



Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia

**Projeto Amazônia Legal Sem Resíduo (ALSR)**

**Análise Propositiva de Sistemas  
Tecnológicos para o Gerenciamento de  
Resíduos Sólidos na Amazônia Legal**

Brasília, DF  
Janeiro de 2021

**INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA (Ibict)**

**Diretoria**

Cecília Leite Oliveira

**Coordenação-Geral de Pesquisa e  
Desenvolvimento de Novos Produtos  
(CGNP)**

Anderson Itaborahy

**Coordenação Geral de Pesquisa e  
Manutenção de Produtos Consolidados  
(CGPC)**

Bianca Amaro

**Coordenação-Geral de Tecnologias de  
Informação e Informática  
(CGTI)**

Tiago Emmanuel Nunes Braga

**Coordenação de Ensino e Pesquisa,  
Ciência e Tecnologia da Informação  
(COEPPE)**

Gustavo Silva Saldanha

**Coordenação de Planejamento,  
Acompanhamento e Avaliação  
(COPAV)**

José Luis dos Santos Nascimento

**Coordenação de Administração  
(COADM)**

Reginaldo de Araújo Silva

**Coordenação de Tecnologias Aplicadas a Novos  
Produtos  
(COTEA)**

Marcel Garcia de Souza

**FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (Funasa)**

**Presidência  
(Presi)**

Giovanne Gomes da Silva

**Departamento de Saúde Ambiental  
(Desam)**

Deborah Silva Figueiredo Roberto

**Coordenação de Projetos, Pesquisas e Ações  
Estratégicas em Saúde Ambiental (Copae)**

Marcelo de Paula Neves Lelis



© 2021 Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict)

Os autores são responsáveis pela apresentação dos fatos contidos e opiniões expressas nesta obra.



Este trabalho está licenciado com uma Licença *Creative Commons* - Atribuição 4.0 Internacional.

Produção editorial: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia

Elaboração: Juliana Gerhardt  
Luane Souza de Araújo  
Thiago Oliveira Rodrigues  
Adriana de Souza Oliveira

---

I59 Análise Propositiva de Sistemas Tecnológicos para o Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Amazônia Legal / Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. – Brasília, DF: Ibict, 2021.

ISBN: 978-65-89167-06-8

1. Gestão de Resíduos Sólidos. 2. PNRS. 3. Informação para Sustentabilidade. 4. Amazônia Legal. I. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. II. Título.

CDU 504

---

**Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict)**

Setor de Autarquias Sul (SAUS) -  
Quadra 05 Lote 06 Bloco H – 5º Andar  
Cep: 70.070-912 – Brasília, DF  
Telefones: 55 (61) 3217-6302/  
55 (61) 3217-6312  
[www.ibict.br](http://www.ibict.br)

**Fundação Nacional de Saúde (Funasa)**

SRTVN 702, Via W 5 Norte –  
Edifício PO 700 – 2º andar  
Cep: 70.723-040 - Brasília, DF  
Telefones: 55 (61) 3314-6605/  
55 (61) 3314-6664  
[www.funasa.gov.br](http://www.funasa.gov.br)

## APRESENTAÇÃO

Este relatório tem por objetivo analisar o potencial de aplicação de sistemas tecnológicos para o gerenciamento de resíduos sólidos da Amazônia Legal, no âmbito do **Projeto Amazônia Legal sem Resíduo**. O projeto foi executado pelo Instituto Brasileiro de Inovação em Ciência e Tecnologia (Ibict), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), e financiado pela Fundação Nacional de Saúde (Funasa), do Ministério da Saúde (MS).

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Questionamentos auxiliares à tomada de decisão. ....	18
Figura 2. Caminhos possíveis a partir da coleta de RSU. (Roxo = possibilidades de tratamento ou recuperação energética; azul = resultado da segregação dos materiais; verde = outras destinações).....	19
Figura 3. (A) Conjunto HUMI, um exemplo de composteira doméstica; (B) Composteiras a partir do reúso de resíduos; (C) Composteiras empilhadas. ....	36
Figura 4. Lista de materiais utilizados na construção de um biodigestor.....	38
Figura 5. Exemplo de equipamento triturador de vidro de pequeno porte.....	39

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
1.1	Objetivo .....	7
<b>2</b>	<b>RESPONSABILIDADE COMPARTILHADA E COOPERAÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>A IMPORTÂNCIA DO CONHECIMENTO E DO PLANEJAMENTO NO GERENCIAMENTO E PLANEJAMENTO DA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS</b> ....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>PRERROGATIVAS MUNICIPAIS PARA ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS</b> .....	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>DADOS DO DIAGNÓSTICO DA GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA AMAZÔNIA LEGAL</b> .....	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS PARA ELEGIBILIDADE DAS TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS</b> .....	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>QUESTIONAMENTOS A SEREM RESPONDIDOS ANTES DE PENSAR EM TECNOLOGIAS PROPRIAMENTE DITAS</b> .....	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>COLETA SELETIVA</b> .....	<b>21</b>
<b>9</b>	<b>CRITÉRIOS A SEREM CONSIDERADOS PARA ELEGIBILIDADE DAS TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b> .....	<b>24</b>
<b>10</b>	<b>ANÁLISE DE CRITÉRIOS DE TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS</b> .....	<b>25</b>
10.1	Pirólise.....	25
10.2	Incineração .....	26
10.3	Compostagem .....	28
10.4	Biodigestão.....	29
<b>11</b>	<b>ANÁLISE DE CRITÉRIOS PARA DISPOSIÇÃO FINAL</b> .....	<b>31</b>
11.1	Aterro sanitário .....	31
<b>12</b>	<b>TECNOLOGIAS SOCIAIS</b> .....	<b>33</b>
<b>12</b>	<b>RESÍDUOS ORGÂNICOS</b> .....	<b>35</b>
12.1	Compostagem .....	35
12.2	Biodigestão.....	37
<b>13</b>	<b>OUTROS RESÍDUOS CRÍTICOS</b> .....	<b>38</b>
13.1	Vidro.....	38
13.2	Plásticos .....	40
<b>14</b>	<b>BENEFÍCIOS DO USO DE TECNOLOGIAS</b> .....	<b>43</b>
<b>15</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento de resíduos sólidos, ou seja, todas as ações exercidas direta ou indiretamente nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010), devem ser previstas e orientadas pelo Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), conforme está disposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Entretanto, alguns gestores municipais acreditam que soluções milagrosas acontecem a partir da adoção de tecnologias convencionais e muitas vezes complexas, e acabam deixando de lado outras possibilidades de soluções mais simples e de baixo custo.

A adoção de tecnologias para o gerenciamento de resíduos sólidos é um dos caminhos possíveis, e diz respeito a apenas uma parte de um sistema bem mais complexo. Por isso, é importante contabilizar todas as variáveis possíveis. A escolha da mais adequada perpassa por vários critérios que, se forem negligenciados, podem implicar na ineficiência do gerenciamento, no mal gasto do dinheiro público, e em mais problemas ambientais e legais para os gestores municipais.

Por isso, ao longo deste documento, serão explorados alguns dos critérios fundamentais para levar em consideração na hora de definir quais são as tecnologias mais aplicáveis e adequadas aos municípios no contexto amazônico, tendo em vista as particularidades da região.

O olhar de análise não se dará exclusivamente sobre a tecnologia, pois a gestão integrada de resíduos sólidos, conforme define a PNRS, é um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010). Portanto, será abordado aqui um caminho integrado, a partir de diferentes perspectivas de tecnologias e suas implicações sociais, econômicas e ambientais.

## 1.1 Objetivo

Analisar, de maneira propositiva, sistemas tecnológicos passíveis de serem aplicados ao gerenciamento de resíduos sólidos na Amazônia Legal.

## 2 RESPONSABILIDADE COMPARTILHADA E COOPERAÇÃO

Muitas das questões que envolvem a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos podem ser pensadas a partir da perspectiva de dois princípios trazidos pela Lei 12.305/2010. São eles: o princípio de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, definido como o:

“conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei” (Art. 30 - BRASIL, 2010).

E o princípio de cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade (BRASIL, 2010).

Com eles aqui explicitados, podemos claramente afirmar que a responsabilidade é de TODOS e que por isso, todos os atores envolvidos devem cooperar entre si para a resolução de problemas e conflitos.

Portanto, não cabe somente aos governantes e gestores chegarem às soluções. A sociedade como um todo deve participar e contribuir para a governança e a gestão dos resíduos sólidos municipais.

No contexto da Amazônia Legal não é diferente. Em um lugar em que muitas das etapas do gerenciamento são precarizadas devido às condições locais, tais como as condições edafoclimáticas específicas da região e do bioma e também a distância dos municípios para os grandes centros onde se encontram as indústrias recicladoras. Neste cenário, torna-se ainda mais importante a colaboração e o compartilhamento das responsabilidades entre todos os atores das cadeias produtivas e recicladoras, bem como de todos os consumidores.

### 3 A IMPORTÂNCIA DO CONHECIMENTO E DO PLANEJAMENTO NO GERENCIAMENTO E NA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Uma das principais diretrizes da PNRS salienta que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos é importante observar a seguinte ordem de prioridade: *não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos* (BRASIL, 2010).

Portanto, pode-se considerar essa diretriz como a norteadora de qualquer discussão a respeito de resíduos, sobretudo quando é preciso planejar a sua gestão municipal.

