

III-461 - COMPARAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DE SISTEMAS DE PÓS-TRATAMENTO - FILTROS BIOLÓGICOS PERCOLADORES COM MÍDIA PLÁSTICA VERSUS LODOS ATIVADOS

William Cantos Corrêa⁽¹⁾

Engenheiro de Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestrando em Engenharia e Ambiental (PPGERHA) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Engenheiro da Cobrape – Cia Brasileira de Projetos e Empreendimentos.

Tarso José Tulio⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR). Engenheiro da Cobrape – Cia Brasileira de Projetos e Empreendimentos

Rodrigo Pinheiro Pacheco⁽³⁾

Engenheiro de Produção Civil pela Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UFTPR). Mestre em Engenharia e Ambiental (PPGERHA) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Engenheiro da Cobrape – Cia Brasileira de Projetos e Empreendimentos.

Marcos Cesar Santos da Silva⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Santa Úrsula (USU-RJ). Coordenador de Projetos da Companhia de Saneamento do Paraná - Sanepar.

Endereço⁽¹⁾: Rua Prefeito Ângelo Ferrário Lopes, 1.590 – Hugo Lange - Curitiba - PR - CEP: 80.040-252 - Brasil - Tel: (41) 3094-2424 - e-mail: williamcorrea@cobrape.com.br

RESUMO

Apesar do estado do Paraná ser referência em tratamento e coleta de esgotos domésticos, as estações de tratamento existentes necessitam de constantes adequações visando atender o crescente aumento das exigências ambientais. Em decorrência deste fato, a Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR contratou um amplo estudo que permite prever as demandas atuais e futuras para o adequado uso da água. Hoje, a principal tecnologia utilizada no tratamento de esgotos coletados no estado é a de reatores anaeróbios de lodo fluidizado, porém, esta tecnologia não atende os critérios de remoção de matéria orgânica exigido pela legislação vigente. Assim, objetivando a adequação das estações de tratamento existentes surge a proposta da utilização de pós-tratamentos aeróbios como sistemas de lodos ativados e filtros percoladores com mídias plásticas. Para destacar a diferença de investimento para instalação de cada processo foram estudadas alternativas de tratamento para duas estações de tratamento: ETE Cambará de Jandaia do Sul e ETE Água Limpa de Joaquim Távora. Para todas as alternativas estudadas os reatores anaeróbios foram aproveitados, contudo, a ETE Cambará possui unidades de pós-tratamento que poderiam ser utilizados como estrutura para os filtros percoladores. Como esperado, nos estudos da ETE Água Limpa, foram verificados que os custos de instalação de sistemas de lodo ativado é menor, devido ao alto custo do recheio utilizados para filtros de alto desempenho, no entanto, este fato não foi verificado na ETE Cambará, uma vez que a estrutura física dos filtros pode ser reaproveitada. Quando analisados os custos operacionais, verifica-se que o sistema de lodo ativado fica mais oneroso devido a grande demanda energética e mão de obra especializada atrelada ao sistema de aeração forçada.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas consorciados de tratamento de esgotos, Custo de implantação, Custo de operação, Reaproveitamento de estruturas existentes.

INTRODUÇÃO

O Estado do Paraná encontra-se, atualmente, entre os estados brasileiros com melhores índices de atendimento relativos a serviços de saneamento básico (PLANSAB, 2013). Contudo, devido à constante evolução da legislação ambiental, as estações de tratamento de esgoto existentes, geralmente, não atendem aos critérios mínimos exigidos. Este fato resulta em uma constante busca por tecnologias de tratamento de esgotos sanitários que associem o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis ao contexto econômico do país (GOMES, 2014).

Uma tecnologia utilizada extensivamente em todo o estado é a dos reatores anaeróbios de manta de lodo de fluxo ascendente que apresentam vantagens em relação a processos aeróbios de tratamento de esgotos: menor produção de lodo, baixíssimo consumo energético e baixos custos de operação, entre outras (AISSE, 2002). Apesar das vantagens, o efluente dos reatores anaeróbios apresenta elevadas concentrações de matéria orgânica e, desta forma, não se enquadra na atual legislação ambiental e necessitam de etapa posterior de tratamento para remoção da matéria orgânica residual (CHERNICHARO, 2007).

A Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, entre os anos de 2014 a 2017, contratou a elaboração do PDRH - Plano Diretor de Recursos Hídricos para a Região Norte do Estado do Paraná, um amplo estudo abrangendo mais de 250 municípios do norte do estado que permite prever as demandas atuais e futuras para o adequado uso da água em um horizonte de planejamento de 50 anos, ou seja, até 2065 (COBRAPE, 2017).

Objetivando adequação das estações de tratamento existentes à legislação vigente surgiu a alternativa da utilização consorciada de sistemas anaeróbios e aeróbios de digestão de matéria orgânica dispostos em série. Isto porque, grande parte das estações de tratamento de efluente existentes já se utiliza de reatores anaeróbios, necessitando apenas da instalação de um processo de pós-tratamento de digestão aeróbia, como os reatores biológicos com crescimento aderido – do tipo filtro biológico percolador (FBP) no pós-tratamento do efluente. Experiências práticas têm mostrado o potencial deste sistema UASB + FBP em atender aos padrões de lançamento preconizados pelas legislações ambientais vigentes (CONNELL, 2014).

As principais características físicas deste dos filtros biológicos percoladores são: o sistema de distribuição, o sistema de drenagem, e principalmente o meio filtrante (suporte). O meio suporte ideal para o FBP é qualquer material que possua elevada área superficial específica que tenha baixo custo, elevada porosidade e alta durabilidade (METCALF; EDDY; 2016).

Como alternativa ao pós-tratamento com filtros biológicos percoladores, foi avaliado o uso de reatores biológicos de lodo ativado no pós-tratamento do efluente de reatores anaeróbios. Segundo Von Sperling (1997) esta matriz de tratamento combinada, reator anaeróbio seguido de lodo ativado, possui uma grande eficiência na remoção de matéria orgânica com baixos custos de investimento.

Por definição, o processo básico de tratamento por lodos ativados é constituído pelos seguintes componentes básicos: um reator no qual os microrganismos responsáveis pelo tratamento são mantidos em suspensão e aerados; uma unidade de separação de sólidos e líquidos, geralmente um tanque de sedimentação, e um sistema de recirculação dos sólidos separados no sedimentador para o reator (METCALF; EDDY; 2016).

Para evidenciar a diferença de investimentos no processo de adequação de estação de tratamento existente, serão dimensionados ambos cenários diferenciados de tratamento, considerando duas estações de tratamento com reformas e adequações propostas pelo PDRH.

- ETE Cambará – no município de Jandaia do Sul; e
- ETE Água Limpa – no município de Joaquim Távora.

MATERIAIS E MÉTODOS

Uma vez definidos os pontos passíveis de receber o efluente tratado, foram avaliadas as alternativas de tratamento de esgoto. Estas intervenções consideram as condições de diluição exigidas pelo órgão ambiental, após cotejo entre a vazão do corpo receptor e a vazão do efluente tratado, cujo processo de tratamento está vinculado em última análise à classe do rio (MPS, 2015).

Desta forma, foram propostas as seguintes alternativas de processos de tratamento de esgoto:

- **Processo de Tratamento A** - Reatores anaeróbios + Lodos Ativados Convencional + Decantadores secundários + Físico Químico + Filtro de Areia; e
- **Processo de Tratamento B** - Reatores anaeróbios + Filtro Biológico Percolador (baixa taxa, material plástico) + Decantador Secundário + Físico Químico + Filtro Areia;

Todas as alternativas consideram o aproveitamento dos reatores anaeróbios, bem como das demais unidades de tratamento existente, sempre que possível. Neste estudo comparativo, a alternativa que considera o uso do sistema de lodos ativado, foi prevista a conversão dos Filtros Anaeróbios existentes em digestores de lodo.

