

# Avaliação econômica do potencial de uso de lodo de esgoto em solos após higienização via estabilização alcalina

## RESUMO

O lodo é um subproduto do tratamento de esgoto com reconhecido potencial de aproveitamento em solos em função dos elevados teores de matéria orgânica e nutrientes. Mesmo o Brasil dispondo de extensas áreas passíveis de aplicação e demandando quantidade expressiva de fertilizantes, esta técnica ainda é pouco difundida nacionalmente. A fim de compreender se o aspecto econômico representa um fator impeditivo para tal, foi conduzido um estudo de avaliação econômica do potencial de aproveitamento do lodo gerado em uma Estação de Tratamento de Esgoto com vazão de 110 L s<sup>-1</sup>. Nesta avaliação, considerou-se a disposição em aterro sanitário (cenário 0) ou o aproveitamento em solos (cenários I, II e III). Nos cenários de aproveitamento, os custos operacionais foram inferiores aos custos com disposição em aterro. Os cenários que apontaram para viabilidade econômica, em termos dos indicadores avaliados (VPL, TIR e payback) foram o III (venda do biossólido) e o II (venda do biossólido não considerada; mas previu apoio de um parceiro para financiar os custos de investimento). O cenário I foi menos atrativo, pois coube ao gerador do lodo arcar com os custos de investimento e aplicação do biossólido, sem considerar a venda do produto, que seria doado a interessados.

**PALAVRAS-CHAVE:** biossólido; ETE; viabilidade econômica; uso agrícola; RAD.

**Lucas de Almeida Chamhum-Silva**

[lucas.almeida@engenharia.ufjf.br](mailto:lucas.almeida@engenharia.ufjf.br)

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto. Belo Horizonte. Minas Gerais. Brasil.

**Bruno Rodrigues Faria**

[brunorf.89@gmail.com](mailto:brunorf.89@gmail.com)

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – Sebrae. Juiz de Fora. Minas Gerais. Brasil.

**Willian Fabricio Arboléya Lopes**

[willianfalconex@gmail.com](mailto:willianfalconex@gmail.com)

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – USP. Piracicaba. São Paulo. Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O acesso a condições adequadas de tratamento de esgoto ainda é um grande desafio no Brasil e no mundo. Cerca de 2,6 bilhões de pessoas não possuem acesso a esse serviço, o que equivale a mais de 40% da população mundial (Leblanc et al., 2008). No cenário brasileiro, apenas 50% da população é atendida com coleta de esgotos, enquanto 43% do total de esgotos gerados recebe algum tipo de tratamento (SNIS, 2017). Apesar dos baixos índices, há uma perspectiva de melhoria deste cenário, seja em razão da implantação de novas estações de tratamento de esgoto (ETEs), ampliação da capacidade de tratamento nas ETEs existentes, bem como expansão da rede coletora.

Em linhas gerais, o tratamento de esgoto consiste na entrada de esgoto bruto, oriundo das atividades domiciliares do cotidiano e eventuais contribuições industriais, depuração do esgoto por meio de processos físicos, biológicos e químicos, e consequente geração de subprodutos. Tais subprodutos podem variar em função dos processos de tratamento, mas, via de regra, podem ser sintetizados em efluente tratado (fase líquida), lodo de esgoto (fase sólida) e biogás (fase gasosa). Considerando-se a ETE como uma macrounidade de processamento de esgoto, à medida que se amplia a cobertura de coleta e tratamento de esgoto, aumentam-se as entradas do processo, bem como as saídas (subprodutos).

Dentre os subprodutos mencionados, destaca-se o lodo de esgoto, pois, apesar da baixa quantidade gerada (em torno de 1 a 2% do volume de efluente tratado), o gerenciamento a ele associado pode alcançar de 20 a 60% dos custos operacionais totais de uma ETE (Andreoli et al., 2014). Ademais, a destinação final adequada deste subproduto representa um dos gargalos do setor de saneamento no Brasil, sendo comumente disposto de forma irregular em lixões, aterros controlados, cursos d'água e outros (IBGE, 2017). Uma forma de disposição ainda considerada adequada no Brasil é o aterro sanitário, porém tal técnica está cada vez mais em desuso em países desenvolvidos e em desenvolvimento, uma vez que impossibilita a recuperação de importantes recursos disponíveis nesse subproduto – como energia, nutrientes, matéria orgânica.

Alternativamente aos aterros sanitários, destaca-se o aproveitamento deste subproduto em atividades agrossilvipastoris. Todavia, este uso depende do beneficiamento do lodo de esgoto, a fim de se obter o biossólido, material adequado para aplicação em solos. Existem diversos processos para produção de biossólidos, conforme discriminado na resolução nº 498 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre os critérios de uso do biossólido em solos (Brasil, 2020). A estabilização alcalina (EA) ou caleação figura como um dos principais processos, em razão da simplicidade operacional, maturidade tecnológica e atratividade para os casos de ETEs de pequeno e médio porte (situação da grande maioria das ETEs brasileiras).

Apesar do respaldo legal para aproveitamento do biossólido em atividades agrossilvipastoris, da viabilidade técnica para higienização do lodo a partir da EA e dos reconhecidos benefícios desta forma de disposição (ciclagem de nutrientes e matéria orgânica, aumento da produtividade das plantas, melhoria dos aspectos físicos e químicos do solo, dentre outros), esta técnica ainda é pouco difundida no território nacional (Barros et al., 2021). Os Estados do Paraná e São Paulo despontam como referência no uso de biossólido, embora parte do lodo gerado continue sendo disposto em aterros sanitários (Bittencourt et al., 2021).

Esta tímida experiência quanto ao aproveitamento do biossólido contrasta com o fato do Brasil ser um dos países com maior produção agrossilvipastoril no mundo e dependente da importação de fertilizantes. Nesse sentido, emerge a dúvida sobre quais os entraves e dificuldades para efetivamente difundir o uso do biossólido no cenário nacional. Em que se pesem eventuais entraves de ordem social (como a aceitação pública e dos próprios produtores rurais) e técnica (desenvolvimento de projetos otimizados, disponibilidade de laboratório de análise qualitativa do biossólido, mão de obra qualificada etc.), parece haver incertezas sobre a viabilidade econômica, as quais merecem ser apresentadas e discutidas, em especial no contexto de ETEs de pequeno e médio porte (em geral, as mais negligenciadas em termos de gestão e operação). Estas dúvidas, se não adequadamente tratadas, geram um ambiente de insegurança quanto à viabilidade de geração e aproveitamento do biossólido, concorrendo para manutenção da disposição final de um subproduto com valor agregado em aterros sanitários, aterros controlados, lixões ou outras rotas inadequadas.

