

## **XI-1394 – ASPECTOS OPERACIONAIS DE UM SISTEMA DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DA FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

### **Fernanda Peixoto Manéo<sup>(1)</sup>**

Engenheira Agrônoma pela Faculdade Integrada Cantareira. Mestre em Gestão Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Doutoranda pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Pesquisadora Assistente do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

### **Claudia Echevengúá Teixeira<sup>(2)</sup>**

Bióloga pela Universidade de Caxias do Sul, Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas e Doutora em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade de Sherbooke. Pós-doutorado pela Universidade do Estado do Arizona. Pesquisadora no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT).

### **Letícia dos Santos Macedo<sup>(3)</sup>**

Tecnóloga Sanitarista e Ambiental pela Universidade de Campinas (UNICAMP). Mestre em Gestão Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP). Pesquisadora Assistente do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

### **Camila Camolesi Guimarães<sup>(4)</sup>**

Gestora ambiental pela Universidade de São Paulo (USP). Mestre em Ciência Ambiental pelo Instituto de Energia e Ambiente (IEE/USP). Pesquisadora Assistente do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

### **Felipe Correia de Souza Pereira Gomes<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade FUMEC. Mestre em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto. Assessor Parlamentar da Deputada Federal Duda Salabert, do Estado de Minas Gerais.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Professor Almeida Prado, 532 – Butantã – São Paulo – SP – CEP: 05508-901 – Brasil – Tel: (11) 3767-4251 – e-mail: fpeixoto@ipt.br

## **RESUMO**

A busca e aplicação de sistemas de tratamento e reaproveitamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil é fundamental visto a crescente quantidade gerada e a escassez de áreas disponíveis para a disposição final destes. A quantidade de resíduos tratados e reaproveitados atualmente no Brasil é irrelevante, sendo o tratamento da Fração Orgânica dos RSU (FORSU) ainda menor do que para os resíduos inertes, especialmente quando se trata de tratamento anaeróbico. Este estudo avaliou a eficiência de um sistema de tratamento anaeróbico de RSU em uma planta de biodigestão - escala piloto, instalada no Centro de Gerenciamento de Resíduos do município de Bertioga-SP. Os RSU obtidos da coleta regular em uma área amostral, foram encaminhados para um sistema de separação mecanizada, seguido pela triagem manual, realizada pela cooperativa de triagem do município. Os materiais inertes foram reaproveitados pela cooperativa, enquanto a FORSU foi encaminhada para a digestão anaeróbia no biodigestor. O material digerido, denominado de digestato, foi analisado quanto à contaminação química e biológica, assim como quanto à presença de materiais inertes. Para as contaminações química e biológica, o digestato não apresentou concentrações acima do indicado pela IN 07, (BRASIL, 2016), entretanto, este apresentou contaminação por materiais inertes, com concentrações de 5,5 % na massa total. Estas concentrações de materiais inertes inviabilizam a aplicação deste material na forma de biofertilizante, visto que a IN 07 indica uma concentração máxima de 0,5 %. Contudo, o digestato ainda pode ser reaproveitado na forma de recomposição de solo, paisagismo, obras de aterramento ou mesmo coprocessamento, reduzindo assim a massa de RSU destinados ao aterro. Para o reaproveitamento do digestato na forma de biofertilizante, o estudo indicou a necessidade de uma segregação mais criteriosa, sendo esta, preferencialmente, na fonte geradora, como pretende-se aplicar para os próximos estudos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biodigestão, tratamento anaeróbico, resíduos sólidos urbanos.

## INTRODUÇÃO

Conforme dados do SNIS (2020), estima-se que foram coletados, no ano de 2019, 65 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), sendo 59,5 % destinados adequadamente (aterro sanitário e outros), 23 % para aterro controlado e 17,5 % para lixões (ABRELPE, 2020). Considerando que 59 % dos RSU referem-se à Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (FORSU) (ABRELPE, 2020), estima-se que foram gerados 38 milhões de toneladas deste resíduo no Brasil.

Atualmente, o reaproveitamento da FORSU é muito pouco aplicado e estudado no Brasil, tanto o reaproveitamento/tratamento aeróbio, quanto o anaeróbio. Entretanto, mudanças significativas em relação ao tratamento e disposição de RSU no país são esperadas para os próximos anos, impulsionadas pela promulgação de marcos legais importantes do setor de resíduos, como a Política Nacional de Saneamento Básico – instituída na Lei nº 11.445, de 2007 (BRASIL, 2007); o novo marco legal do saneamento -Lei 14.026 de 2020 (BRASIL, 2020); e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), formalizada na Lei nº 12.305, de 2010, (BRASIL, 2010a), e posteriormente regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 2010 (BRASIL, 2010b).

