

X-026 - ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA PARA REDUÇÃO DE ODORES: BIORREMEDIAÇÃO E CONTROLADOR DE ODORES X AERAÇÃO

Lívia Marques De Almeida Parreira ⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Especialista em Planejamento Geoambiental pela UniEvangélica. Pós graduanda em Especialização em Disposição e tratamento de Resíduos Sólidos e Líquidos pela Universidade Federal de Goiás. Engenheira Civil na Fundação Nacional de Saúde – FUNASA.

Eraldo Henriques de Carvalho ⁽²⁾

Professor Titular da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás, com doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Fausto Batista Alves dos Santos ⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Católica de Goiás - UCG. Pós graduado - MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas. Engenheiro Civil na empresa de Saneamento do Estado de Goiás - SANEAGO.

Nayara Gracyelle Dias ⁽⁴⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Civil da UFG. Mestranda em Materiais de Construção (GECON/UFG). Pós graduanda em Especialização em Disposição e tratamento de Resíduos Sólidos e Líquidos pela Universidade Federal de Goiás. Engenheira Civil na empresa de Saneamento do Estado de Goiás - SANEAGO.

Endereço⁽¹⁾: Rua 82, nº 179 – Setor Sul – Goiânia/GO CEP: 74083-010 Telefones: (62) 3226-3053/3052 – Fax: 3226-3047 e-mail: livia.eng@gmail.com

RESUMO

Dentre os impactos sociais causados por Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), a geração de odores é um dos que mais incomodam a vizinhança. E esses incômodos não são somente psicológicos, pois, conforme a concentração no ar, os gases podem causar danos à saúde do ser humano. Existem diversas tecnologias para a minimização de odores e variados custos de implantação e operação. Desta forma, este trabalho tem como objetivo realizar o levantamento dos custos de implantação e operação de cada umas dessas tecnologias, comparar tais custos em um recorte temporal de dezoito meses, além de observar o comportamento do parâmetro sulfetos no efluente, após a substituição da tecnologia de biorremediação associada a controlador de odores por aeração superficial. A metodologia adotada para a análise e comparação de viabilidade econômica é a de Fluxo de Caixa Incremental que consiste na diferença entre dois Fluxos de Caixas antes do projeto (biorremediação + controladores de odor) e depois da implantação do novo projeto (aeração superficial), fundamentando a tomada de decisão em todos os custos adicionais que o novo projeto possa trazer em comparação com a configuração existente anteriormente. Assim, foram elaboradas duas Demonstrações de Resultado do Exercício pelo período de 18 meses e efetuados os cálculos dos fluxos de caixa das duas tecnologias e o fluxo incremental. Todos os dados foram fornecidos pela empresa de saneamento que opera a estação e englobaram os custos de aquisição do produto utilizado na biorremediação e do controlador de odores mensalmente, assim como os custos operacionais e energéticos e impostos. Para a aeração superficial foram considerados os custos da aquisição dos equipamentos, adequações para fornecimento de energia, mão de obra e montagem, custo energético operacional, além dos impostos e depreciação do patrimônio. Embora a aeração represente um alto investimento inicial, o custo mensal é menor do que a biorremediação e controladores de odores a partir do 11º mês. Conclui-se a partir deste estudo que análises de viabilidade econômica devem ser simuladas durante a avaliação e escolha das tecnologias a serem adotadas para gestão dos odores considerando todos os custos envolvidos desde a implantação até a operação e manutenção das tecnologias. No estudo proposto a aeração superficial se apresentou mais vantajosa que a biorremediação + controladores de odor, porém deve ser feita sempre uma análise criteriosa de toda a configuração do sistema, pois pode ocorrer casos em que a vantajosidade apresentada neste estudo não seja a mesma numa outra configuração do sistema com a utilização das mesmas tecnologias.

PALAVRAS-CHAVE: Viabilidade econômica, Biorremediação, Aeração Superficial.

INTRODUÇÃO

A geração de odores é um dos impactos ambientais que causam mais incômodos à população vizinha de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Mesmo com o aspecto positivo com relação à melhoria da qualidade de vida para a população beneficiada pelo sistema coletivo de tratamento de esgoto doméstico, há inúmeras reclamações por usuários vizinhos. Assim, é grande a importância da avaliação da produção de odores e do controle das emissões de gases odorantes, pois tais gases podem levar a estresses psicológicos, insônias, perda de apetite, entre outros problemas (BRENNAN, 1993).

