

# Produção Animal e Recursos Hídricos

Uso da água nas dimensões quantitativa e qualitativa e cenários regulatórios e de consumo



Julio Cesar Pascale Palhares

Editor Técnico

**Embrapa**

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Pecuária Sudeste  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **Produção animal e recursos hídricos**

Uso da água nas dimensões quantitativa e  
qualitativa e cenários regulatórios e de consumo

Julio Cesar Pascale Palhares  
Editor Técnico

*Embrapa  
Brasília, DF  
2021*

**Embrapa Pecuária Sudeste**

Rodovia Washington Luiz, Km 234, s/nº  
Fazenda Canchim  
CEP 13560-970 São Carlos, SP  
Fone: (16) 3411-5600  
[www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)

**Unidade responsável pelo conteúdo**

Embrapa Pecuária Sudeste

Comitê Local de Publicações

Presidente

*Alexandre Berndt*

Secretário-executivo

*Luiz Francisco Zafalon*

Membros

*Gisele Rosso, Mara Angélica Pedrochi,*

*Maria Cristina Campanelli Brito e*

*Silvia Helena Piccirillo Sanchez*

**Responsável pela edição**

Embrapa, Secretaria-Geral

Coordenação editorial

*Alexandre Aires de Freitas*

*Heloiza Dias da Silva*

*Nilda Maria da Cunha Sette*

Supervisão editorial

*Josmária Madalena Lopes*

Revisão de texto

*Jane Baptistine de Araújo*

Normalização bibliográfica

*Márcia Maria Pereira de Souza*

Projeto gráfico e editoração eletrônica

*Leandro Sousa Fazio*

Capa

*Paula Cristina Rodrigues Franco*

**1ª edição**

Publicação digital – PDF (2021)

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa, Secretaria-Geral

---

Produção animal e recursos hídricos : uso da água nas dimensões quantitativa e qualitativa e cenários regulatórios e de consumo / Julio Cesar Pascale Palhares, editor técnico. – Brasília, DF : Embrapa, 2021.

PDF (323p.). : il. color. ; 16 cm × 22 cm.

ISBN 978-65-87380-37-7

1. Pecuária. 2. Qualidade da água. 3. Desenvolvimento sustentável. 4. Legislação ambiental. 5. Recursos naturais. 6. Economia. 7. Reúso da água. I. Palhares, Julio Cesar Pascale. II. Embrapa Pecuária Sudeste.

CDD 636

## Capítulo 8

# Custos e receitas do tratamento e do reúso de efluentes da suinocultura

Marcelo Miele

Airton Kunz

Marco Ramme

Fabiane Goldschmidt Antes

Evandro Carlos Barros

Ricardo Luis Radis Steinmetz

## Introdução

As tecnologias disponíveis para o correto manejo dos dejetos suínos nos estabelecimentos agropecuários atendem a diferentes propósitos. Quando há disponibilidade de áreas agrícolas próximas, com baixo custo de transporte dos dejetos, a melhor estratégia é sua aplicação no solo por meio de fertirrigação ou de tratores e caminhões-tanque. Nas situações em que a granja produtora de suínos for diversificada com pastagens, grãos ou outras culturas, ela se beneficia da redução nas despesas com adubação. Os biodigestores são uma opção no que se refere à produção de biogás para geração de energia elétrica, mecânica ou térmica, mas não removem nutrientes dos efluentes, não reduzindo a área agrícola necessária. Sua viabilidade dependerá não apenas da geração de energia, mas, em grande parte, dos custos de transporte e aplicação dos efluentes e

da disponibilidade de área própria para reduzir despesas com adubação, assim como ocorre com o dejetos bruto armazenado em esterqueiras.

Há duas alternativas para superar a limitação de áreas agrícolas próximas à granja. A compostagem permite a evaporação da água e a transformação dos dejetos líquidos em resíduos sólidos, para produção de adubo orgânico ou organomineral. Isso reduz os custos de transporte dos nutrientes, que podem ser comercializados a mais longas distâncias. Por sua vez, os sistemas de tratamento produzem um efluente de alta qualidade, com a possibilidade de reúso na granja. Podem ser arranjos que contemplem a biodigestão ou apenas lagoas de tratamento.

O Sistema de Tratamento de Efluentes da Suinocultura (Sistrates) é um processo biotecnológico modular, no qual ocorre a biodigestão anaeróbia e posterior remoção biológica de nitrogênio e remoção química de fósforo dos dejetos<sup>1</sup>. Permite obter alto nível de tratabilidade das águas residuárias da suinocultura, reduzindo a necessidade de área agrícola nos efluentes líquidos, além de possibilitar a reutilização do recurso hídrico nas instalações ou mesmo em projetos de piscicultura e permitir o descarte em corpos receptores. Também abre a possibilidade de agregar valor ao lodo com alta concentração de fósforo em fábricas de fertilizantes e em outros setores industriais. O arranjo tecnológico é inovador no País, buscando metodologias focadas na otimização e simplificação dos processos adaptados à realidade da produção animal brasileira.

O objetivo deste capítulo é apresentar a viabilidade econômica de uma unidade de referência tecnológica (URT) do Sistrates em Santa Catarina. O estudo de caso mede o desempenho verificado em 2018 e

---

<sup>1</sup> O desenvolvimento da tecnologia contou com aportes de conhecimento e de recursos humanos da Embrapa e da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e foi financiado pelo Sistema Embrapa de Gestão (SEG). Sua proteção jurídica foi requerida no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Inpi), via depósito do pedido de patente de invenção, processo nº 012110000780. Para informações sobre o Sistrates, acessar o vídeo do dia de campo disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=RdpIKVI0S2s>.

2019, durante a instalação e a operação do sistema, no âmbito do projeto Processo Biotecnológico em Sistemas de Tratamento de Efluentes na Suinocultura – Sistrates<sup>2</sup>. Além disso, traça cenários para subsidiar a validação e a difusão da tecnologia, apresentando comparações com a alternativa de aplicação no solo dos efluentes da biodigestão (linha de base) e uma análise de sensibilidade a variações nos coeficientes técnicos e nos preços de mercado.