Muitos dos erros e ineficiências cometidas na gestão municipal de resíduos sólidos se encontram na falta de planejamento e na falta do conhecimento a respeito da sua realidade. Ao longo dos dados levantados e entrevistas realizadas em outras etapas do projeto Amazônia Legal sem Resíduo, ficou claro que os gestores poucas vezes conhecem de fato o que funciona e o que não funciona para o seu município. Com isso, percebeu-se que a gestão varia conforme o contexto e o nível de organização e sensibilização dos gestores e órgãos públicos, e até mesmo da sociedade civil.

Assim, destaca-se a relevância dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), que além de possibilitar o acesso a recursos da União, permite ao município conhecer sua realidade e, com isso, identificar os gargalos e melhorias necessárias.

Os gestores, em geral, argumentam que não há recursos para investimento. Entretanto, há pouca articulação para buscar recursos com a União ou através de outros meios porque têm dificuldades para cumprir alguns pré-requisitos para o acesso a eles. No caso dos recursos federais, a prioridade é para os municípios que optem por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos, e para aqueles que implantarem a coleta seletiva incluindo a utilização de cooperativas ou associações de catadores. Portanto, cabe aos municípios se organizarem em busca destas e de outras condições básicas.

O artigo 19 da PNRS descreve o conteúdo mínimo a ser abordado pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos. Se cumpridos os requisitos definidos, a partir do seu plano o município já conseguirá desenvolver mecanismos para uma boa gestão e solucionar a grande maioria dos seus problemas. A Lei ainda prevê que os municípios com menos de 20 mil habitantes tenham um plano com conteúdo simplificado, o que abrange vários dos municípios da Amazônia Legal.

Dos requisitos mínimos, destaca-se a importância dos primeiros quatro. São eles:

I - diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, contendo a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotadas;

II - identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, observado o plano diretor de que trata o § 1º do art. 182 da Constituição Federal e o zoneamento ambiental, se houver;

III - identificação das possibilidades de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros Municípios, considerando, nos critérios de economia de escala, a proximidade dos locais estabelecidos e as formas de prevenção dos riscos ambientais;

IV - identificação dos resíduos sólidos e dos geradores sujeitos a plano de gerenciamento específico nos termos do art. 20 ou a sistema de logística reversa na forma do art. 33, observadas as disposições desta Lei e de seu regulamento, bem como as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS (...) (BRASIL, 2010).

A importância do diagnóstico, proposto como primeiro item dos planos de gestão integrada de resíduos sólidos municipais, é indiscutível. Não há como executar um plano de ação sem medir e conhecer a situação atual. Na Amazônia Legal, apenas 50% dos municípios possuem o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (ARAÚJO *et al.*, 2021). Muitos deles não possuem a estrutura informacional e operacional que permita levantar dados como a origem, o volume, a caracterização dos resíduos, e as formas de destinação. Ou seja, ainda muitos municípios não conhecem sua realidade, dificultando ao gestor estabelecer medidas mais específicas.

Uma das características mais marcantes da Amazônia diz respeito ao bioma em si, rico em florestas úmidas e densa hidrografia, representada pelo Rio Amazonas, cuja bacia é a maior do mundo. Estes atributos diminuem as chances de encontrar áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, conforme estabelecido no item II do artigo 19 da PNRS, sendo necessário recorrer a estruturas

que se adaptem às condições do bioma ou adaptar o formato da gestão e gerenciamento adotados, aos recursos estruturais disponíveis. Uma forma de fazer isso é justamente o que está descrito no item III do mesmo artigo citado, que é identificar as possibilidades de implantar soluções consorciadas ou compartilhadas com outros municípios.

Outro ponto relevante é identificar os tipos de resíduos e os geradores sujeitos ao plano de gerenciamento específico, atribuindo responsabilidades aos atores corretos. Esse é o princípio da responsabilidade compartilhada e da implementação da logística reversa.

Se esses requisitos básicos definidos pela PNRS forem levantados e trabalhados, a tendência é que os gestores consigam planejar as ações de forma mais eficiente e eficaz. A adoção de qualquer tecnologia também demanda o atendimento de um conhecimento mínimo sobre a gestão de resíduos municipal. Tudo isso é válido tanto para a Amazônia Legal quanto para qualquer município brasileiro.

## 4 PRERROGATIVAS MUNICIPAIS PARA ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS

No contexto amazônico, a definição das tecnologias mais adequadas requer uma análise regionalizada, que considere as especificidades do bioma, suas condições geográficas e socioculturais, além do conhecimento das características próprias dos tipos de resíduos gerados.

Em uma região onde estados e municípios podem ter dimensões semelhantes ou até maiores do que muitos países na Europa, por exemplo, **descentralizar** o gerenciamento de resíduos e **combinar** diferentes procedimentos e tecnologias, são as diretrizes para essas regiões em particular.

Antes de chegar especificamente às tecnologias, é necessário descrever como devem ocorrer as etapas do gerenciamento. Além disso, é importante lembrar que existem tecnologias tanto para disposição final quanto para tratamento dos resíduos. Entretanto, a disposição final é a última etapa, e de acordo com a PNRS, deve ser utilizada para o descarte de rejeito, ou seja, para materiais que não possuem nenhuma outra opção de uso ou reciclagem. Por isso, é muito importante verificar as possibilidades anteriores a essa etapa, tais como minimização ou não geração de resíduos, pois elas podem (e devem) ser a solução na ponta (RODRIGUES, 2020).

No atual modelo brasileiro, há uma lógica que precisa ser desconstruída o quanto antes, que consiste no sistema construído pelas empresas prestadoras do serviço de coleta e destinação final, que quanto mais resíduos elas coletam e destinam, mais elas faturam, e quando a demanda aumenta, eleva o custo do serviço para o gestor público, e conseqüentemente, eleva o faturamento das poucas empresas prestadoras desse tipo de serviço. Como se libertar disso? Uma das alternativas pode vir a ser o uso das tecnologias sociais, que são aquelas cujas características são simplicidade, baixo custo operacional, poder de replicabilidade e capacidade de gerar impactos socioambientais e socioeconômicos positivos.

A tecnologia social traz uma reflexão interessante. Nas tecnologias convencionais, um dos objetivos é o distanciamento do processo, ou seja, a tecnologia faz tudo sozinha,

desde a construção até a entrega do produto acabado. O contraponto da tecnologia social é justamente esse, pois ela é capaz de integrar as pessoas para construir o processo em comunidade, tornando a tecnologia participativa, mais assertiva em relação aos problemas a resolver e com soluções mais duradouras e eficazes, pois o sujeito que sofre o problema também é o que resolve. Será possível usar tecnologia social na melhoria da gestão e gerenciamento municipais? Espera-se que este documento contribua para isso.

## 5 DADOS DO DIAGNÓSTICO DA GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA AMAZÔNIA LEGAL

O documento *Diagnóstico da Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Amazônia Legal* (ARAÚJO *et al.*, 2021), levantou dados sobre sete tipos de resíduos: 1) Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD); 2) Resíduos Públicos (RPU); 3) Resíduos em Zonas Rurais (RZR); 4) Resíduos em territórios de Povos e Comunidades Tradicionais; 5) Resíduos de Serviço de Saúde (RSS); 6) Resíduos de Construção Civil (RCC); 7) Resíduos Agrossilvipastoris.

Dentre estes, os resíduos mais comumente coletados foram o Resíduo Sólido Domiciliar (RSD) e o Resíduo Público (RPU), que juntos, compõem os Resíduos Sólidos Urbanos. Desta forma, foram estes dois tipos de resíduos utilizados para selecionar os critérios para elegibilidade das tecnologias. A seguir, serão apresentados alguns dados do diagnóstico para a Amazônia Legal, no que diz respeito ao RSD e RPU, e alguns outros dados sobre o gerenciamento em geral.

Para os Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD), aqueles resultantes das atividades domiciliares ou comerciais, observou-se que 34,87% responderam que não coletam e 14,92% afirmaram não saber a quantidade. Já a faixa mais coletada foi a de 1.001 a 10.000 t/ano. No caso dos Resíduos Públicos (RPU), basicamente aqueles resultantes da limpeza urbana, observou-se que 33,82% responderam que não coletam e 22,9% afirmaram não saber a quantidade. Já a faixa mais coletada ficou em menos de 100 t/ano.

A frequência de coleta faz parte do gerenciamento dos resíduos sólidos, e o seu planejamento é fundamental para uma gestão correta e eficiente. Para cada um dos sete tipos de resíduos pesquisados, mencionados anteriormente, questionou-se também a respectiva frequência coletada desses, sendo as opções de resposta de 0 (zero) a 7 (sete) vezes por semana. O diagnóstico apontou que na Amazônia Legal a frequência da coleta dos diferentes tipos de resíduos analisados em geral é baixa, no qual, 33,1% das coletas é realizada apenas 1 (uma) vez na semana; 17,4% em 2 (duas) vezes na semana e 16,1% em 3 (três) vezes na semana. A periodicidade é

maior (5 vezes na semana) para Resíduos Sólidos Domiciliares (21%) e Resíduos Públicos (20%).

A coleta seletiva é um tipo de coleta com grandes potenciais na gestão e gerenciamento dos resíduos municipais, isso porque possibilita diminuir o envio de resíduos a aterros sanitários ou eliminar outros tipos de destinação final inadequados, além de contribuir com o aumento da mão de obra para associações e cooperativas recicladoras. O diagnóstico revelou que o percentual de municípios que realizam coleta seletiva ainda é baixo, apenas 26,6%.