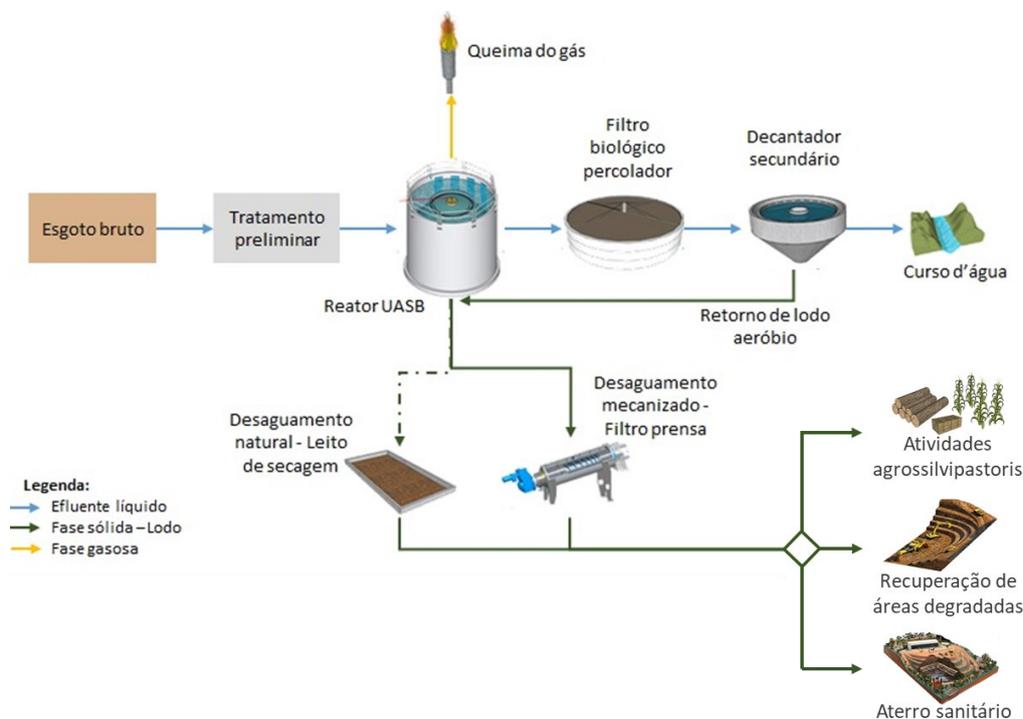
Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é avaliar os aspectos econômicos associados à disposição final do lodo de esgoto gerado em uma ETE de médio porte, seja em aterro sanitário ou a partir do uso benéfico em solos (atividades agrossilvipastoris ou recuperação de áreas degradadas). Espera-se que os resultados obtidos contribuam para a discussão de eventuais gargalos de ordem econômica, bem como subsidiem os processos de tomada de decisão sobre a disposição final do lodo de esgoto.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido a partir de premissas técnicas obtidas em um projeto de pesquisa conduzido em parceria com um prestador de serviços de saneamento em um município no interior do Estado de Minas Gerais. Os dados utilizados neste trabalho referem-se a uma ETE de médio porte (vazão média de 110 L s<sup>-1</sup>) e foram obtidos ao longo da vigência do projeto de pesquisa, entre novembro de 2018 e maio de 2021.

A ETE ora em estudo é composta por tratamento preliminar, reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (reatores tipo UASB) e filtros biológicos percoladores, seguidos de decantadores secundários (FBP+DS). O lodo de esgoto, objeto de estudo deste trabalho, é produzido tanto nos reatores UASB (lodo anaeróbio) quanto nos FBP+DS (lodo aeróbio; digerido nos reatores UASB), e submetido ao processo de desidratação em filtro prensa. Ao final do processo, o lodo desidratado (em forma de placas ou tortas) é acondicionado em caçambas até seu envio para disposição final. As rotas de disposição final avaliadas neste trabalho foram o aterro sanitário e aproveitamento em solos (atividades agrossilvipastoris ou recuperação de áreas degradadas). Na Figura 1 é apresentado o fluxograma de geração e de possíveis rotas de destinação final do lodo de esgoto.

Figura 1 - Fluxograma de tratamento de esgoto e destinação final dos subprodutos gerados no processo.



Fonte: Resultados originais da pesquisa

## 2.1 Seleção das formas de destinação final e higienização do lodo de esgoto

O aterro sanitário consiste na forma utilizada pelos gestores da ETE, cuja concepção é análoga à empregada aos resíduos sólidos; ou seja, basta o transporte do lodo desidratado ao aterro para posterior confinamento deste junto à massa de resíduos já disposta no local. O aproveitamento em solos representa um contraponto ao aterro sanitário, uma vez que o lodo deixa de ser tratado sob a ótica de resíduos e passa a ser compreendido como subproduto do tratamento do esgoto, com valor agregado e de potencial interesse para outras atividades. Importante destacar que a rota de uso em solos foi considerada no projeto de pesquisa mencionado como a alternativa mais atrativa, seja pela simplicidade operacional (comparativamente a alternativas como incineração ou aproveitamento na construção civil); pelas perspectivas de inserção do subproduto (biossólido) no setor agrossilvipastoril (uso agrícola) ou na recuperação de áreas degradadas (notadamente em áreas de mineração), dentre outras.

Para viabilizar o aproveitamento em solos, o lodo de esgoto deve ser beneficiado/tratado a fim de torná-lo adequado, do ponto de vista sanitário e ambiental, à legislação que regulamenta esta forma de disposição, nomeadamente a resolução CONAMA 498/2020. No presente trabalho, optou-se por avaliar o método de tratamento denominado estabilização alcalina. Ao final do processo de beneficiamento, o lodo de esgoto é transformado em biossólido, um produto apto a ser aplicado no solo.

## 2.2 Definição dos cenários e requisitos de disposição final do lodo

Uma vez definidas as duas rotas a serem investigadas, estas foram subdivididas em quatro cenários de disposição final do lodo, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição dos cenários de disposição final do lodo.

Cenário	Descrição
Cenário 0	Disposição final do lodo em aterro sanitário. Este cenário representa a condição atual da ETE.
Cenário I	Transformação do lodo em biossólido por meio da EA e posterior doação do produto a produtores rurais da região. Neste cenário, o responsável pela ETE arcaria com os investimentos em infraestrutura e equipamentos. Ademais, as únicas fontes de receita consistiriam no custo evitado com aterro sanitário (Cenário 0) e o valor residual apurado com a venda dos equipamentos. Cumpre ressaltar que o galpão destinado ao processamento e ao armazenamento do biossólido não foi computado no valor residual, tendo em vista que o mesmo seria construído em um imóvel doado pela prefeitura, sendo incorporado a este imóvel ao final do projeto (esta condição foi replicada para os cenários II e III).
Cenário II	Transformação do lodo em biossólido por meio da EA e posterior repasse do produto a um eventual parceiro do projeto. Neste cenário, os investimentos em infraestrutura e equipamentos ficariam a cargo do parceiro, o qual teria interesse em receber o biossólido. A título de exemplo, dada a localização da ETE em questão, o biossólido poderia ser utilizado na recuperação de áreas degradadas pela mineração, ao passo que o parceiro seria uma mineradora da região. Ademais, as únicas fontes de receita consistiriam no custo evitado com aterro sanitário (Cenário 0) e o valor residual apurado com a venda dos equipamentos.
Cenário III	Transformação do lodo em biossólido por meio da EA e posterior comercialização do produto a interessados (produtores rurais, mineradoras, outros). Neste cenário, o responsável pela ETE arcaria com os investimentos em infraestrutura e equipamentos. As fontes de receita consistiriam no custo evitado com aterro sanitário (Cenário 0), a venda do biossólido e o valor residual apurado com a venda dos equipamentos.