Os odores provenientes de ETEs estão relacionados à liberação de diversos compostos químicos para a atmosfera, como por exemplo, mercaptanos, nitratos, amônia, fenóis, aldeídos, ácidos orgânicos e ácido sulfídrico (BELLI FILHO *et al.*, 2001). Quando a ETE utiliza princípios de anaerobiose, esses transtornos tornam-se ainda mais intensos, visto que o gás sulfídrico um dos produtos finais desse processo de tratamento, é produzido com maior intensidade e um dos grandes responsáveis pelos odores característicos das estações (CHERNICHARO *et al.*, 2010). O processo de formação desse gás se inicia, de maneira geral, quando bactérias anaeróbias utilizam sulfatos presentes nas composições químicas de proteínas e aminoácidos para obtenção de oxigênio, transformando-os em sulfetos, em ambientes em que a concentração de oxigênio está abaixo de 0,5 mg/L (MONTENY *et al.*, 2000; HEWAYDE *et al.*, 2006) ou entre 0,1 e 1 mg/L, de acordo com U. S. EPA (1985) *apud* Silva (2007). Esses sulfetos reagem com íons de hidrogênio presentes nos esgotos e formam o H₂S (METCALF; EDDY, 2003).

Dentre as técnicas utilizadas para a atenuação desse problema, está a biorremediação que consiste em potencializar a atividade de degradação de poluentes por microrganismos, selecionando os microrganismos envolvidos, adicionando nutrientes ou modificando características ambientais (BRANCO, 2002 *apud* RODRIGUES, 2005). Essa técnica foi estudada por Rodrigues (2005) em lagoas anaeróbias para redução de odores e o autor concluiu que a mesma foi eficiente visto que houve redução do número de reclamações pela população vizinha e uma diminuição na concentração de gás sulfídrico.

Embora existam trabalhos que afirmem que a biorremediação possui um baixo custo (ABBAS, 2003; MACEDO, 2015; TERRA, 2016), não foram encontradas muitas pesquisas relacionando os custos detalhados envolvidos nessa alternativa, daí a importância do desenvolvimento de pesquisas que avaliem os custos de implantação e operação dessa tecnologia, comparando-a com outras disponíveis. A biorremediação atua indiretamente na redução de odores uma vez que utiliza microrganismos para melhorar a qualidade do efluente e consequentemente a eficiência da ETE, pois quando estações de tratamento operam acima da capacidade projetada, há maior liberação de agentes odoríferos (TERRA, 2016). Portanto, a utilização desta medida pode ser ainda combinada com a implantação de agentes mascarantes ou neutralizadores de odores (neste trabalho denominado de controladores de odor) que reagem com os compostos que causam o mau cheiro sobrepondo-os ou neutralizando.

Outra técnica utilizada para mitigação de odores consiste na implantação de sistemas de aeração em que há a injeção de oxigênio de forma a reduzir a produção de sulfetos, pois só são produzidos em baixas concentrações de oxigênio (SILVA, 2007). Truppel (2002) desenvolveu sua pesquisa aplicando duas alternativas para redução de odores: uma com recirculação de 1/6 da vazão e outra com a combinação entre a recirculação e a implantação de aeradores. O autor concluiu que a segunda alternativa foi mais eficiente que a primeira na redução de emissão de H₂S, além da redução do número de reclamações devido ao mau cheiro da estação.

O presente estudo refere-se à Estação de Tratamento de Esgoto Parque Atheneu, localizada no município de Goiânia (GO), projetada para uma vazão de 90 L/s e que opera atualmente com uma vazão média de 110 L/s, portanto acima de sua capacidade de projeto. O processo de tratamento envolve a utilização de uma lagoa anaeróbia e duas lagoas facultativas em série, sendo que a partir de 2010 a lagoa anaeróbia foi desativada para seu redimensionamento visando à ampliação da capacidade da estação.

Devido aos fortes odores provocados pelos processos de tratamento da ETE, a população circunvizinha aumentou o número de reclamações. Ressalta-se ainda que os órgãos de controle e fiscalização, tais como Ministério Público e Agências de Regulação de serviços de saneamento cobram das empresas concessionárias soluções imediatas para a problemática apresentada.

Mesmo com a aplicação de biorremediação, iniciada no ano de 2007, ainda ocorria grande número de reclamações da vizinhança quanto aos maus odores exalados pelo processo de tratamento de esgoto e permaneciam as intervenções do Ministério Público para uma solução imediata para o caso. Por esse motivo em 2010, a empresa de saneamento acrescentou à biorremediação, um produto para controle de odores a ser aspergido no perímetro da primeira lagoa facultativa. A partir dessa aquisição, adotou-se como alternativa de mitigação dos odores, a biorremediação associada à aspersão de controlador de odores.

No ano de 2013, ocorreu uma troca da tecnologia adotada para redução de odores, passando a operar com aeração. Os equipamentos adotados foram aeradores superficiais com 48 pás aletadas, rotor de aeração tubular horizontal, baixa rotação com no máximo 90 rpm, tipo cachoeira montado em flutuadores de PVC preenchidos com poliuretano com dimensões máximas 0,8 x 1,85 x 1,95 m e potência de 1CV.

Diante da existência das alternativas elencadas e ainda destacando que ambas são consideradas alternativas com baixo custo de implantação e operação, torna-se bastante relevante a comparação dos custos envolvidos em cada uma. Este estudo norteará a relação benefício/custo, comparando alternativas técnicas que possibilitem a minimização de impactos ambientais e sociais sem que seja inviável economicamente. Por essa razão, a proposta desse estudo, engloba a análise de custos entre a biorremediação associada ao controlador de odores e a aeração superficial.

