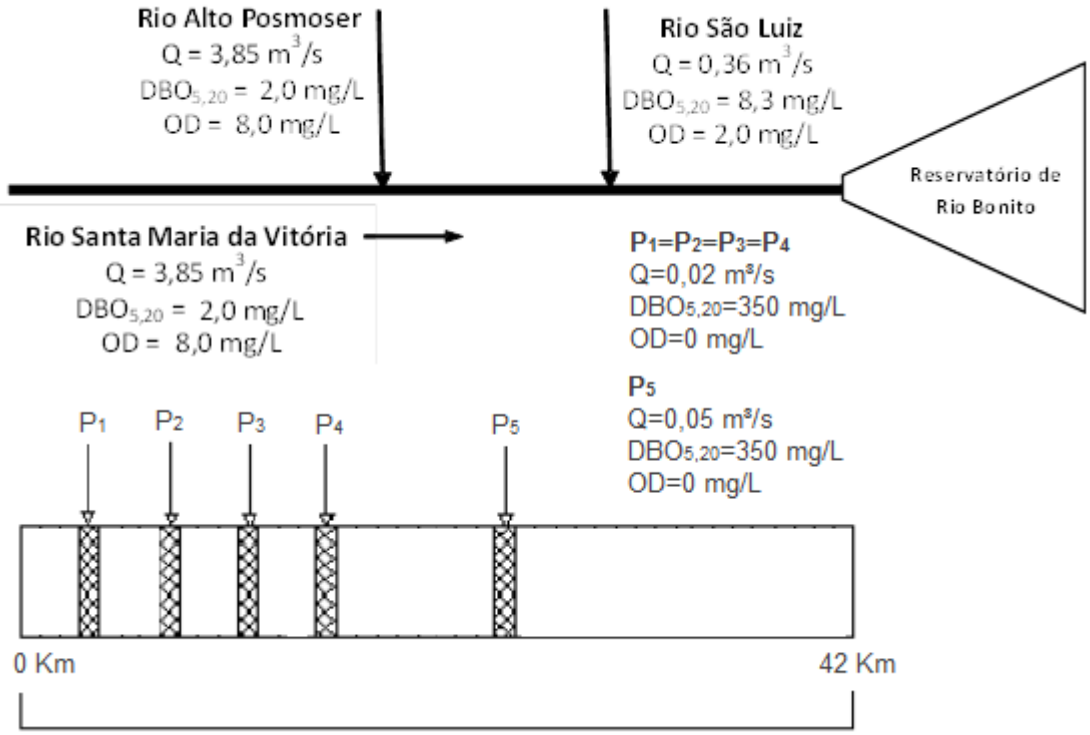

Figura 11. Representação esquemática do sistema hídrico a ser modelado conforme cenário C.
Fonte: Adaptado de Salim (2004).

5.4 PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO

Para a solução do problema de otimização foi utilizada a Programação Não Linear (PNL). O referido problema foi tratado de duas formas diferentes, nas quais foram aplicadas as seguintes condições:

1) Minimização do somatório do conjunto de eficiências associadas a diferentes ETE's a serem implantadas no sistema hídrico proposto, conforme os diferentes cenários simulados, de forma que os padrões de qualidade de água exigidos pela resolução CONAMA nº 357/2005 sejam respeitados em todos os trechos do corpo receptor analisados;
2) Minimização das eficiências de tratamento de esgotos para diferentes cenários simulados, de forma que os padrões de qualidade de água sejam atendidos e que a equidade entre os lançamentos de efluentes existentes seja assegurada.

Nas seções 5.4.1 e 5.4.2, os conjuntos de condições considerados neste estudo são representados matematicamente por meio de função objetivo e grupos de restrições, conformando a tradução usual dos problemas de otimização.

5.4.1 Inserção da minimização das eficiências no problema de otimização

O problema de otimização que leva em consideração somente a minimização das eficiências de tratamento de esgotos, pode ser matematicamente representado pelas equações de (7) a (12).

$$\text{Minimizar } [f(E)] = \sum_{i=1}^{5} E_i \quad (7)$$

Sujeito à:

$$E_i \leq 90 \quad (8)$$

$$DBO_{ESGOTO\ TRATADO} \leq DBO_{ESGOTO\ BRUTO} \quad (9)$$

$$DBO_{ESGOTO\ TRATADO} \geq 0 \quad (10)$$

$$DBO_{CURSO\ D'ÁGUA} \leq 5 \quad (11)$$

$$OD_{CURSO\ D'ÁGUA} \geq 5 \quad (12)$$

Nas expressões anteriores, E_i representa a eficiência do i-ésimo sistema de tratamento de esgotos considerado para a bacia em estudo, $DBO_{ESGOTO\ TRATADO}$, $DBO_{ESGOTO\ BRUTO}$ e $DBO_{CURSO\ D'ÁGUA}$ representam os valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio para o esgoto tratado, esgoto bruto e curso d'água, respectivamente; e $OD_{CURSO\ D'ÁGUA}$ a concentração de Oxigênio Dissolvido no curso d'água.

Os cursos d'água que compõem a bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória não passaram por processo de enquadramento, sendo então classificados como rios Classe 2, conforme estabelece Artigo 42 da Resolução CONAMA n° 357/2005. Dessa forma, os padrões de qualidade estabelecidos para DBO e OD em rios classe 2 deram forma às restrições estabelecidas pelas expressões (11) e (12). No entanto, o Artigo 10 da referida resolução cita que os limites de DBO, estabelecidos para as

águas doces de classes 2 e 3, podem ser elevados, caso o estudo da capacidade de autodepuração do corpo receptor demonstre que as concentrações mínimas de oxigênio dissolvido previstas não sejam desobedecidas.

A Resolução CONAMA nº 430/2011, em seu Artigo 21, estabelece que a concentração máxima de DBO no efluente tratado não deve superar 120 mg/L. No entanto, a Resolução indica que a referida concentração poderá ser ultrapassada naquelas situações em que o sistema de tratamento apresentar eficiência mínima de 60% para remoção DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor. Dessa forma, foi considerada uma restrição adicional associada à remoção de DBO, estabelecendo-se três diferentes grupos de otimização para cada um dos cenários de simulação anteriormente descritos. A restrição adicional assumiu as seguintes formas:

1. $E_i \geq 60\%$. Nesta opção admite-se o lançamento de concentrações de DBO no esgoto tratado superiores a 120 mg/L;
2. $DBO_{ESGOTO\ TRATADO} \leq 120$ mg/L;
3. $E_i \geq 0$, ignorando-se o valor mínimo para eficiência de remoção de DBO (60%) e o valor máximo para a DBO no esgoto tratado (120 mg/L), assumindo-se, portanto, a possibilidade de disposição final de efluentes brutos. Nesta opção, toda a carga de DBO lançada poderia ser assimilada em decorrência da capacidade de autodepuração do curso d'água.

É importante ressaltar que, ainda que as equações que dão forma à função objetivo e às restrições não configurem explicitamente um problema de PNL, as equações que permitem a estimativa das concentrações de OD e DBO ao longo do curso d'água são não-lineares e, assim, a avaliação do atendimento das restrições também são não-lineares. Portanto, as soluções dos problemas de PNL propostos neste trabalho foram feitas por meio do programa SOLVER, disponibilizado pela planilha eletrônica Microsoft Excel. O SOLVER utiliza um algoritmo de otimização denominado GRG2, baseado na técnica de gradientes reduzidos generalizados.

5.4.2 Inserção da minimização das eficiências e das condições de equidade no problema de otimização

Nessa segunda conformação do problema de otimização foi levado em consideração, além da minimização das eficiências de tratamento de esgotos, a introdução da equidade entre os lançamentos de efluentes existentes numa bacia hidrográfica. A medida de equidade parte do princípio que fontes com maior carga poluidora devem apresentar níveis mais altos de tratamento.

Desta forma, as equações de (7) a (12) foram conservadas para o problema de otimização, com a inclusão de uma restrição adicional representada pela Equação (13).

$$\frac{CO_{EsgotoBruto(i)}}{E_{(i)}} = \frac{CO_{EsgotoBruto\ (n)}}{E_{(n)}}, \forall\ n \qquad (13)$$

Na Equação (13), $CO_{EsgotoBruto(i)}$ representa a carga orgânica do esgoto bruto do i-ésimo lançamento de efluentes na bacia em estudo e E_i representa a eficiência do i-ésimo sistema de tratamento de esgotos. É relevante ressaltar que as restrições adicionais associadas aos padrões de lançamento pela Resolução CONAMA nº 430/2011, apresentadas ao final da seção 5.4.1, também são válidas para esse problema de otimização.

A função matemática empregada para a manutenção da equidade entre sistemas de tratamento de esgotos busca estabelecer níveis de DBO que preservem a igualdade da relação $\frac{CO_{EsgotoBruto(i)}}{E_{(i)}}$ entre os lançamentos. Dessa forma, quanto maior a carga orgânica bruta associada a um determinado lançamento, maior será a eficiência de remoção de DBO estimada para aquele ponto.

5.5 PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

Para a pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos foi considerada a fase III do modelo desenvolvido no trabalho de SOUZA (1998).

O processo de seleção técnica dos sistemas de tratamento de esgotos partiu dos resultados decorrente do emprego combinado do modelo de qualidade da água e da técnica de otimização, considerados os diferentes cenários de disposição de efluentes avaliados neste estudo. Nesta primeira etapa foram gerados, por cenário de disposição, os valores de eficiências mínimas requeridas para as ETE's a serem implantadas. A eficiência de remoção de DBO foi, portanto, o primeiro critério técnico considerado no processo de pré-seleção. No entanto, quanto maior o número de critérios incorporados ao processo de pré-seleção, mais refinado se torna o processo, aumentando-se a perspectiva de seleção das melhores tecnologias de tratamento de esgotos para cada condição de disposição final de efluentes. Desta forma, após a determinação das eficiências mínimas de remoção de DBO, foram incorporados ao processo de seleção critérios técnicos estabelecidos nos trabalhos de Von Sperling (2005), Jordão e Pessoa (2005) e USP (2004), critérios reunidos nas Tabelas 2 e 3 da seção 3.1. Nesta segunda etapa do processo de pré-seleção foram considerados adicionalmente os seguintes critérios: disponibilidade de área (m^2), volume máximo de lodo a ser disposto (L/mês), consumo máximo admissível de energia (kWh/mês), declividades mínima e máxima do terreno (%), taxas de percolação mínima e máxima do solo (cm^3/h), espessura mínima do solo (m), profundidade mínima da camada impermeável solo (m), profundidade mínima do lençol freático (m), ocorrência de rochas.

Duas diferentes planilhas eletrônicas (Figuras 12 e 13), funcionando em associação com o modelo de qualidade de água e técnica de otimização, levam a termo o processo de pré-seleção de sistemas de tratamento de efluentes.

Numa primeira planilha (Figura 12), o usuário indica quais critérios deverão ser considerados, por ponto de disposição final de efluentes, no processo de pré-seleção. Sobre esta primeira planilha, são relevantes as seguintes observações:

- As células associadas à eficiência requerida, carga orgânica e população equivalente não devem ser preenchidas pelo usuário. As eficiências mínimas requeridas, por ponto de disposição de efluente, são automaticamente produzidas em decorrência da aplicação combinada do modelo de qualidade de água e da técnica de otimização.

- Como as demandas mínimas, médias e máximas de área, consumo de energia, volume de lodo a ser disposto, custos de implantação e custos de operação são apropriados em função do número de habitantes, foi necessário calcular a população equivalente associada a cada ponto de disposição de efluente, cujo valor foi obtido a partir da carga orgânica e da contribuição per capita de DBO. Neste estudo, assumiu-se uma contribuição per capita de DBO de 50g/hab.dia, conforme indicação de Von Sperling (2005).
- Caso o usuário não queira incorporar algum critério ao processo de pré-seleção, deverá inserir a palavra “não” na célula reservada aos valores do referido critério. É relevante observar que a indicação dos critérios a serem adotados se dá por ponto de disposição de efluentes, tornando o processo flexível e adaptado à disponibilidade de informações.

Dados Associados às Estações de Tratamento de Esgotos					
ETE nº	1	2	3	4	5
Carga Orgânica (g/dia)					
Contribuição Per Capita (g/hab.dia)					
População Equivalente (hab)					
Dados Econômicos					
Taxa de Juros					
Critérios					
Eficiência Requerida (%)					
Disponibilidade de Área (m²)					
Volume máximo de lodo a ser disposto mensalmente (L)					
Consumo mensal máximo admissível de energia (kWh)					
Declividade Mín. (%)					
Declividade Máx. (%)					
Percolação Mín. Solo (cm³/h)					
Percolação Máx. Solo (cm³/h)					
Espessura Mínima Solo (m)					
Profundidade Mínima Solo (m)					
Profundidade Lençol Mínima (m)					
Permite Afloramento Rocha					

Figura 12. Planilha para definição dos critérios associados ao processo de pré-seleção dos sistemas de tratamento de esgotos.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº ___												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade mín.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
Total de Sistemas de Tratamento de Esgotos Viáveis												

Figura 13. Planilha de resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos.

Após a definição dos critérios associados à pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos (Figura 12), as alternativas de tratamento consideradas tecnicamente viáveis são selecionadas e sumarizadas com auxílio de uma segunda planilha eletrônica (Figura 13). O preenchimento automático desta segunda planilha é levado a termo por meio da seguinte sequência de avaliações:

(1) Avaliação das eficiências mínimas aceitáveis por ponto de disposição de efluentes e verificação dos sistemas que atendem o critério de eficiência mínima. São descartados os sistemas que apresentem eficiência máxima menor que a requerida;
(2) Avaliação das necessidades de área para instalação das ETE's e verificação dos sistemas que atendem o critério de área. São excluídas as alternativas consideradas inviáveis, ou seja, aquelas que exigem mais terreno do que a área disponível;
(3) Avaliação do volume máximo de lodo a ser disposto mensalmente e verificação dos sistemas que atendem o critério de volume máximo de lodo. São descartadas as alternativas consideradas inviáveis, ou seja, aquelas que geram mais lodo que o limite estabelecido;
(4) Avaliação do consumo máximo de energia das alternativas e verificação dos sistemas que atendem o critério de energia. São excluídas as alternativas que consomem mais energia que o disponível para cada local de implantação de uma ETE;
(5) Avaliação da declividade dos terrenos nos quais serão instaladas as ETE's e verificação dos sistemas que atendem o critério de declividade do terreno. São descartadas as alternativas em que a declividade local seja menor que a mínima ou maior que a máxima;
(6) Avaliação das taxas de percolação no solo dos locais de implantação das ETE's e verificação dos sistemas que atendem o critério de taxa de percolação. São excluídas as alternativas em que a taxa de percolação seja menor que a mínima ou maior que a máxima;
(7) Leitura da profundidade (espessura) dos solos nos locais de implantação das ETE's e verificação dos sistemas que atendem o critério de profundidade mínima de solo;

(8) Leitura da profundidade das camadas impermeáveis dos solos e verificação dos sistemas que atendem o critério de profundidade mínima da camada impermeável do solo;

(9) Leitura da profundidade de lençol freático dos locais de instalação das ETE's e verificação dos sistemas que atendem o critério da profundidade mínima aceitável de lençol freático;

(10) Leitura da ocorrência ou não de rochas nos terrenos e verificação dos sistemas que atendem o critério de ocorrência de rochas no terreno.

Após a sequência de avaliações conduzida com auxílio da planilha eletrônica ilustrada pela Figura 13, o processo de pré-seleção técnica é considerado encerrado e na coluna "Resultado" da referida planilha ***a)*** surge o termo "Tratamento Inviável", quando pelo menos um dos critérios deixa de ser atendido, ou ***b)*** surge os nomes dos sistemas de tratamento que são considerados viáveis, caso todas as condições estabelecidas sejam atendidas.

5.6 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE PRÉ-SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

Para exemplificar aplicação da metodologia de pré-seleção dos sistemas de tratamento de esgotos, três conjuntos de critérios técnicos foram aplicados aos diferentes cenários de disposição de efluentes avaliados neste trabalho. Neste contexto, diferentes critérios técnicos irão possibilitar a ordenação de diferentes opções de tratamento de acordo com o custo, respeitados os níveis mínimos de remoção de DBO por ponto de disposição efluente.

Os critérios técnicos associados aos cinco pontos de lançamentos (cinco ETE's) e que conformam os diferentes exemplos de aplicação são os seguintes:

- ETE 1: *eficiência de remoção de DBO (%), disponibilidade de área (m²), volume máximo de lodo a ser disposto (L/mês)* e *consumo máximo admissível de energia (kWh/mês).* Dessa forma, não foram incluídas informações dos demais critérios (declividades mínima e máxima do terreno (%); taxas de percolação mínima e máxima do solo (cm³/h); espessura mínima do solo (m);

profundidade mínima da camada impermeável solo (m); profundidade mínima do lençol freático (m) e ocorrência de rochas) para a análise dos resultados;

- ETE 2: *eficiência de remoção de DBO (%), disponibilidade de área (m²), volume máximo de lodo a ser disposto (L/mês);*
- ETE 3: *eficiência de remoção de DBO (%), disponibilidade de área (m²)* e *ocorrência de rochas*;
- ETE 4: e*ficiência de remoção de DBO (%)*, *disponibilidade de área (m²)* e *consumo máximo admissível de energia (kWh/mês)*. Sendo que, neste cenário o valor assumido para o critério *consumo máximo admissível de energia* foi igual a zero;
- ETE 5: *eficiência de remoção de DBO (%).*

As Tabelas 5, 6 e 7 reúnem, por exemplo de aplicação, os critérios técnicos e correspondentes valores aplicados aos diferentes cenários de disposição considerados (cenários A, B e C).

Tabela 5. Critérios técnicos e correspondentes valores associados ao primeiro exemplo de aplicação.

CENÁRIO A				
ETE's	**Disponibilidade de Área (m^2)**	**Volume máximo de lodo a ser disposto mensalmente (L)**	**Consumo máximo admissível de energia mensal (kwh)**	**Permite Afloramento de rocha**
1	40000	75000	14000	não
2	40000	75000	não	não
3	40000	não	não	N
4	40000	não	0	não
5	não	não	não	não

Tabela 6. Critérios técnicos e correspondentes valores associados ao segundo exemplo de aplicação.

CENÁRIO B				
ETE's	**Disponibilidade de Área (m^2)**	**Volume máximo de lodo a ser disposto mensalmente (L)**	**Consumo máximo admissível de energia mensal (kwh)**	**Permite Afloramento de rocha**
1	60000	115000	20000	não
2	50000	95000	não	não
3	40000	não	não	N
4	30000	não	0	não
5	não	não	não	não

Tabela 7. Critérios técnicos e correspondentes valores associados ao terceiro exemplo de aplicação.