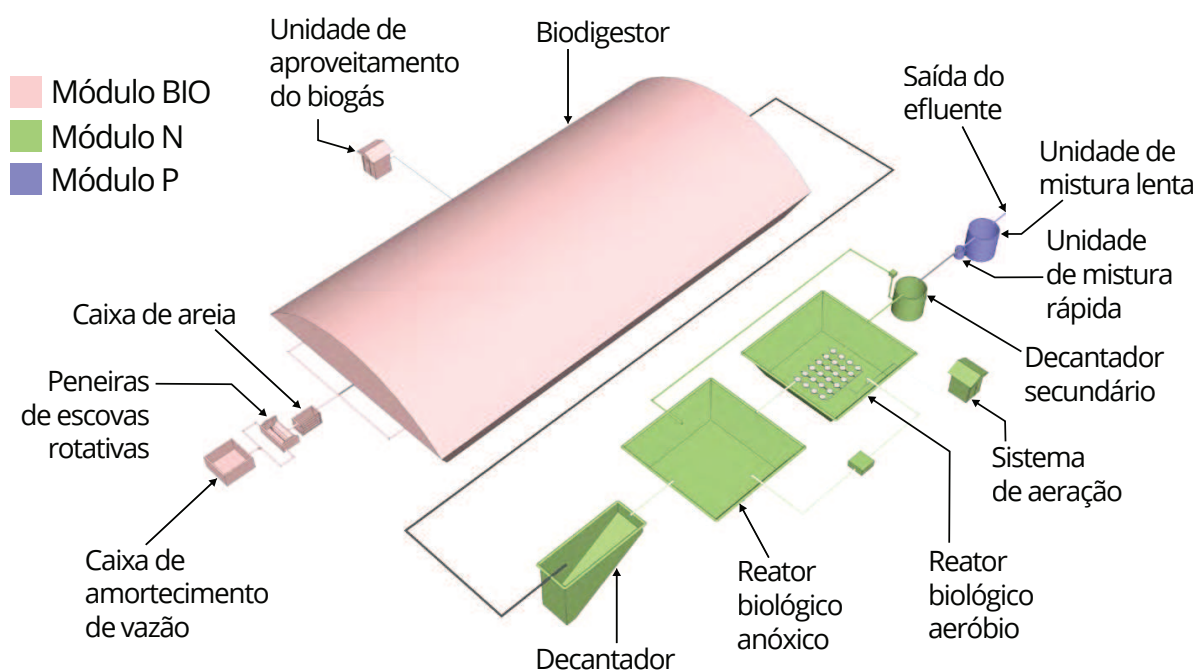
## A tecnologia Sistrates

O Sistrates, apresentado de forma esquemática na Figura 1, foi desenvolvido para superar os desafios impostos pela limitação de área agrícola quanto à absorção de dejetos na suinocultura de grande escala em regiões de alta concentração de rebanhos. O sistema é formado pelos módulos de biodigestão (módulo BIO), remoção de nitrogênio (módulo N) e remoção de fósforo (módulo P). A implantação de todos os módulos não é mandatória e pode ocorrer em fases, porém sempre é necessário seguir a sequência BIO-N-P para melhor eficiência do processo.

O dejetos bruto passa primeiramente por uma peneira com escovas rotativas para a remoção de sólidos grosseiros. Em seguida, o dejetos líquido passa por um decantador e é direcionado posteriormente ao módulo BIO, composto por dois biodigestores do tipo lagoa coberta (BLC),

---

<sup>2</sup> O projeto foi executado pela Embrapa Suínos e Aves, pela Master Agropecuária e pela Fundação Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento (Faped). Foi financiado pelo Fundo de Desenvolvimento Técnico-Científico (Funtec) do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e pela Master Agropecuária, com recursos próprios ou financiados pelo Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul (BRDE), no âmbito do Programa ABC. Outro recurso importante veio das equipes de pesquisa das instituições e empresas parceiras do projeto, como a Ekodata – Tecnologia e Saneamento Ambiental. Para informações, acessar o portal da Embrapa Suínos e Aves, disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/>.



**Figura 1.** Desenho esquemático do Sistrates.

Fonte: Kunz et al. (2011).

que recebem o efluente líquido do decantador. Os lodos da peneira, do decantador e dos BLCs são enviados a um biodigestor de alta eficiência, modelo CSTR (do inglês *continuous stirred tank reactor*), onde a biomassa passa por agitação e aquecimento. Completa o módulo BIO a unidade de geração de energia elétrica com geradores alimentados com o biogás produzido nos biodigestores, no qual é feita a filtragem do biogás e sua conversão em energia elétrica, parcialmente consumida no sistema de tratamento.

O efluente dos BLCs é direcionado para o módulo N, onde a remoção de nitrogênio é feita por processos biológicos de nitrificação e desnitrificação. A nitrificação ocorre em um tanque aeróbio dotado de um sistema de aeração com difusores de ar que geram nitrato. Em um tanque anóxico, ocorre o processo de desnitrificação, com a redução do nitrato a nitrogênio gasoso ( $N_2$ ). Em um decantador final, o sobrenadante é encaminhado ao módulo P (Bortolini et al., 2019). A eficiência de remoção de nitrogênio total obtida é superior a 85%, e a eficiência de remoção de

nitrogênio amoniacal é superior a 99%, com uma concentração de nitrogênio amoniacal no efluente inferior a  $20 \text{ mg L}^{-1}$ , o que atende a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) nº 430/2011 (Conselho Nacional de Meio Ambiente, 2011), em relação ao limite desse parâmetro para lançamento em corpo hídrico receptor. A remoção de fósforo no módulo P é feita por um processo químico em que se adiciona uma suspensão de cal hidratada em um tanque chamado de unidade de mistura rápida, onde ocorre a precipitação de fosfato de cálcio  $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ . Mais de 95% do fósforo é removido do efluente líquido na forma de lodo e é separado por decantação e descartado em um sistema de deságue em *bags*. Em seguida, pode ser seco, permitindo a recuperação do fósforo, que pode ser utilizado para diferentes finalidades, como a fabricação de fertilizantes e outros usos industriais. O sobrenadante do decantador é o efluente final do tratamento (Suzin et al., 2018).

O mercado potencial para o Sistrates é composto essencialmente por: 1) granjas de suínos de grande porte com limitação de área agrícola ou elevados custos para aplicação no solo dos dejetos ou efluentes da biodigestão, bem como com limitação de recursos hídricos e necessidade de tratamento dos efluentes para reúso; 2) granjas de suínos de pequeno e médio porte com limitação de área agrícola e potencial para implantar redes de coleta de dejetos por gravidade em microbacias hidrográficas visando ao saneamento rural; e 3) usinas centrais de biogás para cogeração de energia elétrica e térmica e venda de biometano (Resolução ANP nº 8, de 30/1/2015) (Conselho Nacional de Meio Ambiente, 2015).

Como a tecnologia Sistrates constitui uma mudança em relação ao atual padrão tecnológico predominante no tratamento de dejetos da suinocultura brasileira, representando maior risco para novos adotantes pioneiros no seu uso, foi instalado, em 2017 e 2018, um sistema que opera no campo em escala plena, na Granja São Roque, unidade de produção de leitões da empresa Master Agropecuária, situada em Videira, Santa Catarina ( $27^{\circ}02'37''\text{S}$   $51^{\circ}05'44''\text{W}$ ), que não dispõe de área agrícola para



destinação final dos dejetos. O sistema trata um volume de aproximadamente  $180 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  de um rebanho de 6,3 mil matrizes para produção de leitões desmamados<sup>3</sup>. Essa granja foi escolhida para instalação de uma URT pelo fato de ter disponibilidade de recursos humanos e financeiros e, sobretudo, por seu histórico na busca de soluções ambientais inovadoras. A Ekodata – Tecnologia e Saneamento Ambiental foi responsável pela elaboração do projeto de engenharia e acompanhamento das obras civis e da instalação de equipamentos (Figura 2).

Foto: Júlio Gomes Filho



**Figura 2.** Sistrates instalado na Granja São Roque, Santa Catarina.

<sup>3</sup> A Granja São Roque é composta por três unidades, totalizando 10,1 mil matrizes para produção de leitões desmamados ou com creche, com um volume de dejetos de aproximadamente  $290 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ . O Sistrates atende às unidades I e III.

## Metodologia

A metodologia utilizada foi um estudo de caso de uma URT do Sistrates, combinada com um estudo prospectivo, com a definição de cenários para a destinação final dos efluentes e lodos (Tabela 1), bem como análise de sensibilidade para os principais preços e coeficientes técnicos. Assim como em estudos prospectivos anteriores, que estimaram a viabilidade do Sistrates a partir de dados de bancada (Miele et al., 2011, 2015), utilizou-se a margem bruta (MB), o lucro líquido (LL) e o valor presente líquido (VPL) como critérios para a presente análise de viabilidade econômica de um projeto-piloto em escala que opera em condições reais de campo (Galesne et al., 1999; Guiducci et al., 2012). O desempenho do Sistrates (módulos BIO, N e P) foi comparado a uma situação na qual tenham sido realizados apenas os investimentos em biodigestão (BLC e CSTR) e geração de energia elétrica. Os dados, que foram obtidos a partir de entrevistas, consulta a demonstrativos contábeis e levantamentos

**Tabela 1.** Cenários para análise de viabilidade do Sistrates.

Sistema de tratamento	Cenário
Sistrates <sup>(1)</sup>	Projeto-piloto na URT (com custo de fertirrigação de lodos e efluentes e sem custo de destinação do lodo do módulo P) Lançamento dos efluentes em corpos receptores e retirada do lodo do módulo P por terceiros sem custo (ou os custos de secagem ou compostagem e transporte se igualam ao seu preço de venda) Lançamento dos efluentes em corpos receptores e destinação final do lodo do módulo P para aterro ou reciclagem
Biodigestores	Com área própria e fertirrigação Com área própria e caminho-tanque Sem área própria, mas retirada por terceiros sem custos Sem área própria e fertirrigação (situação anterior ao projeto) Sem área própria e caminho-tanque

<sup>(1)</sup>Em todos os cenários do Sistrates, não há disponibilidade de área própria.

em campo, referem-se à operação do Sistrates na Granja São Roque ao longo de 2018 e 2019. As entrevistas foram realizadas com a equipe de pesquisa da Embrapa Suínos e Aves, a equipe de gestão ambiental da Master Agropecuária e a equipe de engenharia ambiental da empresa Ekodata – Tecnologia e Saneamento Ambiental.