OBJETIVO

Para a avaliação da economicidade das tecnologias de biorremediação e aeração utilizadas para remoção de odores em sistemas de tratamento de esgoto com lagoas de estabilização, o presente trabalho teve como objetivo realizar o levantamento dos custos de implantação e operação de cada umas dessas tecnologias, comparar tais custos em um recorte temporal de dezoito meses, além de observar o comportamento do parâmetro sulfetos no efluente, após a substituição da tecnologia de biorremediação associada a controlador de odores por aeração superficial.

METODOLOGIA

Visando avaliar a economicidade das tecnologias de remoção de odores, foi realizado levantamento de custos para utilização da biorremediação com controlador de odores e também os custos para utilização de aeração superficial, comparando o investimento necessário na implantação e operação dessas duas tecnologias que foram utilizadas na Estação de Tratamento de Esgoto Parque Atheneu, situada no município de Goiânia (GO) operada pela concessionária de serviços de saneamento.

Preliminarmente foi realizado levantamento dos custos da tecnologia de biorremediação associada a controlador de odores e os valores foram obtidos a partir dos dados contratuais com a empresa especializada em minimização de odores em ETEs, que foi contratada pela concessionária através de procedimento licitatório. Foi utilizada a biorremediação entre 2007 e 2013. Destaca-se que o recorte temporal para a avaliação de custos, consiste no período de dezembro de 2011 a maio de 2013, totalizando dezoito meses para análise.

Em um segundo momento foi realizado levantamento dos custos da tecnologia de aeração superficial, pois mesmo com a aplicação de biorremediação e a aspersão de controlador de odores, as reclamações de maus odores continuaram e a companhia de saneamento dimensionou e adquiriu 40 aeradores para instalação nas duas lagoas facultativas, sendo 28 na primeira lagoa e 12 na segunda lagoa.

Para a análise econômica, a partir dos custos levantados, procedeu-se com um estudo sobre a viabilidade do novo projeto (sistema de aeração) em comparação com o antigo cenário (biorremediadores + controlador de odores) aplicando-se conceitos de administração financeira, a análise partiu do pressuposto de que os investimentos feitos por qualquer empresa devem possuir capacidade de gerar fluxos de caixa incrementais. Devemos entender como incremental os valores relevantes para a avaliação que se originam em consequência da decisão de investimento.

O fluxo de caixa de um projeto de investimento é um modelo matemático que visa mostrar as diversas entradas e saídas efetivas de montantes ao longo do horizonte de projeto e que ocasionarão impacto na economia da empresa e, permitindo, dessa maneira conhecer a rentabilidade e viabilidade econômica. Nesse sentido, os fluxos de caixa representam a renda econômica gerada pelo projeto ao longo de sua vida útil. A construção do fluxo de caixa de um projeto de investimento deve ser realizada para que o projeto possa ser analisado com vistas na tomada de decisão sobre a implantação ou não. De maneira geral, o fluxo de caixa incremental pode ser expresso da seguinte maneira:

$$\text{FC incremental} = \text{FC estimado novo projeto} - \text{FC estimado para a empresa com o projeto anterior}$$

A análise desse trabalho consistiu em trazer o fluxo de caixa incremental gerado ao longo de um período de 18 meses analisado para valor presente descontado por uma taxa mínima de atratividade que neste caso foi utilizado o WACC SANEAGO de 8,92% a.a. (índice adotado pela SANEAGO para outros investimentos no período).

Foram utilizados valores reais (fornecidos pela empresa de saneamento) dos custos operacionais para os dois períodos (energia elétrica, mão de obra de operação, aquisição e aplicação de biorremediação e controle de odores para o período anterior à instalação dos aeradores e energia elétrica, operação, manutenção e depreciação para o período posterior à instalação dos aeradores).

Para o levantamento de custos envolvidos na implantação e operação da biorremediação com controle de odor, adotou-se os valores pactuados na contratação dos serviços, considerando-se o período de 18 meses a contar de dezembro de 2011, embora essa tecnologia tenha sido implantada a partir de 2007. Na Tabela 1, foram detalhados os valores mensais obtidos nos contratos de compra dos produtos de biorremediação e controle de odores, de onde se extraiu os custos para realização de análise econômica.

Tabela 01: Custos mensais conforme valores contratuais para biorremediação e controlador de odores

Ano	Custo médio de aquisição dos produtos conforme ano referência (R\$/mês)
2007	7.200,00
2008	7.279,09
2009	17.683,33
2010*	26.254,73
2011	24.171,40
2012	31.611,00
2013	31.611,00

* A partir de 2010 foi iniciada a aplicação de controladores de odor

Fonte: SANEAGO

Na Tabela 2 estão apresentados os custos para operação da estação incluindo a tecnologia de biorremediação com controlador de odores.

