



VIABILIDADE ECONÔMICA DA COMPOSTAGEM DO LODO DE ESGOTO PARA USO AGRÍCOLA

ECONOMIC VIABILITY OF COMPOSTING OF SEWAGE SLUDGE FOR AGRICULTURAL USE

Roseli Visentin¹; Caroline Mateus²; Maura Esperancini³;
Roberto Villas Boas⁴

Artigo recebido em: 29/01/2020 e aceito para publicação em: 19/02/2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v20i2.12372>

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade econômica da compostagem do lodo de esgoto misturado a duas fontes de carbono: bagaço de cana-de-açúcar ou casca de eucalipto para produção de fertilizante orgânico em escala comercial na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) no município de Botucatu – São Paulo. A análise econômica foi realizada com acompanhamento do processo de compostagem, coleta de dados e elaboração de fluxos de caixa dos quais se extraíram os indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Payback descontado (PBD) e Relação Benefício Custo (B/C), os quais permitiram concluir que a alternativa econômica mais viável foi a que utilizou bagaço de cana-de-açúcar, tendo como receita a comercialização do fertilizante orgânico e como benefício, a economia de custos com transporte e disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário.

Palavras-chave: Adubação orgânica. Lodo de esgoto. Tratamento de efluentes.

Abstract: The objective of this work was to evaluate the economic viability of composting of sewage sludge mixed with two carbon sources: sugarcane bagasse or eucalyptus bark for producing organic fertilizer in a commercial scale at the Sewage Treatment Station (STS) in the city of Botucatu - São Paulo. The economic analysis was accomplished with process monitoring, data collection and cash flows elaboration from which the following indicators were extracted: Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Discounted Payback Period (DPP) and Cost Benefit Ratio (RCB), which allowed us to conclude that the alternative the most viable economics was the one that used sugarcane bagasse, with revenue from organic fertilizer commercialization and as a benefit, the cost savings with transportation and disposal of sewage sludge in sanitary landfill.

Keywords: Organic fertilization. Sewage sludge. Wastewater treatment.

¹ Faculdade de Ciências Agrônomicas (UNESP), Botucatu, SP. E-mail: (rosevisentin@hotmail.com)

² Universidade Estadual Paulista (UNESP), São Paulo. E-mail: (caroline_mateus@hotmail.com)

³ Deptº Engª Rural e Socioeconomia da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista (UNESP). E-mail: (maura.seiko@unesp.br)

⁴ Deptº Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista (UNESP). E-mail: (roberto.lyra@unesp.br)

1 INTRODUÇÃO

Ainda que somente nas duas últimas décadas as pesquisas sobre a quantidade e a disposição final do lodo de esgoto tenham ganhado mais impulso no Brasil, sabe-se que a concentração populacional urbana e o maior acesso aos serviços de saneamento têm levado à maior produção do lodo de esgoto em todo o país, despertando cada vez mais o interesse da sociedade e de órgãos governamentais, pois se trata de uma questão, antes de tudo, de saúde pública, dado o potencial de patógenos que este material pode conter (ANDREOLI *et al.*, 2014).

Ressalta-se que, em 2015, apenas 57% do total da população urbana brasileira era atendida por serviço de saneamento e deste percentual de esgoto coletado, somente 73% eram tratados, apontando para a produção crescente do lodo de esgoto no país (SNIS, 2015).

Pela composição do lodo de esgoto, salienta-se a necessidade de se determinar o processo de reuso mais adequado às suas características físicas, químicas e biológicas, visto que é, em geral, composto por matéria orgânica e que, por isso mesmo, tem função importante no solo e na agricultura. Nesta matéria orgânica predomina o material excretado pelo homem que pode carregar consigo microrganismos patogênicos, além da ocorrência de metais pesados provenientes, particularmente, de esgotos industriais (SAITO, 2007).

Em 2008, no Brasil, apenas 30% dos municípios executavam o tratamento dos esgotos em Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). O lodo gerado nestes municípios se destinava a: 46% rio, mar e terreno baldio, 38% aterro sanitário, 14% reaproveitamento e 2% incineração (IBGE, 2008), mostrando o baixo índice de utilização deste resíduo, além do problema de disposição inadequada do mesmo.

