

# Disciplina: PRG 008

## Fundamentos da Economia Circular

Margareth de C. Oliveira Pavan  
Pesquisadora Colaboradora  
Departamento de Engenharia de Produção PRO/POLI/USP

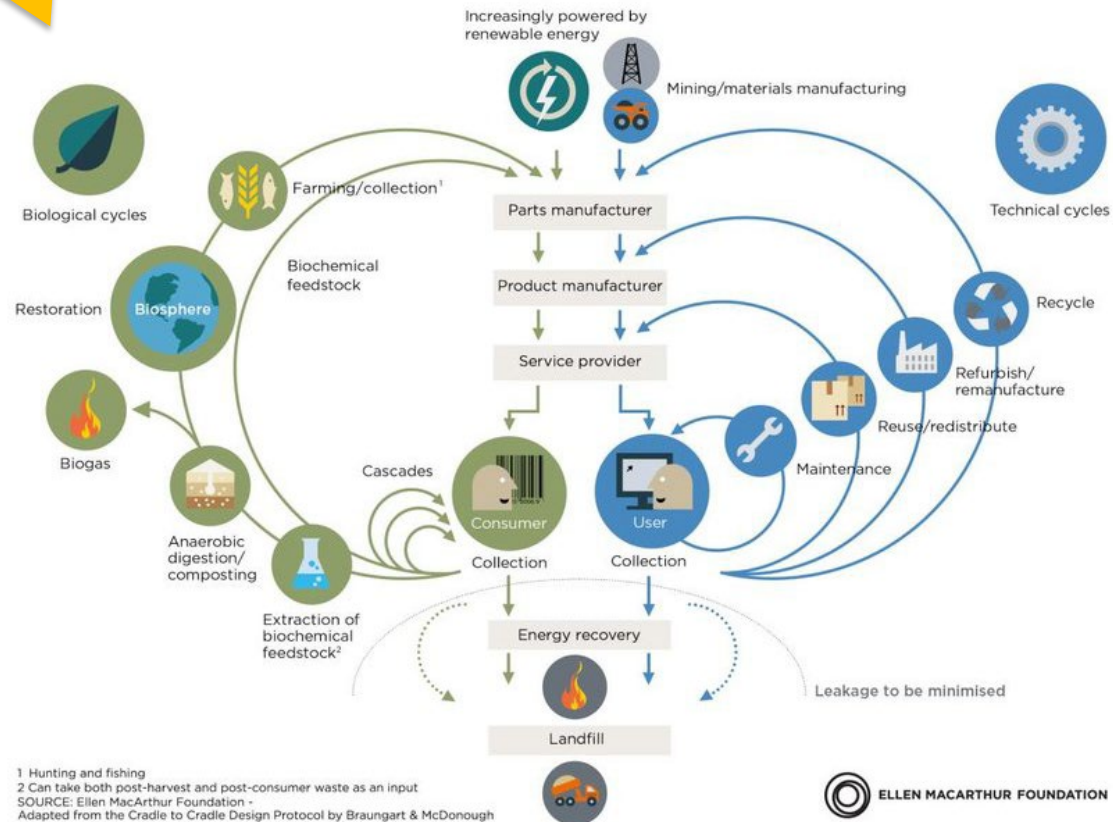
# Agenda

- Diagrama de borboleta – foco nos ciclos biológicos
- Modelos de negócios circulares para geração de energia
- Potencialidades para o Brasil

# Ciclos Biológicos



- Fluxo de materiais renováveis
- Materiais são metabolizados ou reintroduzidos na biosfera de forma segura
- Geração de valor em cascata