Tabela 2: Custos de implantação e operação para a alternativa de biorremediação com controlador de odores no período de 18 meses – novembro/2011 a abril/2013

Descrição dos custos/despesas	Biorremediação + Controladores de Odor Total do período de 18 meses (R\$)
Custos mão de obra para operação da ETE	144.000,00
Gastos com energia elétrica	12.593,00
Custo do produto para Biorremediação*	352.800,00
Custo do produto controlador de odores*	181.935,00
Total para o período avaliado de 18 meses	691.328,00

* Estes valores referem-se aos custos efetivamente pagos, conforme medições aprovadas pelo gestor do contrato. Fonte: SANEAGO

Em relação aos custos dos aeradores, foram considerados também os valores imobilizados pela empresa, levando-se em conta a aquisição de 40 aeradores, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Imobilização referente à aquisição dos 40 aeradores

Imobilizado	Custo médio de aquisição e instalação dos aeradores (R\$)
Aquisição dos Aeradores	R\$ 132.000,00
Instalação (aquisição de materiais)	R\$ 14.396,15
Instalação (Mão de Obra)	R\$ 24.000,00
Energização	R\$ 23.205,35
TOTAL A DEPRECIAR	R\$ 169.601,50
TOTAL IMOBILIZADO	R\$ 193.601,50

Fonte: SANEAGO

Foram descritos na Tabela 4 os custos para operação da estação incluindo na implantação da tecnologia de aeração superficial, com 40 aeradores instalados.

Tabela 4: Custos de implantação e operação para a alternativa de aeração superficial no período de 18 meses – maio/2013 a outubro/2014

Descrição dos custos/despesas	Aeração superficial Total do período de 18 meses (R\$)
Investimento	193.601,50
Custos mão de obra para operação da ETE	144.000,00
Gastos com energia elétrica	150.043,00
Custos com manutenção dos equipamentos instalados	80.892,00
Depreciação no período de 18 meses*	(25.440,00)
Total para o período avaliado de 18 meses	543.096,50

*Considerada a depreciação total dos investimentos em 10 anos. Fonte: SANEAGO

Após o levantamento das despesas referentes a cada tecnologia, realizou-se uma estimativa de receitas obtidas a partir da prestação dos serviços de tratamento do esgoto sanitário, para obtenção da projeção do faturamento anual. Nesse cenário, considerou-se a tarifa para coleta, no valor de R\$ 5,00/m³, com o equivalente a 20% desse valor tarifado para o tratamento, resultando em R\$ 1,00/m³. Considerando o tratamento de 110 l/s há uma expectativa de receita de R\$ 285.120,00 mensais para o serviço de tratamento de efluentes prestado, com total anual de R\$ 3.421.440,00.

O tratamento dos dados e cálculos das demonstrações de resultados das duas tecnologias foram realizados por meio do software Excel, sendo elaborada uma Demonstração de Resultado para cada tecnologia analisada neste trabalho (biorremediador + controladores de odor e aeradores superficiais). A partir dos resultados obtidos destas planilhas, foi elaborada mais uma planilha com os Fluxos de Caixa da Biorremediação + Controladores de Odor e o Fluxo de Caixa da Aeração e ainda o Fluxo de Caixa Incremental que, conforme informado anteriormente, é a subtração entre Fluxo de Caixa do Novo Projeto (Aeração Superficial) e do Fluxo de Caixa do Projeto Anterior (Biorremediação + Controladores de Odor).

Foram obtidos os laudos de análise físico-químico e bacteriológica, realizados conforme legislação vigente, entre 2012, quando ainda se utilizava a biorremediação para redução de odores na ETE, até o ano de 2014, já com a adoção da mitigação do odor por meio dos aeradores superficiais. Utilizando-se os dados tabulados extraídos dos laudos, optou-se por elaborar um gráfico demonstrando a concentração de sulfetos no efluente da ETE no decorrer de 2012, 2013 e 2014, por ser considerado um dos indicadores de presença de odor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como discussão inicial cabe salientar as dificuldades na especificação e detalhamento dos produtos provenientes de biorremediação. A empresa concessionária adotava requisitos de contratos por *performance* para que pudessem ser atendidos os objetivos da contratação com relação à redução de odores, pois especificações deste tipo de produto envolvem uma série de parâmetros que além de serem complexos, exigem que sejam feitas inúmeras análises laboratoriais para que se constate que o produto entregue possui exatamente

a especificação descrita durante a licitação. Assim, a compra destes produtos de biorremediação prescinde da presença de técnicos especializados, o que nem sempre compõem o quadro de empregados de empresas públicas do ramo de saneamento.

De acordo com a potencialidade das duas tecnologias, após as análises econômico-financeiras foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 5 e 6 com relação aos custos médios e medianos que as tecnologias de biorremediação com controladores de odor e aeração superficial apresentam. Pode-se afirmar nesta análise que os custos médios e medianos mensais das duas tecnologias são bastante próximos e conforme está descrito na literatura, são relativamente baixos.