Nas alternativas que foram utilizados Filtros Biológicos Percoladores, quando possível, foi considerada a reforma e adequação das unidades existentes, além da substituição da mídia filtrante (ETE Cambará – Jandaia do Sul).

O dimensionamento das unidades de pós-tratamento foi realizado considerando que o efluente do reator anaeróbio possui características uniformes apresentadas na tabela a seguir, independentemente do sistema de pós-tratamento a ser adotado:

Tabela 1: Características do efluente pós-reatores anaeróbios

Parâmetros	Valor Adotado
DBO afluente ao sistema de pós-tratamento (mg/L)	~ 120,0
DQO afluente ao sistema de pós-tratamento (mg/L)	~ 240,0
NTK afluente ao sistema de pós-tratamento (mg/L)	~ 50,0

Fonte: COBRAPE, 2017

Para o dimensionamento do processo de pós-tratamento utilizando reatores biológicos com crescimento em suspensão, tipo lodo ativado, foram utilizados os seguintes parâmetros:

Tabela 2: Coeficientes utilizados para sistemas de lodo ativado convencional

Parâmetros	Valor Adotado
Idade do Lodo	10 dias
Relação Alimento/Microrganismos	0,25 kg DBO/kg.SSVTA
Concentração de sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração	2.000 mg/L
DBO ₅ EFLUENTE	> 20,0 mg/L

Fonte: SPERLING, 1997

Tabela 3: Coeficientes utilizados para sistemas de lodo ativado com aeração prolongada

Parâmetros	Valor Adotado
Idade do Lodo	25 dias
Relação Alimento / Microrganismos	0,10 kg DBO/kg.SSVTA
Concentração de sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração	3.000 mg/L
DBO ₅ EFLUENTE	> 15,0 mg/L

Fonte: SPERLING, 1997

A nova geração de filtros percoladores combinada a um projeto e operação inteligente de estações de tratamento de águas residuais permite obter alta flexibilidade de processo e a capacidade de tratar efluentes sanitários até uma qualidade do efluente final comparável a processos de lodos ativados podendo atingir a remoção biológica de nutrientes (GOMES, 2014).

Desta forma, foi proposta a utilização de uma nova geração de biomídia plástica para os filtros biológicos percoladores. Este enchimento é estruturado com fluxo cruzado, possuindo área superficial específica de 150 m²/m³. Assim, as matrizes de tratamento com FBP foram concebidas utilizando biomídia plástica como elemento filtrante, objetivando a obtenção de um efluente tratado com DBO > 30 mg/L, de forma análoga ao apresentado por Gomes (2014), sendo que, para o dimensionamento das unidades de filtração biológica, foram utilizadas as taxas de aplicação volumétrica apresentadas na tabela 4.

Tabela 4: Taxas de aplicação volumétrica utilizadas

Parâmetros	Valor Adotado	Dbos Efluente
FBP de alta taxa – AT	10,0 g.DBO/m ² dia	25 a 30 mg/L
FBP de baixa taxa – BT	4,0 g.DBO/m ² dia	20 a 25 mg/L

Fonte: JORDÃO, 2005; GOMES, 2014.

Para a estimativa de custo da implantação dos processos de tratamento, foram catalogados orçamentos de estações de tratamento de 29 localidades (sendo 19 do estado do Paraná, 06 de São Paulo, 02 do Rio Grande do Sul, 01 do Espírito Santo e 01 de Rondônia). A partir dos custos atualizados das ETEs agrupados, por categoria, foram desenvolvidas curvas para cada unidade, possibilitando montar uma matriz de orçamento para cada alternativa de tratamento.

Também foram levados em conta os gastos enérgicos (Referência: Resolução ANEEL 1.763 de 22 de julho de 2014), consumos de produtos químicos e equipe técnica operacional, de acordo com cada alternativa apresentada, para então, juntamente com os custos de implantação possibilitar a escolha do menor custo econômico.