Os dados levantados foram os seguintes: valores de investimento inicial, custos (despesas e custos econômicos de depreciação e capital), potencial de geração de valor (valoração da produção de coprodutos), além da caracterização dos efluentes e lodos a partir de análises de laboratório e dos coeficientes técnicos para uso de insumos, serviços, mão de obra e equipamentos. Os cálculos para a área agrícola necessária basearam-se nos parâmetros da Instrução Normativa nº 11, do Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA), para licenciamento ambiental da suinocultura (Instituto do Meio Ambiente, 2014) e no *Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina* (Manual..., 2016).

## Resultados

### **Eficiência do tratamento e área necessária**

A tecnologia permitiu um alto nível de tratabilidade dos dejetos suínos da Granja São Roque nos anos de 2018 e 2019 (Tabela 2) e garantiu que o efluente líquido do módulo P (76% do volume inicial) estivesse apto a ser descartado em corpos receptores ou pudesse ser utilizado para reúso na lavagem das instalações. Os lodos requerem seu transporte e aplicação em áreas agrícolas (lodos do CSTR e do módulo N) ou sua exportação para fábricas de fertilizantes ou outros setores industriais (lodo do módulo P).

Comparando-se com os biodigestores, verifica-se redução na necessidade de área agrícola quando adotado o critério do nitrogênio (-68%),

**Tabela 2.** Volumes ( $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1}$ ), sólidos totais e concentração de nutrientes ( $\text{g L}^{-1}$ ) nos efluentes e lodos, por etapa do processo, nos anos 2018 e 2019.

Etapa do processo	Volume	Sólidos	N	P	K
Dejeto bruto <sup>(1)</sup>	181,3	16,8	2,6	0,4	0,8
Líquido da peneira	179,8	16,7	2,6	0,4	0,8
Sólidos da peneira	1,5	28,1	2,5	7,5	1,0
Efluente dos biodigestores	161,3	6,5	1,6	0,2	0,9
Lodo dos biodigestores	18,5	31,8	3,2	1,2	0,8
Lodo do módulo N	7,5	1,5	0,6	0,5	0,6
Efluente líquido do módulo P	137,0	0,0	0,3	0,01	0,5
Lodo do módulo P	6,0	60,0	0,03	5,0	12,0

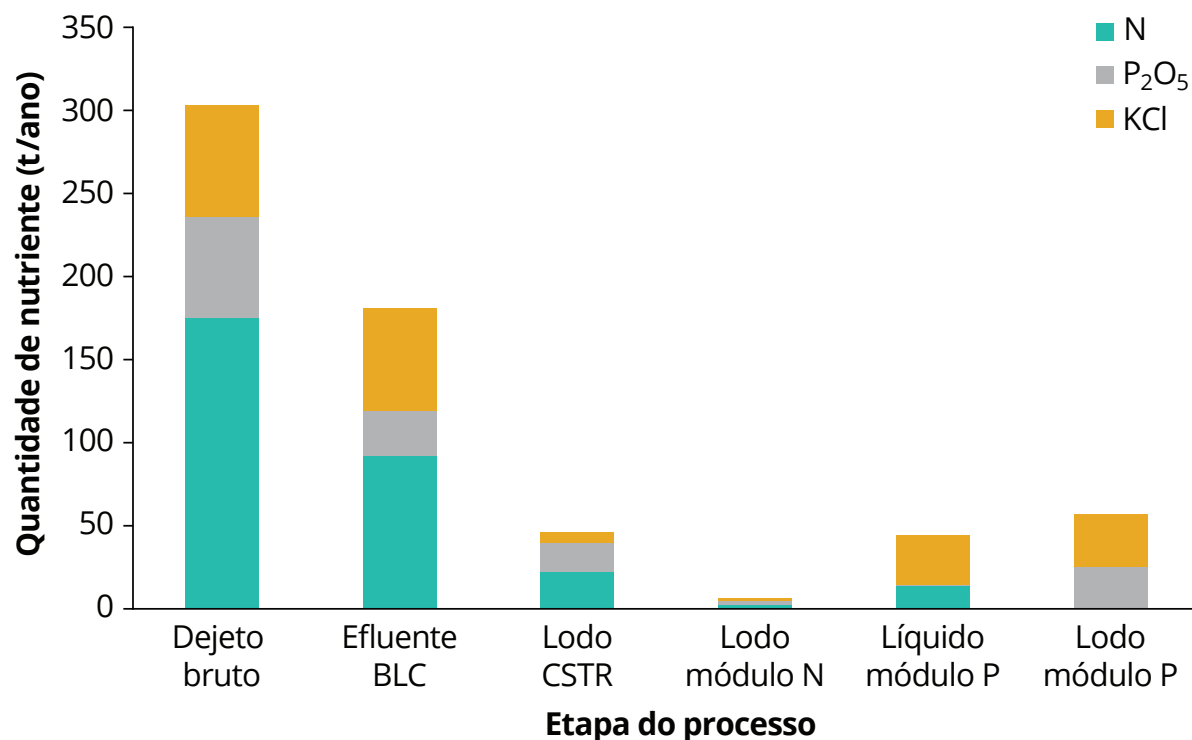
<sup>(1)</sup>Estimado a partir das medições do líquido e dos sólidos da peneira.

bem como a possibilidade de redução (-52%) pelo critério do fósforo, caso seja viabilizada a exportação do lodo do módulo P (Figuras 3 e 4)<sup>4</sup>.

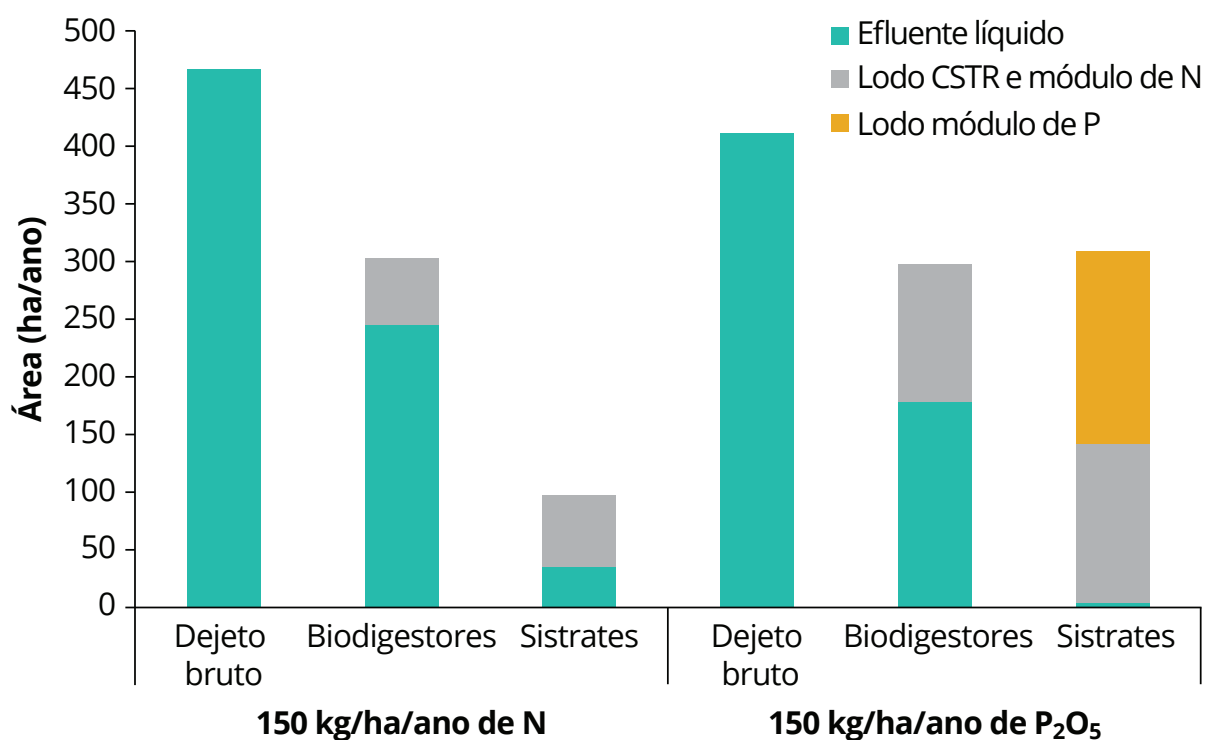
### Investimento, uso de insumos e coprodutos