Uma unidade ou estação de transbordo é um ponto de transferência intermediário entre os resíduos coletados na cidade e o local onde serão dispostos. Ele é necessário quando a distância entre esses dois locais é considerável e, desta forma, possibilita reduzir o número de viagens e otimizar a capacidade de transporte, contribuindo para a minimização das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, permite um melhor planejamento logístico e financeiro ao município. No entanto, esse é um recurso pouco utilizado pelos municípios respondentes da Amazônia Legal, pois apenas 12,2% disseram possuir unidade de transbordo.

Quanto às opções de tratamento de resíduos, o mais utilizado foi a reciclagem de resíduos (fração seca), com 18,39% de respostas. Em seguida veio a compostagem de resíduos orgânicos com 8,82% e, por último, a pirólise com 0,42%.

A forma mais comum de disposição dos resíduos foi nos lixões a céu aberto com 54,2% de respostas. Em seguida, o aterro controlado com 21,01%, que é o local onde os resíduos são dispostos com algum tipo de controle. O aterro sanitário está como a terceira forma de disposição mais utilizada, com 18,49%. O envio dos resíduos para outro município também é uma forma de disposição utilizada apresentando 7,14% de respostas. E por fim, o aterro sanitário com recuperação energética, representando 0,42% das respostas.

Quanto à existência de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros municípios, 63% informaram que não possuem algum tipo de solução consorciada ou

compartilhada, 20% possuem soluções consorciadas e outros 18,5% não possuem, mas tem interesse em ter.

As cooperativas de material reciclável são organizações muito importantes para uma destinação e tratamento correto dos resíduos. As parcerias realizadas entre cooperativas e prefeituras, principalmente as relacionadas à coleta seletiva, auxiliam muito à boa gestão. Todavia, apenas 29% dos municípios possuem associações e cooperativas de material reciclável.

Depois desse breve panorama da atual situação do gerenciamento dos resíduos sólidos na Amazônia Legal, que se encontra em maiores detalhes no documento *“Diagnóstico da Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Amazônia Legal”*. A seguir serão sugeridos aspectos, critérios e questionamentos que permitam guiar uma avaliação das possibilidades de implementação de tecnologias, os quais serão muito úteis na ponderação a ser feita pelos tomadores de decisão dos municípios.

## **6 ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS PARA ELEGIBILIDADE DAS TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS**

Os gestores e técnicos municipais devem observar alguns aspectos e critérios relevantes em um processo de avaliação quanto às possibilidades de implementação de tecnologias. São eles:

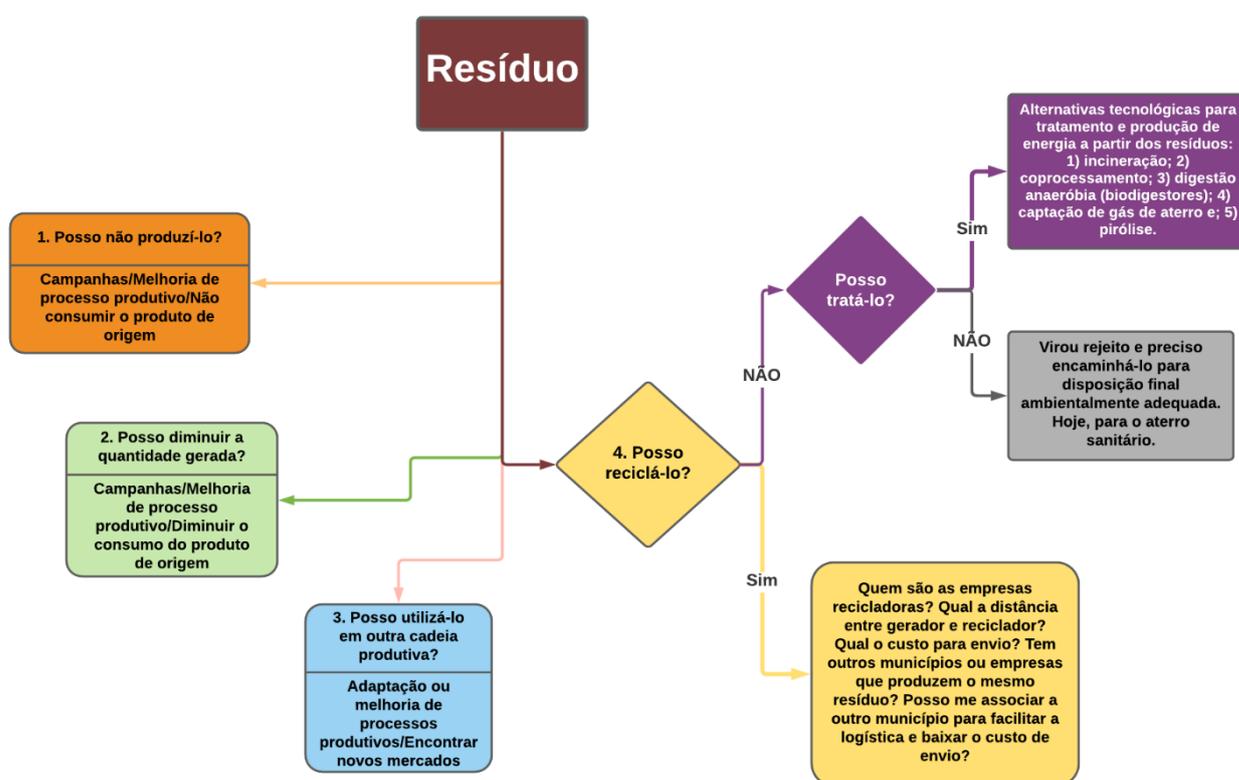
1. Observar a hierarquia dos resíduos estabelecida na PNRS.
2. Elaborar o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, detalhando os fluxos de resíduos mais pertinentes, levantando características e opções de tratamento.
3. Avaliar o fluxo de resíduos e identificar potencial para reutilização e reciclagem de frações de resíduos específicos.
4. Conhecer as características e quantidades de resíduos produzidos pelo município.
5. Conhecer as legislações e normativas que envolvem o uso de tecnologias.
6. Procurar por experiências de outros municípios no uso de uma determinada tecnologia.
7. Entender como funciona a tecnologia e, se possível, conhecê-la na prática.
8. Assegurar-se que possui um sistema de coleta e transporte de resíduos eficiente e que seja adequado a sua realidade.
9. Certificar-se que o sistema atual de gestão de resíduos sólidos do município está consolidado técnica e financeiramente.
10. Ao adotar uma tecnologia, estabelecer um sistema de monitoramento a curto, médio e longo prazo, a fim de acompanhar e obter dados sobre a efetividade da tecnologia.
11. Dispor de uma equipe técnica qualificada para suporte.

Se observados esses aspectos, as chances de realizar uma escolha da tecnologia adequada ao município são maiores.

## 7 QUESTIONAMENTOS A SEREM RESPONDIDOS ANTES DE PENSAR EM TECNOLOGIAS PROPRIAMENTE DITAS

Antes de planejar, comprar ou construir uma tecnologia, seja ela convencional ou social, é necessário que o gestor, seja ele de natureza pública ou privada, entenda que algumas perguntas prévias devem ser realizadas, levando em consideração a ordem de prioridade na hierarquia dos resíduos, estabelecida na PNRS. A seguir, o diagrama da figura 1 traz algumas sugestões de perguntas para auxiliar a tomada de decisão do gestor.