No Brasil existem hoje algumas iniciativas de biodigestão da FORSU, com reaproveitamento energético, porém todas ainda em fase de implantação e/ou testes. Uma delas, instalada em escala piloto, já em operação, porém, em fase de testes, fez parte deste estudo (Figura 1).

**Figura 1 –Planta de biodigestão de FORSU utilizada para o estudo**



Um projeto realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), em conjunto com a Secretaria de Desenvolvimento, desenvolvido entre os anos de 2016 e 2020, visou à proposição de diferentes sistemas de gestão e tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). O projeto selecionou uma área amostral no município de Bertioga, com uma geração de aproximadamente 4,5 t/dia de RSU e, por meio de educação ambiental, a população foi orientada a segregar os resíduos em 03 frações: recicláveis, orgânicos (resto de alimentos) e rejeitos (sanitários). Foram instalados na área amostral, diversos dispositivos de descarte e o resíduo encaminhado para tratamento anaeróbio na planta de biodigestão instalada no Centro de Tratamento de Resíduos do Município de Bertioga.

Para esta aplicação de tratamento anaeróbio dos resíduos de Bertioga, como em qualquer tecnologia em desenvolvimento, foram detectados desafios na operação a serem superados assim como a necessidade constante de manutenções na planta para mantê-la em ciclos ininterruptos de operação e buscando-se a eficiência operacional da planta de biodigestão. Este estudo tem como objetivo a avaliação da operação da planta piloto de biodigestão da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos, almejando melhor desempenho e a otimização desse sistema, assim como da qualidade de seus subprodutos, sendo estes: o biogás, o inóculo e o digestato.