ESTUDO DE CASO: ETE CAMBARÁ – JANDAIA DO SUL

A atual ETE Cambará encontra-se sob a coordenada 7.389.375 N e 432.557 E; no período de estudo estava em fase de reformas e adequação das unidades de tratamento. Ao final desta fase a ETE deverá possuir: reatores anaeróbios com capacidade adequada, filtros biológicos com pedra britada seguido de decantador secundário, sendo prevista uma DBO de lançamento de aproximadamente 40,0 mg/L.

Uma vez que o lançamento do efluente tratado é realizado próximo a região da nascente do Ribeirão Cambará, onde o corpo receptor não tem condições de assimilar esta carga de matéria orgânica concentrada, necessitando assim a adequação do processo de tratamento utilizado.

A diferenciação entre os sistemas de tratamento propostos para a ETE Cambará pode ser visualizada na tabela 5, onde foram apresentadas as intervenções propostas, considerando as condições de diluição exigidas pelo órgão ambiental, após cotejo entre a vazão do corpo receptor e a vazão do efluente tratado.

Desta forma, o efluente final possuirá DBO máxima de 17 mg/L em primeira etapa e 11 mg/L em segunda etapa, com a manutenção do atual ponto de lançamento. Caso seja considerado a implantação de um emissário de 2,0 km seria possível realizar um lançamento com DBO máxima de 28 mg/L em primeira etapa e 17 mg/L em segunda etapa.

Cabe salientar, que foi considerado o aproveitamento máximo das unidades existentes e os custos de implantação destas não foram computados na análise das alternativas.

Tabela 5: Alternativas de tratamento propostas para a ETE Cambará

Alternativas	Pós-Tratamento	Tratamento Terciário	Emissário Final
01	Lodo Ativado + Decantador Secundário	Filtro de areia + Físico Químico (2º Etapa)	-
02	Lodo Ativado+ Decantador Secundário	Filtro de areia	2,0 km (2º Etapa)
03	FBP (BT) + Decantador Secundário	Filtro de areia + Físico Químico (2º Etapa)	-
04	FBP (BT) + Decantador Secundário	Filtro de areia	2,0 km (2º Etapa)
05	FBP (AT / BT) + Decantador Secundário	Filtro de areia (2º Etapa)	2,0 km

Os parâmetros básicos para o dimensionamento das unidades (vazão, cargas poluidoras e concentrações de DBO de lançamento) são comuns entre si, portanto, os custos entre as alternativas de tratamento podem ser comparados.

A tabela 06 a seguir apresenta os custos de implantação da ETE Cambará.

Tabela 6: Custo de implantação das alternativas de tratamento

Alternativas	1º Etapa	2º Etapa	Total
01	4.716.145,64	364.500,00	5.080.645,64
02	4.716.145,64	917.006,68	5.633.152,32
03	4.256.580,06	364.500,00	4.621.080,06
04	4.256.580,06	917.006,68	5.173.586,75
05	4.037.236,85	1.136.349,90	5.173.586,75

Para o cálculo dos gastos com energia foram analisados os equipamentos diferenciais entre as soluções, ou seja, o aerador/soprador e a estação elevatória de recirculação de lodo/ recirculação do efluente/recuperação de cota, quando se fazem necessárias. Não estão inclusos nesta análise gastos com iluminação e demais equipamentos de uso geral, que são comuns às duas soluções.

A curva de evolução dos custos apresentada a seguir apresenta dados em valor presente, utilizando-se a taxa de juros de 12% a.a., com a demanda de energia, insumos de tratamento e mão de obra conforme cada alternativa de tratamento estão apresentados na figura 01:

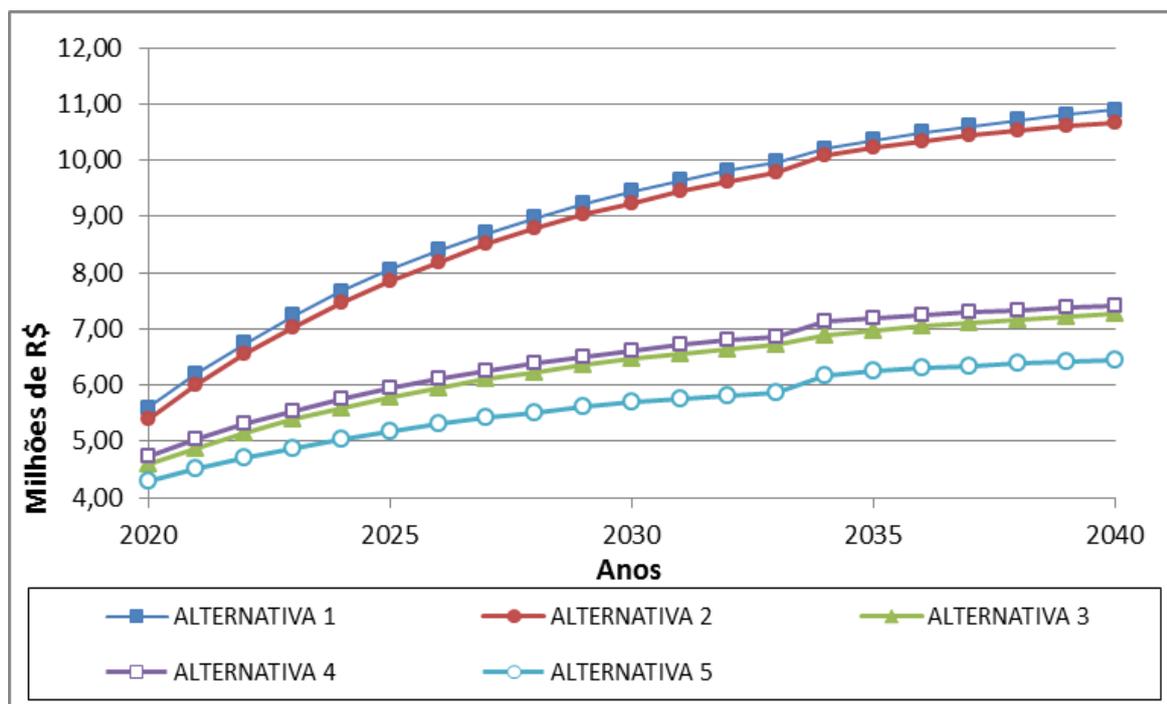


Figura 1: Investimento total (implantação + operação) acumulado por alternativa de tratamento

A alternativa com melhor custo conforme apresentado na figura 01 foi a **Alternativa 5 – UASB + FBP (baixa taxa) + Decantador Secundário + Filtro de Areia + Emissário de 2,0 km**, implantada na área da atual ETE Cambará.

Este estudo comparativo considerou as problemáticas reais para a criação de cada alternativa de tratamento de efluente sanitário. Assim, visando o cumprimento dos parâmetros de lançamento propostos no sistema de metas progressivas daquela localidade, foi considerada a implantação de sistema terciário em todas as

alternativas, bem como a implantação de um emissário de 2,0 km em alguns casos, em detrimento do sistema físico-químico. Os custos totais de implantação e operação das alternativas da ETE Cambará estão apresentados na tabela 7:

Tabela 7: Resumo de custos das alternativas para a ETE Cambará

	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05
Custo implantação 1ª Etapa (R\$)	4.716.145,6	4.716.145,6	4.256.580,0	4.256.580,0	4.037.236,8
Custo implantação 2ª Etapa (R\$)	364.500,0	917.006,7	364.500,0	917.006,7	1.136.349,9
Custo Energia 20 anos (R\$)	6.001.777,1	6.001.777,1	1.124.457,1	1.066.768,1	965.436,2
Custo Produtos Químicos (R\$)	1.169.532,0	703.836,0	1.169.532,0	703.836,0	703.836,0
Custo M.O. 20 anos (R\$)	8.007.443,7	7.647.398,7	5.558.093,5	5.198.048,5	4.124.150,5
Total 20 anos (R\$)	20.259.398,4	19.986.164,1	12.473.162,7	12.142.239,3	10.967.009,4
Total – VP 20 ANOS (R\$)	10.688.127,5	10.677.804,3	7.273.665,7	7.254.723,0	6.457.092,1