Tabela 5: Custos Médios e Medianos mensais calculados para Biorremediação e Controlador de Odores durante o período de análise de 18 meses

Biorremediação com Controlador de Odores	Média dos Custos (R\$/mês)	Mediana dos Custos (R\$/mês)
Custos mão de obra para operação da ETE	8.000,00	8.000,00
Gastos com energia elétrica	699,60	340,74
Custo do produto para Biorremediação*	19.600,00	16.200,00
Custo do produto controlador de odores*	10.107,50	9.750,00
DESPESA OPERACIONAL ANTES	38.407,10	36.430,17

Tabela 6: Custos Médios e Medianos mensais calculados para Aeração durante o período de análise de 18 meses

Aeração	Média	Mediana
Custos mão de obra para operação da ETE	8.000,00	8.000,00
Gastos com energia elétrica	8.335,73	7.551,84
Custos com manutenção dos equipamentos instalados	4.494,00	4.494,00
Depreciação no período de 18 meses*	1.413,35	1.413,35
DESPESA OPERACIONAL DEPOIS	22.243,08	21.490,55

*Considerada a depreciação total dos investimentos em 10 anos.

As Tabelas 7 e 8 apresentam os valores médios e medianos obtidos durante a análise das Demonstrações de Resultados do Exercício das duas tecnologias. É curioso verificar nestas tabelas que os resultados líquidos médios e medianos das duas tecnologias diferem entre si no valor de R\$ 10.668,26 e R\$ 9.880,85, respectivamente. Esses valores são muito próximos e a análise só pode ser aprofundada quando se analisa os resultados do período de 18 meses como um todo para que seja percebido a partir de qual mês é possível que uma tecnologia é mais vantajosa economicamente que a outra.

Tabela 7: Demonstração de Resultado de Exercício com valores Médios e Medianos mensais durante o período de análise de 18 meses para a tecnologia de Biorremediação com Controlador de Odores

	Valores Médios (R\$)	Valores Medianos (R\$)
Receita	285.120,00	285.120,00
Receita	285.120,00	285.120,00
Custos	(38.407,10)	(36.430,17)
Operação da ETE	(8.000,00)	(8.000,00)
Energia	(699,60)	(340,74)
Biorremediação	(19.600,00)	(16.200,00)
Controlador de Odores	(10.107,50)	(9.750,00)
Manutenção	0,00	0,00
Depreciação	0,00	0,00
Resultado Antes dos Impostos	246.712,90	248.689,83
Imposto de Renda	(37.006,94)	(37.303,47)
Adicional Imposto de Renda	(22.671,29)	(22.868,98)
Contribuição Social	(22.204,16)	(22.382,08)
Resultado Líquido	164.830,51	166.135,29

Tabela 8: Demonstração de Resultado de Exercício com valores Médios e Medianos mensais durante o período de análise de 18 meses para a tecnologia de Aeração

	Valores Médios (R\$)	Valores Medianos (R\$)
Receita	285.120,00	285.120,00
Receita	285.120,00	285.120,00
Custos	(22.243,08)	(21.459,18)
Operação da ETE	(8.000,00)	(8.000,00)
Energia	(8.335,73)	(7.551,84)
Manutenção	(4.494,00)	(4.494,00)
Depreciação	(1.413,35)	(1.413,35)
Resultado Antes dos Impostos	262.876,92	263.660,82
Imposto de Renda	(39.431,54)	(39.549,12)
Adicional Imposto de Renda	(24.287,69)	(24.366,08)
Contribuição Social	(23.658,92)	(23.729,47)
Resultado Líquido	175.498,77	176.016,14

Devido ao tamanho das tabelas relativas aos fluxos de caixas calculados, os dados referentes a esses cálculos foram divididos em duas tabelas: Tabela 9 e Tabela 10 para que pudessem ser apresentados. A Tabela 9 apresenta os cálculos no período de 0 a 8 meses e a Tabela 10 apresenta os dados referentes ao período de 9 a 18 meses. Nestas tabelas é possível observar que os valores referentes aos custos de biorremediação e controle de odores são maiores que na aeração superficial desde o início da análise, sendo que no 11º mês é possível verificar que os valores acumulados do VPL (Valor Presente Líquido) amortizam o investimento inicial da aeração superficial tornando mais viável economicamente a tecnologia de aeração em detrimento da biorremediação com controlador de odores. Desta forma, o Payback no 11º mês proporciona um investimento com retorno em curto prazo (inferior a 12 meses) com a implantação da tecnologia de aeração superficial.