CENÁRIO C				
ETE's	**Disponibilidade de Área (m^2)**	**Volume máximo de lodo a ser disposto mensalmente (L)**	**Consumo máximo admissível de energia mensal (kwh)**	**Permite Afloramento de rocha**
1	20000	38000	7000	não
2	20000	38000	não	não
3	20000	não	não	N
4	20000	não	0	não
5	não	não	não	não

Conforme mencionado na seção 5.5, as células da planilha (Figura 12) associadas aos critérios técnicos que não foram incorporados ao processo de pré-seleção devem receber a palavra "não". É relevante registrar que, para o critério *ocorrência de rochas,* a letra "N" indica que na área reservada para a ETE não há ocorrência de rochas, mas que a ocorrência de rochas constitui critério técnico a ser incorporado ao processo de pré-seleção de sistemas de tratamento. De forma análoga, a letra "S" indica a existência de rochas no sítio reservado para a ETE.

É relevante registrar que, usualmente, a etapa de pré-seleção técnica não é capaz de fornecer um resultado final. Dessa forma, conduzida a pré-seleção dos sistemas de tratamento de esgotos através dos critérios técnicos, foi realizada a análise econômica para ordenamento, em função dos custos médios de implantação, operação e manutenção, das alternativas consideradas tecnicamente viáveis.

5.7 ANÁLISE ECONÔMICA

Quando na escolha de um projeto existem diversas alternativas econômicas, há a necessidade de compará-las para que a mais conveniente seja selecionada. De acordo com Hirschfeld (2012) os principais métodos de análises de alternativas econômicas são:

- Método do Valor Presente Líquido;
- Método do Valor Futuro Líquido;
- Método do Valor Uniforme Líquido;
- Método do Benefício;

- Método da Taxa de Retorno;
- Método do Prazo de Retorno.

Embora sejam métodos diferentes, desde que sejam tomados os devidos cuidados de uniformidade de considerações, todos conduzirão aos mesmos resultados. Neste trabalho optou-se por analisar as alternativas de sistemas de tratamento de esgotos utilizado o Método do Valor Presente Líquido.

Segundo Hirschfeld (2012), o Método do Valor Presente Líquido (VPL) tem como finalidade determinar um valor no instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa formado por uma série de receitas e dispêndios.

Dado um valor futuro F, após n períodos, e sendo i a taxa de juros, pode-se encontrar o valor presente P referente a este único F através da Equação (14):

$$P=\frac{F}{(1+i)^n} \qquad (14)$$

Analisando-se um fluxo de caixa referente à determinada alternativa j, tem-se vários valores envolvidos, ora como receitas, ora como dispêndios. A somatória algébrica de todos os valores envolvidos nos n períodos considerados, reduzidos ao instante considerado inicial ou instante zero, com uma taxa i de juros comparativa, se chama valor presente líquido. Dessa forma, o valor presente líquido de um fluxo de caixa de uma alternativa j é, portanto, a somatória algébrica dos vários valores presentes P envolvidos neste fluxo de caixa, como mostra a Equação 15:

$$VPL_j = \sum_0^n F_n(1+i)^{-n} \qquad (15)$$

Na Equação 15:

VPL = valor presente líquido de um fluxo de caixa da alternativa j;

n = número de períodos envolvidos em cada elemento da série de receitas e dispêndios do fluxo de caixa;

F_n = cada um dos diversos valores envolvidos no fluxo de caixa e que ocorre em n;

i = taxa de juros comparativa ou taxa mínima de atratividade, também chamada de taxa de equivalência, taxa de expectativa, ou ainda, neste caso, taxa de desconto.

Considerando a existência de benefícios e custos num fluxo de caixa, normalmente todos os benefícios são positivos e todos os custos são negativos. Neste caso, o *valor presente líquido de um fluxo de caixa* será a soma algébrica dos valores presentes dos benefícios (positivos) com os valores presentes dos custos (negativos). Assim, se o valor presente líquido do fluxo de caixa for positivo, significa que há uma predominância dos valores presentes dos benefícios em relação aos dos custos. E se o valor presente líquido do fluxo de caixa for negativo, significa que há uma predominância dos valores presentes dos custos em relação aos benefícios, ambos obtidos com a aplicação de uma taxa característica de juros.

Para os casos em que os dispêndios são predominantes, ou para os casos em que eles compõem todo o fluxo de caixa, consideram-se os benefícios negativos e os custos positivos. Nesta situação, designa-se o *valor presente líquido* com sinal negativo por *custo presente líquido (CPL)*. Desta forma

$$CPL = -VPL \tag{16}$$

Como o presente trabalho envolve alternativas de sistemas de tratamento de esgotos, foi feita a análise econômica para que seja selecionada a alternativa que oferecer o menor custo. Assim, calculou-se o CPL de todas as opções de sistemas de tratamento, e aquelas que apresentaram menores valores de custo presente líquido foram consideradas as melhores alternativas.

Neste trabalho, para o cálculo do CPL foram adotados o valor de 5% para a taxa de juros (i) e a vida útil dos sistemas de tratamento de 20 anos $(n = 20)$.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo os resultados serão apresentados em duas partes. Primeiramente serão discutidas as eficiências provenientes do emprego combinado do modelo QUAL-UFMG com a técnica de otimização (PNL) e, posteriormente, os resultados da pré-seleção técnica e econômica dos sistemas de tratamento de esgotos.

6.1 EFICIÊNCIAS DE TRATAMENTO RESULTANTES DA TÉCNICA DE OTIMIZAÇÃO

As Tabelas 8 e 9 sumarizam os resultados obtidos para os diferentes cenários e grupos de otimização propostos no trabalho, considerando-se a porção superior do rio Santa Maria da Vitória enquadrado como classe II. Na Tabela 8 estão resumidas as eficiências mínimas de tratamento e as concentrações mínima de OD e máxima de DBO esperados para o curso d'água. A Tabela 9, por sua vez, apresenta as concentrações máximas de DBO admitidas para os efluentes tratados. Os resultados resumidos nas referidas tabelas foram obtidos sem a imposição da equidade entre os sistemas de tratamento de esgotos, com o problema de otimização conformado pelas equações de (7) a (12).

Tabela 8. Eficiências mínimas de tratamento estimadas e concentrações mínimas de OD e máximas de DBO, por cenário simulado.

Cenário	Grupo de Otimização	Eficiências de Tratamento (%)					Σ	$OD_{mín.}$	$DBO_{máx}$
		P1	P2	P3	P4	P5			
A	1	60	60	60	60	81,94	321,94	6,2	5
	2	65,71	65,71	65,71	65,71	65,71	328,55	6,29	5
	3	9,07	81,75	49,95	81,86	87,1	309,74	6,07	5
B	1	73,64	60	60	60	60	313,64	6,21	5
	2	65,71	65,71	65,71	65,71	65,71	328,55	6,22	4,8
	3	90	90	90	4,52	0	274,52	6,5	5
C	1	60	60	60	60	60	300	6,65	4,1
	2	65,71	65,71	65,71	65,71	65,71	328,55	6,72	3,7
	3	15,41	31,72	49,04	81,14	17,67	194,98	6,40	5

Tabela 9. Concentrações máximas de DBO efluentes estimadas para os cenários de simulação.

Cenário	Grupo de Otimização	$DBO_{Efluente}$ (mg/L)				
		P1	P2	P3	P4	P5
A	1	140	140	140	140	63,24
	2	120	120	120	120	120
	3	318,24	63,88	175,19	63,49	45,16
B	1	92,27	140	140	140	140
	2	120	120	120	120	120
	3	35	35	87	334,17	350
C	1	140	140	140	140	140
	2	120	120	120	120	120
	3	296,05	238,99	178,36	66,02	288,15

As figuras de 14 a 19 apresentam, os perfis das concentrações de OD e DBO para os diferentes cenários de simulação da qualidade de água, considerando-se as eficiências estimadas com o auxílio da PNL.

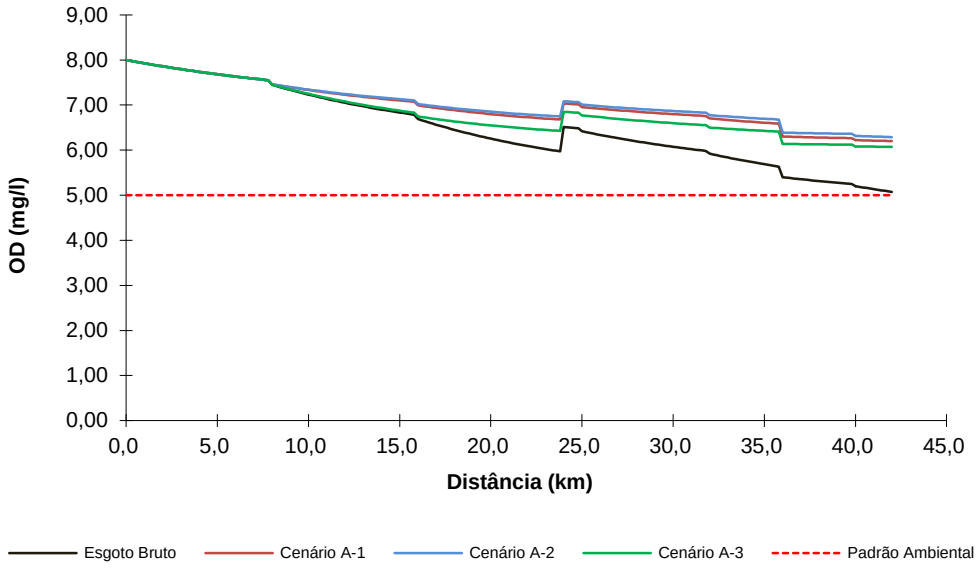

Figura 14. Perfis de oxigênio dissolvido associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário A.

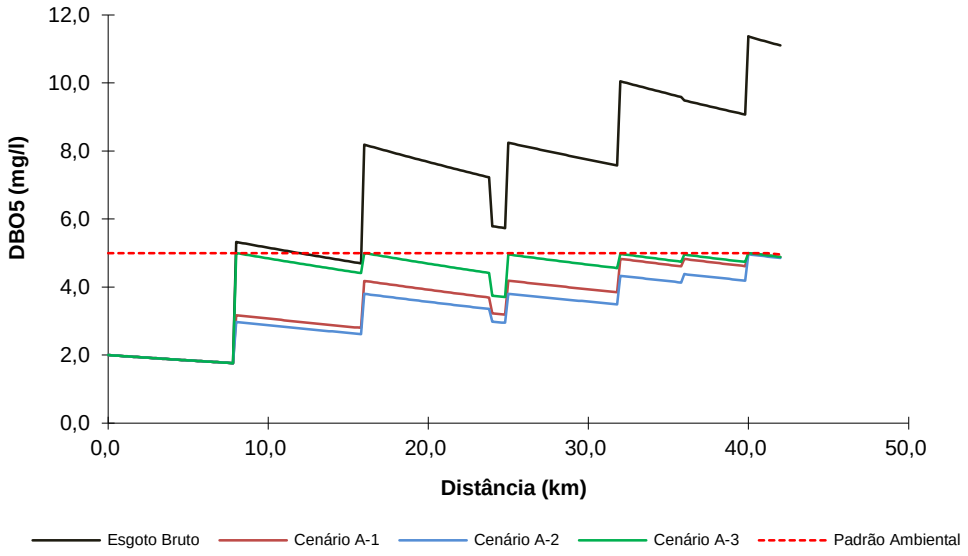

Figura 15. Perfis de demanda bioquímica de oxigênio associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário A.

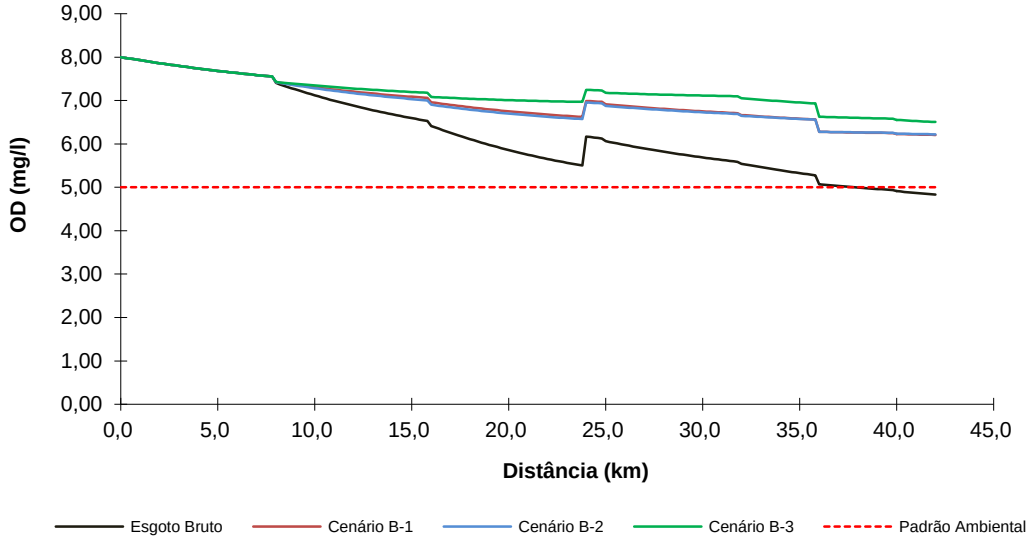

Figura 16. Perfis de oxigênio dissolvido associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário B.

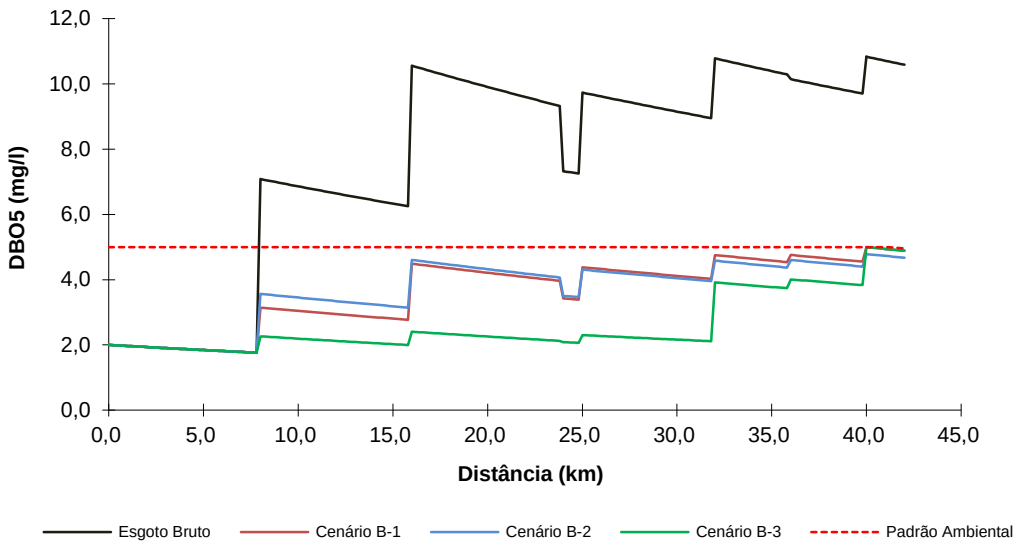

Figura 17. Perfis de demanda bioquímica de oxigênio associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário B.

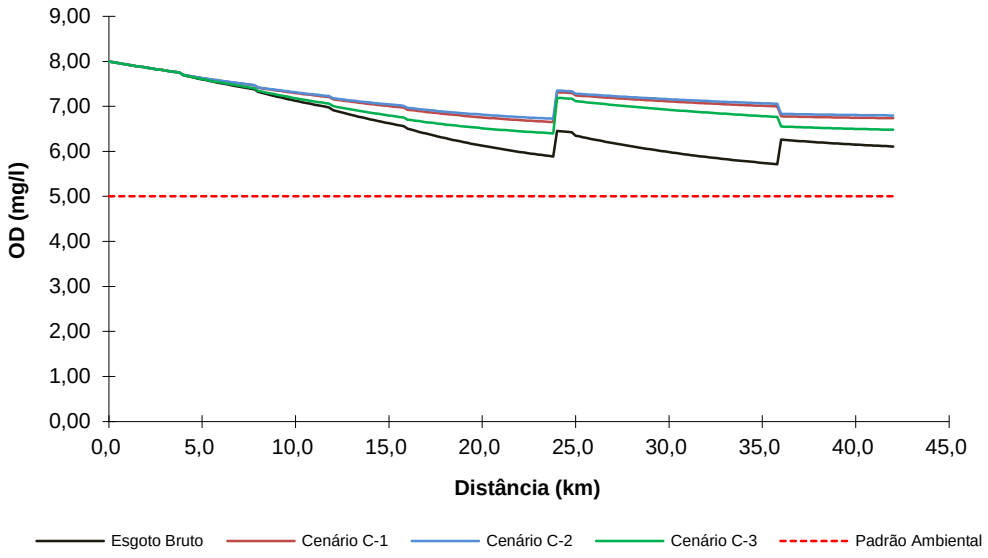

Figura 18. Perfis de oxigênio dissolvido associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário C.

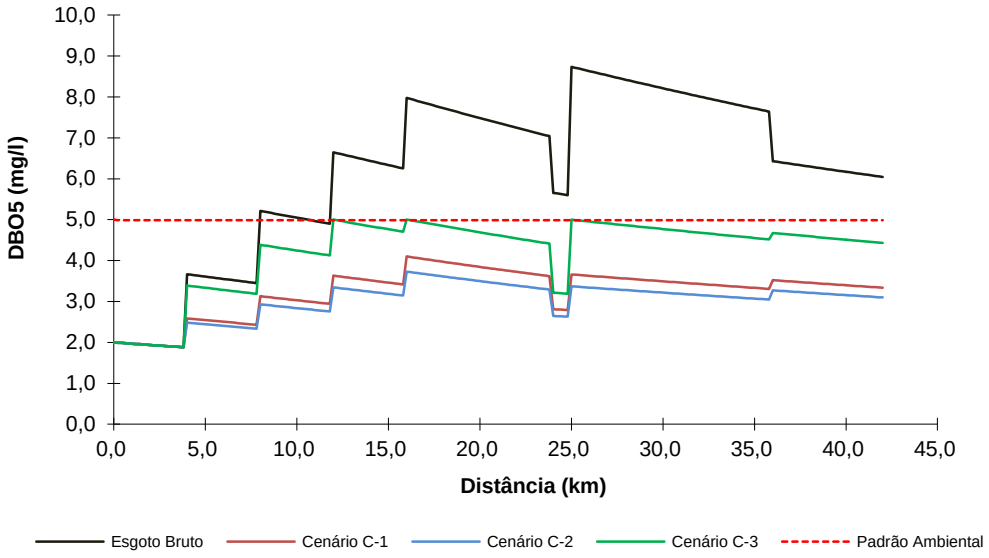

Figura 19. Perfis de demanda bioquímica de oxigênio associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário C.