Uma alternativa que faz frente à eliminação destes agentes nocivos à saúde humana e que vem sendo estudada com sucesso no Brasil, à luz da resolução CONAMA nº 481/2017 (BRASIL, 2017), é a compostagem do lodo de esgoto para que se possa utilizá-lo com finalidade agrícola, reduzindo-se a carga patogênica a limites legais e eliminando os custos ambientais e econômicos que incidem sobre o seu descarte quando este é enviado para aterros sanitários, que é o destino legal mais comum dado ao lodo de esgoto no Brasil.

A compostagem do lodo de esgoto pode ser definida como um processo natural de biodegradação da matéria orgânica influenciado pela aeração, temperatura,

umidade e pelos macros e micronutrientes presentes neste material, rico em nitrogênio, e no material estruturante (ME) que, agregado ao lodo de esgoto, fornecem carbono à mistura, produzindo um composto orgânico homogêneo, livre de microrganismos patogênicos, podendo ser utilizado como fertilizante e condicionador do solo (ANDREOLI *et al.*, 2014, BETTIOL, 2006; 2007; TSUTIYA, 2001).

A quantidade de revolvimentos desta mistura, o controle da temperatura e o tempo de compostagem são fatores relevantes para desinfecção do material pela compostagem (FERNANDES e SILVA, 1999).

Pela complexidade e variedade de fatores técnicos e legais que envolvem a compostagem com lodo de esgoto é importante, portanto, identificar e quantificar os parâmetros que possibilitem o seu reuso, atendendo interativamente todos estes aspectos, dando-se ênfase aos resultados econômicos deste processo, pois é necessário que também seja economicamente viável.

A análise econômica permite a avaliação do investimento inicial, dos gastos com a operação e manutenção do processo e também das receitas obtidas durante a vida útil do projeto, tomando-se todos estes valores descontados à Taxa Mínima de Atratividade (TMA), com a construção do fluxo de caixa e cálculo dos indicadores de viabilidade que norteiam as decisões econômicas (LINDEMEYER, 2008). A TMA é a remuneração mínima que se espera obter pelo capital investido e que está refletida nos indicadores com os quais se pode avaliar a rentabilidade de projetos, destacando-se o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o *Payback* descontado (PBD) e a Relação Benefício-Custo (B/C) (BUARQUE, 2004).

A avaliação econômica da compostagem, através dos indicadores VPL, TIR, PBD e B/C, preenche a lacuna existente na literatura quando tratamos do processo de reaproveitamento do lodo de esgoto sob o aspecto econômico, pois além da reutilização do lodo de esgoto ser um tema relativamente recente no Brasil, ainda se tem dado mais foco às questões sanitárias e legais da compostagem, perdendo-se a oportunidade de apresentar os ganhos econômicos que se pode obter com esta prática.

O objetivo deste estudo foi, portanto, a avaliação da viabilidade econômica da compostagem do lodo de esgoto produzido na ETE Lageado - Botucatu, em escala comercial, agregando-se bagaço de cana-de-açúcar (BC) ou casca de eucalipto (CE), como materiais estruturantes (ME) e obtendo-se como resultado o produto que foi enquadrado segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA,

2009), como Produto Fertilizante Orgânico Composto Classe D, apto para uso agrícola, eliminando o descarte do lodo de esgoto em aterro sanitário.

2 METODOLOGIA

Foram identificados, quantificados e valorados todos os itens do processo de compostagem que tiveram impacto na avaliação econômica, agrupando-os em investimentos custos, receita e benefícios. Os investimentos se fizeram necessários para aquisição e montagem das instalações e equipamentos; os custos estiveram relacionados à operação e aos insumos, sendo eles: reparo e manutenção, matéria-prima, combustíveis, graxas e lubrificantes, operações manuais e mecanizadas. Já a fonte de receita do projeto teve origem na comercialização do fertilizante orgânico e o benefício foi gerado pela economia de custos com transporte e disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário de Paulínia, que dista 170 km da ETE.