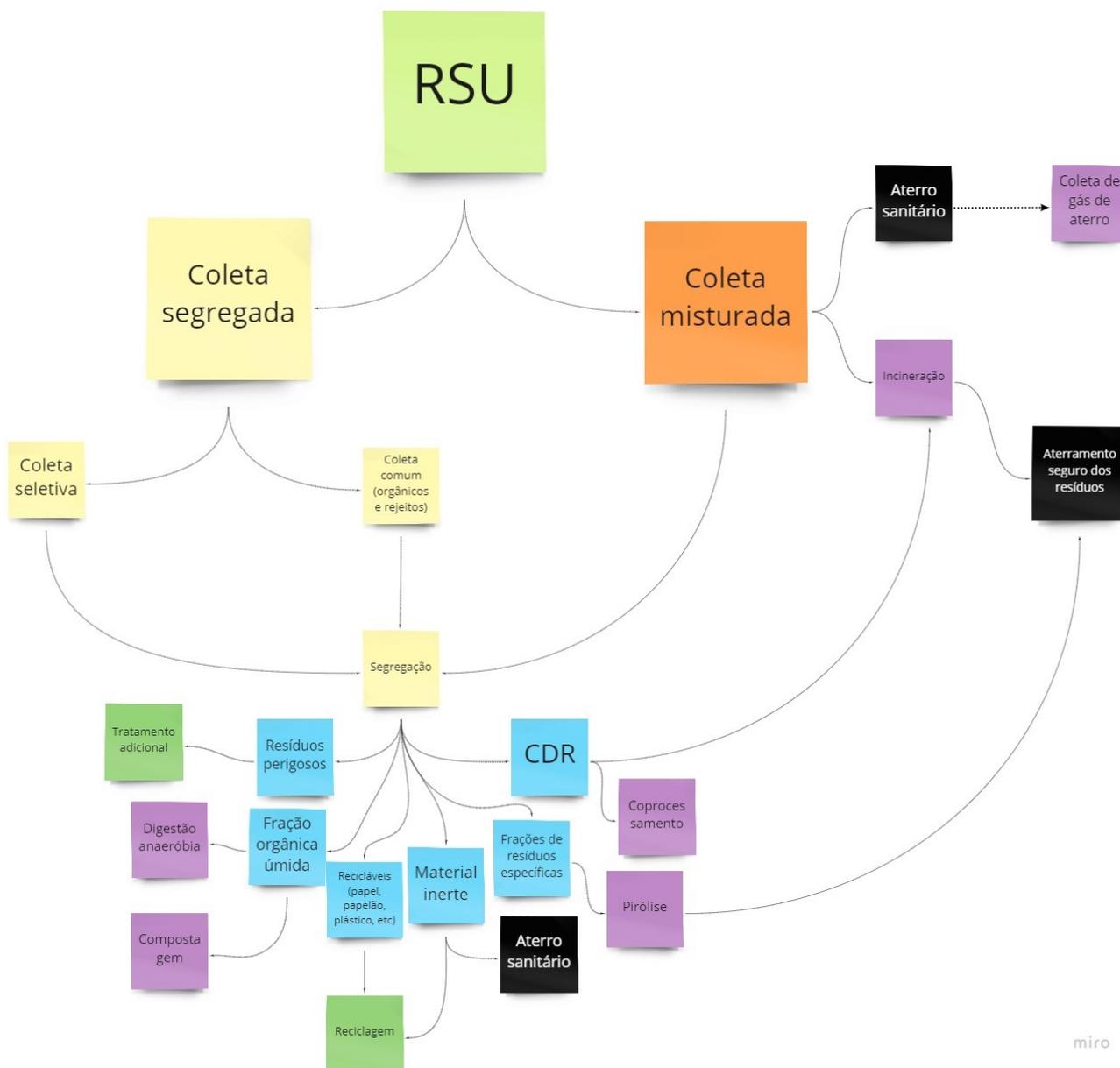
**Figura 1.** Questionamentos auxiliares à tomada de decisão.



O diagrama apresentado na figura 2, auxilia a visualizar alguns dos caminhos possíveis a partir de dois tipos de coleta dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU): a coleta segregada e a misturada. A etapa de segregação, conforme pode ser observado, possibilita uma separação mais bem definida de materiais, oportunizando a aplicação de diferentes formas de tratamento, e com isso, diminui ou até mesmo

exclui o envio de resíduos para o aterro sanitário. Portanto, se a coleta já for previamente segregada, a etapa de triagem torna-se mais efetiva.

**Figura 2.** Caminhos possíveis a partir da coleta de RSU. (Roxo = possibilidades de tratamento ou recuperação energética; azul = resultado da segregação dos materiais; verde = outras destinações).



Para os resíduos perigosos pode ser feito um tratamento adicional. No caso das frações orgânicas, podem ser utilizadas a digestão anaeróbica e a compostagem. Os materiais secos como papel, papelão e plásticos podem seguir para reciclagem, caso haja essa possibilidade. Já os materiais inertes, em geral, seguem para o aterro sanitário. Algumas frações de resíduos específicos podem ser tratados por pirólise e,

por fim, o CDR (combustível derivado de resíduo) é indicado para coprocessamento em cimenteiras.

A coleta misturada possui em geral dois destinos: o aterro sanitário ou a incineração. Uma forma de aproveitamento energético dos resíduos que vão para o aterro sanitário é a geração de energia a partir da coleta do gás de aterro, conhecido como biogás. A incineração é uma alternativa desde que haja estrutura para executá-la de forma segura e ambientalmente correta.

## 8 COLETA SELETIVA

Uma das ações base em qualquer sistema de gerenciamento é a coleta de resíduos. A oferta de uma coleta seletiva à população, ou seja, uma coleta de resíduos previamente segregados conforme sua constituição ou composição, é o primeiro passo para facilitar uma correta destinação dos resíduos.

A presença e a correta execução do serviço de coleta seletiva devem facilitar o desenvolvimento de estruturas para trabalhar com os resíduos advindos principalmente da coleta de materiais recicláveis. Ou seja, proporciona o material de trabalho alvo de associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis. Se o município ainda puder oferecer a coleta de resíduos orgânicos, mais uma oportunidade é criada com a utilização destes resíduos, facilitando o uso das técnicas de compostagem e biodigestão.

Com a coleta seletiva organizada, constroem-se as seguintes oportunidades, conforme experiências descritas pelo Banco de Tecnologias Sociais, desenvolvido pela Fundação Banco do Brasil (CAVALHEIRO; GAZOLLA; MARINI, 2019):

- Criação ou melhoria das associações e cooperativas;
- Fabricação de produtos a partir de materiais recicláveis;
- Realização de oficinas socioeducativas com as comunidades;
- Eventos para trocas solidárias;
- Formação e capacitação para catadores de material reciclável;
- Campanhas de conscientização para as comunidades;
- Articulação e desenvolvimento de lideranças locais;
- Diagnóstico e mapeamento de pontos críticos;
- Distribuição de kits de coleta de recicláveis em residências;
- Instalação de coletores/contêineres em pontos estratégicos;
- Estabelecimento de parcerias estratégicas com empresas/indústrias recicladoras;
- Parcerias entre municípios para armazenamento e escoamento de determinados tipos de resíduos.

A realização da coleta seletiva representa o caminho para traçar diversas outras oportunidades. Um caso muito interessante é o da cidade do Rio de Janeiro, que lançou em agosto de 2020, o primeiro parque sustentável do Brasil. O *Rio Park Recicla* foi construído para centralizar soluções e opções de destinação adequada aos resíduos sólidos para a população carioca, gerando emprego e renda. Além disso, o parque irá fomentar a cadeia produtiva da reciclagem, incentivando inclusive a atuação dos catadores de resíduos recicláveis da região. O local receberá resíduos sólidos recicláveis; uma espécie de banco que negocia e compra os resíduos recicláveis do cidadão; um centro de capacitação técnica e profissional; uma usina de biodiesel para reciclagem do óleo de cozinha usado e; um centro de compras com a venda de produtos recicláveis e com possibilidade de reuso (RIO PARK RECICLA, 2020).

Outro exemplo interessante é um modelo de negócio sustentável e inovador aplicado por uma empresa do Espírito Santo que oferece uma teia de soluções completas para o gerenciamento de resíduos a diversos setores. O *Parque de Ecoindústrias* instalado no município de Cariacica, situado na região metropolitana de Vitória (ES), reúne 9 ecoindústrias que são capazes de atender diversos tipos de resíduos. Além de promover a reciclagem, o aterro sanitário gera biogás, que então é aproveitado para a produção de energia por uma planta de usina termelétrica (MARCA AMBIENTAL, 2018).

As ecoindústrias trabalham com a destinação responsável e certificada de pneus; resíduos de construção civil e demolição; reciclagem de embalagens e logística reversa; óleo de cozinha usado; compostagem de resíduos orgânicos; usina de beneficiamento de vidro; produção de massa asfáltica a partir de óleo BPF (derivado de petróleo); processamento de resíduos siderúrgicos e aproveitamento de metálicos (MARCA AMBIENTAL, 2018). O parque hoje atende 14 municípios capixabas.

Ideias como essas, capazes de levar inúmeros benefícios à população e ao meio ambiente, podem ser pensadas e minimamente organizadas pelas prefeituras da região amazônica. Basta que os gestores se articulem com municípios vizinhos e busquem apoios institucionais e empresariais. Somando-se a isto, a mobilização e

sensibilização para a educação ambiental da população e das empresas é essencial, pois tudo isso depende do descarte correto de resíduos.

## **9 CRITÉRIOS A SEREM CONSIDERADOS PARA ELEGIBILIDADE DAS TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS**

A seguir são apresentados alguns critérios que serão utilizados para analisar algumas das opções de tecnologias para tratamento dos resíduos mais comuns de encontrar.

### **1. Infraestrutura**

Descreve qual a infraestrutura necessária (construção civil, maquinário etc.) para implementação da tecnologia.

### **2. Escalabilidade**

Define a quais demandas a tecnologia atende, como por exemplo, se atende a demandas domésticas (uma residência, uma rua, um condomínio etc.), comerciais (um shopping, um centro comercial etc.) e/ou a demandas industriais.

### **3. Flexibilidade**

Descreve quais são os tipos de materiais que podem ser aproveitados pela tecnologia.

### **4. Eficiência**

Define qual o grau de eficiência da tecnologia, o quanto ela consegue converter os resíduos em produtos e qual é a necessidade de outros insumos para a conversão.

### **5. Externalidades**

Define quais outros impactos socioambientais a tecnologia acarreta e qual é o custo de mitigação desses impactos.

### **6. Mobilidade/Logística**

Define o grau de mobilidade (fixa ou móvel) ou quais são as características logísticas necessárias para seu transporte.

### **7. Aplicabilidade**

A tecnologia gera produtos/insumos consumíveis no próprio local/região onde é aplicada? A tecnologia pode ser aplicada no próprio local de geração de resíduos e seus produtos consumidos no mesmo local?

## 10 ANÁLISE DE CRITÉRIOS DE TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Ao ser utilizada alguma dessas opções de tratamento, os resíduos acabam por ser desviados da disposição final, diminuindo a necessidade da utilização de aterros sanitários e lixões. A seguir, são apresentadas algumas tecnologias e a descrição dos critérios a serem levados em consideração para posterior tomada de decisão dos gestores.