Tabela 9: Fluxo de Caixa Biorremediação + Controlador de Odor, Fluxo de Caixa Aeração e Fluxo de Caixa Incremental do período de 0 a 8 meses

Fluxo do Projeto Biorremediação + Controle de Odores		Meses (Valores em R\$)								
Custo/Mês	Investimento	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Investimento (Saída de Caixa)										
Operação da ETE			-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000
Energia			-147	-184	-122	-146	-236	-1.052	-232	-1.704
Bioremediação			-16.200	-16.200	-16.200	-16.200	-16.200	-16.200	-21.600	-21.600
Controlador de Odores			-8.775	-12.675	-7.800	-11.700	-9.750	-9.750	-12.675	-9.750
Manutenção			-	-	-	-	-	-	-	-
Depreciação			-	-	-	-	-	-	-	-
Total (1)	103987000,4		-33.122	-37.059	-32.122	-36.046	-34.186	-35.002	-42.507	-41.054
Fluxo do Projeto Aeração Superficial		Meses								
Custo/Mês	Investimento	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Investimento (Saída de Caixa)		- 193.602								
Operação da ETE			-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000
Energia			-5.624	-6.762	-5.678	-6.857	-7.614	-6.705	-6.655	-7.552
Bioremediação			-	-	-	-	-	-	-	-
Controlador de Odores			-	-	-	-	-	-	-	-
Manutenção			-4.494	-4.494	-4.494	-4.494	-4.494	-4.494	-4.494	-4.494
Depreciação			-1.413		1.413		1.413		1.413	
Total (2)	103987000,4		-19.531	-20.669	-19.586	-20.764	-21.522	-20.612	-20.563	-21.459
Fluxo de Caixa Incremental		Meses								
Custo/Mês	Investimento	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Investimento (Saída de Caixa)		193.602								
Fluxo de Caixa Incremental			13.591	16.390	12.536	15.282	12.664	14.390	21.944	19.594
Total (3)	103987000,4		13.591	16.390	12.536	15.282	12.664	14.390	21.944	19.594
VPL			13.495	16.158	12.271	14.853	12.221	13.788	20.877	18.509
VPL Acumulado			13.495	29.653	41.924	56.777	68.998	82.786	103.664	122.173

Tabela 10: Fluxo de Caixa Biorremediação + Controlador de Odor, Fluxo de Caixa Aeração e Fluxo de Caixa Incremental do período de 9 a 18 meses

Fluxo do Projeto Biorremediação + Controle de Odores		Meses								
Custo/Mês	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Investimento (Saída de Caixa)										
Operação da ETE	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000
Energia	-2.129	-3.142	-15	-23	-333	-348	-409	-783	-828	-760
Bioremediação	-39.600	-15.660	-27.000	-16.200	-16.200	-16.200	-16.200	-21.600	-21.600	-22.140
Controlador de Odores	-9.750	-9.750	-13.650	-11.700	-7.995	-7.995	-11.700	-7.800	-9.360	-9.360
Manutenção	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Depreciação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (1)	-59.479	-36.552	-48.665	-35.923	-32.528	-32.543	-36.309	-38.183	-39.788	-40.260
Fluxo do Projeto Aeração		Meses								
Custo/Mês	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Investimento (Saída de Caixa)										
Operação da ETE	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000
Energia	-6.342	-4.630	-7.552	-9.870	-10.774	-10.639	-11.238	-10.023	-11.647	-13.883
Bioremediação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Controlador de Odores	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manutenção	-4.494	-4.494	-4.494	-4.494	-4.494	-4.494	-4.494	-4.494	-4.494	-4.494
Depreciação	-1.413	-1.413	-1.413	-1.413	-1.413	-1.413	-1.413	-1.413	-1.413	-1.413
Total (2)	-20.249	-18.537	-21.459	-23.778	-24.681	-24.546	-25.145	-23.930	-25.554	-27.790
Fluxo de Caixa Incremental		Meses								
Custo/Mês	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Investimento (Saída de Caixa)										
Fluxo de Caixa Incremental	39.230	18.014	27.206	12.146	7.847	7.997	11.164	14.253	14.234	12.470
Total (3)	39.230	18.014	27.206	12.146	7.847	7.997	11.164	14.253	14.234	12.470
VPL	36.795	16.776	25.157	11.151	7.153	7.238	10.033	12.718	12.611	10.970
VPL Acumulado	158.968	175.744	200.901	212.052	219.205	226.444	236.476	249.194	261.805	272.775

A Figura 1 ilustra o comportamento dos dois investimentos, com base nos dados das Tabelas 9 e 10, analisados neste trabalho no período de 18 meses. É possível observar que embora haja um alto desembolso no início da implantação da técnica de aeração (linha vermelha), seus custos gerais mensais são inferiores aos custos da biorremediação com controlador de odor (linha azul), mesmo considerando as manutenções e a depreciação que os equipamentos da aeração superficial sofrem. Assim, a linha verde, que representa o fluxo de caixa incremental, demonstra que o retorno do investimento feito com aeração superficial se inicia a partir do 11º mês após sua implantação. Com este gráfico, fica evidenciado que a implantação da técnica de aeração superficial pode ser mais viável economicamente que a técnica de biorremediação com controlador de odor.

Não se pretende com este trabalho esgotar todas as análises que podem ser feitas com relação às tecnologias disponíveis apresentadas, visto que para cada caso deve ser elaborado estudo específico considerando que particularidades são inerentes a cada processo e local analisado, assim como os preços de mercado também se alteram com o tempo e são função da localidade. Todavia, análises de investimentos tem fundamental importância, principalmente para empresas públicas que devem prezar sempre pela melhor administração possível dos recursos públicos.