Da simples inspeção das tabelas 8 e 9 e das figuras de 14 a 19, apresentam-se como relevantes as seguintes considerações:

- Nas simulações conduzidas, independentemente do cenário considerado, os melhores resultados obtidos sob a perspectiva de menores somatórios de eficiências de tratamento, foram associados ao terceiro grupo de simulações, grupo em que não se exige que a eficiência mínima de remoção de DBO seja de 60% (como no primeiro grupo de simulações) nem que as concentrações de DBO efluente sejam inferiores ou iguais a 120 mg/L (como no segundo grupo).
- Independente dos cenários de disposição de efluentes simulados, os resultados para o grupo de otimização 2 foram idênticos. Este resultado foi decorrente da imposição do atendimento do padrão de lançamento estabelecido pela Resolução CONAMA n°357/2005.
- Ao cenário C foram associados os menores somatórios de eficiências, consequência do lançamento diário de 3931,2 Kg de carga orgânica, menor carga entre os três cenários de disposição considerados. No cenário A são lançados 1209,6 Kg/d de carga orgânica em cada um dos cinco pontos, totalizando um lançamento diário de 6048 Kg/d de carga orgânica. No cenário

B, também se dispõe no corpo d'água uma carga orgânica total de 6048 Kg/d, ainda que os lançamentos pontuais apresentem cargas distintas (1814,4 Kg/d, 1512 Kg/d, 1209,6 Kg/d, 907,2 Kg/d e 604,8 Kg/d).

- Com exceção do cenário B de disposição, a disposição de esgotos brutos não produziu concentrações de OD no curso d'água em desacordo com o padrão de qualidade imposto pela Resolução CONAMA nº 357/2005, para rios classe II. Já para a DBO, a disposição final de esgoto bruto não permitiria o atendimento da concentração limite de 5mg/L (padrão de qualidade referente aos rios classe II), independentemente do cenário de disposição considerado. Após a aplicação da técnica de otimização, com incorporação da remoção de DBO nos níveis de eficiência estimados, o padrão associado a DBO passou a ser respeitado e os níveis de OD foram aumentados. É relevante observar a influência do rio Alto Posmoser (quilômetro 24) na ampliação da capacidade de assimilação de despejos orgânicos, em função da maior diluição por ele proporcionada aos afluentes. Este aspecto é ainda mais relevante no cenário C, quando a vazão do rio Alto Posmoser foi aumentada de 1,47 m^3/s para 3,85 m^3/s.

O trabalho de Louzada *et al.* (2013) estimou, para o mesmo sistema hídrico e utilizando mesma técnica de otimização, diferentes combinações de eficiências de tratamento que permitiram atender à Resolução CONAMA nº 357/2005 com relação aos parâmetros de OD e DBO. É relevante mencionar que os resultados obtidos neste trabalho foram idênticos àqueles obtidos no trabalho de Louzada *et al.* (2013), sempre que um mesmo cenário de disposição de efluentes foi considerado.

A Tabela 10 apresenta as eficiências de tratamento estimadas e concentrações mínimas de OD e máximas de DBO, por cenário de simulação, considerada a incorporação de equidade entre lançamentos. A Tabela 11, por sua vez, reúne os valores de concentração de DBO efluente para cada cenário simulado com a incorporação da equidade entre os lançamentos, além de apresentar os valores para a variável equidade.

Tabela 10. Eficiências mínimas de tratamento estimadas e concentrações mínimas de OD e máximas de DBO, por cenário simulado com a inserção de equidade entre lançamentos.

Cenário	Grupo de Otimização	Eficiências de Tratamento (%)					Σ	$OD_{mín.}$	$DBO_{máx}$
		P1	P2	P3	P4	P5			
A	1	65,35	65,35	65,35	65,35	65,35	326,75	6,28	5
	2	65,71	65,71	65,71	65,71	65,71	328,55	6,29	5
	3	65,35	65,35	65,35	65,35	65,35	326,75	6,28	5
B	1	90	75	60	60	60	345	6,43	4,3
	2	90	75	65,71	65,71	65,71	362,13	6,47	4
	3	88,56	73,80	59,04	44,28	29,52	295,20	6,36	5
C	1	60	60	60	60	90	330	6,65	4,1
	2	65,71	65,71	65,71	65,71	90	352,84	6,72	3,7
	3	36	36	36	36	90	234	6,35	5,7

Tabela 11. Concentração de DBO efluente de cada cenário simulado considerando a inserção de equidade entre lançamentos.

Cenário	Grupo de Otimização	$DBO_{efluente}$ (mg/L)					Equidade
		P1	P2	P3	P4	P5	
A	1	121,28	121,28	121,28	121,28	121,28	18,51
	2	120	120	120	120	120	18,41
	3	121,28	121,28	121,28	121,28	121,28	18,51
B	1	35	87,5	140	140	140	-
	2	35	87,5	120	120	120	-
	3	40,05	91,71	143,37	195,03	246,68	20,49
C	1	140	140	140	140	35	-
	2	120	120	120	120	35	-
	3	224	224	224	224	35	16,8

As figuras de 20 a 25 apresentam, os perfis das concentrações de OD e DBO para os diferentes cenários de simulação da qualidade de água, considerando-se as eficiências estimadas com o auxílio da PNL e a inserção de equidade entre lançamentos.

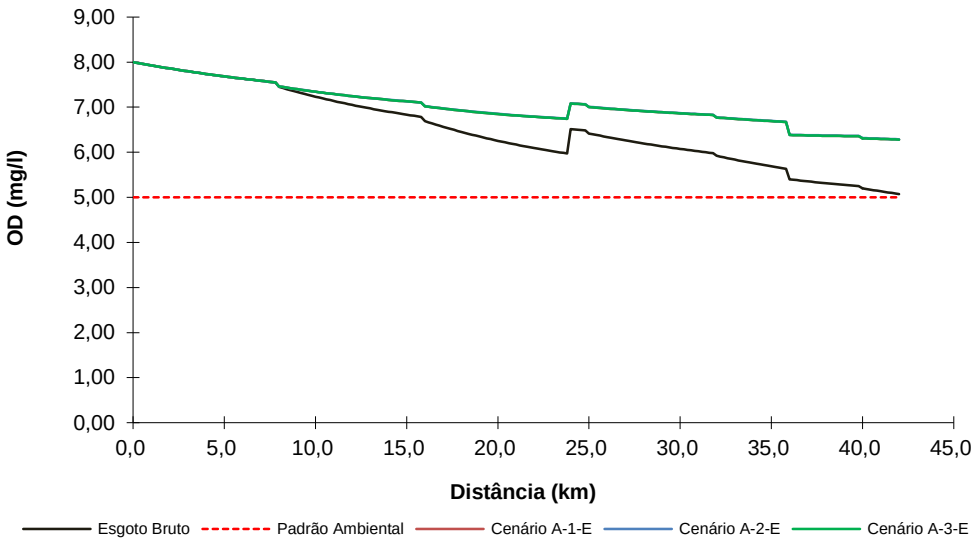

Figura 20. Perfis de oxigênio dissolvido associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário A, com a inserção de equidade entre lançamentos.

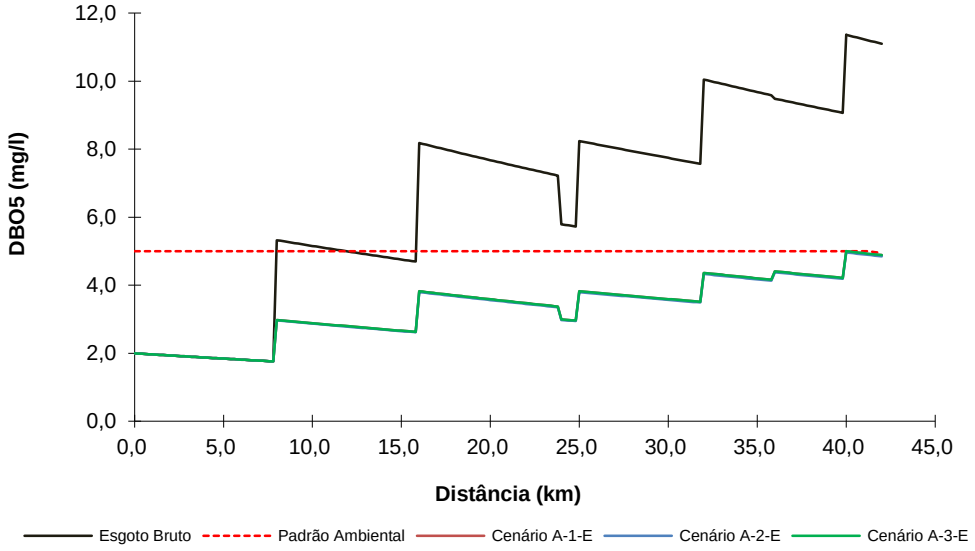

Figura 21. Perfis de demanda bioquímica de oxigênio associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário A, com a inserção de equidade entre lançamentos.

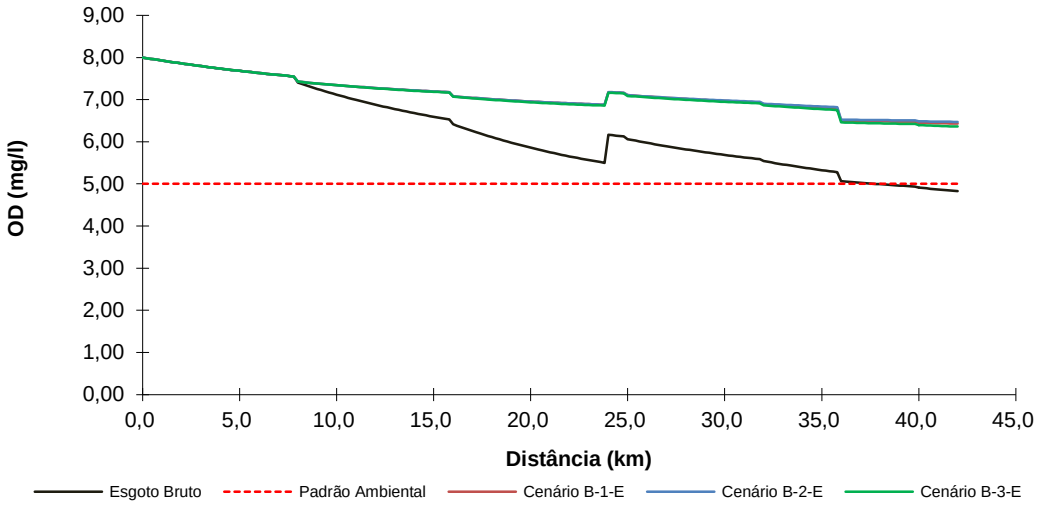

Figura 22. Perfis de oxigênio dissolvido associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário B, com a inserção de equidade entre lançamentos.

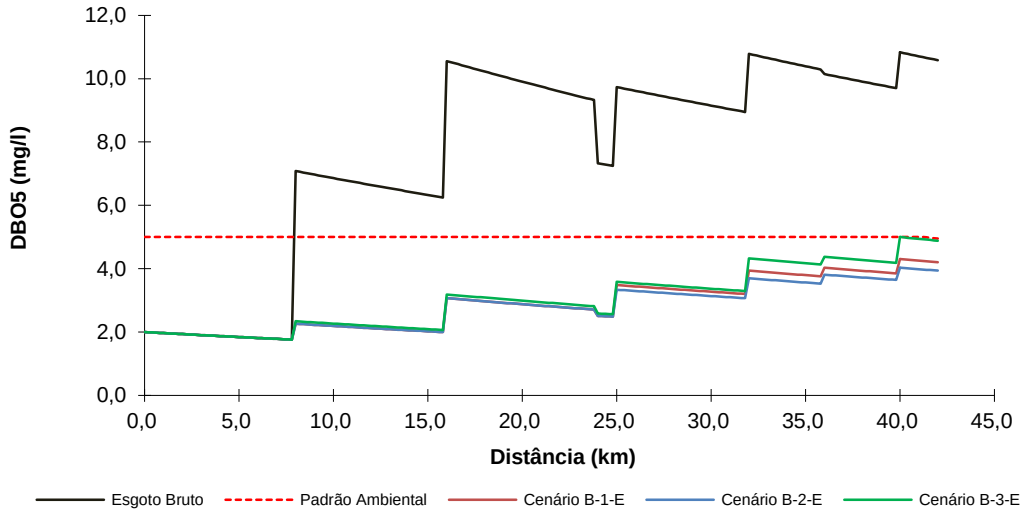

Figura 23. Perfis de demanda bioquímica de oxigênio associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário B, com a inserção de equidade entre lançamentos.

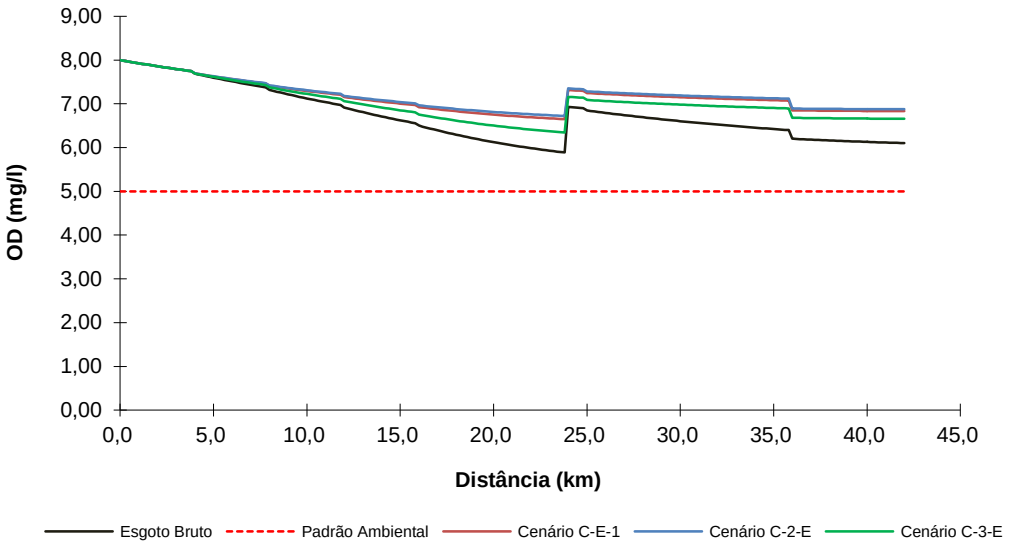

Figura 24. Perfis de oxigênio dissolvido associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário C, com a inserção de equidade entre lançamentos.

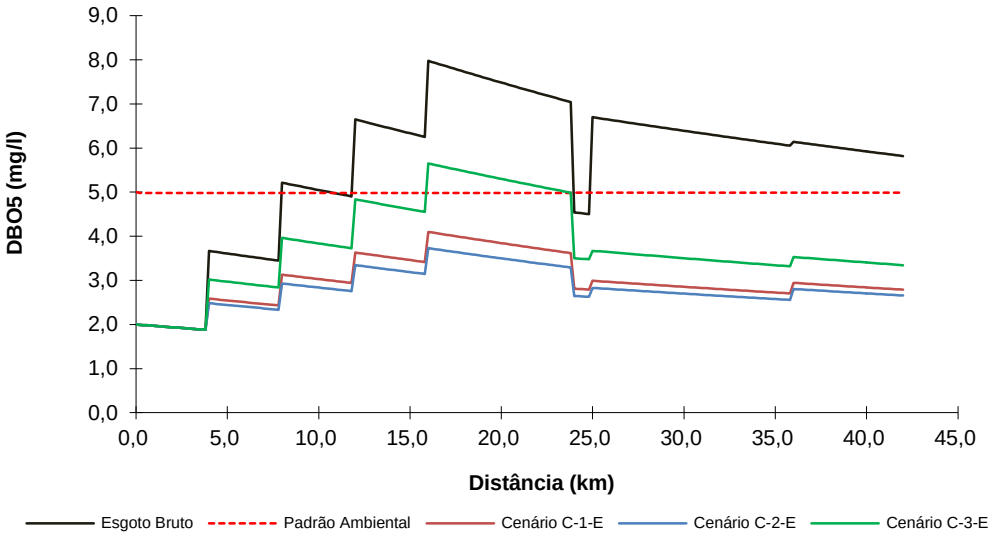

Figura 25. Perfis de demanda bioquímica de oxigênio associados à disposição de efluentes conformada pelo cenário C, com a inserção de equidade entre lançamentos.

A partir dos resultados apresentados nas Tabelas 10 e 11 e das figuras de 20 a 25, é relevante observar que:

- A incorporação da equidade aumenta as eficiências mínimas exigidas nos diferentes pontos de disposição de efluentes;

- Em geral, quando são exigidas eficiências mínimas de 60% (grupo de 1 de restrições) a equidade não é atendida. O mesmo ocorre quando são exigidas que as concentrações efluentes de DBO sejam inferiores a 120 mg/L. Além disso, foi observado que para que a medida de equidade não fosse perdida, em alguns casos seriam necessárias eficiências superiores a 90%, limite proposto para o problema de otimização em todos os cenários simulados;
- Nos cenários A e B, independente dos grupos de simulação considerados, os perfis de OD e DBO apresentaram-se semelhantes, fato que pode ser observado pela sobreposição das linhas que representaram os resultados de tais cenários, conforme figuras 20, 21,22 e 23;
- Mesmo tendo sido estimadas as eficiências de remoção de DBO para o cenário C, a disposição de efluentes tratados produziu concentrações de DBO em desacordo com o padrão de qualidade imposto pela resolução CONAMA nº 357/2005, para rios classe II. No entanto, a referida resolução permite que os limites de demanda bioquímica de oxigênio sejam ultrapassados em caso de atendimento às concentrações mínimas de oxigênio dissolvido, condição garantida no cenário C.

6.2 PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

A análise técnica e econômica das alternativas foi realizada para o terceiro grupo de simulações associados aos diferentes cenários de simulação considerados neste estudo, com (cenários A-3-E, B-3-E e C-3-E) e sem a incorporação da equidade entre sistemas de tratamento de esgotos. A opção pelo terceiro grupo de simulações foi decorrente dos melhores resultados quanto aos somatórios de eficiência associados a este grupo de simulações.

A pré-seleção dos sistemas de tratamento de esgotos foi realizada levando-se em consideração os cinco pontos de lançamento de efluentes. Conforme descrito na seção 5.6, um conjunto de critérios foi assumido por cenário de disposição de efluentes com o objetivo de se exemplificar a metodologia de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos. As Figuras de 26 a 61, disponíveis nos

Apêndices de A a F, retratam as planilhas de pré-seleção técnica utilizadas em cada exemplo de aplicação, para todos os cenários considerados nesta etapa.

6.2.1 Resultados associados ao cenário A-3

As Tabelas 12 e 13 apresentam, respectivamente, os sistemas de tratamento considerados tecnicamente viáveis e sua classificação em ordem crescente de custo presente líquido.