O principal objetivo da proposição e análise dos cenários I, II e III é ampliar os horizontes para se alcançar o mesmo objetivo – aproveitamento do biossólido. Estas diferentes perspectivas certamente envolvem uma análise mais aprofundada para aferir sua efetiva aplicabilidade (o que extrapola o escopo deste trabalho), porém cumprem o objetivo de subsidiar as discussões associadas a possíveis modelos de negócios que poderiam eventualmente ser explorados pelos gestores das ETEs.

A fim de se estimar as quantidades e os custos dos itens que compõem cada um dos cenários, foram consideradas algumas premissas técnicas baseadas nos

dados monitorados e/ou dimensionados no âmbito do projeto de pesquisa mencionado anteriormente, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Premissas técnicas utilizadas para o detalhamento dos itens de cada cenário de disposição final do lodo.

Parâmetro gerais	Valor	Unidade
Distância entre ETE e aterro	16	km
Distância entre ETE e UGL	12	km
Distância entre UGL e área agrícola	5	km
Massa de ST por dia	1400	Kg ST d <sup>-1</sup>
Teor de sólidos	0,35	g <sub>lodo seco</sub> g <sub>lodo úmido</sub> <sup>-1</sup>
Volume úmido de lodo por dia	3,92	m <sup>3</sup> lodo d <sup>-1</sup>
Frequência de monitoramento	4	análises ano <sup>-1</sup>
Parâmetros para estabilização alcalina	Valor	Unidade
Cal		
Relação cal/ST	0,3	
Massa de CaO por dia	420	Kg CaO d <sup>-1</sup>
Concentração de CaO na cal	0,8	
Massa de cal por dia	525	Kg cal d <sup>-1</sup>
Volume de cal por dia	0,33	m <sup>3</sup> cal d <sup>-1</sup>
Biossólido		
Volume de biossólido por dia	4,25	m <sup>3</sup> bs d <sup>-1</sup>
Volume de biossólido por ano	1551	m <sup>3</sup> bs ano <sup>-1</sup>
Tempo de armazenamento (ciclo)	365	dias
Área total estimada (recebimento, processamento e armazenamento)	1760	m <sup>2</sup>
Transporte		
ETE > UGL (recebimento)		
Capacidade caminhão (2 caçambas)	8	m <sup>3</sup>
Distância total recebimento	4392	km
UGL > área agrícola (retirada)		
Capacidade caminhão (toco)	8	m <sup>3</sup>
Distância total por ano (retirada)	1940	km ano <sup>-1</sup>
Distância total por ano (recebimento + retirada)	6332	km ano <sup>-1</sup>
Parâmetros para aterro sanitário	Valor	Unidade
Acondicionamento		
Volume caçamba	4	m <sup>3</sup>
Transporte		
Capacidade caminhão (2 caçambas)	8	m <sup>3</sup>
Distância total por ano	5856	km ano <sup>-1</sup>

Fonte: Resultados originais da pesquisa

### 2.3 Composição do fluxo de caixa

Na sequência, foram elaborados os fluxos de caixa para os cenários de destinação final do lodo, ao longo de um período de 15 anos. Tal período deve ser adotado em consonância com os critérios de projeto da ETE. Como a ETE já se encontra em operação, considerou-se que esta continuará em operação por mais 15 anos – período bastante razoável considerando o planejamento dos gestores. Nesta etapa, foram obtidos os custos estimados para implantação (CAPEX) e operação e manutenção de cada alternativa (OPEX), sendo este segundo grupo

subdividido entre custos fixos e variáveis. Destaca-se que estes custos foram obtidos seja por meio de levantamento no mercado (orçamentação direta com fornecedores) ou por estimativa a partir de dados da literatura, considerando-se como base o período entre março e abril de 2021.

Tanto os componentes do OPEX quanto as receitas foram reportados com base em valores reais, desconsiderando-se a inflação. No caso das vendas do biossólido, no cenário III, foi adotado o imposto sobre o faturamento das vendas no regime Simples Nacional, cujo percentual foi de 6%. Embora a assertividade deste valor dependa de informações internas à empresa (tipo de atividade e faturamento total, por exemplo), este foi considerado para fins de completude da composição do fluxo de caixa, tornando-o mais fidedigno à realidade.

Em termos da evolução da geração de lodo, cumpre destacar que o valor foi considerado constante ao longo dos 15 anos, pois refere-se à vazão de projeto da ETE. Na realidade, as características qualitativas e quantitativa do esgoto afluente à ETE estão sujeitas a variações diárias e sazonais, de tal forma que a geração de lodo ou biossólido também se altera ao longo do tempo. Todavia, tais variações flutuam em torno de um valor médio, o qual foi considerado constante e adotado neste estudo para fins de comparação entre os cenários.

Importante esclarecer que os seguintes itens não foram incluídos na análise de fluxo de caixa, conforme as respectivas justificativas.

- Custo de oportunidade para aquisição do imóvel: este item refere-se à aquisição do terreno em que se pretende instalar a Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL), local em que todo o lodo gerado na ETE será descarregado e beneficiado, a fim de transformá-lo em biossólido passível de aproveitamento em solos. Durante o projeto de pesquisa mencionado anteriormente, um dos pontos avaliados foi a disponibilidade de área para instalação da UGL. Na ocasião, uma das partes interessadas sinalizou com a possibilidade de doação de um terreno gerenciado pelo município. Sendo assim, tal dispêndio de capital não foi considerado no presente trabalho, uma vez que, ainda que seja sabido que esta área pudesse ser explorada para outras finalidades, esta análise caberia à parte proprietária do terreno.

- Depreciação: é definida como a desvalorização de determinado capital (ex. infraestrutura, equipamento) ao longo da vida útil do projeto. Este item é incorporado ao fluxo de caixa após a obtenção do lucro operacional bruto (receita menos custo operacional), apenas para fins de cálculo do lucro tributável. Uma vez que a depreciação é subtraída do lucro operacional e logo após o cálculo dos tributos é somada novamente ao fluxo de caixa, e como o objetivo neste trabalho é comparar os cenários de disposição final, sem necessariamente calcular os tributos e lucros, este item foi desconsiderado da análise. Destaca-se que, apesar de desconsiderar a depreciação, foi incluído no fluxo de caixa a receita proveniente do valor residual dos itens de capital (especificamente no caso da alternativa de aproveitamento agrícola, que demanda equipamentos e infraestrutura para higienização; valor adotado de 20% do valor total).