2.1 Investimentos

O investimento inicial, apontado no ano zero do projeto, foi de R\$ 519.000,00 e esteve relacionado à instalação da estufa para compostagem em terreno contíguo à ETE que é administrada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), localizando-se na Fazenda Experimental Lageado, no campus da Universidade Estadual Paulista (Unesp), no município de Botucatu, estado de São Paulo, não havendo, portanto, investimento para aquisição do terreno, mas somente necessidade de terraplanagem para que ele pudesse receber a estufa. Além da estufa que possui 12,8 m de largura, 80 m de comprimento e 6,5 m de altura, foi construída uma área de piso concretado de 30 m² que serviu como depósito para o lodo de esgoto e que otimizou o processo de compostagem.

Outro item do investimento de grande importância, tanto em funcionalidade como em valor investido, foi a máquina compostadora, montada com a aquisição de um trator, um kit de elevação mecânica e um compostador de resíduos, sendo utilizada para o revolvimento das leiras. Os demais equipamentos utilizados na compostagem apresentaram menor participação nos investimentos e nos custos, mas foram de igual importância para controle do processo de compostagem, sendo estes: termômetros, balança e equipamentos de proteção individual (EPI).

2.2 Custos

Equipamentos como retroescavadeira e caminhão basculante, de propriedade da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/Unesp, foram utilizados na movimentação dos materiais e os gastos com estas atividades foram considerados como custo operacional. Adotou-se o valor de aluguel praticado na cidade de Botucatu, no ano de 2017, pois, diferente da máquina compostadora, estes equipamentos não possuíam nenhuma característica específica que exigisse maior inversão de capital no projeto de compostagem, optando-se por alugá-los.

O lodo de esgoto, principal insumo do projeto, foi o lodo digerido de reatores anaeróbicos de fluxo ascendente (RAFA) produzido na ETE Lageado, tendo como origem o esgoto doméstico do município de Botucatu. Este lodo apresentava 80% de umidade, ao qual se agregaram distintas fontes de carbono: BC ou CE na proporção volumétrica de 1:1, ou seja, uma parte do lodo de esgoto e uma parte de ME. Esta proporção volumétrica foi medida com auxílio da pá carregadeira da retroescavadeira e levou à utilização de 270 m³ do lodo de esgoto e também 270 m³ de ME para três leiras de compostagem, que é a capacidade máxima da estufa por ciclo de compostagem.

Cada fonte de carbono (BC ou CE) foi tratada, para fins econômicos, como um projeto específico devido às diferenças de custo e produtividade de cada um destes materiais no processo de compostagem e que se refletiu nos indicadores econômicos. Estes materiais foram escolhidos em função da disponibilidade, sazonalidade na região de Botucatu e de seu custo, dando-se preferência por resíduos da agroindústria regional.

2.3 Receita e benefício

O preço adotado para o fertilizante orgânico, retirado no local de produção, foi de R\$85,00 / t e teve como referência o preço do fertilizante orgânico produzido numa planta de compostagem comercial localizada no município de Jundiaí – SP e que utiliza insumos e processos similares ao aqui avaliado. Ao se utilizar o preço que já vinha sendo praticado no mercado assumiu-se que este valor é percebido como adequado pelo comprador, pois este se dispõe a pagá-lo em detrimento de outro tipo de produto com a mesma finalidade.

O benefício ou a economia de custos que se obteve ao deixar de transportar o lodo (R\$160,00 por m³) e o descartá-lo em aterro sanitário (R\$122,00 por m³) foi pesquisado junto aos prestadores destes serviços e da própria Sabesp. A receita, o benefício e a combinação dos dois, além dos MEs (BC ou CE), culminaram em seis combinações que foram analisadas através dos indicadores econômicos.

2.4 Compostagem

A produção de lodo de esgoto não gerou custos para o projeto, mas sua movimentação, desde a ETE até o depósito para o lodo, também foi item da avaliação econômica, sendo realizado por terceiros e permitindo o acúmulo de lodo de esgoto com consequente ganho de tempo para misturá-lo com os MEs. Com o auxílio de retroescavadeira, a mistura de ME e lodo de esgoto foi colocada em caminhão basculante para transporte e descarga dentro da estufa, formando as leiras de compostagem que tiveram os dados de temperatura e umidade coletados, pois serviram de referência para a periodicidade de revolvimento das leiras.