Os sistemas de tratamento de esgotos “Tratamento primário (tanques sépticos)”, “Tanque séptico + infiltração”, “UASB + filtro anaeróbio”, “UASB + filtro anaeróbio” e “Infiltração lenta” foram classificados como as melhores alternativas de tratamento para as ETE’s 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente, por apresentarem o menor CPL. O CPL total estimado para o cenário A-3 foi de R$ 11.778.059,00, consideradas as referidas alternativas de tratamento de esgoto que apresentaram, por ponto de disposição, o menor custo total, e que atenderam os diferentes critérios técnicos que conformam o exemplo de aplicação.

Como era de se esperar, a diversidade de alternativas de tratamento de esgotos apresentou-se inversamente proporcional a quantidade de critérios técnicos a serem atendidos. Para a ETE 5, em que apenas a *eficiência de remoção de DBO* foi considerada como critério técnico, foi indicado maior número de sistemas de tratamento, estabelecendo, portanto, resultado menos restritivo.

Os critérios *disponibilidade de área* e *volume máximo de lodo a ser disposto,* quando utilizados de forma conjunta, atuaram como um rigoroso filtro no processo de pré-seleção, conforme pode ser observado para as ETE’s 1 e 2, em que a quantidade de sistemas de tratamento de esgotos considerados tecnicamente viáveis foi a menor dentre os diferentes pontos de tratamento e disposição final de efluentes.

Um relevante aspecto do processo de pré-seleção pode ser observado quando considerados os resultados associados às ETE’s 3 e 4, para as quais foi indicada como alternativa de tratamento “UASB+filtro anaeróbio”. Nas ETE’s 3 e 4 as exigências de eficiência foram de 49,95% e 81,86%, respectivamente, e, mesmo

assim, o resultado final do processo de pré-seleção forneceu a mesma alternativa para o tratamento de esgotos. Este aspecto evidencia a importância da inclusão de critérios técnicos no processo de pré-seleção, uma vez que uma relevante diferença na demanda por eficiências de remoção de matéria orgânica (neste caso, 32,91%), pode não conduzir a seleção de sistemas de tratamento diferentes, o que se pressupõe quando da análise apenas dos resultados de eficiência de remoção de matéria orgânica provenientes da aplicação combinada do modelo de qualidade de água e da técnica de otimização.

Deve-se observar que, no caso de algumas das ETE's que deram forma ao cenário de simulação, diferentes sistemas de tratamento receberam a mesma classificação. A ETE 2, por exemplo, teve os sistemas "Lagoa aerada facultativa" e "Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação" classificados como as "segundas" melhores alternativas de tratamento e esgotos (conforme Tabelas 12 e 13). Isso significa que ambos os sistemas possuem o mesmo custo (valor de CPL), e, dessa forma, eles estariam em uma condição de "empate" no processo de pré-seleção.

Tabela 12. Classificação dos sistemas de tratamento de esgotos para o Cenário A-3, em ordem crescente de custo presente líquido.

Estação de Tratamento de Esgotos nº 1		Estação de Tratamento de Esgotos nº 2		Estação de Tratamento de Esgotos nº 3		Estação de Tratamento de Esgotos nº 4		Estação de Tratamento de Esgotos nº 5	
Ordem de Preferência	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**
1	Tratamento primário (tanques sépticos)	1	Tanque séptico + infiltração	1	UASB + filtro anaeróbio	1	UASB + filtro anaeróbio	1	Infiltração lenta
2	Reator UASB	2	Lagoa aerada facultativa	2	Tanque séptico + infiltração	2	Tanque séptico + infiltração	2	Infiltração rápida
3	Tanque séptico + infiltração	2	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação	3	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação	3	UASB + filtro biológico de alta carga	3	Escoamento superficial
-	-	-	-	4	UASB + filtro biológico de alta carga	4	Tanqué séptico + filtro anaeróbio	4	Terras úmidas construídas (wetlands)
-	-	-	-	5	Lagoa aerada facultativa	5	Filtro biológico percolador de baixa carga	5	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas
-	-	-	-	5	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação	5	Filtro biológico percolador de alta carga	6	Tanque séptico + infiltração
-	-	-	-	7	Tratamento primário avançado	5	Tanque séptico + biodisco	7	UASB + escoamento superficial
-	-	-	-	8	UASB + biofiltro aerado submerso	-	-	8	UASB + filtro biológico de alta carga
-	-	-	-	9	Tanqué séptico + filtro anaeróbio	-	-	9	UASB + flotação por ar dissolvido
-	-	-	-	10	Biofiltro aerado submerso com nitrificação	-	-	10	UASB + biofiltro aerado submerso
-	-	-	-	11	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N	-	-	11	UASB + lodos ativados
-	-	-	-	12	Filtro biológico percolador de baixa carga	-	-	12	Biofiltro aerado submerso com nitrificação
-	-	-	-	12	Filtro biológico percolador de alta carga	-	-	13	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N
-	-	-	-	12	Tanque séptico + biodisco	-	-	14	Filtro biológico percolador de baixa carga
-	-	-	-	-	-	-	-	14	Filtro biológico percolador de alta carga
-	-	-	-	-	-	-	-	14	Tanque séptico + biodisco
-	-	-	-	-	-	-	-	17	Lodo ativado aeração prolongada
-	-	-	-	-	-	-	-	17	Lodo ativado batelada
-	-	-	-	-	-	-	-	19	Lodos ativados convencional
-	-	-	-	-	-	-	-	20	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N
-	-	-	-	-	-	-	-	21	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N/P
-	-	-	-	-	-	-	-	21	Lodo ativado convencional + filtração terciária

Tabela 13. Valores de custo presente líquido correspondente aos sistemas de tratamento selecionados para o Cenário A-3.

Estação de Tratamento de Esgotos nº 1		Estação de Tratamento de Esgotos nº 2		Estação de Tratamento de Esgotos nº 3		Estação de Tratamento de Esgotos nº 4		Estação de Tratamento de Esgotos nº 5	
Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL
1	R$ 1.570.652,00	1	R$ 3.141.303,00	1	R$ 2.747.726,00	1	R$ 2.747.726,00	1	R$ 1.570.652,00
2	R$ 1.872.137,00	2	R$ 3.803.841,00	2	R$ 3.141.303,00	2	R$ 3.141.303,00	2	R$ 1.963.314,00
3	R$ 3.141.303,00	2	R$ 3.803.841,00	3	R$ 3.682.881,00	3	R$ 3.698.686,00	3	R$ 2.355.977,00
-	-	-	-	4	R$ 3.698.686,00	4	R$ 4.952.046,00	4	R$ 2.552.309,00
-	-	-	-	5	R$ 3.803.841,00	5	R$ 7.034.492,00	5	R$ 3.125.498,00
-	-	-	-	5	R$ 3.803.841,00	5	R$ 7.034.492,00	6	R$ 3.141.303,00
-	-	-	-	7	R$ 4.676.687,00	5	R$ 7.034.492,00	7	R$ 3.502.355,00
-	-	-	-	8	R$ 4.859.955,00	-	-	8	R$ 3.698.686,00
-	-	-	-	9	R$ 4.952.046,00	-	-	9	R$ 4.075.543,00
-	-	-	-	10	R$ 5.765.327,00	-	-	10	R$ 4.859.955,00
-	-	-	-	11	R$ 6.007.247,00	-	-	11	R$ 5.041.395,00
-	-	-	-	12	R$ 7.034.492,00	-	-	12	R$ 5.765.327,00
-	-	-	-	12	R$ 7.034.492,00	-	-	13	R$ 6.007.247,00
-	-	-	-	12	R$ 7.034.492,00	-	-	14	R$ 7.034.492,00
-	-	-	-	-	-	-	-	14	R$ 7.034.492,00
-	-	-	-	-	-	-	-	14	R$ 7.034.492,00
-	-	-	-	-	-	-	-	17	R$ 7.062.447,00
-	-	-	-	-	-	-	-	17	R$ 7.062.447,00
-	-	-	-	-	-	-	-	19	R$ 7.667.247,00
-	-	-	-	-	-	-	-	20	R$ 8.210.653,00
-	-	-	-	-	-	-	-	21	R$ 9.900.436,00
-	-	-	-	-	-	-	-	21	R$ 9.900.436,00

6.2.2 Resultados associados ao cenário B-3

As Tabelas 14 e 15 indicam os sistemas de tratamento de esgotos viáveis tecnicamente e sua classificação em ordem crescente de CPL.

Considerando-se os custos dos sistemas de tratamento de esgotos, o sistema “Tanque séptico + infiltração” foi classificado como a melhor alternativa de tratamento para as ETE’s 1, 2 e 3; o sistema “Tratamento primário tanques sépticos” foi classificado como o melhor para a ETE 4. É relevante observar que para os lançamentos que dão forma ao cenário B-3, o emprego combinado da técnica de otimização e do modelo de qualidade de água indicou a possibilidade de disposição de esgoto bruto no quinto ponto de disposição final de efluentes, não sendo, portanto, necessário indicar um sistema de tratamento de esgotos para este ponto.

O CPL total para o cenário B-3 alcançou o valor de R$ 12.957.876,00, valor R$ 1.179.817,00 mais elevado que o CPL referente ao cenário A-3. Este aumento de CPL sugere que o manejo e/ou escalonamento das cargas orgânicas dispostas num sistema hídrico pode evitar a majoração dos custos associados ao tratamento dos esgotos no âmbito da bacia hidrográfica.

Tabela 14. Classificação dos sistemas de tratamento de esgotos para o Cenário B-3, em ordem crescente de custo presente líquido.

Estação de Tratamento de Esgotos nº 1		Estação de Tratamento de Esgotos nº 2		Estação de Tratamento de Esgotos nº 3		Estação de Tratamento de Esgotos nº 4		Estação de Tratamento de Esgotos nº 5	
Ordem de Preferência	Sistema de Tratamento	Ordem de Preferência	Sistema de Tratamento	Ordem de Preferência	Sistema de Tratamento	Ordem de Preferência	Sistema de Tratamento	Ordem de Preferência	Sistema de Tratamento
1	Tanque séptico + infiltração	1	Tanque séptico + infiltração	1	Tanque séptico + infiltração	1	Tratamento primário (tanques sépticos)	-	-
-	-	-	-	2	UASB + filtro biológico de alta carga	1	Tratamento primário convencional	-	-
-	-	-	-	3	UASB + biofiltro aerado submerso	3	Reator UASB	-	-
-	-	-	-	4	Biofiltro aerado submerso com nitrificação	4	UASB + filtro anaeróbio	-	-
-	-	-	-	5	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N	5	Tanque séptico + infiltração	-	-
-	-	-	-	6	Filtro biológico percolador de baixa carga	6	UASB + filtro biológico de alta carga	-	-
-	-	-	-	6	Filtro biológico percolador de alta carga	7	Tratamento primário avançado	-	-
-	-	-	-	6	Tanque séptico + biodisco	8	Tanqué séptico + filtro anaeróbio	-	-
-	-	-	-	-	-	9	Filtro biológico percolador de baixa carga	-	-
-	-	-	-	-	-	9	Filtro biológico percolador de alta carga	-	-
-	-	-	-	-	-	9	Tanque séptico + biodisco	-	-

Tabela 15. Valores de custo presente líquido correspondente aos sistemas de tratamento selecionados para o Cenário B-3.

Estação de Tratamento de Esgotos nº 1		Estação de Tratamento de Esgotos nº 2		Estação de Tratamento de Esgotos nº 3		Estação de Tratamento de Esgotos nº 4		Estação de Tratamento de Esgotos nº 5	
Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL
1	R$ 4.711.955,00	1	R$ 3.926.629,00	1	R$ 3.141.303,00	1	R$ 1.177.989,00	-	-
-	-	-	-	2	R$ 3.698.686,00	1	R$ 1.177.989,00	-	-
-	-	-	-	3	R$ 4.859.955,00	3	R$ 1.404.103,00	-	-
-	-	-	-	4	R$ 5.765.327,00	4	R$ 2.060.795,00	-	-
-	-	-	-	5	R$ 6.007.247,00	5	R$ 2.355.977,00	-	-
-	-	-	-	6	R$ 7.034.492,00	6	R$ 2.774.015,00	-	-
-	-	-	-	6	R$ 7.034.492,00	7	R$ 3.507.515,00	-	-
-	-	-	-	6	R$ 7.034.492,00	8	R$ 3.714.035,00	-	-
-	-	-	-	-	-	9	R$ 5.275.869,00	-	-
-	-	-	-	-	-	9	R$ 5.275.869,00	-	-
-	-	-	-	-	-	9	R$ 5.275.869,00	-	-

6.2.3 Resultados associados ao cenário C-3

As Tabelas 16 e 17 reúnem os sistemas de tratamento de esgotos considerados tecnicamente viáveis e sua classificação em ordem crescente de CPL.

Os sistemas “Tratamento primário (tanques sépticos)” (para as ETE’s 1, 2 e 5) e “UASB + filtro anaeróbio” (ETE’s 3 e 4), foram indicados como as alternativas de menor custo (melhores alternativas sugeridas pelo processo de pré-seleção). O CPL total para o cenário C-3 foi de R$ 6.281.692,00. Como no cenário C assume-se uma disposição diária de carga orgânica inferior que as cargas dispostas nos cenários A e B (a carga orgânica bruta total no cenário C é 2116,8 Kg menor que a carga orgânica bruta nos cenários A e B), foram selecionados sistemas de tratamento mais baratos, como é o caso do tratamento primário (tanques sépticos).

É relevante observar que para a ETE 5 três diferentes sistemas de tratamento apresentaram mesmo CPL. Neste contexto, ganha relevância o estabelecimento de outros critérios ou a adoção de pesos entre os critérios envolvidos no processo de pré-seleção para que seja levada a termo a seleção da melhor alternativa para o tratamento dos esgotos.

Também no cenário C-3, diferentes demandas por remoção de DBO, quando combinadas com outros critérios de natureza técnica, conduziram à pré-seleção de um mesmo sistema de tratamento. Para as ETE’s 1 e 2 foi pré-selecionado o “Tratamento primário (tanques sépticos)”, para eficiências mínimas de remoção de DBO de 15,41% e 31,72%, respectivamente. Nas ETE’s 3 e 4, para as quais foram associadas remoções mínimas de DBO de 49,04% e 81,14%, respectivamente, o processo de pré-seleção sugeriu a adoção de “UASB + filtro anaeróbio”.

Tabela 16. Classificação dos sistemas de tratamento de esgotos para o Cenário C-3, em ordem crescente de custo presente líquido.

Estação de Tratamento de Esgotos nº 1		Estação de Tratamento de Esgotos nº 2		Estação de Tratamento de Esgotos nº 3		Estação de Tratamento de Esgotos nº 4		Estação de Tratamento de Esgotos nº 5	
Ordem de Preferência	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**
1	Tratamento primário (tanques sépticos)	1	Tratamento primário (tanques sépticos)	1	UASB + filtro anaeróbio	1	UASB + filtro anaeróbio	1	Tratamento primário (tanques sépticos)
2	Reator UASB	2	Reator UASB	2	Tanque séptico + infiltração	2	Tanque séptico + infiltração	1	Tratamento primário convencional
3	Tanque séptico + infiltração	3	Tanque séptico + infiltração	3	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação	3	UASB + filtro biológico de alta carga	1	Infiltração lenta
-	-	4	Lagoa aerada facultativa	4	UASB + filtro biológico de alta carga	4	Tanqué séptico + filtro anaeróbio	4	Reator UASB
-	-	4	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação	5	Lagoa aerada facultativa	5	Filtro biológico percolador de baixa carga	5	Infiltração rápida
-	-	-	-	5	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação	5	Filtro biológico percolador de alta carga	6	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa
-	-	-	-	7	Tratamento primário avançado	5	Tanque séptico + biodisco	7	Lagoa facultativa
-	-	-	-	8	UASB + biofiltro aerado submerso	-	-	7	Escoamento superficial
-	-	-	-	9	Tanqué séptico + filtro anaeróbio	-	-	9	Terras úmidas construídas (wetlands)
-	-	-	-	10	Biofiltro aerado submerso com nitrificação	-	-	10	UASB + filtro anaeróbio
-	-	-	-	11	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N	-	-	11	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação
-	-	-	-	12	Filtro biológico percolador de baixa carga	-	-	12	UASB + lagoas de polimento
-	-	-	-	12	Filtro biológico percolador de alta carga	-	-	13	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa alta taxa
-	-	-	-	12	Tanque séptico + biodisco	-	-	13	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas
-	-	-	-	-	-	-	-	15	Tanque séptico + infiltração
-	-	-	-	-	-	-	-	16	UASB + escoamento superficial
-	-	-	-	-	-	-	-	17	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação
-	-	-	-	-	-	-	-	18	UASB + filtro biológico de alta carga
-	-	-	-	-	-	-	-	19	Lagoa aerada facultativa
-	-	-	-	-	-	-	-	19	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
-	-	-	-	-	-	-	-	21	UASB + flotação por ar dissolvido
-	-	-	-	-	-	-	-	22	Tratamento primário avançado
-	-	-	-	-	-	-	-	23	UASB + biofiltro aerado submerso
-	-	-	-	-	-	-	-	24	Tanqué séptico + filtro anaeróbio
-	-	-	-	-	-	-	-	25	UASB + lodos ativados
-	-	-	-	-	-	-	-	26	Biofiltro aerado submerso com nitrificação
-	-	-	-	-	-	-	-	27	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N
-	-	-	-	-	-	-	-	28	Filtro biológico percolador de baixa carga
-	-	-	-	-	-	-	-	28	Filtro biológico percolador de alta carga
-	-	-	-	-	-	-	-	28	Tanque séptico + biodisco
-	-	-	-	-	-	-	-	31	Lodo ativado aeração prolongada
-	-	-	-	-	-	-	-	31	Lodo ativado batelada
-	-	-	-	-	-	-	-	33	Lodos ativados convencional
-	-	-	-	-	-	-	-	34	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N
-	-	-	-	-	-	-	-	35	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N/P
-	-	-	-	-	-	-	-	35	Lodo ativado convencional + filtração terciária

Tabela 17. Valores de custo presente líquido correspondente aos sistemas de tratamento selecionados para o Cenário C-3.