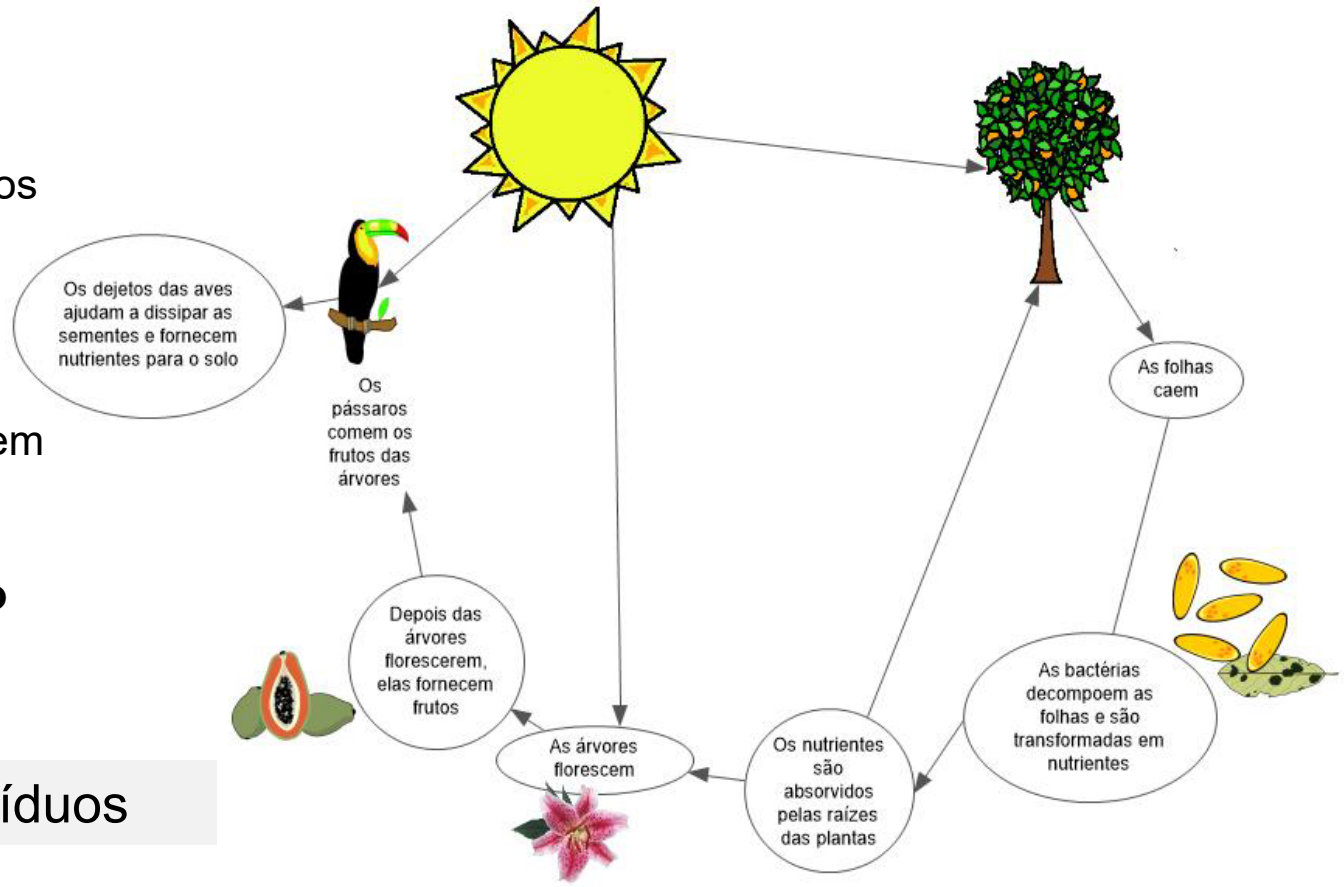


# Na natureza

Resíduos de uma espécie são alimentos para outra espécie.

Restos de frutas consumidas por um animal se decompõem e viram nutrientes para as plantas através em um **ciclo fechado**.