O investimento para implementar o Sistrates na escala necessária para tratar os dejetos de uma unidade produtora de leitões com 6,3 mil matrizes foi de R\$ 3,7 milhões ou R\$ 586 por matriz instalada (Tabela 3). Desconsiderando-se investimentos necessários para a adequação da granja (tubulações e bombas) e ajustando-se o valor dos geradores previamente instalados considerados superdimensionados, estima-se que o

<sup>4</sup> A redução da necessidade de área dos efluentes e lodos dos biodigestores em comparação ao dejeto bruto se deve a perdas de nitrogênio e decantação do fósforo no processo de biodigestão, bem como possíveis vieses de amostragem.



**Figura 3.** Quantidade de nutrientes por etapa do processo.



**Figura 4.** Área necessária por sistema de tratamento e tipo de efluente.

**Tabela 3.** Investimento por sistema e etapa do tratamento nos anos de 2017 e 2018 (R\$ mil).

Etapa do processo	Biodigestores (projeto novo)	Sistrates (projeto novo)	Sistrates (URT)
BLC (2 × 2.500 m <sup>3</sup> )	509	509	509
CSTR (700 m <sup>3</sup> )	308	308	308
Lagoa armazenagem (2 × 10.000 m <sup>3</sup> )	220	0	0
Outros <sup>(1)</sup>	208	201	281
Total (Módulo BIO)	1.244	1.018	1.101
Geradores (120 kVA + 100 kVA) <sup>(2)</sup>	550	550	900
Outros <sup>(3)</sup>	370	370	381
Total (Módulo Energia)	920	920	1.281
Sistema de aeração	0	415	415
Outros <sup>(4)</sup>	0	353	353
Total (Módulo N)	0	768	768
Equipamentos	0	209	209
Outros <sup>(5)</sup>	0	339	339
Total (Módulo P)	0	548	548
Total	2.165	3.253	3.696
Total (R\$ por matriz)	343	516	586

<sup>(1)</sup>Peneira e casa de sólidos, aquecimento da biomassa, controladores de vazão, tubulações e projeto.

<sup>(2)</sup>No projeto-piloto, considera-se um gerador de 330 kVA e outro de 100 kVA.

<sup>(3)</sup>Estrutura de alvenaria, transformador de 250 kVA, purificação do biogás e projeto.

<sup>(4)</sup>Estrutura de alvenaria, controlador de OD e pH, outros equipamentos e projeto.

<sup>(5)</sup>Estrutura de alvenaria, tubulação para corpo receptor e projeto.

valor de um projeto novo para a escala estudada possa ser de R\$ 3,25 milhões ou R\$ 516 por matriz instalada (64% para o módulo BIO, 21% para o módulo N e 15% para o módulo P). Esse valor impacta em 10% a 15% o investimento inicial em instalações e equipamentos de uma granja produtora de leitões desmamados. Um projeto novo apenas com a instalação do módulo BIO e de geradores de energia teria um valor de investimento estimado em R\$ 2,16 milhões ou R\$ 343 por matriz instalada, com um impacto de 5% a 6% no investimento na granja.

O Sistrates apresenta maior consumo de energia elétrica, de insumos químicos (antiespumante na partida do sistema e principalmente cal hidratada) e de *bags* para deságue de lodo (Tabela 4) pelo fato de ser uma proposta de tratamento dos efluentes da suinocultura. Nos anos 2018 e 2019, utilizou-se a fertirrigação para aplicação em área agrícola de terceiros do efluente líquido do módulo P e dos lodos do CSTR e do módulo N ( $153 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ ). Após a renovação do licenciamento ambiental em 2020, iniciou-se o lançamento do efluente do módulo P no corpo receptor por meio de tubulações, reduzindo a zero a distribuição de efluente líquido. A exportação do lodo do módulo P está sendo validada e é uma meta do projeto em execução na URT.

Do ponto de vista do potencial de geração de coprodutos, a principal diferença é a menor disponibilidade de nutrientes para aplicação em áreas agrícolas e a possibilidade de reúso dos efluentes. A produção de biogás e de energia elétrica é a mesma, de 40 MW por mês<sup>5</sup>, entretanto, como o consumo de energia elétrica nos módulos N e P do Sistrates é significativamente maior do que o consumo no módulo BIO, há redução de cerca de 52% a 56% no excedente de energia elétrica (17 MW por mês).

---

<sup>5</sup> Apesar de não ser causado pela instalação dos módulos N e P, é importante destacar a baixa eficiência verificada na geração de energia elétrica, de aproximadamente  $1,2 \text{ kW m}^{-3}$  de biogás, cerca de 30% a 40% abaixo da eficiência preconizada pelos fabricantes de geradores.

**Tabela 4.** Uso de insumos e fatores de produção e potencial de geração de co-produtos por sistema de tratamento.

Insumo, fator e coproduto	Unidade	Biodigestores	Sistrates
Mão de obra <sup>(1)</sup>	Pessoas por mês	2 a 3	2
Serviço engenharia ambiental	Dias por mês	1	1
Consumo de energia elétrica <sup>(1)</sup>	MW por mês	2 a 5	23
Distribuição de lodos	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>	18	26
Distribuição de efluente líquido	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>	161	0 <sup>(2)</sup>
Exportação do lodo de P	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>	0	6 <sup>(3)</sup>
Antiespumante	L por ano	0	800
Cal hidratada	t por ano	0	30
Bags para deságue	Unidades por ano	0	25
Análises para licenciamento	Análises por ano	12	12
Manutenção	% sem investimento	5,0	5,0
Vida útil	Anos	15	15
NPK para aplicação <sup>(4)</sup>	t por ano	158	75
NPK para exportação <sup>(4)</sup>	t por ano	0	57
Água para reúso	mil m <sup>3</sup> por mês	0	4
Produção de biogás	mil m <sup>3</sup> por mês	33	33
Geração de energia elétrica	MW por mês	40	40

<sup>(1)</sup>O uso de fertirrigação para aplicação do efluente líquido implica uma pessoa a mais e maior consumo de energia elétrica.

<sup>(2)</sup>Em 2018 e 2019, foi de 153 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>, a partir de 2020 foi reduzido para 0 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>.