Estação de Tratamento de Esgotos nº 1		Estação de Tratamento de Esgotos nº 2		Estação de Tratamento de Esgotos nº 3		Estação de Tratamento de Esgotos nº 4		Estação de Tratamento de Esgotos nº 5	
Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL
1	R$ 785.326,00	1	R$ 785.326,00	1	R$ 1.373.863,00	1	R$ 1.373.863,00	1	R$ 1.963.314,00
2	R$ 936.069,00	2	R$ 936.069,00	2	R$ 1.570.652,00	2	R$ 1.570.652,00	1	R$ 1.963.314,00
3	R$ 1.570.652,00	3	R$ 1.570.652,00	3	R$ 1.841.440,00	3	R$ 1.849.343,00	1	R$ 1.963.314,00
-	-	4	R$ 1.901.920,00	4	R$ 1.849.343,00	4	R$ 2.476.023,00	4	R$ 2.340.172,00
-	-	4	R$ 1.901.920,00	5	R$ 1.901.920,00	5	R$ 3.517.246,00	5	R$ 2.454.143,00
-	-	-	-	5	R$ 1.901.920,00	5	R$ 3.517.246,00	6	R$ 2.718.172,00
-	-	-	-	7	R$ 2.338.343,00	5	R$ 3.517.246,00	7	R$ 2.944.972,00
-	-	-	-	8	R$ 2.429.978,00	-	-	7	R$ 2.944.972,00
-	-	-	-	9	R$ 2.476.023,00	-	-	9	R$ 3.190.386,00
-	-	-	-	10	R$ 2.882.663,00	-	-	10	R$ 3.434.658,00
-	-	-	-	11	R$ 3.003.623,00	-	-	11	R$ 3.681.215,00
-	-	-	-	12	R$ 3.517.246,00	-	-	12	R$ 3.830.129,00
-	-	-	-	12	R$ 3.517.246,00	-	-	13	R$ 3.906.872,00
-	-	-	-	12	R$ 3.517.246,00	-	-	13	R$ 3.906.872,00
-	-	-	-	-	-	-	-	15	R$ 3.926.629,00
-	-	-	-	-	-	-	-	16	R$ 4.377.943,00
-	-	-	-	-	-	-	-	17	R$ 4.603.601,00
-	-	-	-	-	-	-	-	18	R$ 4.623.358,00
-	-	-	-	-	-	-	-	19	R$ 4.754.801,00
-	-	-	-	-	-	-	-	19	R$ 4.754.801,00
-	-	-	-	-	-	-	-	21	R$ 5.094.429,00
-	-	-	-	-	-	-	-	22	R$ 5.845.858,00
-	-	-	-	-	-	-	-	23	R$ 6.074.944,00
-	-	-	-	-	-	-	-	24	R$ 6.190.058,00
-	-	-	-	-	-	-	-	25	R$ 6.301.744,00
-	-	-	-	-	-	-	-	26	R$ 7.206.658,00
-	-	-	-	-	-	-	-	27	R$ 7.509.058,00
-	-	-	-	-	-	-	-	28	R$ 8.793.116,00
-	-	-	-	-	-	-	-	28	R$ 8.793.116,00
-	-	-	-	-	-	-	-	28	R$ 8.793.116,00
-	-	-	-	-	-	-	-	31	R$ 8.828.059,00
-	-	-	-	-	-	-	-	31	R$ 8.828.059,00
-	-	-	-	-	-	-	-	33	R$ 9.584.059,00
-	-	-	-	-	-	-	-	34	R$ 10.263.316,00
-	-	-	-	-	-	-	-	35	R$ 12.375.545,00
-	-	-	-	-	-	-	-	35	R$ 12.375.545,00

6.2.4 Resultados associados aos diferentes cenários de simulação com inserção de equidade

As Tabelas de 18 a 23 apresentam os sistemas de tratamento de esgoto considerados viáveis tecnicamente e sua classificação em ordem crescente de CPL, para os diferentes cenários de simulação, considerada a equidade entre sistemas de tratamento (cenários previamente nomeados A-3-E, B-3-E e C-3-E).

Para o Cenário A-3-E (Tabelas 18 e 19), as alternativas de tratamento de menor custo sugeridas para as ETE's foram "Reator UASB" (ETE's 1, 2 e 4), "UASB + filtro anaeróbio" (ETE 3), e "Infiltração lenta" (ETE 5). Já para o Cenário B-3-E (Tabelas 20 e 21), os sistemas apontados como melhores alternativas foram "Tanque séptico + infiltração" (para a ETE 1), "Reator UASB" (ETE's 2 e 4), "UASB + filtro anaeróbio" (ETE 3) e "Tratamento primário (tanques sépticos)" (ETE 5). Com relação ao Cenário C-3-E (Tabelas 22 e 23), o sistema de tratamento "Reator UASB" foi classificado como melhor opção para as ETE's 1, 2, e 4, e os sistemas "UASB + filtro anaeróbio" e "Infiltração lenta" foram indicados como os melhores para as ETE's 3 e 5, respectivamente.

Os custos presentes líquidos totais por cenário de simulação, decorrentes do somatório dos custos das alternativas consideradas como as melhores para cada ponto de disposição de efluentes, com e sem a perspectiva de equidade entre as plantas de tratamento, estão reunidos na Tabela 24.

.

Tabela 18. Classificação dos sistemas de tratamento de esgotos para o Cenário A-3-E, em ordem crescente de custo presente líquido.

Estação de Tratamento de Esgotos nº 1		Estação de Tratamento de Esgotos nº 2		Estação de Tratamento de Esgotos nº 3		Estação de Tratamento de Esgotos nº 4		Estação de Tratamento de Esgotos nº 5	
Ordem de Preferência	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**
1	Reator UASB	1	Reator UASB	1	UASB + filtro anaeróbio	1	Reator UASB	1	Infiltração lenta
2	Tanque séptico + infiltração	2	Tanque séptico + infiltração	2	Tanque séptico + infiltração	2	UASB + filtro anaeróbio	2	Reator UASB
-	-	3	Lagoa aerada facultativa	3	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação	3	Tanque séptico + infiltração	3	Infiltração rápida
-	-	3	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação	4	UASB + filtro biológico de alta carga	4	UASB + filtro biológico de alta carga	4	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa
-	-	-	-	5	Lagoa aerada facultativa	5	Tratamento primário avançado	5	Lagoa facultativa
-	-	-	-	5	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação	6	Tanqué séptico + filtro anaeróbio	5	Escoamento superficial
-	-	-	-	7	Tratamento primário avançado	7	Filtro biológico percolador de baixa carga	7	Terras úmidas construídas (wetlands)
-	-	-	-	8	UASB + biofiltro aerado submerso	7	Filtro biológico percolador de alta carga	8	UASB + filtro anaeróbio
-	-	-	-	9	Tanqué séptico + filtro anaeróbio	7	Tanque séptico + biodisco	9	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação
-	-	-	-	10	Biofiltro aerado submerso com nitrificação	-	-	10	UASB + lagoas de polimento
-	-	-	-	11	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N	-	-	11	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa alta taxa
-	-	-	-	12	Filtro biológico percolador de baixa carga	-	-	11	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas
-	-	-	-	12	Filtro biológico percolador de alta carga	-	-	13	Tanque séptico + infiltração
-	-	-	-	12	Tanque séptico + biodisco	-	-	14	UASB + escoamento superficial
-	-	-	-	-	-	-	-	15	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação
-	-	-	-	-	-	-	-	16	UASB + filtro biológico de alta carga
-	-	-	-	-	-	-	-	17	Lagoa aerada facultativa
-	-	-	-	-	-	-	-	17	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
-	-	-	-	-	-	-	-	19	UASB + flotação por ar dissolvido
-	-	-	-	-	-	-	-	20	Tratamento primário avançado
-	-	-	-	-	-	-	-	21	UASB + biofiltro aerado submerso
-	-	-	-	-	-	-	-	22	Tanqué séptico + filtro anaeróbio
-	-	-	-	-	-	-	-	23	UASB + lodos ativados
-	-	-	-	-	-	-	-	24	Biofiltro aerado submerso com nitrificação
-	-	-	-	-	-	-	-	25	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N
-	-	-	-	-	-	-	-	26	Filtro biológico percolador de baixa carga
-	-	-	-	-	-	-	-	26	Filtro biológico percolador de alta carga
-	-	-	-	-	-	-	-	26	Tanque séptico + biodisco
-	-	-	-	-	-	-	-	29	Lodo ativado aeração prolongada
-	-	-	-	-	-	-	-	29	Lodo ativado batelada
-	-	-	-	-	-	-	-	31	Lodos ativados convencional
-	-	-	-	-	-	-	-	32	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N
-	-	-	-	-	-	-	-	33	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N/P
-	-	-	-	-	-	-	-	33	Lodo ativado convencional + filtração terciária

Tabela 19. Valores de custo presente líquido correspondentes aos sistemas de tratamento selecionados para o Cenário A-3-E.

Estação de Tratamento de Esgotos nº 1		Estação de Tratamento de Esgotos nº 2		Estação de Tratamento de Esgotos nº 3		Estação de Tratamento de Esgotos nº 4		Estação de Tratamento de Esgotos nº 5	
Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL
1	R$ 1.872.137,00	1	R$ 1.872.137,00	1	R$ 2.747.726,00	1	R$ 1.872.137,00	1	R$ 1.570.652,00
2	R$ 3.141.303,00	2	R$ 3.141.303,00	2	R$ 3.141.303,00	2	R$ 2.747.726,00	2	R$ 1.872.137,00
-	-	3	R$ 3.803.841,00	3	R$ 3.682.881,00	3	R$ 3.141.303,00	3	R$ 1.963.314,00
-	-	3	R$ 3.803.841,00	4	R$ 3.698.686,00	4	R$ 3.698.686,00	4	R$ 2.174.537,00
-	-	-	-	5	R$ 3.803.841,00	5	R$ 4.676.687,00	5	R$ 2.355.977,00
-	-	-	-	5	R$ 3.803.841,00	6	R$ 4.952.046,00	5	R$ 2.355.977,00
-	-	-	-	7	R$ 4.676.687,00	7	R$ 7.034.492,00	7	R$ 2.552.309,00
-	-	-	-	8	R$ 4.859.955,00	7	R$ 7.034.492,00	8	R$ 2.747.726,00
-	-	-	-	9	R$ 4.952.046,00	7	R$ 7.034.492,00	9	R$ 2.944.972,00
-	-	-	-	10	R$ 5.765.327,00	-	-	10	R$ 3.064.103,00
-	-	-	-	11	R$ 6.007.247,00	-	-	11	R$ 3.125.498,00
-	-	-	-	12	R$ 7.034.492,00	-	-	11	R$ 3.125.498,00
-	-	-	-	12	R$ 7.034.492,00	-	-	13	R$ 3.141.303,00
-	-	-	-	12	R$ 7.034.492,00	-	-	14	R$ 3.502.355,00
-	-	-	-	-	-	-	-	15	R$ 3.682.881,00
-	-	-	-	-	-	-	-	16	R$ 3.698.686,00
-	-	-	-	-	-	-	-	17	R$ 3.803.841,00
-	-	-	-	-	-	-	-	17	R$ 3.803.841,00
-	-	-	-	-	-	-	-	19	R$ 4.075.543,00
-	-	-	-	-	-	-	-	20	R$ 4.676.687,00
-	-	-	-	-	-	-	-	21	R$ 4.859.955,00
-	-	-	-	-	-	-	-	22	R$ 4.952.046,00
-	-	-	-	-	-	-	-	23	R$ 5.041.395,00
-	-	-	-	-	-	-	-	24	R$ 5.765.327,00
-	-	-	-	-	-	-	-	25	R$ 6.007.247,00
-	-	-	-	-	-	-	-	26	R$ 7.034.492,00
-	-	-	-	-	-	-	-	26	R$ 7.034.492,00
-	-	-	-	-	-	-	-	26	R$ 7.034.492,00
-	-	-	-	-	-	-	-	29	R$ 7.062.447,00
-	-	-	-	-	-	-	-	29	R$ 7.062.447,00
-	-	-	-	-	-	-	-	31	R$ 7.667.247,00
-	-	-	-	-	-	-	-	32	R$ 8.210.653,00
-	-	-	-	-	-	-	-	33	R$ 9.900.436,00
-	-	-	-	-	-	-	-	33	R$ 9.900.436,00

Tabela 20. Classificação dos sistemas de tratamento de esgotos para o Cenário B-3-E, em ordem crescente de custo presente líquido.

Estação de Tratamento de Esgotos nº 1		Estação de Tratamento de Esgotos nº 2		Estação de Tratamento de Esgotos nº 3		Estação de Tratamento de Esgotos nº 4		Estação de Tratamento de Esgotos nº 5	
Ordem de Preferência	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**
1	Tanque séptico + infiltração	1	Reator UASB	1	UASB + filtro anaeróbio	1	Reator UASB	1	Tratamento primário (tanques sépticos)
-	-	2	Tanque séptico + infiltração	2	Tanque séptico + infiltração	2	UASB + filtro anaeróbio	1	Tratamento primário convencional
-	-	3	Lagoa aerada facultativa	3	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação	3	Tanque séptico + infiltração	1	Infiltração lenta
-	-	3	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação	4	UASB + filtro biológico de alta carga	4	UASB + filtro biológico de alta carga	4	Reator UASB
-	-	-	-	5	Lagoa aerada facultativa	5	Tratamento primário avançado	5	Infiltração rápida
-	-	-	-	5	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação	6	Tanqué séptico + filtro anaeróbio	6	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa
-	-	-	-	7	Tratamento primário avançado	7	Filtro biológico percolador de baixa carga	7	Lagoa facultativa
-	-	-	-	8	UASB + biofiltro aerado submerso	7	Filtro biológico percolador de alta carga	7	Escoamento superficial
-	-	-	-	9	Tanqué séptico + filtro anaeróbio	7	Tanque séptico + biodisco	9	Terras úmidas construídas (wetlands)
-	-	-	-	10	Biofiltro aerado submerso com nitrificação	-	-	10	UASB + filtro anaeróbio
-	-	-	-	11	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N	-	-	11	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação
-	-	-	-	12	Filtro biológico percolador de baixa carga	-	-	12	UASB + lagoas de polimento
-	-	-	-	12	Filtro biológico percolador de alta carga	-	-	13	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa alta taxa
-	-	-	-	12	Tanque séptico + biodisco	-	-	13	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas
-	-	-	-	-	-	-	-	15	Tanque séptico + infiltração
-	-	-	-	-	-	-	-	16	UASB + escoamento superficial
-	-	-	-	-	-	-	-	17	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação
-	-	-	-	-	-	-	-	18	UASB + filtro biológico de alta carga
-	-	-	-	-	-	-	-	19	Lagoa aerada facultativa
-	-	-	-	-	-	-	-	19	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
-	-	-	-	-	-	-	-	21	UASB + flotação por ar dissolvido
-	-	-	-	-	-	-	-	22	Tratamento primário avançado
-	-	-	-	-	-	-	-	23	UASB + biofiltro aerado submerso
-	-	-	-	-	-	-	-	24	Tanqué séptico + filtro anaeróbio
-	-	-	-	-	-	-	-	25	UASB + lodos ativados
-	-	-	-	-	-	-	-	26	Biofiltro aerado submerso com nitrificação
-	-	-	-	-	-	-	-	27	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N
-	-	-	-	-	-	-	-	28	Filtro biológico percolador de baixa carga
-	-	-	-	-	-	-	-	28	Filtro biológico percolador de alta carga
-	-	-	-	-	-	-	-	28	Tanque séptico + biodisco
-	-	-	-	-	-	-	-	31	Lodo ativado aeração prolongada
-	-	-	-	-	-	-	-	31	Lodo ativado batelada
-	-	-	-	-	-	-	-	33	Lodos ativados convencional
-	-	-	-	-	-	-	-	34	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N
-	-	-	-	-	-	-	-	35	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N/P
-	-	-	-	-	-	-	-	35	Lodo ativado convencional + filtração terciária

Tabela 21. Valores de custo presente líquido correspondente aos sistemas de tratamento selecionados para o Cenário B-3-E.

Estação de Tratamento de Esgotos nº 1		Estação de Tratamento de Esgotos nº 2		Estação de Tratamento de Esgotos nº 3		Estação de Tratamento de Esgotos nº 4		Estação de Tratamento de Esgotos nº 5	
Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL
1	R$ 4.711.955,00	1	R$ 2.340.172,00	1	R$ 2.747.726,00	1	R$ 1.404.103,00	1	R$ 785.326,00
-	-	2	R$ 3.926.629,00	2	R$ 3.141.303,00	2	R$ 2.060.795,00	1	R$ 785.326,00
-	-	3	R$ 4.754.801,00	3	R$ 3.682.881,00	3	R$ 2.355.977,00	1	R$ 785.326,00
-	-	3	R$ 4.754.801,00	4	R$ 3.698.686,00	4	R$ 2.774.015,00	4	R$ 936.069,00
-	-	-	-	5	R$ 3.803.841,00	5	R$ 3.507.515,00	5	R$ 981.657,00
-	-	-	-	5	R$ 3.803.841,00	6	R$ 3.714.035,00	6	R$ 1.087.269,00
-	-	-	-	7	R$ 4.676.687,00	7	R$ 5.275.869,00	7	R$ 1.177.989,00
-	-	-	-	8	R$ 4.859.955,00	7	R$ 5.275.869,00	7	R$ 1.177.989,00
-	-	-	-	9	R$ 4.952.046,00	7	R$ 5.275.869,00	9	R$ 1.276.154,00
-	-	-	-	10	R$ 5.765.327,00	-	-	10	R$ 1.373.863,00
-	-	-	-	11	R$ 6.007.247,00	-	-	11	R$ 1.472.486,00
-	-	-	-	12	R$ 7.034.492,00	-	-	12	R$ 1.532.052,00
-	-	-	-	12	R$ 7.034.492,00	-	-	13	R$ 1.562.749,00
-	-	-	-	12	R$ 7.034.492,00	-	-	13	R$ 1.562.749,00
-	-	-	-	-	-	-	-	15	R$ 1.570.652,00
-	-	-	-	-	-	-	-	16	R$ 1.751.177,00
-	-	-	-	-	-	-	-	17	R$ 1.841.440,00
-	-	-	-	-	-	-	-	18	R$ 1.849.343,00
-	-	-	-	-	-	-	-	19	R$ 1.901.920,00
-	-	-	-	-	-	-	-	19	R$ 1.901.920,00
-	-	-	-	-	-	-	-	21	R$ 2.037.772,00
-	-	-	-	-	-	-	-	22	R$ 2.338.343,00
-	-	-	-	-	-	-	-	23	R$ 2.429.978,00
-	-	-	-	-	-	-	-	24	R$ 2.476.023,00
-	-	-	-	-	-	-	-	25	R$ 2.520.698,00
-	-	-	-	-	-	-	-	26	R$ 2.882.663,00
-	-	-	-	-	-	-	-	27	R$ 3.003.623,00
-	-	-	-	-	-	-	-	28	R$ 3.517.246,00
-	-	-	-	-	-	-	-	28	R$ 3.517.246,00
-	-	-	-	-	-	-	-	28	R$ 3.517.246,00
-	-	-	-	-	-	-	-	31	R$ 3.531.223,00
-	-	-	-	-	-	-	-	31	R$ 3.531.223,00
-	-	-	-	-	-	-	-	33	R$ 3.833.623,00
-	-	-	-	-	-	-	-	34	R$ 4.105.326,00
-	-	-	-	-	-	-	-	35	R$ 4.950.218,00
-	-	-	-	-	-	-	-	35	R$ 4.950.218,00

Tabela 22. Classificação dos sistemas de tratamento de esgotos para o Cenário C-3-E, em ordem crescente de custo presente líquido.