### 10.1 Pirólise

- **Infraestrutura** = A pirólise é um processo termoquímico de degradação de compostos orgânicos em ambiente com baixo teor de oxigênio. A infraestrutura necessária é basicamente um reator pirolítico que atinge temperaturas entre 450°C e 900°C. Além do reator, uma planta de pirólise necessita de um sistema alimentador, que pode ser contínuo ou não, a depender do tipo de reator. Também é necessário um sistema de coleta do pirolisado, seja o carvão sólido e a fração líquida, esta obtida por meio da condensação dos gases. A fração líquida não deve ser armazenada por muito tempo, ao contrário do carvão. A pirólise ainda pode separar alguns dos resíduos recicláveis que não se degradam no processo e podem seguir para reciclagem, quando for o caso.
- **Escalabilidade** = Ela é altamente escalável, podendo ser aplicada em ambientes residenciais a industriais e municipais. Mas em escalas maiores, a tecnologia tende a ser complementar.
- **Flexibilidade** = A pirólise é bastante flexível, consegue absorver quaisquer materiais de origem orgânica, além de alguns não orgânicos (plásticos). Tem como gargalos o teor de umidade dos resíduos, pois recomenda-se umidade abaixo de 25% e tipicamente a umidade dos RSU está entre 40-60%. Portanto, há a necessidade de uma pré-secagem antes do material entrar no processo.
- **Eficiência** = A pirólise é uma tecnologia bastante eficiente no que se refere aos produtos renováveis, devido ao seu balanço energético e ecológico ser positivo,

ou seja, é uma técnica na qual se produz mais energia do que consome, além de seus produtos e co-produtos (formados no processo) possuírem valor agregado.

- **Externalidades** = Esta tecnologia não possui experiências exitosas no tratamento de grandes volumes de resíduos. Outra questão é de a operação da pirólise requerer técnicos capacitados e altos custos iniciais, a depender da escala da planta. Alguns gases da pirólise são altamente cancerígenos (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos - HAP) e sua emissão deve ser controlada na origem por meio de filtros.
- **Mobilidade/logística** = em geral, a tecnologia é fixa, mas pode ser móvel, com reatores embarcados em caminhões que se deslocam até o local de origem dos resíduos. Para o caso móvel, é importante que os resíduos sejam pré-condicionados para aumentar a eficiência do processo.
- **Aplicabilidade** = A pirólise tende a ser uma alternativa técnica complementar nas usinas de energia e fornos industriais. Ela é aplicável local ou regionalmente, devido à sua escalabilidade ampla e a capacidade de processar vários tipos de resíduos juntos.

## 10.2 Incineração

- **Infraestrutura** = A incineração é a técnica no qual ocorre a queima dos resíduos e assim, diminui consideravelmente a quantidade, o volume e a toxicidade dos mesmos. Todo o processo consiste na combustão controlada dos resíduos, em ambiente fortemente oxidante e as temperaturas são entre 900°C a 1200°C. Devido às diferentes tecnologias de incineração, há vários tipos de incineradores e os mais comuns no Brasil são os de injeção líquida, fornos rotativos, câmara fixa e os de leito fluidizado. Os combustíveis utilizados no processo também variam a depender do tipo de tecnologia utilizada, exemplos são o gás natural, gás liquefeito de petróleo e diesel.

- **Escalabilidade** = A tecnologia possui alta escalabilidade pois a fabricação dos incineradores pode ser tanto compacta, para locais de pequeno porte (0,018t/h), como para altas capacidades de processamento (5,5t/h).
- **Flexibilidade** = Resíduos que podem ser reaproveitados por recuperação energética, segundo a Portaria 274/19: i) resíduos de limpeza urbana, originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana; ii) resíduos domiciliares, originários de atividades domésticas em residências urbanas; iii) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços caracterizados como não perigosos.
- **Eficiência** = Na incineração há o aproveitamento de energia, redução de até 90% do volume dos resíduos e, destinação segura para resíduos que podem causar danos à saúde pública. Esta tecnologia possui duas técnicas utilizadas, a *Mass Burning*, no qual os resíduos são incinerados sem tratamento prévio, e a *Refuse-derived Fuel*, que há um processamento anterior visando remover materiais recicláveis. Assim, esta tecnologia possui alta eficiência, mas requer controle rigoroso, devido aos riscos quanto às emissões de gases altamente tóxicos.
- **Externalidades** = Elevados custos de investimentos na instalação, operação e manutenção do tratamento dos resíduos, além da dificuldade de produção se os resíduos estiverem com umidade excessiva, pequeno poder calorífico ou clorados.
- **Mobilidade/logística** = A depender da capacidade do incinerador, sua estrutura pode ser portátil, no qual são compactos, não necessitando de grandes áreas; ou fixa, necessitando de áreas maiores e maior controle de toda estrutura e processos, denominadas de usinas de incineração de médio ou grande porte.
- **Aplicabilidade** = A incineração gera energia liberada no processo de queima, que pode ser transformada em energia térmica e, posteriormente elétrica.

## 10.3 Compostagem

- **Infraestrutura** = A infraestrutura para implementação da compostagem poderá ser utilizada de pequena a grande escala, o que interferirá na infraestrutura necessária. Desta forma, em grande escala a técnica pode ser implementada a partir de usinas de compostagem, dotadas de pátios de recepção de resíduos, central de triagem, esteira de triagem, equipamentos para separação, pátio para compostagem, aterros para rejeitos e sistema para tratamento de chorume. A infraestrutura para a utilização desta tecnologia em instituições de grande ou pequeno porte variam em seus métodos (compostagem natural, bio-aceleradores, composteiras elétricas). E para compostagem domiciliar há infraestrutura de baixo custo como composteiras e minhocários domésticos, no qual há comercialização ou opções de montagem própria.
- **Escalabilidade** = A técnica da compostagem pode ser desenvolvida em pequena, média e grande escala, de modo que sua realização pode se dar em municípios, propriedades rurais, centros de triagem, escolas, e até mesmo nas residências (casas e apartamentos). No caso da implementação em municípios há diversos métodos indicados, por exemplo, a compostagem natural, no qual são processadas quantidades inferiores a 100 t/dia; e a compostagem mecânica para quantidades maiores que 100 t/dia.
- **Flexibilidade** = A compostagem é um processo biológico, aeróbio e controlado, que consiste na transformação de matéria orgânica de origem vegetal ou animal em húmus/composto, assim, esta técnica absorve apenas a fração orgânica dos resíduos urbanos.
- **Eficiência** = Cerca de 50% dos resíduos gerados no Brasil são orgânicos e em sua maioria é enviado para lixões e/ou aterros. A técnica de compostagem possibilita a transformação de carga orgânica dos resíduos em compostos utilizados em solos e plantas, além da sua utilização diminuir consideravelmente a quantidade de resíduo orgânico a ser enviado aos lixões, no qual não há tratamento do chorume gerado, e aterros, minimizando os volumes a serem dispostos e conseqüentemente aumentando a vida útil dele.

Para aumento da eficiência da tecnologia é necessário a pré-seleção da matéria orgânica na fonte.

- **Externalidades** = Quando utilizado em grande escala há a necessidade de investimentos em mecanismos de mitigação dos odores e efluentes gerados no processo; necessidade de desenvolvimento de mercado consumidor do composto gerado no processo.
- **Mobilidade/logística** = A estrutura é fixa, implementação acessível em locais isolados e a área necessária para implementação da tecnologia é proporcional a quantidade de resíduos orgânicos que serão processados.
- **Aplicabilidade** = Alta aplicabilidade pois os compostos gerados no processo possuem viabilidade comercial, por exemplo para a utilização no solo para aumentar a fertilidade, assim como na recuperação de áreas degradadas.

## 10.4 Biodigestão

- **Infraestrutura** = O biodigestor consiste em um recipiente fechado no qual são introduzidos os dejetos para a produção de biogás e fertilizantes. Os modelos mais utilizados são o indiano, o chinês e o canadense. Os dois primeiros são construídos com materiais convencionais como tijolos e cimentos, a principal diferença entre eles consiste que no modelo indiano a campânula é móvel e no modelo chinês é fixa, e isto interfere na pressão do gás. Já no modelo canadense o biodigestor é construído a partir de um material de plástico maleável (PVC), permitindo assim o controle da produção do biogás.
- **Escalabilidade** = Os biodigestores podem ser construídos de acordo com a produção de dejetos e do potencial de produção de biogás, ou seja, pequeno, médio ou grande porte. Desta forma, os custos de implementação e a depender do modelo irão variar. Há técnicas nos quais os insumos de apenas 1 (um) módulo (residência, restaurante ou propriedade rural) são capazes de alimentar o biodigestor.