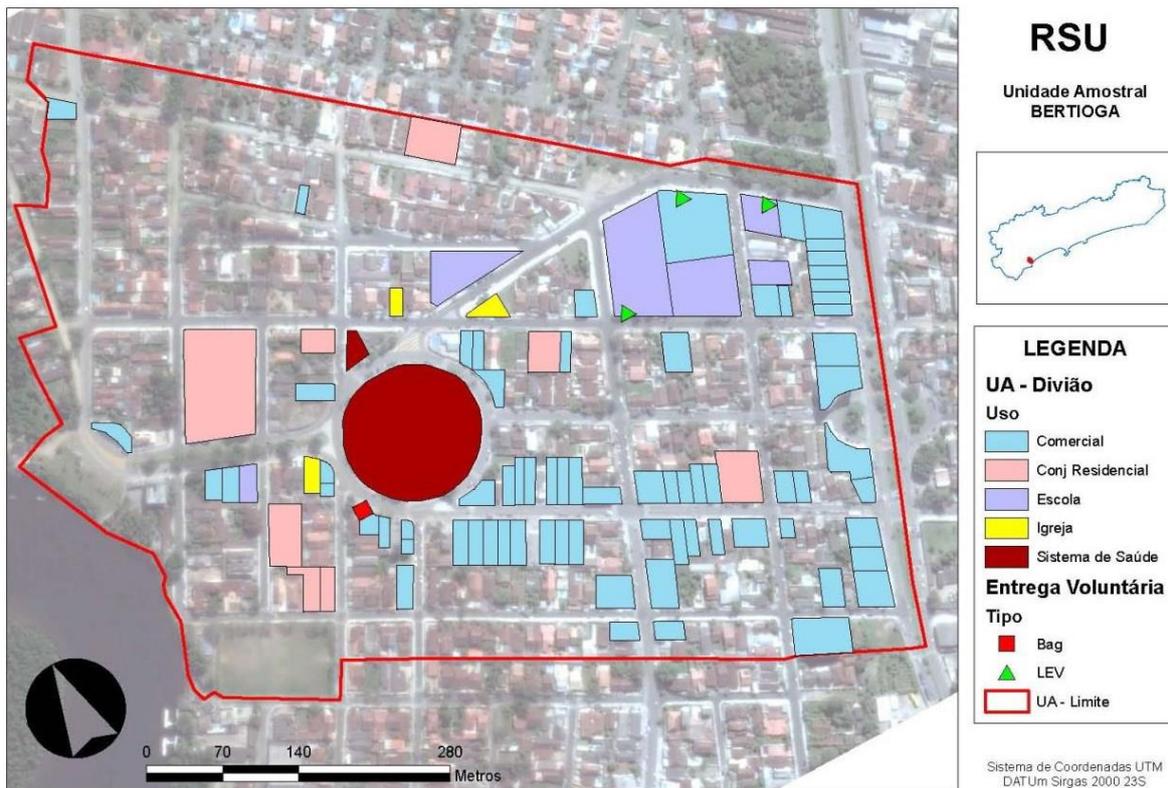
## MATERIAIS E MÉTODOS

O biodigestor foi instalado pelo Projeto denominado: Um Programa IPT de apoio às Prefeituras nas Decisões Relativas a Resíduos Sólidos Urbanos, posteriormente designado como projeto ReCiclos. A concepção técnica

do projeto teve como ênfase procedimentos de redução e segregação de resíduos na fonte, rotas de separação semi-mecanizada, biodigestão anaeróbia e tratamento térmico com geração de energia, de forma a criar um sistema integrado de gerenciamento de resíduos.

Foi selecionada uma área amostral, que apresentava uma geração média de 2 toneladas de resíduos por dia, localizada na Vila Itapanhaú, bairro composto por 22 ruas, grande parte de uso residencial, com área em torno de 38 km<sup>2</sup> (Figura 2).

**Figura 2 – Mapa da unidade amostral e principais geradores**



Fonte: IPT, 2017

Foi realizada divulgação sobre o projeto para a população local e ações de educação ambiental com orientações sobre segregação dos resíduos. Foram instalados, na área amostral, contêineres de descarte segregados em 3 frações: resíduos orgânicos (contêineres marrons), rejeitos (contêineres pretos) e recicláveis (contêineres azuis) (Figura 3).

**Figura 3 – Contêiner de descarte de resíduos segregados em 3 frações: recicláveis, rejeito e orgânico**



Os resíduos coletados na área amostral, durante o projeto Reciclus, foram encaminhados para a Central de Tratamento de Resíduos de Bertioga, onde haviam sido instalados, pelo projeto, os sistemas de tratamento de resíduos, constituídos pelos seguintes equipamentos (Figura 4):

- Uma planta mecanizada de segregação de resíduos, com capacidade de operação de 3 t/dia;
- Uma unidade de biodigestão de FORSU, com capacidade de operação de 2 toneladas/dia, e
- Uma unidade de tratamento térmico (em escala laboratorial), com capacidade de tratamento de 5 kg/h.