Estação de Tratamento de Esgotos nº 1		Estação de Tratamento de Esgotos nº 2		Estação de Tratamento de Esgotos nº 3		Estação de Tratamento de Esgotos nº 4		Estação de Tratamento de Esgotos nº 5	
Ordem de Preferência	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**	**Ordem de Preferência**	**Sistema de Tratamento**
1	Reator UASB	1	Reator UASB	1	UASB + filtro anaeróbio	1	Reator UASB	1	Infiltração lenta
2	Tanque séptico + infiltração	2	Tanque séptico + infiltração	2	Tanque séptico + infiltração	2	UASB + filtro anaeróbio	2	Infiltração rápida
-	-	3	Lagoa aerada facultativa	3	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação	3	Tanque séptico + infiltração	3	Escoamento superficial
-	-	3	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação	4	UASB + filtro biológico de alta carga	4	UASB + filtro biológico de alta carga	4	Terras úmidas construídas (wetlands)
-	-	-	-	5	Lagoa aerada facultativa	5	Tratamento primário avançado	5	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas
-	-	-	-	5	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação	6	Tanqué séptico + filtro anaeróbio	6	Tanque séptico + infiltração
-	-	-	-	7	Tratamento primário avançado	7	Filtro biológico percolador de baixa carga	7	UASB + escoamento superficial
-	-	-	-	8	UASB + biofiltro aerado submerso	7	Filtro biológico percolador de alta carga	8	UASB + filtro biológico de alta carga
-	-	-	-	9	Tanqué séptico + filtro anaeróbio	7	Tanque séptico + biodisco	9	UASB + flotação por ar dissolvido
-	-	-	-	10	Biofiltro aerado submerso com nitrificação	-	-	10	UASB + biofiltro aerado submerso
-	-	-	-	11	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N	-	-	11	UASB + lodos ativados
-	-	-	-	12	Filtro biológico percolador de baixa carga	-	-	12	Biofiltro aerado submerso com nitrificação
-	-	-	-	12	Filtro biológico percolador de alta carga	-	-	13	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N
-	-	-	-	12	Tanque séptico + biodisco	-	-	14	Filtro biológico percolador de baixa carga
-	-	-	-	-	-	-	-	14	Filtro biológico percolador de alta carga
-	-	-	-	-	-	-	-	14	Tanque séptico + biodisco
-	-	-	-	-	-	-	-	17	Lodo ativado aeração prolongada
-	-	-	-	-	-	-	-	17	Lodo ativado batelada
-	-	-	-	-	-	-	-	19	Lodos ativados convencional
-	-	-	-	-	-	-	-	20	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N
-	-	-	-	-	-	-	-	21	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N/P
-	-	-	-	-	-	-	-	21	Lodo ativado convencional + filtração terciária

Tabela 23. Valores de custo presente líquido correspondente aos sistemas de tratamento selecionados para o Cenário C-3-E.

Estação de Tratamento de Esgotos nº 1		Estação de Tratamento de Esgotos nº 2		Estação de Tratamento de Esgotos nº 3		Estação de Tratamento de Esgotos nº 4		Estação de Tratamento de Esgotos nº 5	
Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL	Ordem de Preferência	CPL
1	R$ 936.069,00	1	R$ 936.069,00	1	R$ 1.373.863,00	1	R$ 936.069,00	1	R$ 1.963.314,00
2	R$ 1.570.652,00	2	R$ 1.570.652,00	2	R$ 1.570.652,00	2	R$ 1.373.863,00	2	R$ 2.454.143,00
-	-	3	R$ 1.901.920,00	3	R$ 1.841.440,00	3	R$ 1.570.652,00	3	R$ 2.944.972,00
-	-	3	R$ 1.901.920,00	4	R$ 1.849.343,00	4	R$ 1.849.343,00	4	R$ 3.190.386,00
-	-	-	-	5	R$ 1.901.920,00	5	R$ 2.338.343,00	5	R$ 3.906.872,00
-	-	-	-	5	R$ 1.901.920,00	6	R$ 2.476.023,00	6	R$ 3.926.629,00
-	-	-	-	7	R$ 2.338.343,00	7	R$ 3.517.246,00	7	R$ 4.377.943,00
-	-	-	-	8	R$ 2.429.978,00	7	R$ 3.517.246,00	8	R$ 4.623.358,00
-	-	-	-	9	R$ 2.476.023,00	7	R$ 3.517.246,00	9	R$ 5.094.429,00
-	-	-	-	10	R$ 2.882.663,00	-	-	10	R$ 6.074.944,00
-	-	-	-	11	R$ 3.003.623,00	-	-	11	R$ 6.301.744,00
-	-	-	-	12	R$ 3.517.246,00	-	-	12	R$ 7.206.658,00
-	-	-	-	12	R$ 3.517.246,00	-	-	13	R$ 7.509.058,00
-	-	-	-	12	R$ 3.517.246,00	-	-	14	R$ 8.793.116,00
-	-	-	-	-	-	-	-	14	R$ 8.793.116,00
-	-	-	-	-	-	-	-	14	R$ 8.793.116,00
-	-	-	-	-	-	-	-	17	R$ 8.828.059,00
-	-	-	-	-	-	-	-	17	R$ 8.828.059,00
-	-	-	-	-	-	-	-	19	R$ 9.584.059,00
-	-	-	-	-	-	-	-	20	R$ 10.263.316,00
-	-	-	-	-	-	-	-	21	R$ 12.375.545,00
-	-	-	-	-	-	-	-	21	R$ 12.375.545,00

Tabela 24. Somatório dos valores do CPL das melhores alternativas de tratamento de esgotos, por cenário de simulação, sem e com inserção de equidade.

Resultados sem Inserção de Equidade		Resultados com Inserção de Equidade	
Cenário	**CPL**	**Cenário**	**CPL**
A-3	R$ 11.778.058,00	A-3-E	R$ 9.934.790,00
B-3	R$ 12.957.876,00	B-3-E	R$ 11.989.281,00
C-3	R$ 6.281.692,00	C-3-E	R$ 6.145.384,00

Conforme apresentado na seção 6.1, a incorporação da equidade ao modelo de otimização produziu, para o conjunto de lançamentos de esgotos objeto de avaliações, um aumento do somatório das eficiências mínimas de remoção de DBO. No entanto, o aumento do somatório de eficiências não produziu, quando da incorporação de diferentes aspectos técnicos e econômicos ao processo de pré-seleção, aumento dos custos associados ao tratamento dos esgotos. A partir da simples inspeção dos resultados na Tabela 24, é relevante observar que, para todos os cenários de simulação, a introdução da variável equidade reduziu os custos presentes líquidos totais associados ao tratamento de esgotos no âmbito da bacia hidrográfica.

Neste contexto, a incorporação da equidade pode apresentar relevância para o gerenciamento da disposição de efluentes no âmbito de uma bacia. Conforme resultados reunidos da Tabela 24, para os cenários de simulação considerados no presente trabalho, a equidade reduziu os valores de CPL’s; adicionalmente, quando considerada, a equidade garantiu maior equilíbrio entre os diferentes pontos de disposição de efluentes, impondo maiores níveis de tratamento aos efluentes de maior carga orgânica, observadas as condições de contorno definidas pelo problema de otimização.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As conclusões do presente estudo podem ser assim sumarizadas:

- A metodologia de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos estabelecida no presente trabalho, que empregou de forma combinada um modelo de qualidade de água, uma técnica de otimização e um conjunto de critérios de natureza técnica e econômica, apresentou-se versátil e de fácil aplicação.
- O emprego combinado do modelo de qualidade de água e da técnica de otimização permitiu a apropriação de eficiências mínimas de remoção de DBO para os diferentes cenários de disposição considerados. Nas simulações em que os níveis mínimos de remoção de DBO ou em que as concentrações máximas de DBO fixadas pela legislação ambiental figuraram como restrições do problema de otimização (Cenários A e B), as eficiências variaram entre 60% e aproximadamente 74%. Nos cenários em que as referidas restrições não foram incorporadas ao modelo de otimização, as eficiências variaram entre zero e 90%.
- A incorporação da equidade entre sistemas de tratamento aumentou o somatório das eficiências e reduziu os custos presentes líquidos totais associados ao tratamento de esgoto, no âmbito da bacia hidrográfica.
- Os diferentes cenários de disposição de efluentes e os aspectos de natureza técnica e econômica conduziram a pré-seleção de diferentes combinações de sistemas de tratamento de efluentes. As opções de tratamento variaram de tanques sépticos a combinação de reator UASB com filtro anaeróbio, considerados os menores custos presentes líquidos apropriados em decorrência da metodologia de pré-seleção utilizada.

São consideradas recomendações para estudos futuros:

- A condução de trabalhos que atualizem os custos de implantação e operação dos diferentes sistemas de tratamento de esgotos. Ainda que os valores de eficiências de remoção de DBO e diferentes aspectos de natureza técnica tenham permitido a pré-seleção de diferentes sistemas de tratamento de

esgotos, os custos presentes líquidos (custos produzidos a partir dos custos de implantação e operação) conduziram ao ordenamento dos diferentes sistemas pré-selecionados;

- A condução de estudos que busquem avaliar o efeito sobre a pré-seleção de sistemas de tratamento de esgoto da incorporação de outras formas de equidade ao modelo de otimização;
- A condução de trabalhos que empreguem a metodologia proposta no presente estudo, considerando a simulação de outros parâmetros de qualidade de água;
- A condução de trabalhos que busquem aprimorar a metodologia empregada neste estudo, a fim de que se torne um sistema de suporte a decisão para seleção de sistemas de tratamento de esgotos;
- A avaliação das respostas da combinação da modelagem de qualidade de água com outras técnicas de otimização quando da seleção das eficiências de tratamento de esgotos.

8 REFERÊNCIAS

ALBERTIN, L. L. **Técnica de gerenciamento da qualidade hídrica superficial baseada na otimização multiobjetivo**. 2008. 193 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

ALBERTIN, L. L; MAUAD, F.F; DANIEL, L. A. Uso de Simulação Computacional para Planejamento de um Sistema Hídrico: Estudo de Caso Qualitativo e Quantitativo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** Vol 11, n.4, p. 209-219, 2006.

ARNOLD, C.L., Jr.. **Microcomputer-Assisted Planning Model for Selection of Appropriate Technology in Water and Waste Treatment**. Ph.D. Dissertation, Norman, Oklahoma, USA: The University of Oklahoma, 1982

BOF, V.S.; et al.. ETEs Compactas Associando Reatores Anaeróbios e Aeróbios Ampliam a Cobertura do Saneamento no Estado do Espírito Santo. In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2012**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 2011.

BRITES, A. P. Z. **Enquadramento dos corpos de água através de metas progressivas: probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica**. 2010. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BRITES, A. P. Z; P; ET AL.. **Utilização das Funções de Custos para Análise de Medidas de Despoluição Hídrica**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.

CAIADO, M. A. C; MENDONÇA, A. S. F; LUPPI, S. M; TEIXEIRA, E. C. Desenvolvimento Regional e Qualidade das Águas da Bacia do Rio Santa Maria da Vitória. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XIII. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos:** Belo Horizonte, 1999.

CAMARA, A.S. **Societally Optimal Design of Wastewater Treatment Plants**. Dissertation of Doctor of Philosophy,

CHAPRA, S. C.; PELLETIER, G.; TAO, H. **QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.11):** Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA, 2008. 3p.

CIRILO, J. A. Programação Não Linear Aplicada à Recursos Hídricos. In: PORTO, R. L. L. (Org.). **Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Rio Grande do Sul: Ed: UFRGS, 2002.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **A Guide to the Selection of Cost-Effective Wastewater Treatment Systems**. EPA – 430/9-75-002, July 1975.

_____. **An Analysis of Construction Const Experience for Wastewater Treatment Plants**. EPA – 430/9-76-002, February 1976.

GRAVES, G. W., HATFIELD, G. B.,WHINSTON, A. B. “Mathematical programming for regional water-quality management.” **Water Resour. Res**.,8(2), 273–290. 1972.

GONZAGA, C. C. **Otimização irrestrita**. In: _____. Um curso de programação não linear. Florianópolis, p. 13-49. 2004.

HABTEC – Engenharia Sanitária e Ambiental. **Diagnóstico Plano Diretor das Bacias dos Rios Santa Maria da Vitória e Jucu:** Ecossistemas Aquáticos Interiores e Recursos Hídricos. Relatório Diagnóstico. Volume I. Consórcio Intermunicipal e Recuperação das Bacias dos Rios Santa Maria da Vitória e Jucu. Convênio MMA/SRH 181/96. 1997.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia Econômica e Análise de Custos.** 7ª ed. São Paulo, ATLAS. 2012.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (IEMA). Disponível <http://www.meioambiente.es.gov.br/>. Acessado em 6 de junho de 2014.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4ª ed. Rio de Janeiro, ABES. 2005.

KLEMETSON, S. L.;GRENNEY, W. J. (1985). “Dynamic optimization of regional wastewater treatment systems.” J. **Water Pollut. Control Fed**.,57(2), 128–134.

LANNA, A. E. Introdução. In: PORTO, R. L. L. (Org.). **Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Rio Grande do Sul: Ed: UFRGS, 2002.

LIMA, E. B. N. R. **Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na bacia do Rio Cuiabá**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001.

LOUCKS, D. P.; STEDINGER, J. R.; HAITH, D. A. **Water Resource Systems Planning and Analysis.** Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1981. 559 p.

LOUZADA, J. P; REIS, J. A. T; MENDONÇA, A. S. F.Uso de otimização e modelagem de qualidade de água no planejamento de implantação de sistemas de tratamento de esgotos sanitários em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 18, n1, 277-286. 2013.

LYNN, W. R.; LOGAN, J. A.; CHARNES, A. System analysis for planning wastewater treatment plants. **Journal of Water Pollution Control Federation,** v. 34, n. 6, p. 565- 581, 1962.

METCALF E EDDY. **Wastewater Engeneering: treatment, disposal, and reuse**. 3ª ed. New York, McGraw- Hill, 1991.

OLIVEIRA, S. V. W. B. **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. 2004. 197 f. Tese (Doutorado em Administração) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PALMIERI, V. **Calibração do modelo QUAL2E para o rio Corumbataí (SP)**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2003.

PASSOS, R. L. **Seleção de eficiências de tratamento de esgotos a partir da utilização combinada de modelo de qualidade de água e de técnica meta-heurística de otimização**. 2012. 70 f. Trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Ambiental – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

PAULA, L. M. D. **Avaliação da Qualidade da Água e Autodepuração do Rio Jordão, Araguari (MG)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia – MG, 2011.

PÖPEL, H.J. **Aeration and gas transfer**. 2 ed. Delft. Delft University of Technology. 169 p. 1979.

REIS, J. S. A. D. **Modelagem Matemática da Qualidade de Água para o Alto Rio das Velhas/MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto - MG, 2009.

REVELLE, C. S.; LOUCKS, D. P.; LYNN, W. R. Linear programming applied to water quality management. **Water Resources Research**, v. 4, p. 1-9, 1968.

ROQUES, T. V. P. **Aplicação de Modelos Computacionais na Análise de Outorga para Diluição de Efluentes em Corpos de Água – Fontes Pontuais e Difusas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória - ES, 2006.

SALIM, F.P.C. **Desenvolvimento de sistema de suporte a decisão para o gerenciamento da qualidade das águas em rios considerando múltiplas fontes de poluição pontual**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória 2004.

SAMPAIO, A.; GONÇALVES, M. **Custos Operacionais de Estações de Tratamento de Esgoto por Lodos Ativados: Estudo de Caso ETE – BARUERI**. In XX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro/ RJ, 1999.

SANTOS, V. S. **Um modelo de otimização multiobjetivo para análise de sistemas de recursos hídricos**. 2007. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

SMEERS, Y.;TYTECA, D. Optimal location and design of wastewater treatment plants under river quality constraints. **Environmental systems analysis and management,** S. Rinaldi, ed., North-Holland, Amsterdam, The Netherlands, 289–310.1982.

SOUZA, M. A. A. (1992). **Methodology for Selection of Wastewater Treatment Processes.** PhD Thesis. Birmingham, UK: School of Civil Engineering, The University of Birmingham.

SOUZA, M. A. A. **Um Modelo para Seleção de Processos de Tratamento de Águas Residuárias Municipais**. In: Asociación Peruana de IngenierŶa Sanitaria y Ambiental. AIDIS. Gestión ambiental en el siglo XXI. Lima, APIS, 1998. p.1-20.

STREETER, H.W, PHELPS, E.B. A study of the pollution and natural purification of Ohio river, III. Factors concerned in the phenomena of oxidation and reaeration. **Bulletin 146. Public Health Service**, Washington, DC, USA. 1925.

SOUZA, A. A. M; FORSTER, L. C. **Metodologias para a seleção de processos de tratamento de águas residuárias**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v.2, n.1, p. 19- 31. Jan. 1996.

TECLE, A.; FOGEL, M.; e DUCKSTEIN, L. Multicriterion Selection of Wastewater Management Alternatives. **Journal of Water Resources Planning and Management Division**. Proceedings of ASCE, 114 (4) 383-398. 1988.TREVISA, A. B. **Estudos e Modelagem da Qualidade da Água do Rio Papaquara**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2011.

TUCCI, C. E. M. Modelos de qualidade de água em reservatórios. In: WROBEL, L. C. et al. Métodos numéricos em recursos hídricos. Rio de Janeiro: ABRH. p. 380, 1998.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. Núcleo de Pesquisa em Informações Urbanas. **Esgotamento Sanitário – URBAGUA. Relatório. Limites técnicos e econômicos de alternativas de tratamento de esgoto. Sistema de Apoio à Decisão SAD URBAGUA.** São Paulo, 2004.

VALORY, J. P. L. **Aplicação combinada de técnica de otimização e modelo de qualidade de água na determinação de eficiências de sistemas de tratamento de efluentes domésticos: uma abordagem para gerenciamento de bacias hidrográficas**. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

VALORY, J. P. L; FRAUCHES, V. G. V.; REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. **Aplicação combinada de técnicas de otimização e de modelagem de qualidade**

de água no processo de seleção de sistemas de tratamento de esgotos. In XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Rio Grande do Sul, 2013.

VAN NOTE, R. H.; HERBERT, P. V.; PATEL, E. M.; CHUPER, C.; e FELDMAN, L. (1975). **A Guide to the Selection of Cost-Effective Wastewater Treatment Systems.** Miscellaneous Reports No. EPA-430/9-75-002. Washington, DC, USA: USEPA.

VON SPERLING, M. Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.3, n.1, p.111-132, 1998.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. Belo Horizonte, DESA/UFMG. 2005.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte, DESA/UFMG. 1996.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios**. Belo Horizonte, DESA; UFMG. 2007.