#### 2.4 Seleção de indicadores de viabilidade econômica

A comparação econômica entre os três cenários de aproveitamento do biossólido (I, II e III) foi realizada considerando os seguintes indicadores: Valor

Presente Líquido (VPL); Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback. Nesta avaliação, considerou-se a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) como sendo equivalente à taxa básica de juros (Selic), de 5,25% (valor real), conforme reportado pelo Banco Central do Brasil (2021).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados seguem apresentados de acordo com cada cenário. Ainda que o Cenário 0 não tenha sido utilizado na comparação com os Cenários I, II e III, optou-se por elaborar o fluxo de caixa para facilitar o entendimento de como os valores referentes ao aterro sanitário foram embutidos nos demais cenários, como custo evitado. Já para os três cenários associados ao aproveitamento do bio-sólido, foi apresentada uma breve discussão sobre os fatores intervenientes na definição das condições simuladas e, ao final, consta o compilado dos fluxos de caixa.

#### 3.1 Cenário 0

Os custos associados à disposição do lodo em aterro sanitário estão indicados na Tabela 3. Considerando que, após o desaguamento (última etapa de gerenciamento do lodo na área da ETE, comum a todos os cenários), o lodo já é acondicionado em caçambas, os requisitos complementares à disposição do lodo se resumem ao transporte até o aterro sanitário e ao efetivo aterramento do mesmo junto à massa de resíduos disposta no local, ambos serviços executados por terceiros.

Tabela 3 - Custos associados à disposição final do lodo em aterro sanitário

OPEX						
Item	Descrição	Tipo	Indicador	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo anual (R\$)
	Transporte até aterro sanitário					
Transporte lodo	(terceirização)	Variável	Km/ano	5856	13,00	- 76.128,00
Disposição final	Disposição do lodo úmido	Variável	t/ano	1460	200,00	- 292.000,00

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Os custos destes serviços totalizam R\$ 368.128,00 ao ano. Cabe destacar que esta alternativa possui uma vida útil limitada, sendo que, esgotada a capacidade de aterramento, deve-se buscar uma nova área ou uma nova alternativa de disposição final. Segundo Silveira (2018), o aterro sanitário que recebe o lodo gerado na ETE em questão foi projetado para uma vida útil de 22 anos e teve sua operação iniciada em 2012, de tal sorte que a sua capacidade de recebimento de resíduos se findará por volta de 2034. Ora, se o período considerado para análise no presente trabalho é de 15 anos, conclui-se que haverá geração e consequente necessidade de disposição do lodo até 2037.

Nota-se, então, que nos últimos anos do período analisado será necessário dispor o lodo por meio de uma alternativa que não o aterro atual. Partindo da premissa de que se houvesse alguma área mais próxima da área urbana, esta já teria sido utilizada quando da construção do aterro atual, muito possivelmente o próximo aterro estará situado em uma área mais distante, incorrendo em aumento dos custos de transporte.

Importante mencionar, ainda, um fator imponderável no momento do desenvolvimento deste trabalho, mas que eventualmente poderá se efetivar num futuro próximo, associado às restrições legais para recebimento, em aterros sanitários, de resíduos passíveis de aproveitamento ou recuperação. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei 12.305/2010 (Brasil, 2010), os materiais descartados do processo de tratamento de esgoto são classificados, segundo sua origem, como resíduos dos serviços públicos de saneamento básico. Sendo assim, o lodo de esgoto, além de se enquadrar nesta classificação, é um resíduo com reconhecido teor de matéria orgânica e nutrientes, devendo ser gerenciado prioritariamente na perspectiva da reutilização, reciclagem ou tratamento, em detrimento da disposição final como rejeito em aterro sanitário. Embora ainda com caráter diretivo, eventuais restrições podem surgir no contexto brasileiro, tal como já ocorre em países da União Europeia, Japão, EUA e Austrália (Christodoulou e Stamatelatos, 2016).

### 3.2 Cenário I

Os custos de capital e operação, bem como as receitas associadas ao aproveitamento do biossólido em solos (investimento próprio e sem comercialização do biossólido) estão indicados na Tabela 4.

Tabela 4 - Custos e receitas associados ao aproveitamento do biossólido em solos (investimento próprio e sem comercialização do biossólido)

<b>CAPEX</b>						
Item	Descrição	Tipo	Indicador	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo inicial (R\$)
Galpão	Galpão industrial	Investimento	m <sup>2</sup>	1760	900,00	-1.584.000,00
Silo armazenamento de cal (30 dias)	Silo cal	Investimento	unidade	1	44.000,00	- 44.000,00
	Bomba dosadora	Investimento	unidade	1	50.000,00	- 50.000,00
Higienização/carregamento	Betoneira de carregamento manual	Investimento	unidade	1	25.000,00	- 25.000,00
	Mini carregadeira	Investimento	unidade	1	100.000,00	- 100.000,00
<b>OPEX</b>						
Item	Descrição	Tipo	Indicador	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo anual (R\$)
Higienização/carregamento	Cal virgem para higienização	Variável	t/ano	191,62	420,00	- 80.482,50
Mão de obra	Operador de máquina (recebimento, mistura, carregamento)	Fixo	pessoa/ano	2	30.000,00	- 60.000,00
	Controle do processo (aspersão, medição de temperatura e umidade, formação de lotes etc.)	Fixo	pessoa/ano	1	36.000,00	- 36.000,00
	Apoio agrônômico	Fixo	pessoa/ano	1	48.000,00	- 48.000,00
Transporte lodo	Transporte ETE > UGL (terceirização)	Variável	km/ano	4392	13,00	- 57.096,00
	Transporte UGL > área agrícola (terceirização)	Variável	km/ano	1940	13,00	- 25.220,00
Análises laboratoriais	Potencial agrônômico, substâncias químicas, qualidade microbiológica e de atratividade de vetores do biossólido	Fixo	unid/ano	4	2.000,00	- 8.000,00
Manutenção	Equipamentos (bomba, mini carregadeira e betoneira)	Fixo	verba/ano	1	2.625,00	- 2.625,00
Outros custos fixos	EPI, consumo água, energia elétrica (geral), conservação da área (poda, limpeza)	Fixo	verba/ano	1	15.462,50	- 15.462,50
Outros custos variáveis	Energia (betoneira, bomba), diesel mini carregadeira	Variável	m <sup>3</sup> /ano	4294	2,50	- 10.735,29
<b>RECEITAS</b>						
Item	Descrição	Tipo	Indicador	Quantidade	Receita unitária (R\$)	Receita anual (R\$)
Economia aterro	Economia transporte aterro	Custo evitado	Km/ano	5856	13,00	76.128,00
	Economia disposição aterro	Custo evitado	t/ano	1460	200,00	292.000,00
Valor residual	Venda ao final do projeto	Venda	verba	1	43.800,00	43.800,00

Fonte: Resultados originais da pesquisa

No que se refere ao CAPEX, o custo total estimado foi de R\$ 1.803.000,00, fortemente influenciado pelo custo de construção do galpão de tratamento do lodo e armazenamento do biossólido. O pré-dimensionamento do sistema de tratamento do lodo resultou em uma área de 1.760 m<sup>2</sup>, ao passo que aquela estimada a partir da taxa média de aplicação de sólidos reportada por Cerqueira (2019), de 350 kg ST.(m<sup>2</sup>.ciclo)-1, seria de 1.460 m<sup>2</sup>. Diante do exposto, é provável que, no caso de elaboração de um dimensionamento detalhado (ex. etapas de projeto básico e executivo), a área necessária seja inferior à obtida no presente trabalho, concorrendo para a redução deste custo.