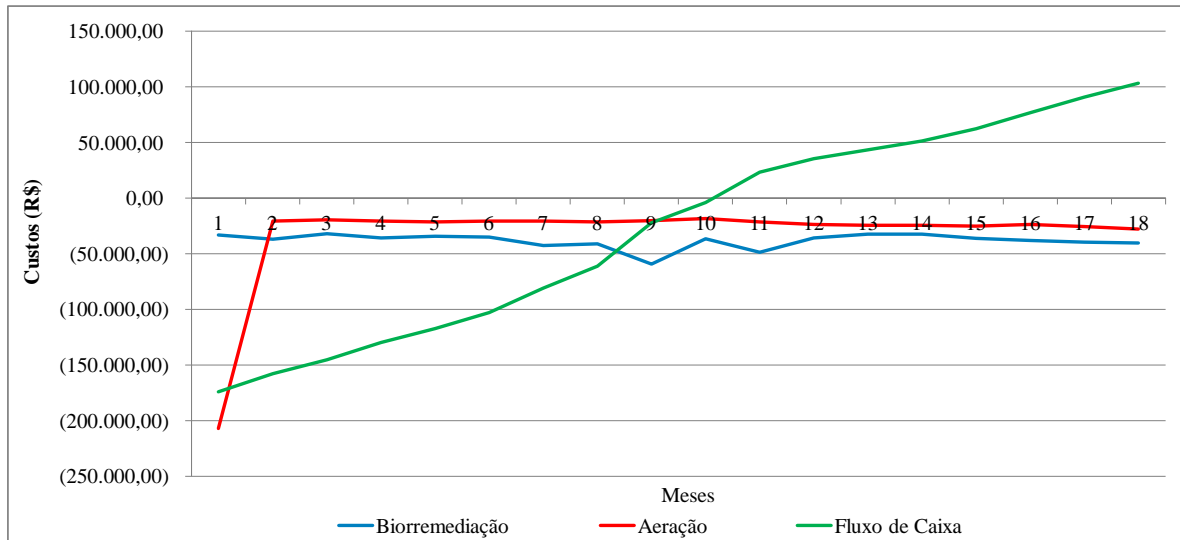


Figura 1: Custos de utilização das tecnologias de Biorremediação e Aeração, ao longo do período de 18 meses, considerado para análise do fluxo de caixa incremental

Para complementar a análise dos resultados, foi elaborado o gráfico apresentado na Figura 2 onde estão explanados os dados da concentração de sulfetos no efluente, medidos nos anos de 2012, 2013 e 2014. É possível verificar maior concentração de sulfetos, o que infere-se maior presença de odor, no ano de 2012, período em que a tecnologia adotada, era a biorremediação com controlador de odores. Observa-se que a partir de maio de 2013 (data da instalação dos aeradores superficiais) há uma redução do sulfeto efluente às lagoas, mantendo-se estável, abaixo de 1,0 mg/L, até o mês de novembro de 2014 e com conseqüentemente redução do número de reclamações da vizinhança e também de notificações de órgãos reguladores e fiscalizadores.