ZAMPROGNO, D.P. **Subsídio para a definição de locais apropriados para a implantação de reservatórios de regularização de vazões:** refinamento e aplicação de procedimento metodológico. 1999. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1999.

APÊNDICE

APÊNDICE A – PLANILHAS DE PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA ASSOCIADAS AO CENÁRIO A-3, SEM A INCORPORAÇÃO DA EQUIDADE

Dados Associados às Estações de Tratamento de Esgotos					
ETE nº	1	2	3	4	5
Carga Orgânica (g/dia)	1209600	1209600	1209600	1209600	1209600
Contribuição Per Capita (g/hab.dia)	50	50	50	50	50
População Equivalente (hab)	24192	24192	24192	24192	24192
Dados Econômicos					
Taxa de Juros	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Critérios					
Eficiência Requerida (%)	9,07385435	81,7486025	49,94651673	81,86112599	87,09701
Disponibilidade de Área (m²)	40000	40000	40000	40000	não
Volume máximo de lodo a ser disposto mensalmente (L)	75000	75000	não	não	não
Consumo mensal máximo admissível de energia (kWh)	14000	não	não	0	não
Declividade Mín. (%)	não	não	não	não	não
Declividade Máx. (%)	não	não	não	não	não
Percolação Mín. Solo (cm³/h)	não	não	não	não	não
Percolação Máx. Solo (cm³/h)	não	não	não	não	não
Espessura Mín. Solo (m)	não	não	não	não	não
Profundidade Mín. Solo (m)	não	não	não	não	não
Profundidade Lençol mínima (m)	não	não	não	não	não
Permite Afloramento Rocha?	não	não	N	não	não

Figura 26. Planilha de definição dos critérios técnicos associados ao processo de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 1												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade mín.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento primário (tanques sépticos)
2	2	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
3	3	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento Inviável
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
6	6	6	-	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento Inviável
7	7	7	-	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento Inviável
8	-	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
9	-	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
15	15	-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento Inviável
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Reator UASB
18	18	-	-	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento Inviável
19	19	-	-	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento Inviável
20	20	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento Inviável
21	21	-	21	21	21	21	21	21	21	21	21	Tratamento Inviável
22	22	-	-	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento Inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
24	24	-	-	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento Inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	-	-	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento Inviável
27	27	-	-	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento Inviável
28	28	-	-	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento Inviável
29	29	-	-	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento Inviável
30	30	-	-	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento Inviável
31	31	-	-	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento Inviável
32	32	-	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Tratamento Inviável
33	33	-	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Tratamento Inviável
34	34	-	-	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento Inviável
35	35	-	-	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento Inviável
36	36	-	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tratamento Inviável
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												3

Figura 27. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 1, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 2												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação min. solo	Percolação máx. solo	Espessura min. solo	Profundidade min. solo	Profundidade min. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento Inviável
-	2	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
-	3	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento Inviável
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Lagoa aerada facultativa
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
8	-	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
9	-	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
15	15	-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento Inviável
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
-	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Tratamento Inviável
18	18	-	18	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento Inviável
19	19	-	19	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento Inviável
20	20	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento Inviável
21	21	-	21	21	21	21	21	21	21	21	21	Tratamento Inviável
22	22	-	22	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento Inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
24	24	-	24	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento Inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	-	26	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento Inviável
27	27	-	27	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento Inviável
28	28	-	28	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento Inviável
29	29	-	29	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento Inviável
30	30	-	30	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento Inviável
31	31	-	31	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento Inviável
32	32	-	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Tratamento Inviável
33	33	-	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Tratamento Inviável
34	34	-	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento Inviável
35	35	-	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento Inviável
36	36	-	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tratamento Inviável
TOTAL DE TRATAMENTOS VIAVEIS												3

Figura 28. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 2, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 3												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação min. solo	Percolação máx. solo	Espessura min. solo	Profundidade min. solo	Profundidade min. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento Inviável
-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento primário avançado
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Lagoa aerada facultativa
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
8	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
9	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tanque séptico + filtro anaeróbio
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	-	Tratamento Inviável
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	-	Tratamento Inviável
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	UASB + biofiltro aerado submerso
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	UASB + filtro anaeróbio
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	-	Tratamento Inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	-	Tratamento Inviável
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	-	Tratamento Inviável
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	-	Tratamento Inviável
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	-	Tratamento Inviável
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	-	Tratamento Inviável
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	-	Tratamento Inviável
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Biofiltro aerado submerso com nitrificação
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIAVEIS												14

Figura 29. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 3, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 4												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade mín.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento inviável
-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento inviável
-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento inviável
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento inviável
6	6	6	-	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento inviável
7	7	7	-	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento inviável
8	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento inviável
9	-	9	-	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento inviável
10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento inviável
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tanque séptico + filtro anaeróbio
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
-	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Tratamento inviável
18	18	18	-	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento inviável
19	19	19	-	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento inviável
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	UASB + filtro anaeróbio
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	-	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento inviável
24	24	24	-	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento inviável
26	26	26	-	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento inviável
27	27	27	-	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento inviável
28	28	28	-	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento inviável
29	29	29	-	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento inviável
30	30	30	-	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento inviável
31	31	31	-	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento inviável
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	-	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento inviável
35	35	35	-	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento inviável
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												7

Figura 30. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 4, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 5												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade mín.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento inviável
-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento inviável
-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento inviável
-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento inviável
-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento inviável
-	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento inviável
-	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento inviável
-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento inviável
-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento inviável
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Infiltração lenta
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Infiltração rápida
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Escoamento superficial
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Terras úmidas construídas (wetlands)
-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento inviável
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
-	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Tratamento inviável
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	UASB + lodos ativados
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	UASB + biofiltro aerado submerso
-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento inviável
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	UASB + flotação por ar dissolvido
-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento inviável
-	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento inviável
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	UASB + escoamento superficial
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	Lodos ativados convencional
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	Lodo ativado aeração prolongada
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	Lodo ativado batelada
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N/P
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	Lodo ativado convencional + filtração terciária
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Biofiltro aerado submerso com nitrificação
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												22

Figura 31. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 5, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

APÊNDICE B – PLANILHAS DE PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA ASSOCIADAS AO CENÁRIO B-3, SEM A INCORPORAÇÃO DA EQUIDADE

Dados Associados às Estações de Tratamento de Esgotos					
ETE nº	1	2	3	4	5
Carga Orgânica (g/dia)	1814400	1512000	1209600	907200	604800
Contribuição Per Capita (g/hab.dia)	50	50	50	50	50
População Equivalente (hab)	36288	30240	24192	18144	12096
Dados Econômicos					
Taxa de Juros	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Critérios					
Eficiência Requerida (%)	90	90	90	4,523827591	0
Disponibilidade de Área (m²)	60000	50000	40000	30000	não
Volume máximo de lodo a ser disposto mensalmente (L)	115000	95000	não	não	não
Consumo mensal máximo admissível de energia (kWh)	20000	não	não	0	não
Declividade Mín. (%)	não	não	não	não	não
Declividade Máx. (%)	não	não	não	não	não
Percolação Mín. Solo (cm³/h)	não	não	não	não	não
Percolação Máx. Solo (cm³/h)	não	não	não	não	não
Espessura Mín. Solo (m)	não	não	não	não	não
Profundidade Mín. Solo (m)	não	não	não	não	não
Profundidade Lençol mínima (m)	não	não	não	não	não
Permite Afloramento Rocha (m)	não	não	N	não	não

Figura 32. Planilha de definição dos critérios técnicos associados ao processo de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 1												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade mín.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento Inviável
-	2	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
-	3	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento Inviável
-	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
-	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
-	6	6	-	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento Inviável
-	7	7	-	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento Inviável
-	-	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
-	-	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
-	15	-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento Inviável
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
-	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Tratamento Inviável
18	18	-	-	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento Inviável
19	19	-	-	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento Inviável
-	20	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento Inviável
21	21	-	21	21	21	21	21	21	21	21	21	Tratamento Inviável
22	22	-	-	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento Inviável
-	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
-	24	-	-	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento Inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	-	-	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento Inviável
27	27	-	-	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento Inviável
28	28	-	-	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento Inviável
29	29	-	-	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento Inviável
30	30	-	-	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento Inviável
31	31	-	-	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento Inviável
32	32	-	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Tratamento Inviável
33	33	-	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Tratamento Inviável
34	34	-	-	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento Inviável
35	35	-	-	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento Inviável
36	36	-	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tratamento Inviável
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												1

Figura 33. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 1, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 2												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade mín.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento Inviável
-	2	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
-	3	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento Inviável
-	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
-	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
-	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento Inviável
-	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento Inviável
-	-	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
-	-	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
-	15	-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento Inviável
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
-	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Tratamento Inviável
18	18	-	18	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento Inviável
19	19	-	19	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento Inviável
-	20	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento Inviável
21	21	-	21	21	21	21	21	21	21	21	21	Tratamento Inviável
22	22	-	22	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento Inviável
-	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
-	24	-	24	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento Inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	-	26	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento Inviável
27	27	-	27	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento Inviável
28	28	-	28	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento Inviável
29	29	-	29	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento Inviável
30	30	-	30	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento Inviável
31	31	-	31	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento Inviável
32	32	-	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Tratamento Inviável
33	33	-	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Tratamento Inviável
34	34	-	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento Inviável
35	35	-	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento Inviável
36	36	-	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tratamento Inviável
TOTAL DE TRATAMENTOS VIAVEIS												1

Figura 34. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 2, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 3												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade mín.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento Inviável
-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento Inviável
-	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
-	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
-	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento Inviável
-	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento Inviável
-	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
-	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento Inviável
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
-	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	-	Tratamento Inviável
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	-	Tratamento Inviável
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	UASB + biofiltro aerado submerso
-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento Inviável
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	-	Tratamento Inviável
-	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
-	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento Inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	-	Tratamento Inviável
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	-	Tratamento Inviável
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	-	Tratamento Inviável
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	-	Tratamento Inviável
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	-	Tratamento Inviável
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	-	Tratamento Inviável
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Biofiltro aerado submerso com nitrificação
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIAVEIS												8

Figura 35. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 3, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 4												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação min. solo	Percolação máx. solo	Espessura min. solo	Profundidade min. solo	Profundidade min. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento primário (tanques sépticos)
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento primário convencional
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento primário avançado
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
6	6	6	-	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento Inviável
7	7	7	-	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento Inviável
8	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
9	-	9	-	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tanque séptico + filtro anaeróbio
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Reator UASB
18	18	18	-	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento Inviável
19	19	19	-	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento Inviável
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	UASB + filtro anaeróbio
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	-	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento Inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
24	24	24	-	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento Inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	26	-	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento Inviável
27	27	27	-	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento Inviável
28	28	28	-	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento Inviável
29	29	29	-	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento Inviável
30	30	30	-	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento Inviável
31	31	31	-	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento Inviável
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	-	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento Inviável
35	35	35	-	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento Inviável
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIAVEIS												11

Figura 36. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 4, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 5												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto anualmente	Consumo de energia	Declividade mínima	Declividade máxima	Percolação mínima solo	Percolação máxima solo	Espessura Mín. Solo	Profundidade Mín. Solo	Profundidade Lençol mínima	Permite Afloramento Rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento Inviável
-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento Inviável
-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
-	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento Inviável
-	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento Inviável
-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento Inviável
-	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tratamento Inviável
-	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Tratamento Inviável
-	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento Inviável
-	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento Inviável
-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento Inviável
-	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	Tratamento Inviável
-	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento Inviável
-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
-	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento Inviável
-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
-	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento Inviável
-	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento Inviável
-	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento Inviável
-	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento Inviável
-	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento Inviável
-	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento Inviável
-	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Tratamento Inviável
-	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Tratamento Inviável
-	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento Inviável
-	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento Inviável
-	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tratamento Inviável
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												0

Figura 37. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 5, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

APÊNDICE C – PLANILHAS DE PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA ASSOCIADAS AO CENÁRIO C-3, SEM A INCORPORAÇÃO DA EQUIDADE

Dados Associados às Estações de Tratamento de Esgotos					
ETE nº	1	2	3	4	5
Carga Orgânica (g/dia)	604800	604800	604800	604800	1512000
Contribuição Per Capita (g/hab.dia)	50	50	50	50	50
População Equivalente (hab)	12096	12096	12096	12096	30240
Dados Econômicos					
Taxa de Juros	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Critérios					
Eficiência Requerida (%)	15,4136514	31,71695368	49,03899301	81,13851096	17,67154
Disponibilidade de Área (m²)	20000	20000	20000	20000	não
Volume máximo de lodo a ser disposto mensalmente (L)	38000	38000	não	não	não
Consumo mensal máximo admissível de energia (kWh)	7000	não	não	0	não
Declividade Mín. (%)	não	não	não	não	não
Declividade Máx. (%)	não	não	não	não	não
Percolação Mín. Solo (cm³/h)	não	não	não	não	não
Percolação Máx. Solo (cm³/h)	não	não	não	não	não
Espessura Mín. Solo (m)	não	não	não	não	não
Profundidade Mín. Solo (m)	não	não	não	não	não
Profundidade Lençol mínima (m)	não	não	não	não	não
Permite Afloramento Rocha?	não	não	N	não	não

Figura 38. Planilha de definição dos critérios técnicos associados ao processo de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 1												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação min. solo	Percolação máx. solo	Espessura min. solo	Profundidade min. solo	Profundidade min. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento primário (tanques sépticos)
2	2	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento inviável
3	3	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento inviável
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento inviável
6	6	6	-	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento inviável
7	7	7	-	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento inviável
8	-	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento inviável
9	-	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento inviável
10	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento inviável
15	15	-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento inviável
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Reator UASB
18	18	-	-	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento inviável
19	19	-	-	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento inviável
20	20	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento inviável
21	21	-	21	21	21	21	21	21	21	21	21	Tratamento inviável
22	22	-	-	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento inviável
24	24	-	-	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento inviável
26	26	-	-	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento inviável
27	27	-	-	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento inviável
28	28	-	-	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento inviável
29	29	-	-	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento inviável
30	30	-	-	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento inviável
31	31	-	-	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento inviável
32	32	-	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Tratamento inviável
33	33	-	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Tratamento inviável
34	34	-	-	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento inviável
35	35	-	-	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento inviável
36	36	-	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tratamento inviável
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												3

Figura 39. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 1, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 2												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação min. solo	Percolação máx. solo	Espessura min. solo	Profundidade min. solo	Profundidade min. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento primário (tanques sépticos)
2	2	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
3	3	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento Inviável
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Lagoa aerada facultativa
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
8	-	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
9	-	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
15	15	-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento Inviável
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Reator UASB
18	18	-	18	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento Inviável
19	19	-	19	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento Inviável
20	20	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento Inviável
21	21	-	21	21	21	21	21	21	21	21	21	Tratamento Inviável
22	22	-	22	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento Inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
24	24	-	24	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento Inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	-	26	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento Inviável
27	27	-	27	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento Inviável
28	28	-	28	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento Inviável
29	29	-	29	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento Inviável
30	30	-	30	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento Inviável
31	31	-	31	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento Inviável
32	32	-	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Tratamento Inviável
33	33	-	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Tratamento Inviável
34	34	-	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento Inviável
35	35	-	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento Inviável
36	36	-	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tratamento Inviável
TOTAL DE TRATAMENTOS VIAVEIS												5

Figura 40. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 2, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 3												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação min. solo	Percolação máx. solo	Espessura min. solo	Profundidade min. solo	Profundidade min. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento Inviável
-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento primário avançado
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Lagoa aerada facultativa
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
8	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
9	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tanque séptico + filtro anaeróbio
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	-	Tratamento Inviável
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	-	Tratamento Inviável
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	UASB + biofilfro aerado submerso
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	UASB + filtro anaeróbio
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	-	Tratamento Inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	-	Tratamento Inviável
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	-	Tratamento Inviável
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	-	Tratamento Inviável
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	-	Tratamento Inviável
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	-	Tratamento Inviável
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	-	Tratamento Inviável
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Biofilfro aerado submerso com nitrificação
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Biofilfro aerado submerso com remoção biológica de fó
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIAVEIS												14

Figura 41. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 3, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 4												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação min. solo	Percolação máx. solo	Espessura min. solo	Profundidade min. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento Inviável
-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento Inviável
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
6	6	6	-	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento Inviável
7	7	7	-	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento Inviável
8	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
9	-	9	-	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tanque séptico + filtro anaeróbio
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
-	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Tratamento Inviável
18	18	18	-	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento Inviável
19	19	19	-	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento Inviável
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	UASB + filtro anaeróbio
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	-	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento Inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
24	24	24	-	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento Inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	26	-	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento Inviável
27	27	27	-	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento Inviável
28	28	28	-	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento Inviável
29	29	29	-	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento Inviável
30	30	30	-	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento Inviável
31	31	31	-	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento Inviável
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	-	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento Inviável
35	35	35	-	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento Inviável
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												7

Figura 42. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 4, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 5												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação min. solo	Percolação máx. solo	Espessura min. solo	Profundidade min. solo	Profundidade min. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento primário (tanques sépticos)
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento primário convencional
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento primário avançado
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Lagoa facultativa
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Lagoa aerada facultativa
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa alta taxa
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Infiltração lenta
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Infiltração rápida
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Escoamento superficial
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Terras úmidas construídas (wetlands)
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tanque séptico + filtro anaeróbio
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Reator UASB
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	UASB + lodos ativados
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	UASB + biofiltro aerado submerso
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	UASB + filtro anaeróbio
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	UASB + flotação por ar dissolvido
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	UASB + lagoas de polimento
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	UASB + escoamento superficial
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	Lodos ativados convencional
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	Lodo ativado aeração prolongada
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	Lodo ativado batelada
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N/P
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	Lodo ativado convencional + filtração terciária
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Biofiltro aerado submerso com nitrificação
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												36

Figura 43. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 5, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, sem a incorporação da equidade.