Na tabela 7 percebe-se que a alternativa técnica exequível e mais viável economicamente, entre as cinco apresentadas, é a Alternativa 5 com reatores anaeróbios seguidos de filtros percoladores, decantadores secundários e emissário de aproximadamente 2,0 km, prevendo-se em segunda etapa a implantação de filtros de areia. Todo o tratamento ao longo do período de projeto em valor presente soma-se R\$ 6.457.092.

Quando se comparam apenas os custos de implantação dos sistemas propostos, verifica-se uma diferenciação reduzida entre as alternativas estudadas, sendo a maior diferença constatada próxima a 17%. Este fato ocorre porque a estrutura dos filtros percoladores foi considerada como existente, sendo apenas considerada a substituição do elemento filtrante utilizado, neste caso, material plástico estruturado.

Contudo, os custos de operação, bem como o dispêndio energético devido ao processo de aeração, aumenta significativamente o custo das alternativas que fazem o uso de sistemas de pós-tratamento com lodos ativados.

Quando se comparam as soluções com reatores aeróbios diferenciados (ver tabela 7) é possível constatar que as alternativas que fazem uso de lodos ativados possuem custo de mão de obra, em média, 45% superior e o custo energético das alternativas com lodos ativados é aproximadamente seis vezes maior em relação as alternativas com filtração biológica.

ESTUDO DE CASO: ETE AGUA LIMPA – JOAQUIM TÁVORA

A atual ETE Água Limpa encontra-se sob a coordenada 7.400.039 N e 609.646 E, no período de estudo estava em fase de reformas e adequação das unidades de tratamento; ao final desta fase a ETE deverá possuir: reatores anaeróbios com capacidade adequada, filtros Anaeróbio, sendo prevista uma DBO de lançamento de aproximadamente 70,0 mg/L.

O efluente tratado é lançado no Ribeirão Água Limpa, que possui pouca vazão e, conseqüentemente, baixa disponibilidade hídrica, necessitando do emprego de sistemas sofisticados de tratamento de esgoto, visando atender às condições de diluição indicadas pelo órgão ambiental.

A partir da verificação dos prováveis pontos para lançamento, do efluente tratado, foram avaliadas as respectivas alternativas de tratamento necessárias para enquadramento da ETE Água Limpa. Estas intervenções consideram as condições de diluição exigidas pelo órgão ambiental, após cotejo entre a vazão do corpo receptor e a vazão do efluente tratado, cujo processo de tratamento está vinculado em última análise à classe do rio.

Assim, a diferenciação entre os sistemas de tratamento propostos para a ETE Água Limpa pode ser visualizada na tabela 8, onde são apresentadas as intervenções propostas, considerando as condições de diluição exigidas pelo órgão ambiental, após o cotejo entre a vazão do corpo receptor e a vazão do efluente tratado.

Desta forma, o efluente final possuirá DBO máxima de 20 mg/L em primeira etapa e 10 mg/L em segunda etapa para que seja possível manter o atual ponto de lançamento uma vez que não há ganho significativo de vazão de diluição com a implantação de um emissário.

Tabela 8: Alternativas de tratamento propostas para a ETE Água Limpa

Alternativas	Pós-tratamento	Tratamento terciário
01	Lodo Ativado + Decantador Secundário	Filtro de areia (2º Etapa)
02	FBP (BT) + Decantador Secundário	Filtro de areia + Físico Químico (2º Etapa)

Os parâmetros básicos para o dimensionamento das unidades (vazão e cargas poluidoras) são comuns entre si, portanto, os custos entre as alternativas de tratamento podem ser comparados.

A tabela 09 apresenta os custos de implantação da ETE Agua Limpa.