Comparando-se apenas os custos de operação (OPEX) deste cenário (R\$ 343.621,29) com a disposição em aterro (R\$ 368.128,00), obtém-se uma economia

anual de cerca de 7%, correspondente a R\$ 24.506,71. Os dois itens com maior peso nos custos de operação foram a cal virgem para higienização do lodo (R\$ 80.482,50) e a mão de obra (R\$ 144.000,00). Neste último grupo, cumpre justificar a inclusão de um profissional dedicado ao apoio agrônômico, o qual foi considerado como responsável pela elaboração de projetos técnicos para as áreas de aplicação do bio sólido, requisito previsto na Resolução CONAMA 498/2020 para o aproveitamento do bio sólido. Embora tais projetos sejam relativos às áreas de terceiros (ex. produtores rurais ou de empreendimentos com áreas degradadas), este profissional foi previsto a fim de evitar que o bio sólido não seja destinado por falta de projetos adequados – o que representaria um problema ao gestor da UGL em função da capacidade limitada de armazenamento.

Todavia, uma vez que neste cenário a proposta é de que o bio sólido seja doado a interessados, talvez seja factível transferir o custo de elaboração dos projetos a estes interessados, como forma de contrapartida pelo recebimento do insumo. Analogamente, os custos com transporte entre a UGL e as áreas de aplicação do bio sólido também poderiam ficar a cargo dos interessados, que estariam facultados a retirar a quantidade demandada diretamente nos pátios da UGL. Nessa condição, a restrição de transporte por uma distância de até 5 km (vide premissas na Tabela 2) deixaria de ser considerada, o que possivelmente ampliaria o número de produtores ou de empreendimentos interessados.

Importante mencionar que, durante o projeto de pesquisa do qual este trabalho derivou, estas duas possibilidades de redução de custos foram aventadas juntamente com gestores da ETE e partes interessadas. Embora tenham sido consideradas plausíveis, existem riscos que devem ser adequadamente gerenciados, tal como o risco de se exceder a capacidade de armazenamento da UGL em função da não retirada do bio sólido, o de se realizar o transporte de forma irregular, bem como os relacionados à aplicação inadequada do bio sólido. Se negligenciados, estes aspectos podem acarretar não só em problemas pontuais e rapidamente contornáveis (ex. impossibilidade de recebimento de lodo na UGL, derramamento de carga, aplicação em dose inferior à necessária), mas principalmente questões complexas, a exemplo da contaminação do solo, de águas superficiais e subterrâneas, de alimentos, dentre outras. A depender da criticidade destes eventos, podem levar a multas, embargos, descrédito público e, em última instância, total rejeição a uma ainda embrionária alternativa de destinação final sustentável do lodo.

### 3.3 Cenário II

Os custos de capital e operação, bem como as receitas associadas ao aproveitamento do bio sólido em solos (investimento de parceiro e sem comercialização do bio sólido) estão indicados na Tabela 5.

Tabela 5 - Custos e receitas associados ao aproveitamento do biossólido em solos (investimento de parceiro e sem comercialização do biossólido)

<b>CAPEX</b>						
Item	Descrição	Tipo	Indicador	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo inicial (R\$)
Galpão <sup>1</sup>	Galpão industrial	Investimento	m <sup>2</sup>	1760	900,00	- 1.584.000,00
Silo armazenamento de cal (30 dias) <sup>1</sup>	Silo cal	Investimento	unidade	1	44.000,00	- 44.000,00
	Bomba dosadora	Investimento	unidade	1	50.000,00	- 50.000,00
Higienização/Carregamento <sup>1</sup>	Betoneira de carregamento manual	Investimento	unidade	1	25.000,00	- 25.000,00
	Mini carregadeira	Investimento	unidade	1	100.000,00	-100.000,00
<b>OPEX</b>						
Item	Descrição	Tipo	Indicador	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo anual (R\$)
Higienização/carregamento	Cal virgem para higienização	Variável	t/ano	191,62	420,00	- 80.482,50
Mão de obra	Operador de máquina (recebimento, mistura, carregamento)	Fixo	pessoa/ano	2	30.000,00	- 60.000,00
	Controle do processo (aspersão, medição de temperatura e umidade, formação de lotes etc.)	Fixo	pessoa/ano	1	36.000,00	- 36.000,00
	Apoio agrônômico	Fixo	pessoa/ano	1	48.000,00	- 48.000,00
Transporte lodo	Transporte ETE > UGL (terceirização)	Variável	km/ano	4392	13,00	- 57.096,00
	Transporte UGL > área agrícola (terceirização)	Variável	km/ano	1940	13,00	- 25.220,00
Análises laboratoriais	Potencial agrônômico, substâncias químicas, qualidade microbiológica e de atratividade de vetores do biossólido	Fixo	unid/ano	4	2.000,00	- 8.000,00
Manutenção	Equipamentos (bomba, mini carregadeira e betoneira)	Fixo	verba/ano	1	2.625,00	- 2.625,00
Outros custos fixos	EPI, consumo água, energia elétrica (geral), conservação da área (poda, limpeza)	Fixo	verba/ano	1	15.462,50	- 15.462,50
Outros custos variáveis	Energia (betoneira, bomba), diesel mini carregadeira	Variável	m <sup>3</sup> /ano	4294	2,50	- 10.735,29
<b>RECEITAS</b>						
Item	Descrição	Tipo	Indicador	Quantidade	Receita unitária (R\$)	Receita anual (R\$)
Economia aterro	Economia transporte aterro	Custo evitado	Km/ano	5856	13,00	76.128,00
	Economia disposição aterro	Custo evitado	t/ano	1460	200,00	292.000,00
Valor residual	Venda ao final do projeto	Venda	verba	1	43.800,00	43.800,00

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Nota: <sup>1</sup> Investimentos sob responsabilidade de parceiro.