APÊNDICE D – PLANILHAS DE PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA ASSOCIADAS AO CENÁRIO A-3, COM A INCORPORAÇÃO DA EQUIDADE

Dados Associados às Estações de Tratamento de Esgotos					
ETE nº	1	2	3	4	5
Carga Orgânica (g/dia)	1209600	1209600	1209600	1209600	1209600
Contribuição Per Capita (g/hab.dia)	50	50	50	50	50
População Equivalente (hab)	24192	24192	24192	24192	24192
Dados Econômicos					
Taxa de Juros	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Critérios					
Eficiência Requerida (%)	65,3494374	65,34943737	65,34943737	65,34943737	65,34944
Disponibilidade de Área (m²)	40000	40000	40000	40000	não
Volume máximo de lodo a ser disposto mensalmente (L)	75000	75000	não	não	não
Consumo mensal máximo admissível de energia (kWh)	14000	não	não	0	não
Declividade Mín. (%)	não	não	não	não	não
Declividade Máx. (%)	não	não	não	não	não
Percolação Mín. Solo (cm³/h)	não	não	não	não	não
Percolação Máx. Solo (cm³/h)	não	não	não	não	não
Espessura Mín. Solo (m)	não	não	não	não	não
Profundidade Mín. Solo (m)	não	não	não	não	não
Profundidade Lençol mínima (m)	não	não	não	não	não
Permite Afloramento Rocha?	não	não	N	não	não

Figura 44. Planilha de definição dos critérios técnicos associados ao processo de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 1												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade mín.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento Inviável
-	2	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
3	3	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento Inviável
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
6	6	6	-	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento Inviável
7	7	7	-	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento Inviável
8	-	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
9	-	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
15	15	-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento Inviável
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Reator UASB
18	18	-	-	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento Inviável
19	19	-	-	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento Inviável
20	20	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento Inviável
21	21	-	21	21	21	21	21	21	21	21	21	Tratamento Inviável
22	22	-	-	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento Inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
24	24	-	-	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento Inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	-	-	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento Inviável
27	27	-	-	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento Inviável
28	28	-	-	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento Inviável
29	29	-	-	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento Inviável
30	30	-	-	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento Inviável
31	31	-	-	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento Inviável
32	32	-	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Tratamento Inviável
33	33	-	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Tratamento Inviável
34	34	-	-	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento Inviável
35	35	-	-	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento Inviável
36	36	-	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tratamento Inviável
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												2

Figura 45. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 1, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 2												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação min. solo	Percolação máx. solo	Espessura min. solo	Profundidade min. solo	Profundidade min. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento inviável
-	2	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento inviável
3	3	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento inviável
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento inviável
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Lagoa aerada facultativa
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
8	-	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento inviável
9	-	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento inviável
10	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento inviável
15	15	-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento inviável
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Reator UASB
18	18	-	18	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento inviável
19	19	-	19	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento inviável
20	20	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento inviável
21	21	-	21	21	21	21	21	21	21	21	21	Tratamento inviável
22	22	-	22	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento inviável
24	24	-	24	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento inviável
26	26	-	26	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento inviável
27	27	-	27	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento inviável
28	28	-	28	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento inviável
29	29	-	29	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento inviável
30	30	-	30	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento inviável
31	31	-	31	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento inviável
32	32	-	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Tratamento inviável
33	33	-	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Tratamento inviável
34	34	-	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento inviável
35	35	-	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento inviável
36	36	-	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tratamento inviável
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												4

Figura 46. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 2, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 3												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação min. solo	Percolação máx. solo	Espessura min. solo	Profundidade min. solo	Profundidade min. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento inviável
-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento inviável
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento primário avançado
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento inviável
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Lagoa aerada facultativa
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
8	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento inviável
9	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento inviável
10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento inviável
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tanque séptico + filtro anaeróbio
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	-	Tratamento inviável
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	-	Tratamento inviável
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	UASB + biofiltro aerado submerso
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	UASB + filtro anaeróbio
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	-	Tratamento inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento inviável
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento inviável
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	-	Tratamento inviável
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	-	Tratamento inviável
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	-	Tratamento inviável
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	-	Tratamento inviável
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	-	Tratamento inviável
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	-	Tratamento inviável
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Biofiltro aerado submerso com nitrificação
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												14

Figura 47. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 3, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 4												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação min. solo	Percolação máx. solo	Espessura min. solo	Profundidade min. solo	Profundidade min. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento inviável
-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento inviável
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento primário avançado
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento inviável
6	6	6	-	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento inviável
7	7	7	-	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento inviável
8	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento inviável
9	-	9	-	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento inviável
10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	12	13	13	13	Tratamento inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento inviável
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tanque séptico + filtro anaeróbio
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Reator UASB
18	18	18	-	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento inviável
19	19	19	-	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento inviável
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	UASB + filtro anaeróbio
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	-	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento inviável
24	24	24	-	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento inviável
26	26	26	-	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento inviável
27	27	27	-	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento inviável
28	28	28	-	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento inviável
29	29	29	-	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento inviável
30	30	30	-	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento inviável
31	31	31	-	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento inviável
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	-	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento inviável
35	35	35	-	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento inviável
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												9

Figura 48. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 4, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 5												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação min. solo	Percolação máx. solo	Espessura min. solo	Profundidade min. solo	Profundidade min. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento inviável
-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento inviável
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento primário avançado
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Lagoa facultativa
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Lagoa aerada facultativa
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa alta taxa
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Infiltração lenta
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Infiltração rápida
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Escoamento superficial
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Terras úmidas construídas (wetlands)
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tanque séptico + filtro anaeróbio
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Reator UASB
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	UASB + lodos ativados
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	UASB + biofiltro aerado submerso
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	UASB + filtro anaeróbio
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	UASB + flotação por ar dissolvido
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	UASB + lagoas de polimento
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	UASB + escoamento superficial
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	Lodos ativados convencional
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	Lodo ativado aeração prolongada
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	Lodo ativado batelada
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N/P
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	Lodo ativado convencional + filtração terciária
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Biofiltro aerado submerso com nitrificação
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												34

Figura 49. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 5, considerado o cenário A-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

APÊNDICE E – PLANILHAS DE PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA ASSOCIADAS AO CENÁRIO B-3, COM A INCORPORAÇÃO DA EQUIDADE

Dados Associados às Estações de Tratamento de Esgotos					
ETE nº	1	2	3	4	5
Carga Orgânica (g/dia)	1814400	1512000	1209600	907200	604800
Contribuição Per Capita (g/hab.dia)	50	50	50	50	50
População Equivalente (hab)	36288	30240	24192	18144	12096
Dados Econômicos					
Taxa de Juros	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Critérios					
Eficiência Requerida (%)	88,556801	73,79733803	59,03788042	44,27842435	29,51891
Disponibilidade de Área (m²)	60000	50000	40000	30000	não
Volume máximo de lodo a ser disposto mensalmente (L)	115000	95000	não	não	não
Consumo mensal máximo admissível de energia (kWh)	20000	não	não	0	não
Declividade Mín. (%)	não	não	não	não	não
Declividade Máx. (%)	não	não	não	não	não
Percolação Mín. Solo (cm³/h)	não	não	não	não	não
Percolação Máx. Solo (cm³/h)	não	não	não	não	não
Espessura Mín. Solo (m)	não	não	não	não	não
Profundidade Mín. Solo (m)	não	não	não	não	não
Profundidade Lençol mínima (m)	não	não	não	não	não
Permite Afloramento Rocha?	não	não	N	não	não

Figura 50. Planilha de definição dos critérios técnicos associados ao processo de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 1												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade mín.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento Inviável
-	2	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
-	3	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento Inviável
-	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
-	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
-	6	6	-	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento Inviável
-	7	7	-	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento Inviável
-	-	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
-	-	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
-	15	-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento Inviável
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
-	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Tratamento Inviável
18	18	-	-	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento Inviável
19	19	-	-	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento Inviável
-	20	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento Inviável
21	21	-	21	21	21	21	21	21	21	21	21	Tratamento Inviável
22	22	-	-	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento Inviável
-	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
-	24	-	-	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento Inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	-	-	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento Inviável
27	27	-	-	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento Inviável
28	28	-	-	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento Inviável
29	29	-	-	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento Inviável
30	30	-	-	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento Inviável
31	31	-	-	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento Inviável
32	32	-	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Tratamento Inviável
33	33	-	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Tratamento Inviável
34	34	-	-	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento Inviável
35	35	-	-	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento Inviável
36	36	-	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tratamento Inviável
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												1

Figura 51. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 1, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 2												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação min. solo	Percolação máx. solo	Espessura min. solo	Profundidade min. solo	Profundidade min. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento Inviável
-	2	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
3	3	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento Inviável
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Lagoa aerada facultativa
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
8	-	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
9	-	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
15	15	-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento Inviável
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Reator UASB
18	18	-	18	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento Inviável
19	19	-	19	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento Inviável
20	20	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento Inviável
21	21	-	21	21	21	21	21	21	21	21	21	Tratamento Inviável
22	22	-	22	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento Inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
24	24	-	24	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento Inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	-	26	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento Inviável
27	27	-	27	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento Inviável
28	28	-	28	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento Inviável
29	29	-	29	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento Inviável
30	30	-	30	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento Inviável
31	31	-	31	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento Inviável
32	32	-	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Tratamento Inviável
33	33	-	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Tratamento Inviável
34	34	-	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento Inviável
35	35	-	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento Inviável
36	36	-	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tratamento Inviável
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												4

Figura 52. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 2, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 3												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação min. solo	Percolação máx. solo	Espessura min. solo	Profundidade min. solo	Profundidade min. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento Inviável
-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento primário avançado
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Lagoa aerada facultativa
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
8	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
9	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tanque séptico + filtro anaeróbio
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	-	Tratamento Inviável
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	-	Tratamento Inviável
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	UASB + biofiltro aerado submerso
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	UASB + filtro anaeróbio
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	-	Tratamento Inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	-	Tratamento Inviável
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	-	Tratamento Inviável
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	-	Tratamento Inviável
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	-	Tratamento Inviável
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	-	Tratamento Inviável
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	-	Tratamento Inviável
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Biofiltro aerado submerso com nitrificação
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												14

Figura 53. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 3, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 4												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade mín.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento inviável
-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento inviável
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento primário avançado
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento inviável
6	6	6	-	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento inviável
7	7	7	-	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento inviável
8	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento inviável
9	-	9	-	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento inviável
10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento inviável
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tanque séptico + filtro anaeróbio
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Reator UASB
18	18	18	-	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento inviável
19	19	19	-	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento inviável
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	UASB + filtro anaeróbio
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	-	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento inviável
24	24	24	-	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento inviável
26	26	26	-	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento inviável
27	27	27	-	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento inviável
28	28	28	-	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento inviável
29	29	29	-	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento inviável
30	30	30	-	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento inviável
31	31	31	-	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento inviável
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	-	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento inviável
35	35	35	-	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento inviável
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												9

Figura 54. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 4, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 5												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade mín.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento primário (tanques sépticos)
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento primário convencional
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento primário avançado
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Lagoa facultativa
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Lagoa aerada facultativa
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa alta taxa
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Infiltração lenta
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Infiltração rápida
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Escoamento superficial
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Terras úmidas construídas (wetlands)
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tanque séptico + filtro anaeróbio
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Reator UASB
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	UASB + lodos ativados
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	UASB + biofiltro aerado submerso
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	UASB + filtro anaeróbio
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	UASB + flotação por ar dissolvido
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	UASB + lagoas de polimento
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	UASB + escoamento superficial
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	Lodos ativados convencional
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	Lodo ativado aeração prolongada
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	Lodo ativado batelada
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N/P
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	Lodo ativado convencional + filtração terciária
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Biofiltro aerado submerso com nitrificação
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												36

Figura 55. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 5, considerado o cenário B-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

APÊNDICE F – PLANILHAS DE PRÉ-SELEÇÃO TÉCNICA ASSOCIADAS AO CENÁRIO C-3, COM A INCORPORAÇÃO DA EQUIDADE

Dados Associados às Estações de Tratamento de Esgotos					
ETE nº	1	2	3	4	5
Carga Orgânica (g/dia)	604800	604800	604800	604800	1512000
Contribuição Per Capita (g/hab.dia)	50	50	50	50	50
População Equivalente (hab)	12096	12096	12096	12096	30240
Dados Econômicos					
Taxa de Juros	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Critérios					
Eficiência Requerida (%)	35,9999928	35,99999281	35,99999281	35,99999281	90
Disponibilidade de Área (m²)	20000	20000	20000	20000	não
Volume máximo de lodo a ser disposto mensalmente (L)	38000	38000	não	não	não
Consumo mensal máximo admissível de energia (kWh)	7000	não	não	0	não
Declividade Mín. (%)	não	não	não	não	não
Declividade Máx. (%)	não	não	não	não	não
Percolação Mín. Solo (cm³/h)	não	não	não	não	não
Percolação Máx. Solo (cm³/h)	não	não	não	não	não
Espessura Mín. Solo (m)	não	não	não	não	não
Profundidade Mín. Solo (m)	não	não	não	não	não
Profundidade Lençol mínima (m)	não	não	não	não	não
Permite Afloramento Rocha?	não	não	N	não	não

Figura 56. Planilha de definição dos critérios técnicos associados ao processo de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 1												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade mín.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento Inviável
-	2	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
3	3	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento Inviável
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
6	6	6	-	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento Inviável
7	7	7	-	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento Inviável
8	-	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
9	-	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
15	15	-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento Inviável
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Reator UASB
18	18	-	-	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento Inviável
19	19	-	-	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento Inviável
20	20	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento Inviável
21	21	-	21	21	21	21	21	21	21	21	21	Tratamento Inviável
22	22	-	-	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento Inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
24	24	-	-	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento Inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	-	-	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento Inviável
27	27	-	-	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento Inviável
28	28	-	-	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento Inviável
29	29	-	-	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento Inviável
30	30	-	-	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento Inviável
31	31	-	-	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento Inviável
32	32	-	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Tratamento Inviável
33	33	-	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Tratamento Inviável
34	34	-	-	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento Inviável
35	35	-	-	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento Inviável
36	36	-	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tratamento Inviável
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												2

Figura 57. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 1, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 2												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento Inviável
-	2	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
3	3	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento Inviável
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Lagoa aerada facultativa
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
8	-	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
9	-	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
15	15	-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento Inviável
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Reator UASB
18	18	-	18	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento Inviável
19	19	-	19	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento Inviável
20	20	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento Inviável
21	21	-	21	21	21	21	21	21	21	21	21	Tratamento Inviável
22	22	-	22	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento Inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
24	24	-	24	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento Inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	-	26	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento Inviável
27	27	-	27	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento Inviável
28	28	-	28	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento Inviável
29	29	-	29	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento Inviável
30	30	-	30	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento Inviável
31	31	-	31	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento Inviável
32	32	-	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Tratamento Inviável
33	33	-	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Tratamento Inviável
34	34	-	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento Inviável
35	35	-	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento Inviável
36	36	-	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tratamento Inviável
TOTAL DE TRATAMENTOS VIAVEIS												4

Figura 58. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 2, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 3												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento Inviável
-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento Inviável
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento primário avançado
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento Inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento Inviável
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Lagoa aerada facultativa
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação
8	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento Inviável
9	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento Inviável
10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento Inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento Inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento Inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento Inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento Inviável
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tanque séptico + filtro anaeróbio
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	-	Tratamento Inviável
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	-	Tratamento Inviável
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	UASB + biofiltro aerado submerso
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	UASB + filtro anaeróbio
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	-	Tratamento Inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento Inviável
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decantação
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento Inviável
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	-	Tratamento Inviável
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	-	Tratamento Inviável
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	-	Tratamento Inviável
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	-	Tratamento Inviável
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	-	Tratamento Inviável
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	-	Tratamento Inviável
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Biofiltro aerado submerso com nitrificação
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de fó
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + leito/caco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIAVEIS												14

Figura 59. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 3, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 4												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento inviável
-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento inviável
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento primário avançado
4	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento inviável
5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento inviável
6	6	6	-	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento inviável
7	7	7	-	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento inviável
8	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento inviável
9	-	9	-	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento inviável
10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Tratamento inviável
11	-	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Tratamento inviável
12	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Tratamento inviável
13	-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Tratamento inviável
14	-	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Tratamento inviável
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tanque séptico + filtro anaeróbio
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Reator UASB
18	18	18	-	18	18	18	18	18	18	18	18	Tratamento inviável
19	19	19	-	19	19	19	19	19	19	19	19	Tratamento inviável
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	UASB + filtro anaeróbio
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	-	22	22	22	22	22	22	22	22	Tratamento inviável
23	-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento inviável
24	24	24	-	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento inviável
25	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Tratamento inviável
26	26	26	-	26	26	26	26	26	26	26	26	Tratamento inviável
27	27	27	-	27	27	27	27	27	27	27	27	Tratamento inviável
28	28	28	-	28	28	28	28	28	28	28	28	Tratamento inviável
29	29	29	-	29	29	29	29	29	29	29	29	Tratamento inviável
30	30	30	-	30	30	30	30	30	30	30	30	Tratamento inviável
31	31	31	-	31	31	31	31	31	31	31	31	Tratamento inviável
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	-	34	34	34	34	34	34	34	34	Tratamento inviável
35	35	35	-	35	35	35	35	35	35	35	35	Tratamento inviável
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												9

Figura 60. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 4, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS Nº 5												
Sistemas de Tratamento Viáveis pelos Critérios Estabelecidos												
Eficiência	Área	Volume de lodo disposto	Consumo de energia	Declividade min.	Declividade máx.	Percolação mín. solo	Percolação máx. solo	Espessura mín. solo	Profundidade mín. solo	Profundidade mín. lençol	Permite afloramento rocha	Resultado
-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tratamento inviável
-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Tratamento inviável
-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Tratamento inviável
-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Tratamento inviável
-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Tratamento inviável
-	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Tratamento inviável
-	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	Tratamento inviável
-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Tratamento inviável
-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	Tratamento inviável
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Infiltração lenta
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Infiltração rápida
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	Escoamento superficial
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Terras úmidas construídas (wetlands)
-	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Tratamento inviável
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	Tanque séptico + infiltração
-	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	Tratamento inviável
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	UASB + lodos ativados
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	UASB + biofiltro aerado submerso
-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Tratamento inviável
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	UASB + filtro biológico de alta carga
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	UASB + flotação por ar dissolvido
-	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	Tratamento inviável
-	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	Tratamento inviável
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	UASB + escoamento superficial
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	Lodos ativados convencional
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	Lodo ativado aeração prolongada
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	Lodo ativado batelada
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N/P
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	Lodo ativado convencional + filtração terciária
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	Filtro biológico percolador de baixa carga
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Filtro biológico percolador de alta carga
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	Biofiltro aerado submerso com nitrificação
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	Tanque séptico + biodisco
TOTAL DE TRATAMENTOS VIÁVEIS												22

Figura 61. Resultado do processo de pré-seleção técnica de sistemas de tratamento de esgotos para a ETE nº 5, considerado o cenário C-3 de disposição de efluentes, com a incorporação da equidade.