Tabela 9: Custo de implantação das alternativas de tratamento

Alternativas	1º Etapa	2º Etapa	Total
01	3.200.514,36	323.190,00	3.523.704,36
02	3.685.628,47	484.785,00	4.170.413,47

Para o cálculo dos gastos com energia foram analisados os equipamentos diferenciais entre as soluções, ou seja, o aerador/soprador e as estações elevatórias de recirculação de lodo/ recirculação do efluente/recuperação de cota, quando necessárias. Não estão inclusos nesta análise gastos com iluminação e demais equipamentos de uso geral, que são comuns a ambas as soluções.

A curva de evolução dos custos apresentada a seguir apresenta dados em valor presente, utilizando-se a taxa de juros de 12% a.a., com a demanda de energia, insumos de tratamento e mão de obra conforme cada alternativa de tratamento estão apresentados na figura 02:

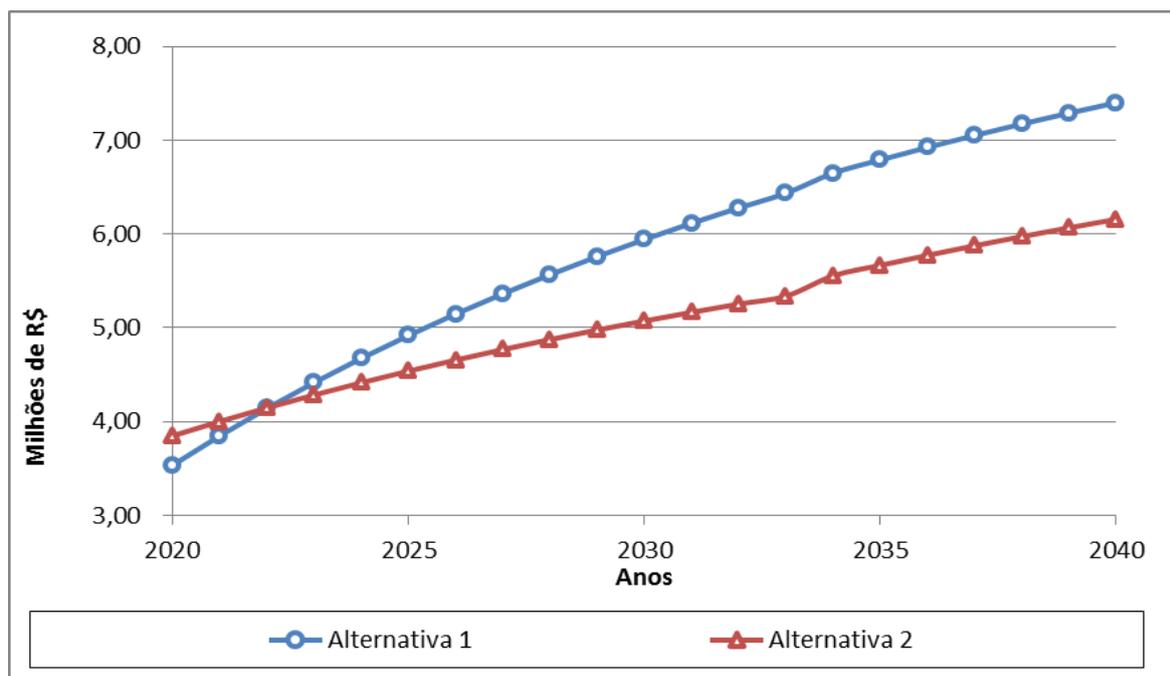


Figura 2: Investimento total (instalação + operação) acumulado por alternativa de tratamento

Como podem ser visualizados na Figura 2 e Tabela 10, os custos das alternativas estudadas são bastante próximos, apresentando no período de projeto (20 anos), uma diferença em torno de 17% quando comparadas as Alternativas 03 e 01, respectivamente as de menor e maior custo.