O ciclo de compostagem da mistura foi de dois meses; período em que a temperatura se elevou e permaneceu em 55° C por, pelo menos, 14 dias, reduzindo possíveis patógenos presentes no lodo de esgoto, homogeneizando o material e atendendo a legislação vigente (BRASIL, 2017). Em um ano foi possível, portanto, a realização de 6 ciclos de compostagem, imprimindo maior robustez aos resultados da operação e da análise econômica.

A forma e o tamanho das leiras teve relação direta com o processo de compostagem, pois leiras altas aquecem demais, leiras baixas perdem muito calor e se estreitas perdem umidade e calor (ESALQ/USP 2012). Assim, cada uma delas foi montada à semelhança de um prisma com seção transversal triangular, com dimensões de 3,0 m de base, 1,5 m de altura e 80,0 m de comprimento, utilizando-se toda a dimensão da estufa e caracterizando o enfoque comercial do projeto.

2.5 Produtividade

A quantidade produzida de fertilizante orgânico foi afetada pelo tipo e característica dos MEs e do próprio lodo de esgoto utilizados na compostagem. Como quase todo material residual, tanto o lodo de esgoto como o BC ou CE, típicos deste

projeto, também não apresentaram uniformidade rigorosa na forma e tamanho, levando a quantidades variáveis de fertilizante orgânico produzido.

As leiras mantinham a mesma forma desde o início até o fim da compostagem, mas o volume final era menor do que o volume inicial em função das alterações químicas, físicas e biológicas que ocorreram na mistura, decorrentes do próprio processo de compostagem. A produtividade foi obtida pelo quociente do volume final / volume inicial por ME, sendo cada um deles calculados no início e final do processo, utilizando-se a fórmula geométrica:

$$Vol = \left[\frac{(Bs \times Alt)}{2} \right] \times Cmp \quad (1)$$

Onde:

Bs = base do prisma (m)

Alt = altura do prisma (m)

Cmp = comprimento do prisma (m)

2.6 Vida útil, atualização de valores e taxas

A vida útil do projeto foi estimada em 20 anos, sendo a mesma vida útil do trator e da estufa. Apenas o compostador de resíduos, acoplado ao trator, teve vida útil estimada em 10 anos devido ao contato direto com a mistura do lodo de esgoto e ME que pode acelerar seu desgaste.

Os equipamentos, instalações e insumos foram sendo adquiridos, montados e instalados desde o final do ano de 2015 até meados do ano de 2017. Portanto, para uniformizar os investimentos do projeto e permitir a avaliação econômica, os valores foram corrigidos para dezembro de 2017 pelo IGP-M (IPEA, 2018).

A mesma correção foi aplicada à receita de comercialização do fertilizante orgânico e aos custos de transporte e disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário, que deixaram de ocorrer com a compostagem e foram tomados como benefício na avaliação econômica. Já o combustível utilizado para movimentação da máquina compostadora teve seu valor atualizado para dezembro de 2017 conforme Sistema de Levantamento de Preços (ANP, 2018).

Assumiu-se que não seria considerada inflação durante a vida útil do projeto e quanto à Taxa mínima de atratividade (TMA), optou-se por utilizar a mesma taxa que a Sabesp aplicava nas avaliações econômicas de seus projetos em 2017 (8,06% ao ano).