A composição dos custos e receitas associados ao cenário II é semelhante ao cenário I, sendo que a diferença entre ambos se refere ao responsável pela execução das obras e aquisição dos equipamentos, itens que compõem o CAPEX. Enquanto no cenário I o responsável pela ETE e UGL arcará com todos os itens de CAPEX, no cenário II estes serão assumidos por um parceiro. Dentre os possíveis fatores motivadores que justificariam o interesse de um parceiro neste tipo de investimento, alguns são discutidos a seguir.

O primeiro motivador consiste na compensação financeira, termo amplo associado a contrapartidas em função da exploração de determinado bem natural, como petróleo, gás, recursos minerais e recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica. Na área ambiental, essa compensação está atrelada ao processo de licenciamento ambiental de determinadas atividades potencialmente

poluidoras, cujos impactos não podem ser evitados ou mitigados (Faria, 2008). Como comentado previamente, a ETE em estudo está localizada em uma região minerária, de tal sorte que, eventualmente, algum empreendimento deste setor tenha ou venha a ter a obrigação de cumprir medidas compensatórias definidas no licenciamento de empreendimentos. Nesse sentido, a aplicação de recursos no projeto ora em estudo, que, cumpre frisar, representa uma alternativa de relevante benefício ambiental e social, pode figurar como uma importante forma de contrabalançar os impactos gerados por determinado empreendimento. Nessa configuração, como o investimento partiria de uma obrigação assumida pelo empreendimento, não necessariamente o responsável pela UGL repassaria o biossólido ao parceiro.

O segundo motivador refere-se à oportunidade de investimento em um projeto que permita a redução de custos operacionais, desenvolvimento de novos negócios ou que gere algum outro benefício que seja atrativo para determinado parceiro. Diferentemente das medidas compensatórias, associadas ao cumprimento de obrigações assumidas no âmbito do licenciamento ambiental, nesse segundo caso, podem estar enquadradas situações em que determinado empreendimento tem a necessidade de aquisição de insumos para desenvolvimento de suas atividades. Como exemplo, pode-se citar a necessidade de recuperação de áreas degradadas em plantas de mineração, ou empresas de plantio florestal, ou empresas de arborização e paisagismo, ou cooperativas de produtores rurais, dentre outras, que regularmente demandam insumos agrícolas (como fertilizantes minerais e orgânicos, condicionadores de solo) em suas atividades e que poderiam substituir parte destes insumos pelo biossólido gerado na UGL. Nessa configuração, o parceiro aceitaria investir na UGL considerando o retorno obtido a partir da economia na aquisição dos insumos (esta avaliação estaria associada a outro estudo de viabilidade econômica).

Interessante destacar que, seja para novos empreendimentos ou para aqueles já em curso, a possibilidade de investimento na UGL figura não somente uma alternativa para redução de custos com a aquisição de insumos, mas traz consigo o diferencial de perenidade de fornecimento (ao longo da vida útil do projeto). Uma vez que a matéria prima do biossólido é o lodo de esgoto; que o lodo será gerado enquanto houver tratamento de esgoto; e que o esgoto será gerado e tratado (assim se espera) enquanto houver população residindo na área/região atendida pela ETE, pode-se concluir quanto a perenidade e regularidade do fornecimento do biossólido.

O terceiro motivador está relacionado ao diferencial competitivo proporcionado ao parceiro interessado em assumir esse investimento. Evidentemente, os interesses e o peso dos benefícios associados a esta eventual “ação social e ambiental” são internos ao parceiro e variam de acordo com cada organização. Assim, enquanto o primeiro motivador está associado a uma obrigação legal e o segundo associado a uma oportunidade de investimento, neste terceiro motivador os interesses podem não ser tão evidentes e tangíveis. Todavia, conforme apontado por Berlato et al. (2016), este tipo de ação tem se tornado cada vez mais comum e perseguida por organizações como forma de vincular sua imagem a ações com notório benefício social e ambiental (como no caso do presente projeto), podendo representar um diferencial competitivo para o parceiro. Complementarmente, no acordo entre as partes, o parceiro poderia negociar as condições de destinação final do biossólido (ex. doação a agricultores

familiares ou para áreas de recuperação ambiental), a fim de potencializar este diferencial.

Outros motivadores poderiam ser incluídos nesta discussão (ex. incentivos fiscais), porém o objetivo não foi exaurir as possibilidades, mas sim destacar fatores que tornariam a concretização do projeto ora proposto mais atrativa. Certamente, o alcance destas possibilidades está atrelado ao poder de articulação e mobilização das partes envolvidas, o que torna a gestão integrada do lodo (para além da ETE) um aspecto central a ser incorporado ao processo.

Uma vez discutidos aspectos de interesse do parceiro, cabe destacar um possível diferencial deste cenário do ponto de vista do responsável pela UGL, qual seja a garantia de que o parceiro ou irá se encarregar de retirar o bioossólido gerado (segundo motivador) ou irá se empenhar na articulação junto a possíveis interessados em receber o bioossólido (terceiro motivador). Sendo assim, no cenário II há uma aparente segurança de que não haverá acúmulo de bioossólido na UGL, risco este mais perceptível nos cenários I e III. Ademais, especificamente no caso em que parceiro utilizará o bioossólido para suprir uma demanda já existente em seu negócio, os custos com apoio agrônômico e transporte do bioossólido até a área de aplicação não ficariam a cargo do responsável pela UGL, reduzindo os custos de operação.

### 3.4 Cenário III

Os custos de capital e operação, bem como as receitas associadas ao aproveitamento do bioossólido em solos (investimento próprio e com comercialização do bioossólido) estão indicados na Tabela 6.

Tabela 6 - Custos e receitas associados ao aproveitamento do biossólido em solos (investimento próprio e com comercialização do biossólido)