**Figura 4 – Sistemas de tratamento instalados no Centro de Gerenciamento de Resíduos de Bertioga**



a) Sistema de segregação mecanizada



b) Biodigestor de resíduos orgânicos



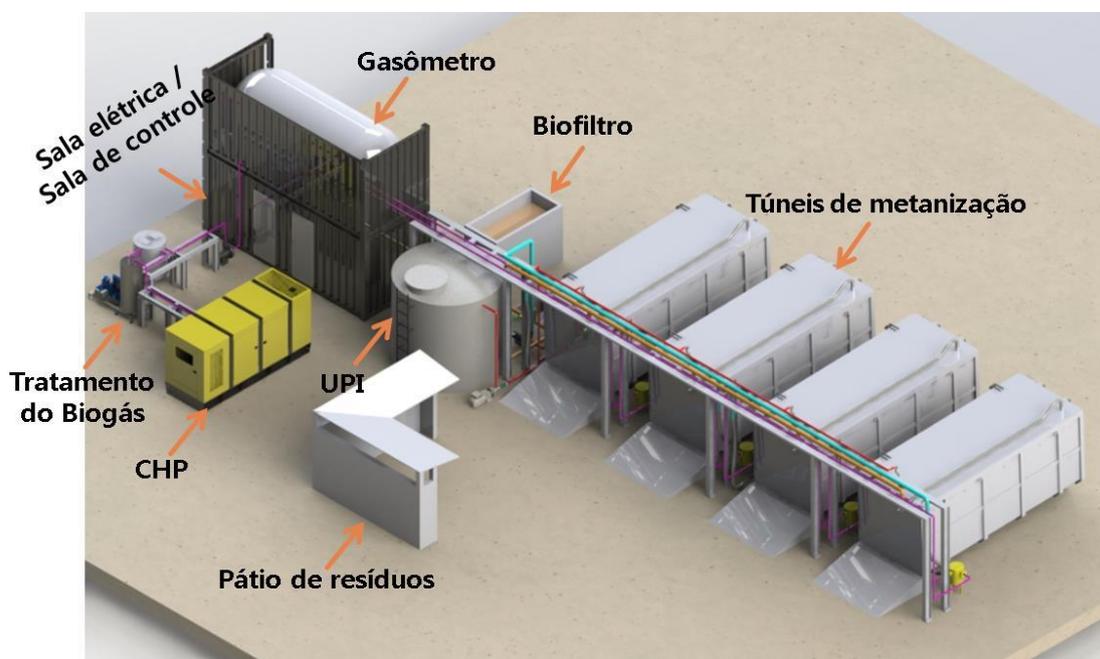
b) Tratamento térmico

O sistema de segregação mecanizada é constituído de um rasga sacos, um separador magnético, uma peneira rotativa (trommel) e esteiras transportadoras e elevadas para a realização da triagem manual pelos cooperados da Cooperativa de Triagem de Resíduos de Bertioga - Coopersubert. O Trommel possui malha de 80 mm e separa a FORSU dos materiais inertes, sendo este último seguindo na linha da separação mecanizada e triagem manual e a FORSU, encaminhada para a planta de biodigestão.

### **Planta de biodigestão de resíduos**

A planta de biodigestão de resíduos deste estudo possui capacidade de tratamento de 40 t/mês de FORSU e é constituída basicamente por 4 túneis de metanização e 1 Unidade de Produção de Inóculo (UPI) (Figura 5), todos com capacidade de geração de biogás, reaproveitamento energético e controle automatizado.

**Figura 5 – Planta de Biodigestão de Resíduos**



Cada túnel de metanização tem capacidade de tratamento de cerca de 14 toneladas de resíduos e, após serem preenchidos, estes são fechados hermeticamente, assegurando a contenção dos gases dentro da pressão de operação prevista. É possível a injeção de ar para o interior dos túneis de metanização, pela parte inferior, para promover um processo de digestão aeróbia, com conseqüente elevação da temperatura para faixas termofílicas antes do início do processo de metanização, e também para sanitização e secagem do resíduo estabilizado no final do processo.

O processo de operação da planta de biodigestão seguiu, basicamente, o seguinte passo a passo:

1. **Preenchimento dos túneis:** com uma massa que equivale a, aproximadamente 70 % de FORSU e 30 % de material estruturante, constituído por resíduo de poda triturado.
2. **Fase aeróbia:** com injeção de ar no interior do túnel e ativação da degradação aeróbia.
3. **Ativação metanogênica:** na qual inicia-se a fase anaeróbia, com a vedação do túnel e aspersão do inóculo, que contém alta concentração de microorganismos.
4. **Fase metanogênica:** na qual a aspersão do inóculo é reduzida e segue-se com o processo da degradação anaeróbia e produção do biogás. Esta fase é finalizada quando a produção do biogás entra em decaimento, seguindo-se para a despressurização do túnel e secagem do material por injeção de ar.

Este estudo avaliou a eficiência da operação mais recente da planta e, após o descarregamento dos túneis, o material foi peneirado em malha de 20 mm e o passante foi encaminhado para análises físico-químicas e biológicas, para avaliação quanto à possibilidade do reaproveitamento na forma de biofertilizante, conforme apresentado na Tabela 1. O material retido na peneira foi descartado e encaminhado para o aterro. As análises realizadas em cada um dos materiais descritos abaixo, foram conforme apresentado na Tabela 1.

- Inóculo: efluente gerado durante o processo de metanização e encaminhado para a UPI;
- Digestato: material resultante do tratamento do substrato; e
- Biogás gerado durante todo o processo, sua composição e volume.

**Tabela 1 – Controle de qualidade do processo de metanização**

Parâmetros	Matrizes	Metodologia
Composição física e gravimétrica	S e C	NBR/ABNT 10.007/2004; ASTM, D523/2016, IPT/CEMPRE, 2018
Teor de umidade	S, I e D	NBR 6457, ABNT, 1986; Embrapa, 2009
Teor de matéria orgânica e voláteis	S, I e D	NBR 13600 – ABNT, 1996; Embrapa, 2009
pH	I	LIMA, 2004
Determinação de alcalinidade	I	SMEWW 2320
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	I	JIRKA, A.M.; CARTER, M.J., Analytical Chemistry, 1975
Sólidos totais, suspensos e dissolvidos	I	Carvalho et.al. 2000. Guy, H. P., 1969
Contaminação química*	D	ICP-OES EPA Method 3051-A: 2007
Contaminação biológica**	D	Farmacopeia Brasileira – 6ª edição (2019) e Portaria MS 1480/90 e European Pharmacopeia
Contaminação por materiais inertes***	D	NBR/ABNT 10.007/2004; ASTM, D523/2016, IPT/CEMPRE, 2018

S = Substrato; I = Inóculo e D = Digestato.