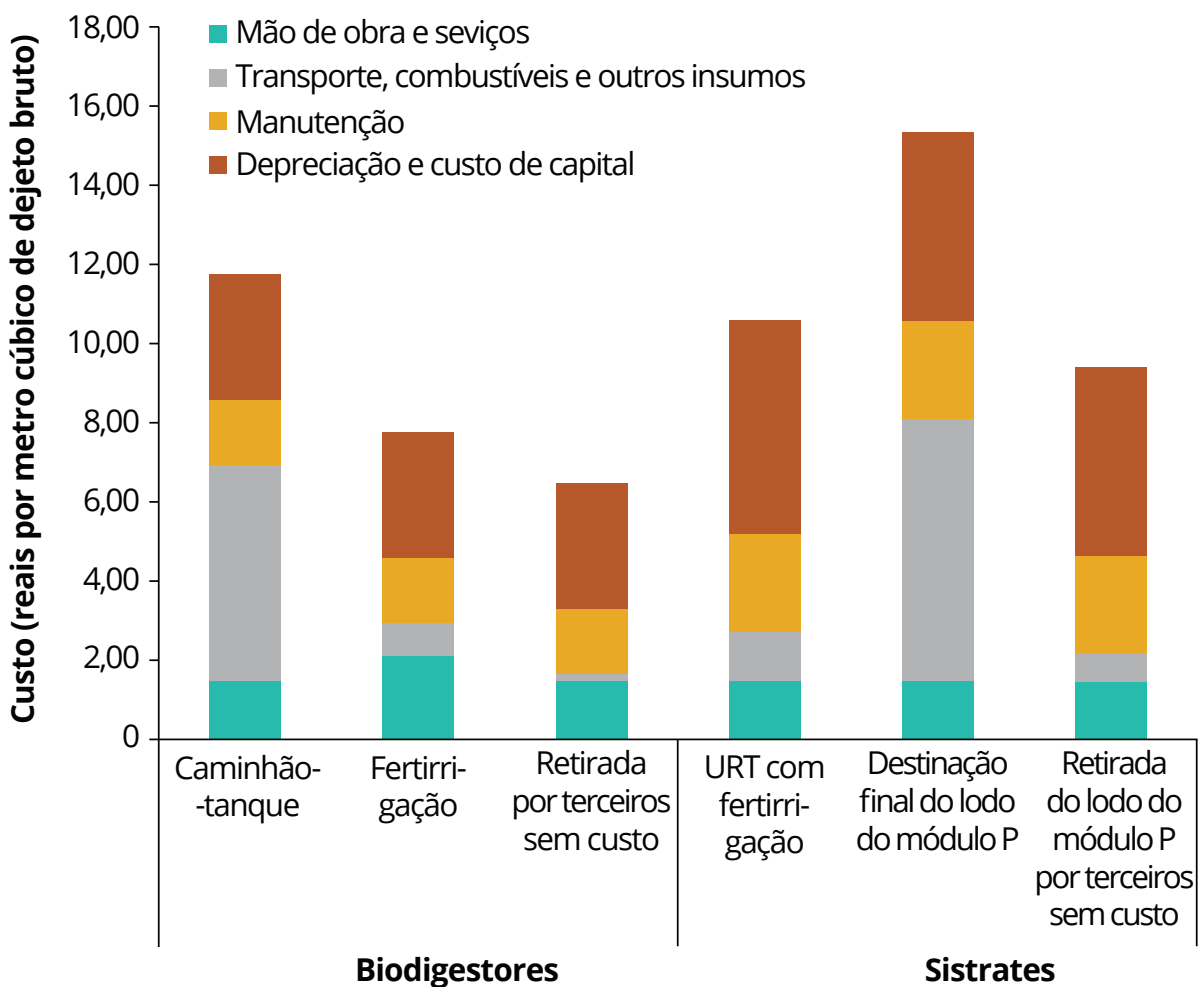
<sup>(3)</sup>A partir de 2020.

<sup>(4)</sup>Somatório de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e KCl disponível nos lodos e efluentes, com perdas de 60% de N e 0% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e KCl.



## Custos de tratamento e potencial de geração de valor

O custo do Sistrates instalado na URT em 2019 foi estimado em R\$ 58,2 mil por mês ou R\$ 10,55 por metro cúbico de dejetos bruto. Esse valor é composto essencialmente pelo custo de depreciação e de capital (51% do total) e pelas despesas de manutenção (23% do total), tendo em vista o maior valor do investimento nesse sistema (Figura 5). O custo da URT incluiu o uso de fertirrigação para o efluente do módulo P e para os lodos do CSTR e do módulo N e não considera a destinação final do lodo do módulo P, pelo fato de o projeto de validação ainda estar em execução.



**Figura 5.** Custos por sistema de tratamento e cenário de destinação de efluentes e lodos em 2019.

No cenário pessimista, no qual os efluentes líquidos são lançados em corpos receptores, mas o lodo do módulo P é destinado para aterro ou reciclagem a um custo de R\$ 180,00 por metro cúbico de lodo (Tabela 5), estima-se elevação de 456% no custo com transporte e combustíveis e de 55% no custo total do tratamento em relação à URT.

**Tabela 5.** Preços e valores de mercado em 2019.

Item	Unidade	R\$ por unidade
Mão de obra (inclui encargos e provisões)	Salário	3.435,89
Serviço de engenharia ambiental	Diária	1.530,00
Energia elétrica	kWh	0,55
Distribuição com fertirrigação sem mão de obra	m <sup>3</sup>	0,70
Distribuição com fertirrigação com mão de obra	m <sup>3</sup>	1,50
Distribuição com caminhão-tanque sem mão de obra <sup>(1)</sup>	m <sup>3</sup>	5,33
Distribuição com caminhão-tanque com mão de obra <sup>(1)</sup>	m <sup>3</sup>	6,13
Transporte do lodo de P (100 km)	m <sup>3</sup>	40,00
Destinação final do lodo de P (100 km)	m <sup>3</sup>	180,00
Antiespumante	L	4,22
Cal hidratada	t	477,00
Bags de secagem	Unidade	400,00
Análises para licenciamento ambiental	Mês	790,00
Juros sobre capital	% ao ano	5,00
Ureia	t	1.540,00
Superfosfato triplo	t	1.880,00
Cloreto de potássio	t	1.880,00
Fósforo (25% umidade, retirado na granja)	t	450,00
Água para reúso <sup>(2)</sup>	m <sup>3</sup>	0,31

<sup>(1)</sup>Transporte de 1,5 carga de 15 m<sup>3</sup> por hora a um custo de R\$ 120,00 por hora.

<sup>(2)</sup>Custo para suprimento de água com um poço tubular profundo.

No cenário otimista, no qual os efluentes líquidos são lançados em corpos receptores e é viabilizada a retirada do lodo do módulo P por terceiros sem custo para a granja, estima-se redução de 44% no custo com transporte e combustíveis e de 5% no custo total do tratamento em relação à URT<sup>6</sup>. Essa premissa foi adotada porque se estimou que o custo para agregação de valor ao lodo do módulo P (secagem ou compostagem) seja equivalente ao seu potencial de receita de R\$ 450,00 por tonelada (Tabela 5).

O custo do módulo BIO com geradores instalados na URT e posterior aplicação de lodos e efluentes com fertirrigação em áreas de terceiros, em 2019, foi estimado em R\$ 42,9 mil por mês ou R\$ 7,77 por metro cúbico de dejetos bruto (Figura 5 e Tabela 6). Esse valor é composto essencialmente pelo custo de depreciação e de capital (41% do total) e pelas despesas com mão de obra (28% do total) e manutenção (21% do total). Apesar da necessidade de distribuição de 179 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> de efluentes e lodos, as despesas com transporte e combustíveis foram apenas 11% do custo total, devido ao reduzido custo da fertirrigação, de R\$ 0,70 por metro cúbico sem mão de obra e R\$ 1,50 por metro cúbico com mão de obra (Tabela 5). Essa era a situação prévia à instalação dos módulos N e P e deve ser considerada a linha de base para análises comparativas com o Sistrates.

No cenário com uso de caminhão-tanque ao custo de R\$ 5,33 por metro cúbico sem mão de obra e de R\$ 6,13 por metro cúbico com mão de obra (Tabela 5), estima-se uma elevação de 549% no custo com transporte e combustíveis e de 55% no custo total do tratamento em relação à fertirrigação. Nesse cenário, as despesas com transporte representam 46% do custo total. No cenário no qual terceiros com área agrícola retiraram os lodos e efluentes sem custo para o suinocultor, estima-se uma redução de 17% no custo total do tratamento em relação à fertirrigação. Os custos nesse cenário são semelhantes aos da fertirrigação apenas por não haver despesas com transporte e combustíveis.