- **Flexibilidade** = A biodigestão anaeróbia é um processo no qual incide na transformação de matéria orgânica pela ação de bactérias na ausência de oxigênio. Desta forma, o principal tipo de resíduo utilizado nesta tecnologia é o orgânico.
- **Eficiência** = A biodigestão anaeróbia é uma tecnologia eficiente, na qual os produtos gerados são o biogás e fertilizante, que são utilizados e contribuem na diminuição dos custos da instalação da tecnologia, além de resolver a problemática dos resíduos orgânicos.
- **Externalidades** = No processo é necessário o uso de água para realização de mistura; geração de subprodutos nocivos como o sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) e o siloxenos; controle de temperatura dentro de uma faixa entre  $20^{\circ}C$  e  $60^{\circ}C$ , assim pode vir a ser necessário uma fonte de calor externa; o acúmulo de resíduos orgânicos pode trazer problemas de saúde pública se mal armazenados.
- **Mobilidade/logística** = A estrutura da tecnologia é fixa, entretanto, há viabilidade de instalação em lugares de difícil acesso, principalmente biodigestores residenciais/rurais, no qual são necessárias pequenas áreas e a depender da técnica escolhida há necessidade da construção da estrutura ou há alguns modelos comercializados, necessitando apenas da instalação.
- **Aplicabilidade** = Alta aplicabilidade pois são gerados os biofertilizantes e biogás que possuem viabilidade comercial, e utilizados para diversos fins, por exemplo para a utilização no solo para aumentar a fertilidade, assim como na recuperação de áreas degradadas. E por ter foco na recuperação energética, há potencial para uso. Esta tecnologia tem grande potencial para ser utilizada em áreas que possuam atividades agroindustriais, no qual geram dejetos animais das criações em confinamento ou semiconfinamento e resíduos vegetais.

## 11 ANÁLISE DE CRITÉRIOS PARA DISPOSIÇÃO FINAL

Algumas tecnologias conseguem tratar a maior parte do volume dos resíduos, entretanto, ainda há a possibilidade da geração de rejeito que precisa ser disposto em local apropriado. Esse local ambientalmente adequado, de acordo com a PNRS, é o aterro sanitário. A disposição final no aterro sanitário deve seguir normas operacionais corretas e seguras, a fim de evitar danos ou riscos à saúde e ao meio ambiente (BRASIL, 2010).

Por isso, o aterro sanitário é descrito abaixo como uma tecnologia de disposição final, utilizando os mesmos critérios abordados no tópico de descrição das tecnologias convencionais para tratamento de resíduos.

### 11.1 Aterro sanitário

- **Infraestrutura** = Os aterros sanitários são projetados e geridos com projetos de engenharia, e dessa forma passaram a ser uma forma de disposição e tratamento de resíduos avançado, alguns desses locais possuem ainda sistemas para a produção de biogás.
- **Escalabilidade** = A tecnologia possui variações em seus aterros projetados, ou seja, há escalabilidade tanto para pequenos municípios, no qual são construídos aterro em valas, aterro sanitário simplificado e aterro manual, como também para médios e grandes municípios.
- **Flexibilidade** = Esta tecnologia é universal no que se refere à disposição final de resíduos sólidos urbanos, sendo imprescindível, mesmo nos países onde existem outras tecnologias de tratamento, como incineração, compostagem, reciclagem, entre outras. Devido ser a forma de disposição final ambientalmente adequada de grande parte dos rejeitos.
- **Eficiência** = Os aterros sanitários são projetados para que sua vida útil seja de no mínimo dez anos e que a área seja monitorada por mais dez anos, já que a produção de chorume e de gases ainda ocorrem. O ideal desta tecnologia é somente a disposição de rejeitos em sua área, entretanto, no Brasil não ocorre

essa prática, no qual, na maioria das vezes, recebe também resíduos sólidos recicláveis e orgânicos. Desta forma, para sua total eficiência, a coleta seletiva deve ser implementada. Além disso, práticas como a impermeabilização do solo, coleta dos líquidos e gases gerados, instalação de áreas e equipamentos, entre outros, são necessários para a eficiência dos aterros sanitários.

- **Externalidades** = Necessidade de grandes áreas para aterro; interferência da meteorologia na produção de lixiviados que requisitam tratamento adequado; período pós-fechamento relativamente longo para a estabilização do aterro, incluindo efluentes líquidos e gasosos; controle dos riscos de impactos ambientais de longo prazo. Custo para instalação, operação e monitoramento.
- **Mobilidade/logística** = Esta tecnologia é fixa, sendo alocada em determinada área selecionada a partir de estudos ambientais a fim de determinar se o local atende os parâmetros que a legislação estabelece.
- **Aplicabilidade** = A decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos dispostos produz chorume e biogás, rico em metano, que necessita de tratamento correto para não causar impactos ambientais negativos na região. Alternativas como aterro sanitário com aproveitamento energético é uma opção para utilização desses produtos para a geração de energia elétrica e consumo na própria região. A aplicabilidade desta tecnologia dependerá dos estudos ambientais aprofundados e de áreas que atendam os parâmetros existentes, entretanto, pode ser utilizada por um ou mais municípios, por meio de consórcios públicos.

## 12 TECNOLOGIAS SOCIAIS

A tecnologia social (TS) surge como alternativa à utilização de tecnologias convencionais, que geralmente são mais caras e mais complexas, e às vezes não entregam a solução esperada. A TS é uma ferramenta desenvolvida a partir de problemas locais, utilizando conhecimento popular e criatividade, bem como recursos da própria região. Por isso, são de baixo custo, de fácil aplicação e podem ser adaptadas a realidades específicas (SEBRAE, 2017).

Tecnologia social é *“um conjunto de técnicas, metodologias transformadoras, desenvolvidas e/ou aplicadas na interação com a população e apropriadas por ela, que representam soluções para a inclusão social e melhoria das condições de vida”* (ITS Brasil, 2004). Com ela, propõe-se o desenvolvimento sustentável a partir dos pilares social, ambiental, de solidariedade econômica, de respeito cultural, de trabalho, de renda e de educação (SEBRAE, 2017).

O Instituto de Tecnologia Social (ITS Brasil), divide as tecnologias sociais em 4 dimensões. A dimensão do **Conhecimento, Ciência e Tecnologia**: tem como ponto de partida os problemas sociais; tem por base a organização e sistematização; introduz ou gera inovação nas comunidades. A segunda dimensão é a da **Participação, Cidadania e Democracia**: enfatiza a cidadania e a participação democrática; utiliza a metodologia participativa; impulsiona sua disseminação e reaplicação. A terceira dimensão é a de **Educação**: opera um processo pedagógico completo; desenvolve diálogo entre saberes populares e científicos; entrega autonomia às comunidades. A quarta é a de **Relevância Social**: busca eficácia na solução dos problemas sociais; é ambientalmente sustentável; causa transformação social (ITS Brasil, 2020).

Os objetivos da TS são: solucionar problemas e demandas sociais vividas e identificadas pela população; criar oportunidades de participação, apropriação e aprendizagem para a população e outros atores; planejar e aplicar conhecimento de forma organizada; gerar conhecimento a partir da prática; proporcionar sustentabilidade econômica, social e ambiental; proporcionar aprendizagem para ser referência para novas experiências (eBook ITS Brasil, 2020).

A TS pode ser desenvolvida para diversos temas, como por exemplo, meio ambiente, saneamento básico e energia. Como resultado, as tecnologias sociais são capazes de criar produtos, dispositivos ou equipamentos; novos processos ou procedimentos; novas técnicas ou metodologias; novos serviços e, também, diversas inovações. Também é capaz de envolver diversos atores, como: instituições de ensino; poderes públicos; empresas; sindicato; cooperativas; movimentos populares; associações civis; populações tradicionais e/ou comunidades locais de povos indígenas, quilombolas, ribeirinhos, caiçaras, extrativistas, pescadores, agricultores familiares e catadores; assentados ou reassentados dos programas de reforma agrária (ITS Brasil, 2020).

É interessante que a construção e implementação das TSs seja feita com a participação da comunidade, portanto, é indicado a realização de oficinas de sensibilização e educação. Além disso, é necessário fazer um levantamento dos materiais necessários, infraestrutura e mão-de-obra para desenvolver o sistema. Parcerias devem ser feitas pela prefeitura com outras instituições ou organizações que possam contribuir de alguma maneira.

Como a linha de desenvolvimento das TSs dependem da integração e participação das pessoas que fazem parte das comunidades, não faria sentido determinar aqui o que e como deve ser feito. Nesse sentido, resolveu-se apresentar algumas possibilidades e alguns exemplos de TSs já implementadas para construção de uma gestão participativa dos resíduos sólidos em outras comunidades, e que pode ser adaptada para a Amazônia Legal.

## 12 RESÍDUOS ORGÂNICOS

### 12.1 Compostagem

A compostagem é um processo biológico onde microorganismos e animais invertebrados transformam a matéria orgânica em um composto homogêneo com aspecto de terra, conhecido como adubo. A realização da compostagem nas comunidades gera oportunidades para:

- Mobilização social e de conscientização para separação do resíduo orgânico;
- Ações de educação ambiental voltadas ao ensino e aprendizagem de como realizar a compostagem residencial, com produção de composto orgânico para uso próprio ou comercialização;
- Ações de educação ambiental voltadas ao ensino e aprendizagem de como realizar a compostagem com resíduos orgânicos vindos de matéria de origem vegetal (plantação, serragem, restos de poda) ou de matéria de origem animal (esterco animal) - com produção de composto orgânico para uso próprio ou comercialização.

A compostagem é uma técnica que tanto pode ser aplicada de forma individual, quanto de forma comunitária. A composteira, local onde são armazenados os resíduos orgânicos para o processo de compostagem com o auxílio de minhocas, normalmente tem um tamanho capaz de atender pequenas famílias, podendo ser utilizada em casa ou apartamento, e até mesmo em pequenos escritórios (figura 3A).