\* lista de compostos: antimônio, arsênio; bário; boro; cádmio; chumbo; cobalto; cobre; cromo total; cromo hexavalente; mercúrio; molibdênio; níquel; nitrato como n; prata; selênio e zinco

\*\*Contagem de coliforme termotolerantes, Salmonella sp. E ovos viáveis de helmintos

\*\*\*Determinação da composição física a gravimétrica

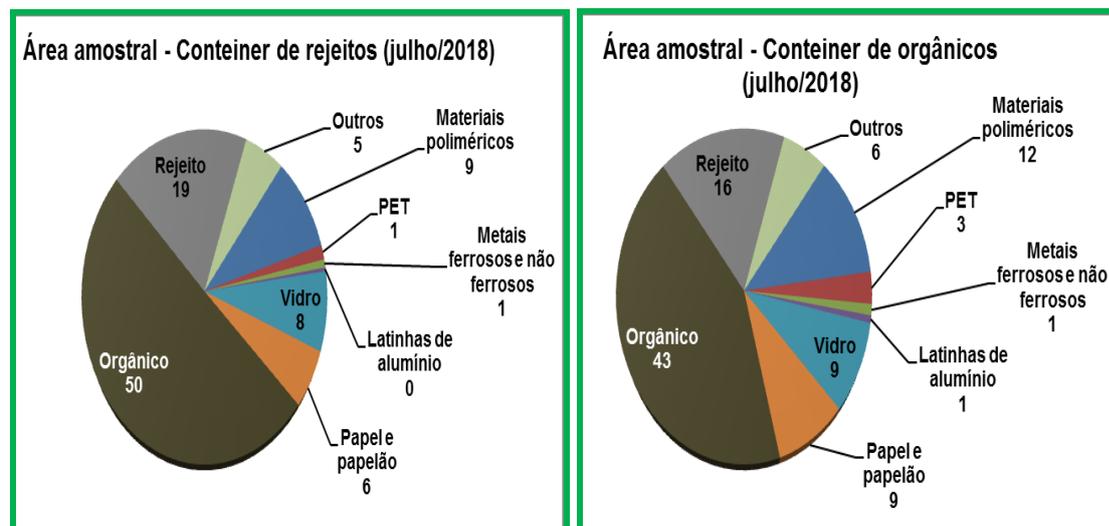
Quanto as análises do biogás, realizadas diariamente durante a operação, esta é determinada por meio de leitores automáticos já instalados na UPI e em cada túnel de metanização individualmente. Os parâmetros monitorados são o CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, assim como o volume total de biogás.

Para a análise da qualidade do digestato, os resultados foram comparados com a IN SDA n° 7/2016 (BRASIL,2016) que estabelece diretrizes para aplicação de compostos orgânicos na forma de biofertilizante.

## RESULTADOS

Para os resíduos coletados nos contêineres de rejeitos e orgânicos da área amostral, conforme pode ser observado na Figura 6, estes apresentaram praticamente a mesma composição, portanto, ao chegar no transbordo, as duas coletas passaram pela segregação semi-mecanizada, sendo a FORSU encaminhada para o biodigestor.

**Figura 6 – Composição física e gravimétrica dos resíduos da área amostral**



Após a separação mecanizada, o material que era descartada pelo trommel, e encaminhado para o tratamento anaeróbio nos túneis de metanização, ainda apresentavam em sua constituição, presença considerável de

materiais inertes. Portanto, para os primeiros ciclos de operação, foram realizados testes de aplicação dos resíduos inertes como fonte de material estruturante. Entretanto, foi observada extrema compactação do material durante o processo de metanização, indicando que este resíduo não apresentou eficiência como material estruturante. Outra alteração realizada no decorrer do processo foi o acréscimo de FORSU, já segregado na fonte, proveniente de grande gerador. Isto agilizou o processo, promovendo maior eficiência no abastecimento dos túneis de metanização. Portanto, durante o processo, entre um ciclo de operação e outro, foram sendo realizadas melhorias na operação, chegando ao material utilizado como base deste estudo, constituído por 70 % de FORSU, provenientes da área amostral e de grande gerador, misturado à 30 % de resíduo de poda triturado, disponibilizado por uma associação de beneficiamento de resíduos de poda da Riviera de São Lourenço. A Tabela 02 apresenta o detalhamento do último ciclo de operação do biodigestor, antes deste ser desligado, em março de 2019, por conta da COVID-19.