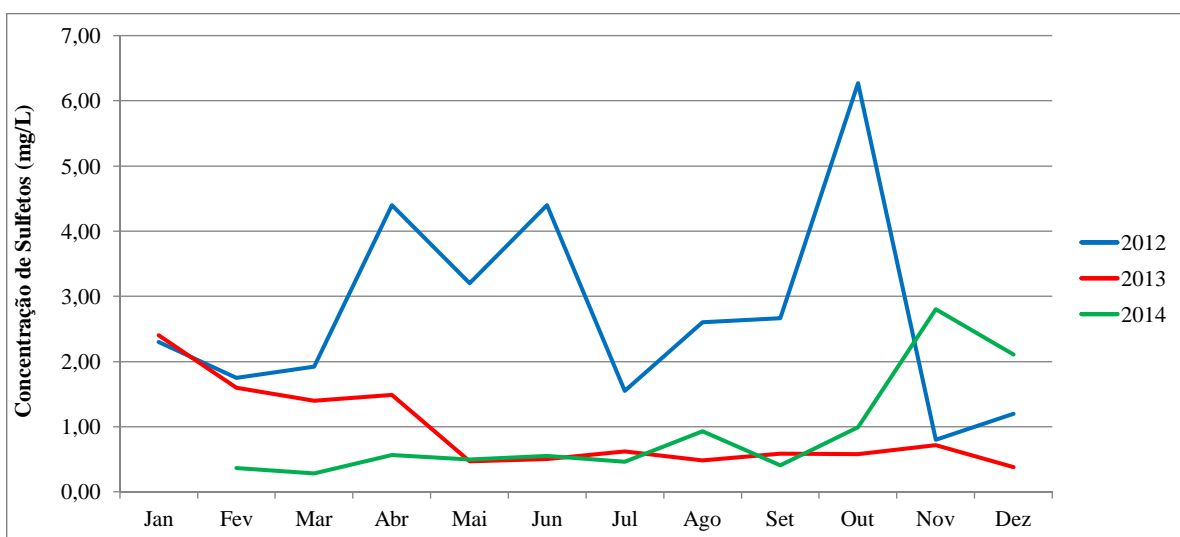


Figura 2: Concentração de sulfetos medidos no efluente da ETE - Parque Atheneu

CONCLUSÕES

Como a presente pesquisa possui dados reais de uma ETE em operação quaisquer conclusões se limitam aos dados apresentados, bem como ao período de coleta dos dados. Por isso convém ressaltar cautela para que não haja generalizações. Essas limitações, no entanto, não descaracterizam os objetivos iniciais deste estudo e sugerem que o período de retorno é inferior a um ano quando a biorremediação + controladores de odores são substituídos por aeração, demonstrando assim que este último é economicamente viável, havendo o retorno do investimento já no final do primeiro ano de utilização da tecnologia, ou seja, em curto prazo.

O sistema de biorremediação não apresentou a eficiência técnico-financeira esperada, pois somente a partir da utilização da alternativa tecnológica de aeração superficial o número de reclamações diminuiu sensivelmente. Demonstrando que a pressão social foi importante no processo de saneamento deste problema, ao mesmo tempo, trazendo o resultado financeiro esperado pela companhia.

Quando se observa que o resultado do estudo sugere um período de retorno inferior a um ano, entende-se que o objetivo inicial desse trabalho foi alcançado, pois aponta a tecnologia mais viável financeiramente, para esse cenário considerado, havendo o retorno do investimento já no final do primeiro ano de utilização da tecnologia.

Quanto a viabilidade técnica, é possível considerar que o sistema de aeração, além de ser viável economicamente, soma em si a vantagem de manter a concentração de sulfetos no efluente em níveis considerados dentro dos limites aceitáveis, o que ocorreu após a instalação e operação dos aeradores, em detrimento às concentrações apresentadas para o ano de 2012, com utilização da biorremediação com controlador de odores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABBAS, M. Z. M. **A biorremediação como ferramenta para a minimização de problemas ambientais**. 2003. 56f. Monografia (Especialização em Gerenciamento Ambiental) - Universidade de São Paulo, Escola de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2003.
2. BELLI FILHO, P.; COSTA, R. H. R. da; GONÇALVES, R. F.; CORAUCCI FILHO, B.; LISBOA, H. de M. **Tratamento de odores em sistemas de esgotos sanitários**. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios - PROSAB, cap. 8, 2001.
3. BRANCO, S. M. **Manual de esgotos: Origem, Tratamento, Biorremediação**. Consórcio Bio ativo/Bio ambiental. Goiânia, 2002. 89p.
4. BRENNAN, B. Odoir Nuisance. **Water and Waste Treatment**. Volume 36, páginas 30-33. 1993.
5. CHERNICHARO, C. A. L.; STUETZ, R. M.; SOUZA, C. L.; MELO, G. C. B. Alternativas para o controle de emissões odorantes em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.15, n.3, p. 229-236. 2010.
6. HEWAYDE, E.; NEHDI, M.; ALLOUCHE, E.; NAKHLA, G. Effect of geopolymer cement on microstructure, compressive strength and sulfuric acid resistance of concrete. **Magazine of Concrete Research**. 58(5):321-31. 2006.
7. METCALF; EDDY, Inc. **“Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse”**. McGraw-Hill International Editions, 3rd ed., New York, 1991.
8. MONTENY, J.; VINCKE, E.; BEELDENS, A.; DE BELIE, N.; TAERWE; L.; VAN GEMERT, D. Chemical, microbiological, and in situ test methods for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete. **Cement and Concrete Research**. 2000;30(4):623-34.
9. RODRIGUES, F. P. **Utilização da técnica da biorremediação em sistemas de esgotamento sanitário. Aplicação na cidade de Juazeiro do Norte, Ceará**. Dissertação (Mestrado em Engenharia – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental), Universidade Federal do Ceará, 2005.
10. SILVA, A. B. **Avaliação da produção de odor na estação de tratamento de esgotos Paranoá e seus problemas associados**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Brasília, 2007.
11. MACEDO, C.; ANGELI, R.; OLIVEIRA, S. D. de; CARMO, F. L. do. **Mapeamento tecnológico dos processos de biorremediação: uma análise no contexto da biotecnologia sustentável**. Cad. Prospec., Salvador, v. 8, n. 3, p. 450-458, jul./set. 2015.

12. TRUPPEL, A. **Redução de odores de uma lagoa de estabilização de esgoto sanitário e avaliação da qualidade de seu efluente.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.
13. U. S. EPA - United States Environmental Protection Agency. (1985). **Odor and corrosions control in sanitary sewerage systems and treatment plants.** Design Manual. EPA – 625/1-85/018. Washington, 132 p.
14. TERRA, V. C. **Avaliação da eficiência da biorremediação na redução da carga orgânica de estações de tratamento de esgoto: o caso da ETE Neblina em Araguaína/TO.** Revista EIXO, Brasília – DF, v. 5, n. 2, julho-dezembro de 2016. 98 – 105p.