2.7 Indicadores econômicos

Os indicadores de viabilidade econômica foram obtidos a partir da construção de seis fluxos de caixa: dois tipos de ME e três fontes de receita, extraído-se destes fluxos os indicadores que permitiram avaliar economicamente os resultados do projeto, conforme respectivas fórmulas matemáticas.

a) VPL – Valor presente líquido

$$VPL = \sum_{t=0}^n R_t (1 + i)^{-t} - \sum_{t=0}^n C_t (1 + i)^{-t} \quad (2)$$

Onde:

R_t = receita no período t

C_t = custo no período t

t = período de ocorrência da receita ou do custo (0 ... n)

n = número máximo de períodos de duração do projeto

i = taxa de juros ou taxa de mínima atratividade

b) TIR – Taxa interna de retorno

$$\sum_{t=0}^n R_t (1 + TIR)^{-t} = \sum_{t=0}^n C_t (1 + TIR)^{-t} \quad (3)$$

Onde:

R_t = receita no período t

C_t = custo no período t

t = período de ocorrência da receita ou do custo (0 ... n)

n = número máximo de períodos de duração do projeto (ano)

c) PBD – *Payback* descontado

$$PBD = t + \frac{FCA_t}{(FCA_t - FCA_{t+1})} \quad (4)$$

Onde:

t = período imediatamente antes do período em que o fluxo de caixa descontado passa de negativo a positivo

FCA_t = fluxo de caixa acumulado no período t

FCA_{t+1} = fluxo de caixa acumulado no período t+1

d) B/C – Razão benefício custo

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n R_t (1+i)^{-t}}{\sum_{t=0}^n C_t (1+i)^{-t}} \quad (5)$$

Onde:

R_t = receita no período t

C_t = custo no período t

t = período de ocorrência da receita ou do custo (0 ... n)

n = número máximo de períodos de duração do projeto (ano)

i = taxa de juros ou taxa de mínima atratividade

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre os anos de 2016 e 2017, na ETE Lageado Botucatu, foram produzidos 3 mil m³/ano de lodo de esgoto, segundo observação feita como parte deste estudo, e que deixaram de ser transportados e dispostos em aterro sanitário. Com o processo de compostagem, ora estudado, obteve-se o produto que foi enquadrado segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2009), como Produto Fertilizante Orgânico Composto Classe D, apto para uso agrícola e aqui chamado de fertilizante orgânico.

3.1 Parâmetros operacionais e coeficientes de cálculo

A compostagem do lodo de esgoto se deu mediante a utilização de parâmetros operacionais que determinaram a capacidade de produção e que independeram do tipo de ME (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros operacionais do processo de compostagem

Item	Quantidade
Nº de estufas	1
Nº de máquinas compostadoras	1
Nº de meses por ciclo de compostagem	2
Nº de ciclos por ano	6
Nº de leiras por ciclo	3
Nº de revolvimentos por mês	7
Nº de coleta de dados (temperatura e umidade) por mês	7
Nº de horas por revolvimento	1
Nº de horas para coleta de dados	1
Produção de lodo úmido (caçambas por dia)	3
Produção de lodo úmido (m³/dia)	9
Produção de lodo úmido (m³/mês)	270
Produção de lodo úmido (m³/ano)	3.240

Da observação e pesquisa foram obtidos os coeficientes utilizados no processo de compostagem e que foram base de cálculo para os investimentos e custos (Tabela 2).

Tabela 2 - Coeficientes para cálculo dos investimentos e custos do processo de compostagem

Coeficiente	Unidade	Trator	Máquina Compostadora	Estufa e depósito	Equipamentos ⁽¹⁾	Geral
Valor de aquisição	R\$	149.928	194.048	171.396	6.598	
Valor residual	R\$	29.785	9.702	8.569		
Vida útil e Reparo	Ano	20	10	20	10	20
Manutenção	%	2	2	2		
Combustível	L hp ⁻¹	0,166	0,166			
Diesel	R\$ L ⁻¹	3,29				
Potência	hp	128,2	128,2			
Graxas e lubrificantes	%	15				
Juros	%					8,06
Análise laboratorial	Qtd					6
Análise laboratorial	R\$					1.024,
Operações manuais	h					686
Operações	h					342
Valor homem-hora	R\$					7,81
Valor hora máquina	R\$					11,72
Aluguel da bobcat	R\$ h ⁻¹					160,00
Aluguel do caminhão	R\$ h ⁻¹					140,00
Aluguel da	R\$ h ⁻¹					90,00
Valor do BC	R\$ m ⁻³					20,50
Valor da CE	R\$ m ⁻³					15,50

⁽¹⁾ Balança, termômetro, equipamento de segurança individual (EPI).