**Tabela 2 –Detalhes do mais recente ciclo de operação do biodigestor**

Túnel n°	Ciclo n°	FORSU			Material estruturante			Massa total (kg)	Dias de operação
		Origem	Kg	%	Origem	kg	%		
1	5	Área amostral e GG	12.790	73	Associação de BRP	4.650	27	17.440	91
2	4	Área amostral e GG	15.256	69	Associação de BRP	6.943	31	22.199	126
3	2	Área amostral	9.776	80	Associação de BRP	2.398	20	12.174	170
4	3	Área amostral e GG	8.378	68	Associação de BRP	4.015	32	12.393	160

GG =Grande Gerador; BRP =Beneficiamento de Resíduos de Poda

A Tabela 3 apresenta as leituras da composição e do volume de biogás gerado durante a operação, na UPI e em cada túnel de metanização, com a média da porcentagem de concentração de cada substância analisada, assim como a concentração máxima atingida.

**Tabela 3 –Controle de qualidade do processo de metanização**

Túneis	Produção acumulada de biogás (m³)	Produtividade de biogás diária (m³/dia)	Concentração média (%)			Concentração máxima atingida (%)		
			CH4	CO2	O2	CH4	CO2	O2
1	73,91	0,81	14	19	12	35	41	19
2	13,25	0,105	20	20	10	44	40	19
3	187,32	1,10	8	11	13	43	42	18
4	0,75	0,01	3	7	13	27	42	19
UPI	247,43	1,41	59	23	3	86	25	12

Com a interrupção da operação, por conta do COVID-19, o material tratado (digestato), permaneceu no interior dos túneis de metanização, em processo de degradação natural, por 24 meses e, após esse período, estes foram peneirados em malha de 20 mm e encaminhados para análises quanto à contaminação físico-químicas e biológica. Quanto à contaminação biológica, conforme pode ser observado na Tabela 4, as análises realizadas não apresentaram concentrações acima dos limites indicados pela Instrução Normativa n° 07/2016 (BRASI, 2016). Quanto à contaminação por materiais inertes, mesmo após o peneiramento em malha de 20 mm, o digestato ainda apresentou 5,5 % de materiais inertes, com concentrações acima do indicado pela IN SDA n° 07.

**Tabela 4 –Contaminações biológicas e por materiais inertes no digestato**

Parâmetros analisados	Unidade	Resultado	VMP*
Coliforme Termotolerantes	NMP/g	0	1.000
Salmonella sp.	NMP/10g	Ausente	Ausência
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0	1,0
Teor de umidade	%	18,92	-
Material orgânico	%	94,47	-
Material inerte	%	5,53	-
Material orgânico passante em malha de 2 mm	%	99,97	-
Material inerte passante em malha de 2 mm	%	0,024	0,5

\*IN 07, (BRASIL, 2016).

A Tabela 5 apresenta as concentrações químicas apresentadas no digestato e, conforme pode ser observado, estas não ultrapassaram os limites indicados pela IN 07/2016 (BRASIL, 2016), e nem para os Valores Orientadores de Referência (VOR) indicados pela Decisão de Diretoria nº 125, (CETESB, 2021), para nenhum dos compostos analisados.

**Tabela 5 – Concentrações de compostos inorgânicos na amostra de digestato**

Composto	Resultados (mg/kg)	LD (mg/kg)	IN 07/2016	VOR Agrícola
<b>Antimônio Total</b>	<	0,16	-	5
<b>Arsênio Total</b>	2,43	0,17	20	35
<b>Bário Total</b>	36,41	0,12	-	500
<b>Boro Total</b>	11,39	0,97	-	-
<b>Cádmio Total</b>	2,14	0,03	3	3,6
<b>Chumbo Total</b>	7,79	0,19	150	150
<b>Cobalto Total</b>	1,27	0,09	-	35
<b>Cobre Total</b>	58,41	0,12	-	760
<b>Cromo Total</b>	9,15	0,82	-	150
<b>Mercurio Total</b>	<	0,004	1	1,2
<b>Molibdênio Total</b>	<	0,78	-	11
<b>Níquel Total</b>	7,2	0,13	70	190
<b>Prata Total</b>	<	0,04	-	25
<b>Selênio Total</b>	<	0,04	80	24
<b>Zinco Total</b>	242,11	0,82	-	1900
<b>Cromo Hexavalente</b>	<	0,08	2	0,4
<b>Nitrogênio nitrato</b>	439,8	3,03	-	-