---

<sup>6</sup> As diferenças entre as estimativas dos custos da URT na Granja São Roque e as estimativas dos custos nos cenários conservador e otimista consideraram o valor do investimento inicial para um projeto novo (Tabela 3).

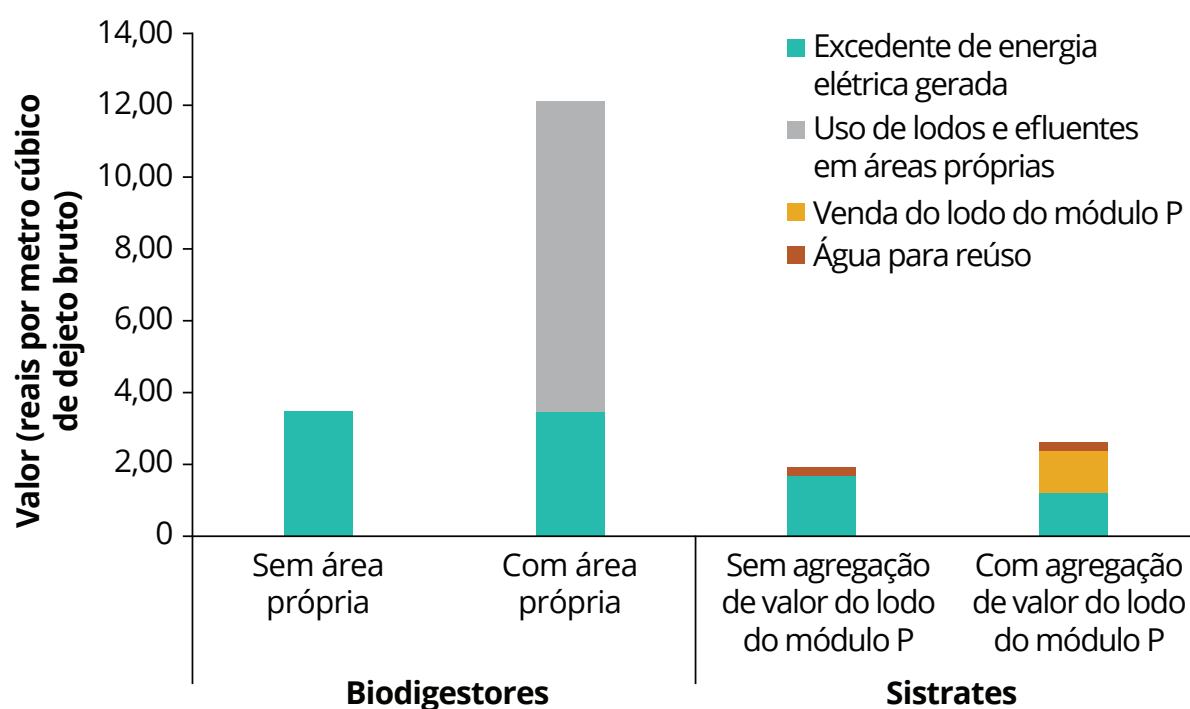
**Tabela 6.** Custos por sistema de tratamento e cenário de destinação de efluentes e lodos em 2019 (R\$ mil por mês e R\$ por metro cúbico de dejetos bruto).

Item de custo	Biodigestor			Sistrates		
	Caminhão-tanque	Fertirrigação	Retirada por terceiros sem custo	URT com fertirrigação sem custo com o lodo do módulo P	Destinação final do lodo do módulo P	Retirada do lodo do módulo P por terceiros sem custo
R\$ mil por mês						
Mão de obra e serviços	8,40	11,84	8,40	8,40	8,40	8,40
Transporte, combustíveis e insumos <sup>(1)</sup>	29,96	4,62	0,79	6,57	36,50	3,65
Manutenção	9,02	9,02	9,02	13,56	13,56	13,56
Depreciação e custo de capital <sup>(2)</sup>	17,38	17,38	17,38	29,68	26,12	26,12
<b>Total</b>	<b>64,75</b>	<b>42,85</b>	<b>35,59</b>	<b>58,20</b>	<b>84,58</b>	<b>51,73</b>
R\$ por metro cúbico de dejetos bruto						
Mão de obra e serviços	1,52	2,15	1,52	1,52	1,52	1,52
Transporte, combustíveis e insumos <sup>(1)</sup>	5,43	0,84	0,14	1,19	6,62	0,66
Manutenção	1,64	1,64	1,64	2,46	2,46	2,46
Depreciação e custo de capital <sup>(2)</sup>	3,15	3,15	3,15	5,38	4,74	4,74
<b>Total</b>	<b>11,74</b>	<b>7,77</b>	<b>6,45</b>	<b>10,55</b>	<b>15,34</b>	<b>9,38</b>

<sup>(1)</sup>O uso de energia elétrica foi contabilizado na redução do excedente de energia gerado, sendo seu custo igual a zero.

<sup>(2)</sup>Depreciação e custo de capital de um projeto novo, redução de 12% em relação ao projeto-piloto.

A principal fonte de geração de valor a partir dos dejetos da suinocultura, assim como dos lodos e efluentes de biodigestores, é o seu uso para adubação orgânica, que gera um benefício pela redução das despesas com adubação química de R\$ 8,64 a R\$ 12,19 por metro cúbico de dejetos bruto, dependendo das perdas de N por volatilização e dos preços dos fertilizantes (Tabela 5). Entretanto, essa possibilidade requer que a granja de suínos disponha de área agrícola suficiente para absorver esses dejetos de forma sustentável (Figuras 4 e 6 e Tabela 7)<sup>7</sup>.



**Figura 6.** Potencial de geração de valor por sistema de tratamento e tipo de coproduto em 2019.

<sup>7</sup> No presente estudo, estipulou-se uma taxa de aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> por ano de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e perda de 60% do N por volatilização. Esses parâmetros apresentam elevada variabilidade entre diferentes regiões produtoras e até mesmo entre diferentes granjas de uma mesma região.

**Tabela 7.** Potencial de agregação de valor por sistema de tratamento, tipo de coproduto e cenário de uso dos efluentes e lodos, em 2019 (R\$ mil por mês e R\$ por metro cúbico de dejetos bruto).

Coproducto	Biodigestor		Sistrates	
	Sem área própria	Com área própria	Sem agregação de valor do lodo de P	Com agregação de valor do lodo de P
R\$ mil por mês				
Excedente de energia elétrica gerada <sup>(1)</sup>	19,03	19,03	9,13	6,38
Uso de lodos e efluentes em áreas próprias <sup>(2)</sup>	0	47,66	0	0
Venda do lodo do módulo P <sup>(2)</sup>	0	0	0	6,57
Água para reúso	0	0	1,29	1,29
<b>Total</b>	<b>19,03</b>	<b>66,69</b>	<b>10,42</b>	<b>14,24</b>
R\$ por metro cúbico de dejetos bruto				
Excedente de energia elétrica gerada <sup>(1)</sup>	3,45	3,45	1,66	1,16
Uso de lodos e efluentes em áreas próprias <sup>(2)</sup>	0,00	8,64	0,00	0,00
Venda do lodo do módulo P <sup>(2)</sup>	0,00	0,00	0,00	1,19
Água para reúso	0,00	0,00	0,23	0,23
<b>Total</b>	<b>3,45</b>	<b>12,09</b>	<b>1,89</b>	<b>2,58</b>

<sup>(1)</sup>Considerado o uso de fertirrigação, com redução de 3 MW por mês no excedente de energia.

<sup>(2)</sup>Perdas de 60% de N e 0% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e KCl no valor fertilizante de lodos e efluentes.