<b>CAPEX</b>						
Item	Descrição	Tipo	Indicador	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo inicial (R\$)
Galpão	Galpão industrial	Investimento	m <sup>2</sup>	1760	900,00	-1.584.000,00
Silo	Silo cal	Investimento	unidade	1	44.000,00	-44.000,00
armazenamento de cal (30 dias)	Bomba dosadora	Investimento	unidade	1	50.000,00	- 50.000,00
Higienização/ carregamento	Betoneira de carregamento manual	Investimento	unidade	1	25.000,00	- 25.000,00
	Mini carregadeira	Investimento	unidade	1	100.000,00	- 100.000,00
<b>OPEX</b>						
Item	Descrição	Tipo	Indicador	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo anual (R\$)
Higienização /carregamento	Cal virgem para higienização	Variável	t/ano	191,62	420,00	- 80.482,50
Mão de obra	Operador de máquina (recebimento, mistura, carregamento)	Fixo	pessoa/ano	2	30.000,00	-60.000,00
	Controle do processo (aspersão, medição de temperatura e umidade, formação de lotes etc.)	Fixo	pessoa/ano	1	36.000,00	-36.000,00
	Apoio agrônômico	Fixo	pessoa/ano	1	48.000,00	- 48.000,00
Transporte lodo	Transporte ETE > UGL (terceirização)	Variável	km/ano	4392	13,00	- 57.096,00
	Transporte UGL > área agrícola (terceirização)	Variável	km/ano	1940	13,00	- 25.220,00
Análises laboratoriais	Potencial agrônômico, substâncias químicas, qualidade microbiológica e de atratividade de vetores do biossólido	Fixo	unid/ano	4	2.000,00	- 8.000,00
Manutenção	Equipamentos (bomba, mini carregadeira e betoneira)	Fixo	verba/ano	1	2.625,00	- 2.625,00
Outros custos fixos	EPI, consumo água, energia elétrica (geral), conservação da área (poda, limpeza)	Fixo	verba/ano	1	15.462,50	- 15.462,50
Outros custos variáveis	Energia (betoneira, bomba), diesel mini carregadeira	Variável	m <sup>3</sup> /ano	4294	2,50	- 10.735,29
<b>RECEITAS</b>						
Item	Descrição	Tipo	Indicador	Quantidade	Receita unitária (R\$)	Receita anual (R\$)
Economia aterro	Economia transporte aterro	Custo evitado	Km/ano	5856	13,00	76.128,00
	Economia disposição aterro	Custo evitado	t/ano	1460	200,00	292.000,00
Comercialização	Venda do biossólido	Venda	m <sup>3</sup> /ano	1551	110,00	160.387,69
Valor residual	Venda ao final do projeto	Venda	verba	1	43.800,00	43.800,00

Fonte: Resultados originais da pesquisa

A única diferença da composição de custos e receitas deste cenário em relação ao cenário I é a comercialização do biossólido. Enquanto nos cenários I e II a principal vantagem econômica em relação ao cenário 0 refere-se à diferença entre os custos operacionais do aproveitamento em solos e disposição final em aterro (R\$ 24.506,71), no cenário III soma-se a esta parcela as receitas com a venda do biossólido, estimada em R\$ 160.387,69.

Diferentemente dos cenários I e II, em que foi discutida a possibilidade de repasse de determinados itens para as partes interessadas (ex. apoio agrônômico e transporte do biossólido), neste cenário, esta redução da composição do fluxo de caixa parece ser menos provável, justamente pelo fato de a UGL se propor a

produzir e comercializar um produto. Nesse sentido, o gestor da UGL assume um maior nível de responsabilidade ao longo da cadeia produtiva (desde a geração do lodo, produção do bio sólido e garantia de destinação final), todavia sendo recompensado financeiramente por isso.

Em que se pese o potencial econômico deste cenário, do ponto de vista de demanda administrativa e gerencial, entende-se que este é o mais desafiador. A efetivação das condições previstas demanda uma gestão integrada, com competências multidisciplinares, requisito possivelmente não condizente com contexto administrativo da maioria das ETEs brasileiras, em que questões básicas, como coleta de esgoto e eficiência de tratamento nas ETEs, ainda figuram como grandes gargalos.

### 3.5 Fluxos de caixa e indicadores de viabilidade econômica

Considerando a composição de itens referentes a cada cenário, projetou-se cada fluxo de caixa para os próximos 15 anos, conforme apresentado na Tabela 7. Logo após, na Tabela 8, são apresentados os indicadores de viabilidade referentes aos cenários de aproveitamento do bio sólido (I, II e III).

Tabela 7 - Fluxos de caixa para cada cenário de disposição final do lodo (valores em reais)

CENÁRIO 0	Ano															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
OPEX	0	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128
FC	0	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128	-368.128
FCA	0	-368.128	-736.256	-1.104.384	-1.472.512	-1.840.640	-2.208.768	-2.576.896	-2.945.024	-3.313.152	-3.681.280	-4.049.408	-4.417.536	-4.785.664	-5.153.792	-5.521.920
<b>CENÁRIO I</b>																
CAPEX	-1.803.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OPEX	0	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621
RECEITAS	0	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	411.928
FC	-1.803.000	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	68.307
FCA	-1.803.000	-1.778.493	-1.753.987	-1.729.480	-1.704.973	-1.680.466	-1.655.960	-1.631.453	-1.606.946	-1.582.440	-1.557.933	-1.533.426	-1.508.920	-1.484.413	-1.459.906	-1.391.599
<b>CENÁRIO II</b>																
CAPEX	<sup>1</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OPEX	0	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621
RECEITAS	0	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	368.128	411.928
FC	0	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	24.507	68.307
FCA	<sup>1</sup>	24.507	49.013	73.520	98.027	122.534	147.040	171.547	196.054	220.560	245.067	269.574	294.080	318.587	343.094	411.401
<b>CENÁRIO III</b>																
CAPEX	-1.803.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OPEX	0	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621	-343.621
RECEITAS	0	528.516	528.516	528.516	528.516	528.516	528.516	528.516	528.516	528.516	528.516	528.516	528.516	528.516	528.516	572.316
FC	-1.803.000	184.894	184.894	184.894	184.894	184.894	184.894	184.894	184.894	184.894	184.894	184.894	184.894	184.894	184.894	228.694
FCA	-1.803.000	-1.618.106	-1.433.211	-1.248.317	-1.063.422	-878.528	-693.634	-508.739	-323.845	-138.950	45.944	230.838	415.733	600.627	785.522	1.014.216

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Notas: FC: fluxo de caixa; FCA: fluxo de caixa acumulado; 1 Investimento sob responsabilidade de parceiro

Tabela 8 - Indicadores de viabilidade econômica para os cenários I, II e III.

Indicadores	Cenários		
	I	II	III
VPL (R\$)	- 1.532.543,01	270.456,99	104.447,75
TIR (%)	*	*	6,1
Payback (anos)	*	*	9,8

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Nota: \* não foi possível calcular o indicador.

No Cenário 0, observa-se que todos os fluxos de caixa são negativos, uma vez que este cenário compreende apenas os custos com transporte e disposição em aterro sanitário. A projeção destes custos no fluxo de caixa acumulado totaliza R\$ -5.521.920,00 no último ano do período considerado.

No Cenário I, considerando a composição de custos e receitas apresentada na Tabela 4, o fluxo de caixa acumulado se encerraria no ano 15 com R\$ - 1.391.599,00. Apesar do saldo anual positivo entre as receitas (custo evitado com aterro) e custos para aproveitamento do biossólido, o valor computado anualmente é muito baixo se comparado ao valor do investimento inicial. Sendo assim, para o período considerado, o VPL é de R\$ -1.532.543,01, ou seja, esse cenário não é viável do ponto de vista econômico. Como o VPL foi negativo, não foi possível calcular a TIR nem o payback.