Este estudo comparativo considerou as problemáticas reais para cada alternativa de tratamento de efluente sanitário. Assim, visando o cumprimento dos parâmetros de lançamento proposto no sistema de metas progressivas, foi considerada a implantação de sistema terciário em todas as alternativas. Os custos totais de implantação e operação das alternativas da ETE Água Limpa estão apresentados na tabela 10:

Tabela 10: Resumo de custos das alternativas para a ETE Água Limpa

	Alternativas 01	Alternativas 02
Custo implantação - 1ª Etapa (R\$)	3.200.514,4	3.685.628,5
Custo implantação - 2ª Etapa (R\$)	323.190,0	484.785,0
Custo Energia 20 anos (R\$)	2.816.013,6	1.094.517,6
Custo Produtos Químicos (R\$)	-	297.360,0
Custo M.O. 20 anos (R\$)	10.107.821,2	7.367.704,5
Total 20 anos (R\$)	16.447.539,2	12.929.995,6
Total VP 20 ANOS (R\$)	7.400.048,1	6.201.609,8

A alternativa técnica exequível e mais viável economicamente, entre as cinco apresentadas, é a Alternativa 2 com reatores anaeróbios seguidos de filtros percoladores, decantadores secundários e filtração terciária quimicamente assistida, somando-se um valor presente total igual a R\$ 6.201.610.

Diferente da ETE Cambará, neste estudo verificou-se que o custo de implantação do sistema com pós-tratamento com Filtros Biológicos Percoladores é 18% superior ao custo da alternativa de lodos ativados, uma vez que não são utilizadas estruturas existentes para a implantação dos filtros. Porém, os custos de operação, principalmente os custos relativos ao dispêndio energético, tornam a utilização do sistema com pós-tratamento em lodos ativados mais oneroso.

CONCLUSÕES

O processo de adequação e ampliação das estações de tratamento existentes, quando é possível o aproveitamento das estruturas, gera pouca diferenciação quanto ao sistema adotado, considerando apenas os custos de implantação. Porém, quando se incluem os custos de operação (energia, produtos químicos e mão de obra), é possível constatar diferenças significativas nos custos de valor presente (VP de 20 anos) entre os sistemas de tratamento a serem adotados. Além disso, é importante levar em consideração que a operação de ETEs com sistemas de tratamento de lodos ativados exige um controle operacional mais rigoroso, e consequentemente uma mão de obra mais especializada, que o sistema com filtros biológicos percoladores, o que repercute diretamente em custos mais elevados no período de operação da ETE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AISSE, M.M.; LOBATO, M.B.; JÜRGENSEN, D.; ALÉM SOBRINHO, P. Tratamento de efluentes de reatores anaeróbios no Estado do Paraná (Brasil), Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, XXVIII, Cancún, 2002.
2. CHERNICHARO, C. A. de L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2007. V. 5. 380 p.
3. COBRAPE - CIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS, PDRH - Plano Diretor de Recursos Hídricos para a Região Norte do Estado do Paraná. Curitiba: SANEPAR, USPE, 2017.
4. CONELL, E. F. de A. M.. Caracterização da comunidade bacteriana de filtros biológicos percoladores tratando efluente anaeróbio. 144 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
5. GOMES, A. G.; Eficiência energética em tratamento de efluentes, renascimento da tecnologia de filtros percoladores. Encontro técnico AESabesp – 25º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, São Paulo, 2014.
6. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 6a Edição. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011. 969 p
7. METCALF, L.; EDDY, H. P.. Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos. Tradução de Ivanildo Hespagnol, José Carlos Mierzwa. 5. ed, Nova Iorque: McGraw-Hill; Porto Alegre: AMGH. 2016.
8. PLANSAB, Plano Nacional de Saneamento Básico, Brasília, 2013.
9. SANEPAR. Diretrizes para elaboração de estudos de disponibilidade hídrica e qualidade da água para projetos de SES. MPS – Manual de Projetos de Saneamento, 2015.
10. SPERLING, C. A. de L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lodos Ativados. 4. ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 1997.