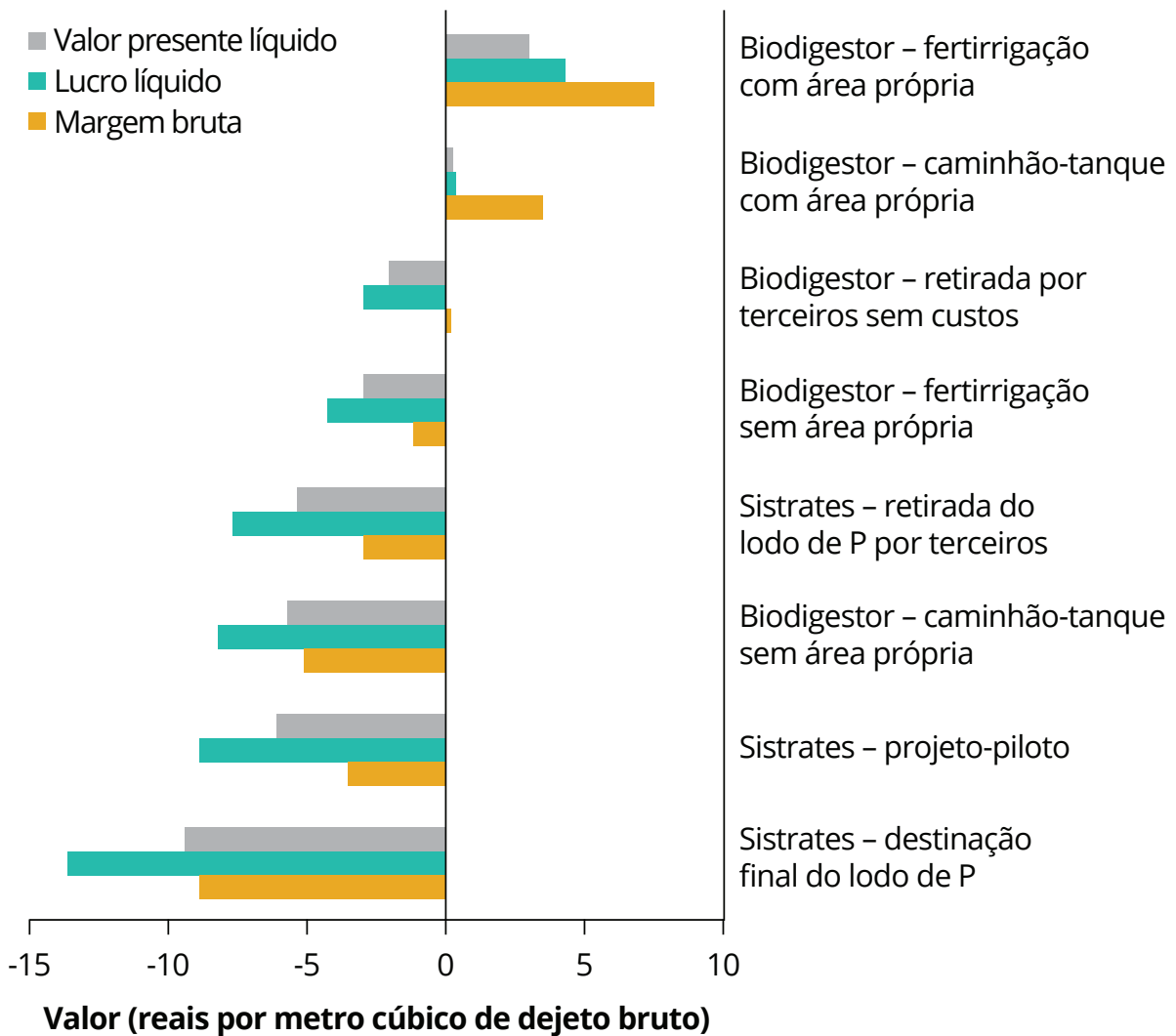
Quando não há disponibilidade de área agrícola, a principal fonte de geração de valor é a venda ou o uso do excedente de energia elétrica, estimado em R\$ 3,45 por metro cúbico de dejetos brutos no caso dos biodigestores e em R\$ 1,66 por metro cúbico no Sistrates<sup>8</sup> (Figura 6 e Tabela 7). O lodo do módulo de P também tem potencial de gerar valor pela sua venda, mas deve-se considerar o custo envolvido no seu beneficiamento (secagem ou compostagem) e no seu transporte. O reúso dos efluentes tratados pelo Sistrates também pode ser considerado um benefício econômico, porque reduz as despesas com poços tubulares profundos ou outras fontes. No entanto, seu impacto é pouco significativo diante da estrutura de preços verificada na agropecuária brasileira (Figura 6 e Tabelas 5 e 7).

### **Análise de viabilidade econômica dos tratamentos**

Os indicadores de viabilidade econômica são negativos nos cenários nos quais não há disponibilidade de área agrícola, tanto na tecnologia Sistrates quanto com o uso de biodigestores. Isso significa que a geração de valor com energia elétrica não é suficiente para cobrir as despesas do processo com mão de obra, transporte e combustíveis, insumos, serviços e manutenção ( $MB < 0$ ), ou para cobrir o custo total do processo, que é a soma das despesas, da depreciação e do custo de capital ( $LL < 0$ ), ou para cobrir o valor do investimento e das despesas ao longo da vida útil do projeto ( $VPL < 0$ ). A pior situação ocorre no cenário pessimista do Sistrates. Os resultados verificados na URT no período de 2018 e 2019 e estimados para o cenário otimista do Sistrates são significativamente melhores do que o cenário pessimista e semelhantes ao cenário de biodigestores com uso de caminhão-tanque sem disponibilidade de área agrícola (Figura 7 e Tabelas 8 e 9).

---

<sup>8</sup> Esse valor pode quase duplicar com o aumento da eficiência dos geradores para 1,7 kW m<sup>-3</sup> de biogás, que é o padrão mínimo sugerido pelos fabricantes de equipamentos.



**Figura 7.** Margem bruta, lucro líquido e valor presente líquido por sistema de tratamento e cenário de destinação de efluentes e lodos em 2019.

O cenário com o uso de fertirrigação sem disponibilidade de área, que era a situação da Granja São Roque antes da instalação dos módulos N e P, também apresentou indicadores negativos, mas melhores do que os cenários anteriormente descritos e ligeiramente piores do que o cenário no qual a granja não dispunha de área agrícola, mas terceiros retiravam os lodos e efluentes sem custo para o suinocultor (neste último caso, a margem bruta foi positiva, mas próxima de zero). Os únicos cenários com viabilidade econômica são aqueles nos quais a granja dispõe



**Tabela 8.** Custos, geração de valor, margem bruta e lucro líquido por sistema de tratamento e cenário de destinação de efluentes e lodos em 2019 (R\$ por metro cúbico de dejetos bruto).

Cenário	Despesa (a)	Depreciação e custo de capital (b)	Custo total (c = a + b)	Geração de valor <sup>(1)</sup> (d)	Margem bruta (e = d - a)	Lucro líquido (f = d - c)
Sistrates – destinação final do lodo do módulo P para aterro ou reciclagem	-10,60	-4,74	-15,34	1,66	-8,95	-13,68
Sistrates – projeto-piloto na URT (sem custo de destinação do lodo do módulo P)	-5,17	-5,38	-10,55	1,66	-3,52	-8,90
Biodigestores – sem área própria e caminhão-tanque	-8,59	-3,15	-11,74	3,45	-5,14	-8,29
Sistrates – retirada do lodo do módulo P por terceiros sem custo (ou custo de transporte = receita da venda)	-4,64	-4,74	-9,38	1,66	-2,99	-7,72
Biodigestores – sem área própria e fertirrigação <sup>(2)</sup>	-4,62	-3,15	-7,77	3,45	-1,17	-4,32
Biodigestores – sem área própria, mas retirada por terceiros sem custos	-3,30	-3,15	-6,45	3,45	0,15	-3,00
Biodigestores – com área própria e caminhão-tanque	-8,59	-3,15	-11,74	12,09	3,50	0,35
Biodigestores – com área própria e fertirrigação	-4,62	-3,15	-7,77	12,09	7,47	4,32

<sup>(1)</sup>Não incluído o valor do reúso de água.

<sup>(2)</sup>Linha de base (situação anterior à instalação dos módulos N e P).