Em relação ao cenário II, como os custos de CAPEX seriam assumidos por um parceiro, estes não foram computados no fluxo de caixa, motivo pelo qual não foi possível se calcular a TIR e o payback. O fluxo de caixa acumulado foi positivo ao longo de todo o período considerado (totalizando R\$ 411.401,00 no ano 15), reflexo do saldo anual positivo entre os custos evitados com aterro e os custos para aproveitamento do biossólido. Sendo assim, o VPL observado para este cenário foi de R\$ 270.456,99, ou seja, apresenta viabilidade do ponto de vista econômico.

Quanto ao cenário III, considerando a composição de custos e receitas apresentada na Tabela 6, o fluxo de caixa acumulado se encerraria no ano 15 com R\$ 1.014.216. O VPL corresponde a R\$ 104.447,75, enquanto a TIR é de 6,1% e o payback é estimado em 9,8 anos, de tal sorte que os três indicadores avaliados apontam para a viabilidade do ponto de vista econômico.

#### 4 CONCLUSÕES

As condições de contorno de cada um dos cenários de aproveitamento do biossólido foram estabelecidas de forma hipotética, eventualmente até com certa redundância ou excessivamente conservadoras, onerando os fluxos de caixa. Conforme discutido em cada um dos cenários, há diversas possibilidades de otimização do modelo de negócio, proporcionando redução dos custos e/ou ampliação das receitas. Mesmo considerando condições conservadoras, o aproveitamento do biossólido se mostra mais atrativo, se comparado à disposição final em aterro, especificamente nos cenários II e III. Sendo assim, conclui-se que, para as condições de contorno avaliadas nos cenários II e III, a viabilidade econômica não representa um entrave ao aproveitamento do biossólido em solos.

Os poucos requisitos associados à disposição final em aterros sanitários demonstram uma aparente simplicidade (ou até comodidade) desta rota, que

---

somada a uma possível percepção de que o lodo representa apenas custos, podem levar a um cenário de negligência do gerenciamento de lodo na ETE, fato extremamente prejudicial ao funcionamento da estação. Por outro lado, caso se implemente o uso do biossólido, este proporcionaria não apenas redução de custos e/ou fonte extra de receitas, como figuraria como um propulsor para melhoria das condições operacionais da ETE em questão.

Em que se pese a importância da análise de indicadores de viabilidade econômica, a análise de viabilidade de um projeto como o descrito neste trabalho envolve diversas variáveis de mensuração intangível, subjetiva e/ou complexa, principalmente as relacionadas às questões sociais e ambientais. Nesse sentido, cumpre ressaltar a necessidade de uma avaliação integrada dos aspectos econômicos, financeiros, sociais, ambientais, dentre outros que podem exercer algum tipo de influência no processo de tomada de decisão. Certamente, o peso destes aspectos no processo de tomada de decisão está intimamente relacionado a questões gerenciais e estratégicas de cada empreendimento.

# Economic evaluation of the potential for use of sewage sludge in soils after hygienization via alkaline stabilization

## ABSTRACT

Sludge is a by-product of sewage treatment with recognized potential for use in soil due to the high levels of organic matter and nutrients. Even though Brazil has extensive areas subject to application and demands a still significant amount of fertilizers nationwide, it is not widespread. In order to understand the economic aspect, it represented a potential factor for the study of a potential treatment for the use of the lo generated in a 110 utilization station with utilization of 110. In this evaluation, the sanitary provision was calculated ( scenario or land use (scenarios I, II and III). In the use scenarios, the operating costs were lower than the costs with provision in landfill. (sales of costs indicated for economic investment indicators in terms of NPV investment, TIRback) were III support of biosolids) and II of biosolids not considered; but provided for a partner for funding). Scenario I was at least attractive, as it covered the investment and biosolid costs, without considering the sale of the product, which was donated to a workshop.

**KEYWORDS:** biosolid; ETE; economic viability; agricultural use; RAD.

## REFERÊNCIAS

Andreoli, C. V., von Sperling, M., Fernandes, F. 2014. Lodo de Esgotos: tratamento e disposição final, 2º ed., Vol. 6. Belo Horizonte: UFMG.

Banco Central do Brasil. 2021. Focus: Relatório de Mercado. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/publicacoes/focus>. Acesso em: 10 de maio de 2021.

Barros, K. K., Chernicharo, C. A. L., Andreoli, C. V., Chamhum-Silva, L.A, Bittencourt, S.; Kato, M. T. 2021. Valoração e gerenciamento de subprodutos sólidos do tratamento do esgoto. Parte A: Higienização e uso de lodo no solo – Nota Técnica 6 - Uso agrícola de bio sólido. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental - Cadernos Técnicos (no prelo).

Berlato, L. F., Saussen, F., Gomez, L. S. R. 2016. A sustentabilidade empresarial como vantagem competitiva em branding. DA Pesquisa, vol. 11, nº. 15, p. 21-41

Bittencourt, S.; Matos, A.T.; Silva, B.S.; Oliveira, F.C.; Chamhum-Silva, L.A.; Miki, M.K.; Bico, A.K. 2021. Valoração e gerenciamento de subprodutos sólidos do tratamento do esgoto. Parte A: Higienização e uso de lodo no solo – Nota Técnica 6 - Uso agrícola de bio sólido. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental - Cadernos Técnicos (no prelo).

Brasil. 2020. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama n. 498, de 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de bio sólido em solos, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

Brasil. 2010. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF.

Cerqueira, P. L. W. 2019. Custos de desaguamento e higienização de lodo em ETEs com reatores UASB seguidos de pós-tratamento aeróbio: subsídios para estudos de concepção. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, Brasil.

Christodoulou, A.; Stamatelatos, K. 2016. Overview of legislation on sewage sludge management in developed countries worldwide. Water Science & Technology, vol. 73, nº 3, p. 453-462.

Faria, I. D. 2008. Compensação ambiental: os fundamentos e as normas; a gestão e os conflitos. Consultoria Legislativa do Senado Federal. Brasília, DF, Brasil.

Leblanc, R. J.; Mathews, P.; Richard, R. P. 2008. Introduction. In: United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT). Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource., p. 1-14.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas [IBGE]. 2017. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?edicao=28244&t=sobre>. Acesso em: 02 de maio de 2021.

Silveira, S.F. 2018. Avaliação da gestão de resíduos sólidos urbanos no município de Itabira (MG): uma ênfase na coleta seletiva. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (ProAmb). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG, Brasil.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento [SNIS]. 2017. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em: 17 jun. 2018.

**Recebido:** 18 mai. 2022.

**Aprovado:** 03 jul. 2022.

**DOI:** 10.3895/rbpd.v11n3 esp.14946

**Como citar:** CHAMHUM-SILVA. L. A.; FARIA, B. R.; LOPES, W. F. A. Avaliação econômica do potencial de uso de lodo de esgoto em solos após higienização via estabilização alcalina. **R. bras. Planej. Desenv.** Curitiba, v. 11, n. 03, p. 822-843, set./dez. 2022. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Lucas de Almeida Chamhum-Silva  
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte – MG

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