LD = Limite de Detecção; IN = Instrução Normativa; VOR = Valores Orientadores de Referência (Cetesb, 2021)

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O biodigestor em estudo está em fase de testes e durante o período de operação, foram realizados 14 ciclos de operação, com vários desafios a serem superados e melhorias aplicadas entre um ciclo e outro. O Quadro 1 apresenta alguns dos desafios encontrados durante os ciclos de operação, os impactos causados e as soluções encontradas para cada um dos desafios. Vale ressaltar que nem todos os túneis entraram em operação para cada um dos ciclos de operação apresentados no quadro.

**Quadro 1. Desafios e soluções encontradas durante os ciclos de operação do biodigestor**

Ciclos de operação	Material utilizado	Desafios	Efeito	Consequência	Solução
1	<b>FORSU:</b> Área amostral <b>Material estruturante:</b> Inertes	Compactação do substrato	impactando a percolação do inóculo	Baixa qualidade do biogás	Adição de resíduo de poda como material estruturante
2	<b>FORSU:</b> Área amostral, <b>Material estruturante:</b> poda triturada no transbordo	Morosidade no abastecimento dos túneis	Material em processo de degradação antes do início das fases de metanização	Baixa qualidade do biogás; Digestato com proliferação de moscas.	Aquisição de poda já triturada fornecida por associação de BRP
3	<b>FORSU:</b> Área amostral, <b>Material estruturante:</b> poda de associação de BRP	Sistema de segregação mecanizada passou a apresentar problemas e a segregação passou a ser manual	Morosidade no processo	Baixa qualidade do biogás; Digestato com proliferação de moscas.	Aquisição de FORSU de grande gerador, já segregado na fonte, na forma de complementação

**Quadro 1. Desafios e soluções encontradas durante os ciclos de operação do biodigestor (continuação)**

4	<b>FORSU:</b> Área amostral e de grande gerador <b>Material estruturante:</b> poda de associação de BRP	Com o aumento da quantidade de túneis entrando em ciclo de operação, pequenas partículas de poda passaram a acumular no lixiviado/inóculo e causar entupimento dos aspersores de inóculo.	Interrupções no processo de metanização com a abertura dos túneis para a realização do desentupimento dos aspersores	Baixa qualidade do biogás	Adição de sistema de retenção de partículas por meio de malha de peneira instalada na saída do lixiviado dos túneis
5	<b>FORSU:</b> Área amostral e de grande gerador <b>Material estruturante:</b> poda de associação de BRP	Processo interrompido pela COVID-19 e em fase manutenções preparação para a reativação da operação	Desgaste, ressecamento, deformação de equipamentos e materiais que constituem o biodigestor; inatividade microbiana do inóculo.	Necessidade de manutenções diversas e abastecimento da UPI com efluente de estação de tratamento, já em andamento, para ser utilizado como partida da operação	Avaliação dos erros e acertos, preparação para reiniciar com maior maturidade, prospecção de novos parceiros e novos projetos para continuidade da operação.

O último ciclo dos 4 túneis de metanização e da UPI, totalizou 176 dias de operação com uma geração acumulada de 523 m<sup>3</sup> de biogás. Conforme apresentado, o digestato advindo da biodigestão de resíduos de coleta regular, (resíduo misto), mesmo com o acréscimo de FORSU segregada na fonte, não apresentou contaminação química e nem biológica, porém, apresentou elevada presença de materiais inertes, o que pode inviabilizar seu uso na forma agrícola. O peneiramento em malha de 20 mm retirou grande parte deste material, entretanto, este ainda apresentou 5,5 % de materiais inertes. Para atendimento à IN SDA nº 07, seria necessária a realização de novo peneiramento em malha de 2 mm com relativa perda na massa total de digestato a ser reaproveitada. Contudo, o material resultante do processo de biodigestão, após secagem simples, pode ser aplicado para outras finalidades, como por exemplo: recomposição de solo, paisagismo, obras de aterramento ou mesmo coprocessamento.