⁽²⁾ Percentual aplicado sobre o custo dos combustíveis conforme ASABE, 2011.

As operações do processo de compostagem foram acompanhadas, quantificadas e agrupadas em operações manuais e mecanizadas (Tabela 3).

Tabela 3 – Operações manuais e mecanizadas realizadas no processo de compostagem

Item	Operação Manual	Operação Mecanizada (h/ano)
Recebimento do material		
Lodo de esgoto	180	(1)
ME (BC ou CE)	122	(1)
Preparo da área e matéria-prima		
Limpeza da área	96	96
Mistura dos materiais e montagem das leiras	144	72
Disposição do lodo + ME na estufa		72
Coleta de temperatura e umidade	84	
Ajuste das leiras		6
Testes (análise química e física)	48	
Compostagem		
Total	686	342

(1) Executado por terceiros e apontado nos custos, mas sem impacto no tempo gasto.

A quantidade de matéria-prima e o tempo das operações foram os mesmos para ambos os MEs, já o fertilizante orgânico obtido teve sua produtividade variando de acordo com o ME utilizado (Tabela 4).

Tabela 4 – Matéria-prima utilizada e produção de fertilizante orgânico

Matéria-prima	Unidade	Quantidade
Bagaço de cana-de-açúcar	m ³ /ano	1.620
Lodo de esgoto	m ³ /ano	1.620
Fertilizante orgânico (45% de produtividade)	m ³ /ano	1.458
Ou		
Casca de eucalipto	m ³ /ano	1.620
Lodo de esgoto	m ³ /ano	1.620
Fertilizante orgânico (35% de produtividade)	m ³ /ano	1.134

A partir da produção de fertilizante orgânico e com dados de pesquisa se obteve os coeficientes utilizados no cálculo da receita e benefício originados no projeto (Tabela 5).

Tabela 5 - Coeficientes de cálculo da receita e benefício para um ano de compostagem

Descrição	Unidade	Quantidade	Valor
Receita de comercialização			
Fertilizante orgânico com BC	m ³ /ano	1.458	
Fertilizante orgânico com CE	m ³ /ano	1.134	
Preço de venda do fertilizante orgânico	R\$ m ⁻³		85,00
Economia de custos			
Lodo de esgoto	m ³ /ano	1.620	
Valor do transporte do lodo até aterro de Paulínia	R\$ m ⁻³		160,00
Valor de disposição do lodo no aterro de Paulínia	R\$ m ⁻³		122,00

A receita e o benefício também foram calculados pelos coeficientes de quantidades e valores obtidos para cada um dos MEs utilizados na compostagem (Tabela 6).

Tabela 6 – Receita e benefício obtido com o processo de compostagem

Item	BC (R\$/ano)	CE (R\$/ano)
Receita de comercialização do fertilizante orgânico	123.930,00	96.390,00
Economia de custos com o projeto		
Eliminação do transporte do lodo até o aterro	259.200,00	259.200,00
Eliminação da disposição do lodo em aterro	197.640,00	197.640,00
Receita Total	580.770,00	553.230,00

Para que os valores (investimento, custos, receita e benefício) fossem considerados no tempo e permitissem a avaliação econômica do projeto lançamos mão dos fluxos de caixa, num período de 20 anos, descontados à TMA de 8,06% ao ano. Estes fluxos foram construídos para cada um dos MEs utilizados na compostagem (BC e CE), como se cada um dos MEs fosse um projeto distinto. Além dos MEs, as receitas também variaram em função das combinações de suas origens: receita de comercialização do fertilizante orgânico, economia de custos com o projeto (eliminação do transporte e disposição no aterro) e receita de comercialização mais a economia de custos com o projeto (Tabela 7).