**Tabela 9.** Investimento inicial, entradas líquidas de caixa (ou margem bruta) e valor presente líquido por sistema de tratamento e cenário de destinação de efluentes e lodos em 2019.

Cenário	Investimento inicial (R\$ mil)	Entrada líquida de caixa <sup>(1)</sup> (R\$ mil por ano)	Valor presente líquido (R\$ mil)	Valor presente líquido (R\$ por metro cúbico)
Sistrates – destinação final do lodo do módulo P para aterro ou reciclagem	-3.253	-592	-9.397	-9,47
Sistrates – projeto-piloto na URT (sem custo de destinação do lodo do módulo P)	-3.696	-233	-6.112	-6,16
Biodigestores – sem área própria e caminhão-tanque	-2.165	-340	-5.695	-5,74
Sistrates – retirada do lodo do módulo P por terceiros sem custo (ou custo de transporte = receita da venda)	-3.253	-198	-5.306	-5,35
Biodigestores – sem área própria e fertirrigação <sup>(2)</sup>	-2.165	-77	-2.967	-2,99
Biodigestores – sem área própria, mas retirada por terceiros sem custos	-2.165	10	-2.062	-2,08
Biodigestores – com área própria e caminhão-tanque	-2.165	232	242	0,24
Biodigestores – com área própria e fertirrigação	-2.165	495	2.970	2,99

<sup>(1)</sup>A margem bruta representa as entradas líquidas de caixa. Não foi incluído o valor do reúso de água.

<sup>(2)</sup>Linha de base (situação anterior à instalação dos módulos N e P).

de área agrícola, beneficiando-se não apenas do excedente de energia elétrica, mas do valor do fertilizante dos lodos e efluentes. Entretanto, o uso de caminhão-tanque apresenta lucro líquido e valor presente líquido próximos de zero.

O cenário otimista para o Sistrates, no qual ocorre a exportação do lodo do módulo P sem custos (ou se seu custo de secagem, compostagem ou transporte for igual ao seu preço de venda), torna-se viável em relação ao uso de biodigestores sem disponibilidade de área agrícola quando os custos de transporte de lodos e efluentes forem de R\$ 4,76 por metro cúbico (ou R\$ 5,56 por metro cúbico com custo de mão de obra). No caso do cenário pessimista, com custos para destinação final do lodo do módulo P, o custo de transporte que viabiliza o tratamento em relação aos biodigestores é de R\$ 10,77 por metro cúbico (ou R\$ 11,57 por metro cúbico com custo de mão de obra).

Do ponto de vista da geração de coprodutos, além da necessidade de ampliar a eficiência de geração de energia para redução da margem bruta negativa verificada no Sistrates<sup>9</sup>, entende-se que a disponibilidade de água para reúso ou a agregação de valor no lodo do módulo P dificilmente podem tornar o tratamento viável ante a linha de base (biodigestores com uso de fertirrigação em áreas de terceiros). De fato, para isso ocorrer, o custo da água na granja deveria ser superior a R\$ 4,51 por metro cúbico no cenário otimista e R\$ 12,39 por metro cúbico no cenário pessimista. Da mesma forma, o lodo do fósforo com umidade de 25% deveria apresentar um preço de R\$ 1.715,74 por tonelada. Esses são valores muito superiores ao atual custo com poços tubulares profundos ou ao preço da matéria-prima das fábricas de adubo ou de compostagem (Tabela 5).

---

<sup>9</sup> A geração de energia elétrica minimamente viável para biodigestores deveria ser 30% a mais do que o verificado na URT ou corresponder a 1,6 kW m<sup>-3</sup> de biogás. Nessa situação, o investimento em biodigestores e geradores é compensado pelo excedente de energia elétrica.

## Considerações finais

O uso de arranjos tecnológicos como o Sistrates se justifica quando se leva em conta um novo cenário da suinocultura brasileira em que há aumento de escala e redução de área agrícola disponível na granja ou no seu entorno, o que tem elevado os custos com transporte e exportação dos nutrientes.

O seu desempenho técnico garante um alto nível de tratabilidade dos dejetos e permite que estabelecimentos suinícolas sem área suficiente para disposição dos efluentes líquidos e lodos possam reduzir não somente sua dependência de áreas agrícolas de terceiros, mas também os respectivos custos com transporte e aplicação.

Além disso, o reúso da água na própria granja ou o consórcio com outras atividades como a piscicultura constituem vantagens do processo ao racionalizar o uso dos recursos hídricos, diminuindo a pressão e a necessidade de captação de água de boa qualidade próximo aos mananciais.

Por sua vez, a presente análise descreve as limitações econômicas à adoção de sistemas de tratamento, pois os coprodutos como a geração de excedentes de energia elétrica, assim como as possibilidades de valoração dos lodos ricos em fósforo e do reúso de água, não são suficientes para arcar com os custos operacionais relacionados ao alto investimento inicial, como depreciação e custo de capital. Dessa forma, o Sistrates deve ser preconizado para granjas sem áreas agrícolas próprias ou com elevado custo de transporte dos dejetos ou efluentes da biodigestão.

## Referências

BORTOLOI, M.; KUNZ, A.; DE PRÁ, M. C.; SILVA, M. L. B.; CÉ, A.; SOARES, H. M. Simultaneous removal of nitrogen and organic carbon from swine wastewater using the pre-denitrification/nitrification process. **Revista Ambiente e Água**, v. 14, n. 2, p. 1-10, Mar. 2019. DOI: [10.4136/ambi-agua.2241](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2241).

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução nº 8 de 30 de janeiro de 2015. **Diário Oficial da União**, 2 fev. 2015. Seção 1, edição 22, p. 10.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (Brasil). **Resolução Conama nº 430 de 13 de maio de 2011**. Diário Oficial da União, 15 maio 2011. nº 92, p. 89. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 20 maio 2020.

GALESNE, A.; FENSTERSEIFER, J. E.; LAMB, R. **Decisões de investimentos da empresa**. São Paulo: Atlas, 1999. 295 p.

GUIDUCCI, R. do C. N.; LIMA FILHO, J. R. de; MOTA, M. M. (ed.). **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários: metodologia e estudos de caso**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 535 p.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE (SANTA CATARINA). **Instrução Normativa nº 11 Suinocultura, 2014**. Disponível em: <http://www.ima.sc.gov.br/index.php/licenciamento/instrucoes-normativas>. Acesso em: 20 maio 2020.

KUNZ, A.; ALBINO, J. J.; BORTOLI, M.; MIELE, M. **Sistrate: suinocultura com sustentabilidade ambiental e geração de renda**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. 1 Folder.

KUNZ, A.; MIELE, M.; STEINMETZ, R. L. R. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 22, p. 5485-5489, 2009. DOI: [10.1016/j.biortech.2008.10.039](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.10.039).

MANUAL de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.

MIELE, M. **A Suinocultura no Brasil e as Tecnologias no Âmbito do Plano ABC**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2017 (Comunicado técnico, 549).

MIELE, M.; KUNZ, A.; CORREA, J. C.; BORTOLI, M.; STEINMETZ, R. Impacto econômico de um sistema de tratamento dos efluentes de biodigestores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 40., 2011, Cuiabá. **Anais** [...]. Cuiabá: Sbea, 2011. 1 CD-ROM.

MIELE, M.; SILVA, M. L. B. da; NICOLOSO, R.; CORREA, J. C.; HIGARASHI, M. M.; KUNZ, A.; SANDI, A. J. Tratamento dos efluentes de usinas de biogás. **Revista de Política Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 31-46, 2015.

SUZIN, L.; ANTES, F. G.; BEDENDO, G. C., BORTOLI, M.; KUNZ, A. Chemical removal of phosphorus from swine effluent: the impact of previous effluent treatment technologies on process efficiency. **Water Air Soil Pollut**, Article number 341, p. 1-9, 2018. DOI: [10.1007/s11270-018-4018-4](https://doi.org/10.1007/s11270-018-4018-4).