O tratamento biológico de resíduos orgânicos provenientes da coleta mista é uma alternativa atrativa para municípios que buscam reduzir a quantidade de orgânicos enviados a aterros, mas que não implementaram sistemas de coleta de orgânicos segregados na fonte geradora (YEPSSEN, 2009), devido ao aumento do custo de coleta e dificuldades de gestão. Porém, a produção de um material de alta qualidade, que possa ser utilizado em culturas agrícolas como fertilizante orgânico, é dificultada com a utilização de resíduos não segregados na origem, pois o refinamento mecânico do material resulta em perdas de uma grande parte do material produzido. Dessa forma, observa-se que um dos desafios para o sucesso de sistemas de tratamento anaeróbio de resíduos sólidos urbanos é a implantação de sistemas de segregação na origem dos resíduos orgânicos, que permitirão uma maior qualidade do produto final gerado, influenciando tanto na qualidade do biogás quanto do digestato produzido.

## CONCLUSÕES

A aplicação de novas tecnologias apresenta grandes desafios a serem superados, no caso da biodigestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos com aproveitamento energético existe um grande potencial a ser explorado e as iniciativas em andamento permitem esse amadurecimento e desenvolvimento para o uso em larga escala. A análise dos últimos ciclos de operação será de extrema importância para o planejamento das próximas etapas. Os resultados obtidos no último ciclo de operação será o foco deste estudo, entretanto, alguns resultados dos ciclos de operação anteriores poderão ser eventualmente apresentados e avaliados como propósito de demonstrar a curva de aprendizado.

Com base nas avaliações realizadas até o momento, é possível verificar a importância da qualidade do material de entrada e, para os próximos ciclos serão utilizados resíduos fornecidos por grandes geradores, já segregados

na fonte, o que agilizará a eficiência no abastecimento dos túneis e principalmente na qualidade do digestato, avaliando a possibilidade de aplicação na forma de fertilizante.

Durante o último ano, foram prospectados parceiros para a continuidade da pesquisa utilizando o biodigestor e um dos projetos que dará continuidade na operação, visa a realização de estudos para a redução de resíduos destinados ao aterro constituídos por restos de alimentos provenientes de grandes geradores. Outro projeto prospectado visa a pesquisa da aplicação do biogás gerado no processo de metanização de resíduos domiciliares para a produção de hidrogênio e aplicação na forma de energia.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas pelo apoio e oportunidade de realização e continuidade desta pesquisa, em especial ao Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas (LRAC) e à Seção de Investigação de Riscos e Gerenciamento Ambiental (SIRGA). Agradecemos também ao Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) pela parceria na continuidade dos estudos.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 10007:2004. Amostragem de Resíduos Sólidos, ABNT, Brasil; 2004(d).
2. \_\_\_\_\_. NBR 13.600 1996. Solo –Determinação do Teor de Matéria Orgânica por Queima a 440°C. ABNT,Brasil; 1996.
3. \_\_\_\_\_. NBR 6457 1986. Amostras de Solo –Preparação Para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização, ABNT, Brasil; 1986.
4. \_\_\_\_\_. NBR 6508 1984. Grãos de Solo que Passam na Peneira de 4,8 mm –Determinação da Massa Específica, ABNT, Brasil; 1984.
5. \_\_\_\_\_. NBR 7181 1984. Solo –Análise Granulométrica, ABNT, Brasil; 1984.
6. BRASIL, 2016. Instrução Normativa nº 7. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento/Secretaria de defesa agropecuária. Brasil, 12 de abril de 2016.
7. BRASIL. Lei no 12.305, de 02 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. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 02 ago.2010a.
8. BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, Casa Civil, Brasil, 2010b.
9. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. 2009
10. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Decisão de Diretoria nº 125. São Paulo, 09 de dezembro de 2021.
11. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT) Projeto Reciclus. Fevereiro de 2018.
12. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT)/ AGÊNCIA METROPOLITANA DA BAIXADA SANTISTA (AGEM) Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Baixada Santista (PRGIRS/BS). Fevereiro de 2018.
13. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT)/ COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). Lixo Municipal –Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo, 2018.
14. STANDARD TEST METHOD; ASTM D 5231 -Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste. 2016.
15. YEPSEN, R. Mixed Waste Composting Review. BioCycle, v. 50, n.11, 2009, p. 23. Disponível em: <https://www.biocycle.net/mixed-waste-composting-review/>. Acesso em 30 jan. 2023.