Para diminuir custos, as composteiras podem ser montadas reaproveitando materiais como baldes e garrafas de 20 litros empilhadas, fazendo-se furos no fundo dos recipientes, conforme exemplificado na figura 3B. Também há sistemas onde as composteiras são empilhadas (figura 3C), e assim, são utilizadas para atender uma demanda maior no tratamento de resíduos orgânicos, como em escolas, restaurantes ou pequenos comércios, por exemplo.

**Figura 3.** (A) Conjunto HUMI, um exemplo de composteira doméstica; (B) Composteiras a partir do reúso de resíduos; (C) Composteiras empilhadas.



(A)



(B)



(C)

Fonte: [https://www.agriculturaurbana.org.br/boas\\_praticas/compostagem/modelos\\_composteiros.htm](https://www.agriculturaurbana.org.br/boas_praticas/compostagem/modelos_composteiros.htm)

Em atendimento a maiores escalas, a compostagem também pode ser uma aliada junto aos centros de disposição final, como no exemplo da Unidade de Tratamento de Resíduos Sólidos (UTRE) de Rio Branco, no Acre, que possui uma unidade de compostagem para receber o material de podas e cortes de galhadas feitas pela prefeitura, os quais são triturados e mantidos em leiras ao ar livre. Restos de fibras de frutas oriundas de empresas que fabricam polpas, passam por uma compostagem com aeração contínua e automatizada, e toda a matéria final desta unidade é destinada às hortas comunitárias (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Nesse caso, a organização para oferecer esse serviço é do município, mas ainda sim depende de uma coleta seletiva ou de uma coleta solicitada pelo cidadão.

A compostagem coletiva é utilizada por moradores que separam seu resíduo orgânico, mas não tem tempo ou espaço para cuidar da sua compostagem. Para isso, são montadas minicentrals comunitárias nos bairros, descentralizando o tratamento. Os resíduos podem ser levados pelos moradores ou coletados através de baldinhos, podendo ser este um serviço pago ou gratuito. Em Florianópolis, a Cepagro comanda um trabalho de gestão comunitária que ensina compostagem e agricultura urbana em uma comunidade, a partir da sensibilização das famílias para separação do material a ser compostado (Instituto Akatu, 2021).

## 12.2 Biodigestão

A biodigestão é a degradação anaeróbica da matéria orgânica por meio de bactérias e microorganismos presentes na biomassa. Ao longo do processo de biodigestão, que acontece sem a presença de oxigênio, gases vão sendo gerados, um deles o biogás, que é utilizado para produção de energia.

Um estudo de caso que utilizou biodigestores residenciais foi realizado no município de Petrópolis, no Rio de Janeiro. A instalação de bio sistemas possibilitou a geração de biogás que foi disponibilizado para creches e outras instituições públicas de áreas com populações carentes (PROENÇA E MACHADO, 2018).

No Estado de Goiás os municípios de Itaberaí, Guaraíta, Itapuranga, Piracanjuba e Pontalina foram beneficiados com o Projeto Biodigestor “uma tecnologia social no Programa Nacional de Habitação Rural”. Isso permitiu aos agricultores da região a produção da sua própria energia elétrica, do gás de cozinha, de adubo orgânico para capim e plantações, incluindo pomares.

O processo de geração do biogás acontece mediante a colocação de esterco dentro da “caixa de carga”, de onde segue para o “tanque de fermentação”. Lá, ele se transforma em uma fração gasosa (o biogás), em uma líquida e uma sólida. As duas últimas frações, descartadas por meio da “caixa de descarga”, são subprodutos que também podem ser utilizados na fertilização do solo para agricultura (GUIMARÃES, 2017). Na figura 4, é possível observar a lista de materiais utilizados para a construção do biodigestor.

**Figura 4.** Lista de materiais utilizados na construção de um biodigestor.

6 dias	Escavação do buraco	2	Luva de união 20mm
1	Caixa de fibra de 3000 litros	8	Joelhos pvc rígido 20mm
10	Sacos de cimento	1	Flange 60x60mm
1	Barra de ferro 6,3mm	3	Flanges 20mm
8 k	Arame 12 galvanizado	3	Registros de esfera 20mm
6	Latas de Brita 01	5m	Mangueira cristal trançada 20mm
100	Latas de areia	6	Luvras LR 20mm
8 k	Zinco 0,40mm	3	Adaptador interno para mangueira pvc 20mm
200	Tijolos 6 furos	4	Abraçadeiras rosca sem fim ½"
1	Barra/6m cano pvc esgoto 100mm	1	Vasilhame 20L acrílico ( água mineral)
3,5m	Cano pvc rígido 50mm	2m	Tábua 15cm x 4cm
3,5m	Cano de ferro 40mm	7m	Barrote de madeira de 10
1,5m	Cano pvc 60mm	1	Telhe de fibra 1,50x0,80cm
1m	Cano pvc 75mm azul	4	Parafusos 8cm3/4
2	Cola pvc pequena	4	Pregos para telhe Brasilit
30m	Cano pvc rígido 20mm	1m	Tela de nylon 1,50x0,80
3	Joelhos pvc rígido LR 20mm	4 dias	Mão de obra não especializada
1	Cap 75mm azul	2	Veda rosca
1	T pvc rígido 20mm	1m	Cano pvc rígido 25mm
1	Parafuso 29cm 3/8	1	Capa ante chuva (por encomenda)

Fonte: Guimarães, 2017.

Portanto, mediante mobilização social e um certo investimento da prefeitura ou da própria comunidade, é possível a construção de um sistema de biodigestão que atenda a pequenas populações, proporcionando um tratamento adequado ao resíduo orgânico, além de oportunizar inúmeros outros benefícios, como produção de energia ou gás de cozinha.

## 13 OUTROS RESÍDUOS CRÍTICOS

### 13.1 Vidro

Apesar de ser um material 100% reciclável, o descarte do vidro é um grande problema na maioria das cidades. As quantidades de vidro descartados são muito grandes devido ao seu peso e volume, mas a captação e o repasse dele para a indústria recicladora tem um retorno financeiro muito baixo para os catadores, sem contar os riscos e perigos do seu manuseio e transporte.

Recentemente o Ministério de Meio Ambiente (MMA) abriu consulta pública sobre reciclagem de embalagens de vidro, no intuito de formalizar acordos setoriais que tratarão da logística reversa do material, envolvendo fabricantes, importadores,

distribuidores e comerciantes de produtos vendidos em embalagens de vidro (EBC, 2021). Quando isso estiver pronto, deve facilitar a organização da logística tanto para comercialização quanto para coleta das embalagens vazias.

Antes da opção da reciclagem, pode-se tentar reutilizar as embalagens de vidro ao máximo, utilizando-as para armazenar algum produto produzido na própria comunidade. No caso de garrafas de bebidas e outras embalagens descartadas, deve-se em primeiro lugar criar um local para depositá-las com cuidado. Posteriormente, a maneira mais viável de manusear e transportar o vidro em maior quantidade é quando ele está triturado.

Sendo assim, uma das soluções para lidar com o vidro é adquirir um equipamento que faça essa trituração. Existem modelos, como por exemplo o da figura 5, que atendem a necessidade de prefeituras, empresas e outros estabelecimentos que usam artigos de vidro, com um custo em torno de R\$11.000. É um valor que para muitas prefeituras pode ser considerado alto, no entanto, para facilitar a destinação do vidro na Amazônia Legal, pode-se tentar comprar um desses trituradores em parceria com a iniciativa privada ou outros municípios e instalá-lo em cooperativas. O vidro triturado fica mais fácil de armazenar, possibilitando que esse resíduo possa ser acumulado antes de ser viável o seu transporte às indústrias recicladoras.

**Figura 5.** Exemplo de equipamento triturador de vidro de pequeno porte.



Fonte: <https://www.horiz.com.br/triturador-vidros-reciclagem>

Uma outra solução foi descoberta pelo professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Ricardo Schneider e pela estudante de engenharia civil Isabelle Aparecida da Costa em 2019. O vidro, moído e transformado em pó, pode ser utilizado

para fazer concreto e outros produtos da construção civil. Além disso, de acordo com o professor, o vidro em pó tem seu valor de mercado aumentado em 25 vezes. A ideia deles é continuar as pesquisas a fim de que esse vidro moído possa se tornar um substituto da areia, que é um recurso natural muito utilizado e finito (Fundação Banco do Brasil, 2019).

## 13.2 Plásticos

O plástico revolucionou a vida das pessoas e está presente em praticamente todos os objetos que consumimos e utilizamos. Portanto, a produção dele acaba por gerar uma quantidade imensa de resíduos, uma vez que a maioria deles é utilizada uma única vez. Prova disso é que o setor com maior demanda para a indústria do plástico é o de embalagens, tendo em vista que quase tudo que está à venda nos mercados de qualquer lugar do Brasil, possui alguma embalagem 100% plástica ou que possua plástico na sua composição.

Novamente aqui ressalta-se a importância da coleta seletiva, pois a questão do resíduo plástico só é possível de ser “resolvida” se ele for separado dos demais resíduos descartados pela população. A indústria tem buscado algumas alternativas a nível produtivo, agregando polímeros biodegradáveis e reciclados às suas produções. Entretanto, apesar do aumento da oferta de produtos plásticos mais sustentáveis, não podemos esquecer que já circula no ambiente um volume considerável de plástico que precisa de uma destinação correta.