Tabela 7 – Tipo de ME e origem da receita

Combinação ME		Origem da receita
A	BC	Comercialização do fertilizante orgânico
B	BC	Economia de custo de transporte e disposição do lodo em aterro sanitário
C	BC	Comercialização do fertilizante orgânico e economia de custo de transporte e disposição do lodo em aterro sanitário
D	CE	Comercialização do fertilizante orgânico
E	CE	Economia de custo de transporte e disposição do lodo em aterro sanitário
F	CE	Comercialização do fertilizante orgânico e economia de custo de transporte e disposição do lodo em aterro sanitário

Essa mesma combinação orientou a montagem dos fluxos de caixa nos quais são apresentadas as entradas e saídas de capital (Tabela 8) e o resultado dos indicadores econômicos (Tabela 9).

Tabela 8 - Fluxos de caixa por combinação de ME e origem de receita (em R\$/ano)

Combinação		Ano				
		0	1 a 9	10	11 a 19	20
A						
	Entradas		123.930	123.930	123.930	123.930
	Saídas	520.971	143.978	333.856	143.978	101.453
	Fluxo de Caixa	-520.971	-20.048	-209.926	-20.048	22.477
B						
	Entradas		456.840	456.840	456.840	456.840
	Saídas	520.971	143.978	333.856	143.978	101.453
	Fluxo de Caixa	-520.971	312.862	122.984	312.862	355.387
C						
	Entradas		580.770	580.770	580.770	580.770
	Saídas	520.971	143.978	333.856	143.978	101.453
	Fluxo de Caixa	-520.971	436.792	246.914	436.792	479.317
D						
	Entradas		96.390	96.390	96.390	96.390
	Saídas	520.971	135.878	325.756	135.878	93.353
	Fluxo de Caixa	-520.971	-39.488	-229.366	-39.488	3.037
E						
	Entradas		456.840	456.840	456.840	456.840
	Saídas	520.971	135.878	325.756	135.878	93.353
	Fluxo de Caixa	-520.971	320.962	131.084	320.962	363.487
F						
	Entradas		553.230	553.230	553.230	553.230
	Saídas	520.971	135.878	325.756	135.878	93.353
	Fluxo de Caixa	-520.971	417.352	227.474	417.252	459.877

Tabela 9 - Indicadores econômicos segundo o tipo de ME e de receita gerada

Combinação	VPL (em R\$)	TIR (em %)	PBD (em anos)	Relação B/C
A	-795.369	(1)	(1)	0,60
B	2.458.648	60	1,9	2,23
C	3.669.997	84	1,3	2,83
D	-985.384	(1)	(1)	0,49
E	2.537.821	61	1,8	2,32
F	3.479.982	80	1,4	2,81

(1) Fluxo de valores é negativo e inviabiliza o cálculo da TIR e o *Payback*

A análise dos indicadores mostrou que ao se considerar apenas a receita de comercialização, esta não fez frente aos custos, pois o VPL foi negativo tanto com o uso de BC como de CE, não havendo, portanto, TIR e nem *Payback*. A relação B/C, como era de se esperar, foi menor do que um, ou seja, os benefícios não superaram os custos, inviabilizando as combinações A e D como alternativas para produção de fertilizante orgânico.

Quando avaliadas as combinações B e E, que tratam apenas da economia de custos do projeto com a utilização do lodo de esgoto na compostagem e não havendo, portanto, transporte e disposição deste em aterro, todos os indicadores mostram a viabilidade da compostagem, sendo a combinação E 3% melhor do que a combinação B.

Esta diferença se deve ao fato do preço de aquisição da CE ser menor do que o de aquisição do BC, demonstrando, numa hipótese do fertilizante orgânico ser disponibilizado gratuitamente aos produtores, que se deve optar pelo ME de menor custo para sua aquisição, ou seja, a compostagem com CE e que independe de sua produtividade.

Por fim, quando se consideram todas as possibilidades de receita e benefício, ou seja, a receita de comercialização do fertilizante orgânico e a economia de custos ao não se enviar lodo de esgoto para aterro (combinações C e F), obteve-se a alternativa mais atraente economicamente com a utilização do BC (combinação C).

Destacam-se nesta última combinação, o VPL que é 5% superior com o uso do BC do que com a CE e a TIR que é 4 pontos percentuais superior à TIR com CE. Já os indicadores *Payback* e a relação B/C, ainda que mais atrativos com o uso do BC, possuem diferenças menos significativas quando se compara o uso de BC ou CE, mas ainda assim todos os indicadores ratificam o uso de BC.