Segundo a Abiplast (2018), o índice de reciclagem de plástico no Brasil em 2016 foi de 25,8%, ou seja, há ainda muito potencial para crescer. Em 2015, um grupo chamado “*Coalizão Embalagens*” formado por 13 organizações que representam cerca de 850 empresas - fabricantes de matérias-primas para embalagens, fabricantes de embalagens, fabricantes de produtos usuários de embalagens dos setores de alimentos, bebidas, produtos para animais de estimação e tintas, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos embalados -, assinou o Acordo Setorial para Implantação do Sistema de Logística Reversa de Embalagens em Geral, do Ministério do Meio Ambiente (Coalizão Embalagens, 2019). A proposta

do acordo é a realização da logística reversa de embalagens pós-consumo através da coleta e reciclagem desses materiais.

Segundo dados da 1ª fase do Acordo Setorial divulgados em 2018, conseguiu-se atingir as principais metas quanto ao aumento da taxa de recuperação e quanto à redução de embalagens plásticas enviadas para aterros, mas ainda assim, a indústria de transformação possui uma grande capacidade para absorver os plásticos destinados à reciclagem.

A cada 1 tonelada de material plástico reciclado produzido, são reduzidos em média 1,1 tonelada de resíduos plástico disposto em aterros; reduz emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE); economiza em média 75% de energia; são evitados 450 L de água na produção; e gera emprego para 3,16 catadores (ABIPLAST, 2018). Portanto, fomentar a coleta desses materiais nos municípios é essencial para movimentar o fluxo da reciclagem de plásticos.

De acordo com o mapa de localização de empresas e empregos do setor de reciclagem de material plástico, por estado, tem-se que alguns dos estados que compõem a Amazônia Legal possuem essas empresas. São eles: o Amazonas, com 9 empresas; o Pará com 14; o Maranhão com 7; Rondônia com 5; Tocantins com 5; e o Mato Grosso com 20 (ABIPLAST, 2018). Ficam de fora dessa lista o Acre, Roraima e o Amapá, ou seja, esses três teriam que organizar uma logística para envio desses materiais aos estados vizinhos, contando com a organização política entre estados e municípios, mas também com as obrigações dos participantes do grupo Coalizão Embalagens.

Em um estudo mais minucioso no futuro, poderiam ser levantadas as localizações dessas empresas e, conseqüentemente, as distâncias e melhores pontos para fazer uma espécie de “transbordo” de materiais plásticos, facilitando a logística para e entre cooperativas e municípios, a fim de que todo material coletado possa chegar à indústria que realizará de fato a reciclagem desses plásticos.

Aqui, novamente fica clara a necessidade do fomento à criação e organização de cooperativas e associações de catadores de material reciclável. A chance de criar polos organizados a partir dos tipos de resíduos triados é muito grande. Cabe aos

gestores buscar realizar essas parcerias e estudar as possibilidades viáveis, onde todos os envolvidos da cadeia possam atuar de acordo com suas responsabilidades, gerando emprego e renda que movimentam o ciclo da economia dos municípios.

## 14 BENEFÍCIOS DO USO DE TECNOLOGIAS

A decisão pelo uso de qualquer tecnologia perpassa inicialmente pela execução correta do descarte, coleta e triagem. Se essas etapas forem devidamente cumpridas, elas serão capazes de ampliar as chances de:

- 1) Gerar emprego e renda;
- 2) Descentralizar o gerenciamento;
- 3) Melhorar a limpeza dos ambientes proporcionando saúde pública e ambiental;
- 4) Incentivar a responsabilidade compartilhada;
- 5) Incentivar a educação ambiental da população;
- 6) Beneficiar e valorizar produtos sustentáveis no mercado;
- 7) Ampliar o uso de tratamentos de resíduos de baixo custo e alta escalabilidade.

## 15 CONCLUSÕES

A resolução dos problemas e deficiências na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos na Amazônia Legal passa por uma estruturação e organização dos passos básicos de cumprimento à Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Por isso, apenas a busca pelo uso exclusivo de tecnologias, não é uma medida suficiente. A construção deste documento foi para atender também a essa demanda de organização e passos iniciais.

As tecnologias sociais podem atender classes populacionais pequenas, diferentemente das tecnologias convencionais que muitas vezes necessitam de grandes populações para manter sua viabilidade técnica e econômica. Já as tecnologias convencionais podem ser efetivas no tratamento de alguns resíduos, mas às vezes a um alto custo financeiro e técnico. Mas independente da tecnologia escolhida, a organização da coleta seletiva é um passo crucial para uma gestão eficiente.

Entende-se que o uso combinado de um ou mais tipos de tecnologias, aliado a um planejamento do gerenciamento de resíduos de forma descentralizada, parece ser o indicado para a região da Amazônia Legal, tendo em vista suas particularidades.

Por fim, o diferencial para ter-se uma redução na geração de resíduos e uma boa gestão na destinação deles, é a conscientização de todos os envolvidos na cadeia produtiva e de consumo. A responsabilidade compartilhada tem papel primordial, pois o compromisso deve ser abraçado por TODOS!

## REFERÊNCIAS

ABIPLAST. **Perfil 2018**: Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico. 2018. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil2018/> Acesso em: 17 jan. 2021.

ARAÚJO, Luane Souza de; GERHARDT, Juliana; OLIVEIRA, Adriana de Souza; RODRIGUES, Thiago Oliveira; APPEL, André Luiz; MARTINEZ, Matheus Silva. **Diagnóstico da Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Amazônia Legal**. Brasília, DF: Ibict, 2021. (no prelo).

BRASIL. LEI Nº 12.305. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2 ago. 2010.

CAVALHEIRO, A. R. R.; GAZOLLA, M.; MARINI, M. J. Tecnologia social: contribuições à política nacional de resíduos sólidos. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 15, n. 38, out./dez. 2019. DOI 10.3895/rts.v15n38. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/8458> Acesso em 22 dez. 2020.

COALIZÃO EMBALAGENS. 2019. Disponível em: <https://www.coalizoembalagens.com.br/> Acesso em: 17 jan. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO [EBC]. **Governo abre consulta pública sobre reciclagem de embalagens de vidro**. 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-01/governo-abre-consulta-publica-sobre-reciclagem-de-embalagens-de-vidro> Acesso em: 15 jan. 2021.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. **Reuso de Resíduos Vítreos vence na categoria Meio Ambiente**. 2019. Disponível em: <https://www.fbb.org.br/pt-br/ra/tag/reciclagem>. Acesso em: 15 jan. 2021.

GUIMARÃES, Danilo. Projeto Biodigestores: uma tecnologia social. Com biodigestores, agricultores familiares reduzem custos e impacto ambiental. **Jornal da FETAEG**, ano 15, ed. 132, maio 2017. Disponível em: [http://www.fetaeg.org.br/files/files\\_2\\_00003/arquivos/file\\_1363.pdf](http://www.fetaeg.org.br/files/files_2_00003/arquivos/file_1363.pdf) Acesso em 08 jan. 2021.

INSTITUTO AKATU. **Revolução dos Baldinhos**: agricultura urbana e consumo consciente transformam uma comunidade. 2021. Disponível em: <https://www.akatu.org.br/noticia/revolucao-dos-baldinhos-agricultura-urbana-e-consumo-consciente-transformam-uma-comunidade/> Acesso em: 15 jan. 2021.

ITS BRASIL. **Caderno de Debate**: Tecnologia Social no Brasil. São Paulo, SP: ITS, 2004. v. 26. Disponível em: <http://itsbrasil.org.br/conheca/tecnologia-social/> Acesso em: 22 dez. 2020.

ITS Brasil. **O que é a Tecnologia Social?** 2020. Disponível em <http://itsbrasil.org.br/conheca/tecnologia-social/> Acesso em: 22 dez. 2020.

MARCA AMBIENTAL. 2018. Disponível em: <https://www.marcaambiental.com.br/parque-de-coindustrias-uma-teia-de-solucoes/>. Acesso em 14 jan. 2021.

OLIVEIRA, Adriana de Souza; GERHARDT, Juliana; ARAÚJO, Luane Souza de; RODRIGUES, Thiago Oliveira; SILVA, Margaret de Palermo; ANDRADE, Stéphanie Maria Freire de; DIAS, Layra Emily Rodrigues; BORALLI, Mirtes Vieitas. **Oficina Acre Amazônia Legal sem Resíduo**: Relatório final. Brasília, DF: Ibict; Funasa, 2020a. Disponível em: <http://www.amazonialegalsemresiduo.ibict.br/wp-content/uploads/2019/08/RELAT%C3%93RIO-FINAL-Oficina-Amaz%C3%B4nia-Legal-Sem-Res%C3%ADuo-Acre-2019.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2021.

PROENÇA, Cláudio; MACHADO, Gustavo. Biodigestores como tecnologia social para promoção da saúde: Estudo de caso para saneamento residencial em áreas periféricas. *Saúde em Redes*, v. 4, n. 3, p. 87-99, 2018.

RIO PARK RECICLA. 2020. Disponível em: <http://rioparkrecicla.com.br/#home> Acesso em: 14 jan. 2021.

RODRIGUES, T. O. Minimizar a geração de resíduos sólidos: um guia conceitual. Elaborado por Thiago Oliveira Rodrigues. – Brasília: Ibict, 2020.

SEBRAE. **Tecnologias sociais**: como os negócios podem transformar comunidades. 2017.

Disponível em:

<http://sustentabilidade.sebrae.com.br/Sustentabilidade/Para%20sua%20empresa/Publica%C3%A7%C3%B5es/Tecnologias-Sociais-final.pdf>. Acesso em 22 dez. 2020.