Vale ressaltar que a escolha do método de compostagem, por si só, implica em controle de uma gama de riscos legais e técnicos que podem levar a resultados produtivos e econômicos distintos, devido ao grande número de variáveis envolvidas desde a sua definição, tais como: área disponível para compostagem, localização e proximidade com áreas urbanas e residenciais, quantidade produzida e tipo de lodo de esgoto, disponibilidade de material estruturante, custos dos equipamentos e distância das culturas que receberão o fertilizante orgânico (INÁCIO, 2009). Portanto, um projeto de compostagem, além de ser viável sanitária e ambientalmente, necessita de planejamento e análise detalhada de todos os parâmetros para que sejam escolhidas as alternativas que minimizem os riscos e proporcionem vantagens econômicas.

4 CONCLUSÕES

A análise dos indicadores econômicos segmentados em função dos MEs e origem das receitas permite concluir que a compostagem de lodo de esgoto é viável economicamente para quatro combinações (B, C, E ou F).

A economia de custos ao se transportar e dispor o lodo de esgoto em aterro sanitário já torna o projeto viável (combinação B ou E) e quando se soma a este benefício a receita de comercialização do fertilizante orgânico (combinação C ou F) se obtém indicadores econômicos mais satisfatórios. Dentre essas duas últimas combinações (C ou F), a que utiliza o bagaço de cana-de-açúcar (combinação C), leva aos indicadores que demonstram o melhor desempenho econômico da compostagem do lodo de esgoto: VPL = R\$3.669.997, TIR = 84% PBD = 1,3 anos e B/C = 2,83.

Ressalta-se que as combinações A e D que tratam apenas da receita de comercialização do fertilizante orgânico não viabilizam economicamente sua produção, tanto para a compostagem do lodo de esgoto com BC como com CE.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. In: ASABE D497,7. **Agricultural machinery management**. ASABE standards, St. Joseph, USA. P. 385-390. 2011.

ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F., Eds. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA/UFMG; Sanepar, v.6, 2014. 484p.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Bio Combustíveis. **Sistema de levantamento de preços/síntese dos preços praticados em dezembro de 2017.** Disponível em: https://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Mensal_Index.asp. Acesso em: 15 fev. 2018.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A Disposição de Lodo de Esgoto em Solo Agrícola. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006. Cap. 2. p. 25-36

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 481, de 03 de outubro de 2017.** Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa MAPA nº 25, de 23 de julho de 2009.** Estabelece normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2009.

BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos.** São Paulo: Elsevier, 2004.

ESALQ/USP. Casa do Produtor Rural. Evento realizado: **Palestra e Prática:** aproveitamento de resíduos na propriedade rural. Piracicaba. 2012. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/cprural/eventos/pg/15>. Acesso em: 03 jan. 2018.

FERNANDES, S.A.P.; SILVA, S.M.C.P. da. **Manual prático para a compostagem de bio sólidos.** Londrina: Prosab, Finep, 1999. 84p.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.** 2008. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticasnovoportal/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamentobasico.html?&t=resultados>. Acesso em: 03 jan.2018.

INÁCIO, C.T.; MILLER, P.R.M. **Compostagem:** ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 154p.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Banco de dados: **Ipeadata.** Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=38390>. Acesso em: 15 fev.2018.

LINDEMEYER, R. M. **Análise da viabilidade econômico-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica.** Trabalho de Conclusão de curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

SAITO, M.L. **O uso do lodo de esgoto na agricultura:** precauções com os contaminantes orgânicos. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2007. 35p. Disponível em http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_64.pdf. Acesso em: 03 jan.2018

SNIS – **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.** Série Histórica. 2015. Disponível em: <http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em 03 jan 2018.

TSUTIYA, M. T. **Características de bio sólidos gerados em estações de tratamento de esgotos.** In: TSUTIYA, M. T. et al (Ed.). **Bio sólidos na Agricultura.** São Paulo: Sabesp, 2001. Cap. 3. p. 89-132.