Não há resíduos



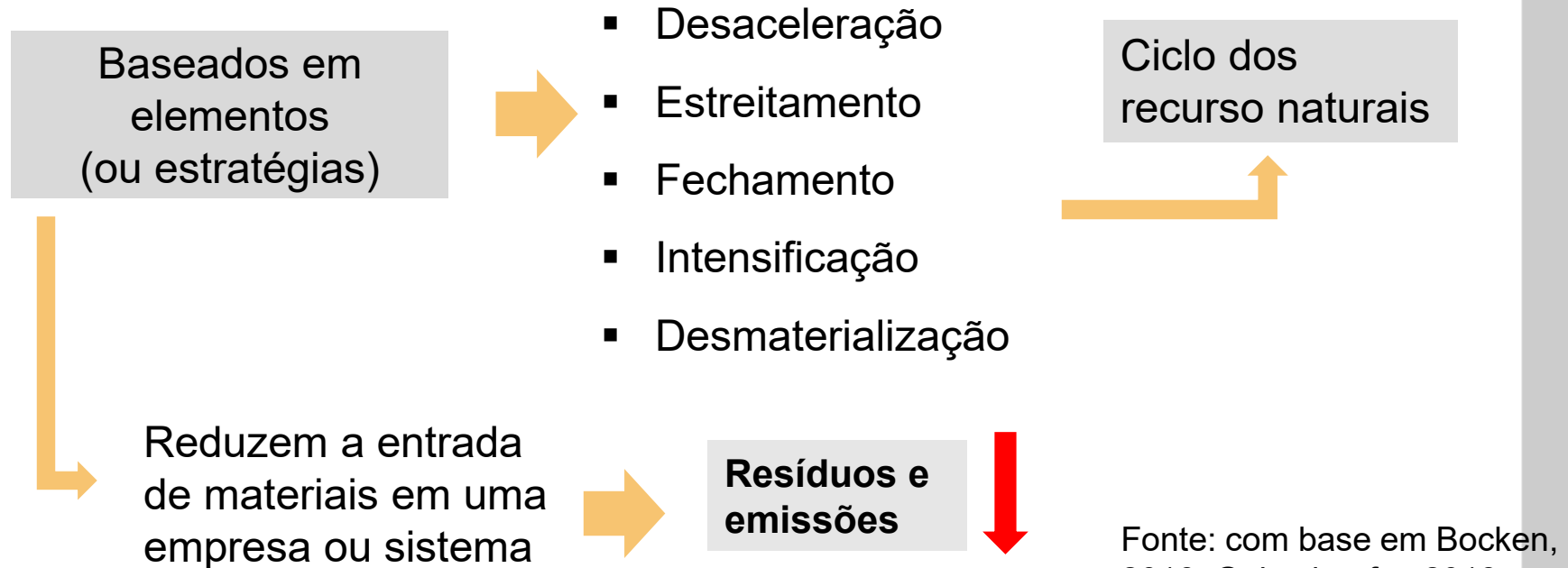
# Economia Circular

- Busca promover a utilização eficiente dos recursos, aliando equilíbrio ambiental e social.
- Visa a adoção de padrões de produção em sistemas de ciclos fechados.
- Gera desenvolvimento econômico, emprego e renda e reduz impactos ambientais (incluindo emissões de carbono).

Fonte: com base em EMF, 2013.

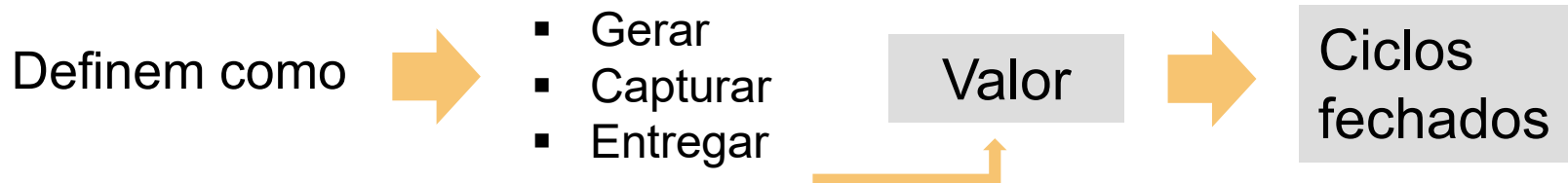
# Modelos de Negócios Circulares

- Direcionados para a prática da Economia Circular



# Modelos de Negócios Circulares

- Focam na gestão pró-ativa de **múltiplas partes interessadas** em uma perspectiva de **longo prazo**.
- Buscam soluções através de uma de **cadeia de valor circular**, alinhadas com incentivos e necessidades das diferentes partes interessadas.



Fonte: com base em Bocken,  
2016; Geissdoerfer, 2018.

# Tipos e Características dos Modelos de Negócios Circulares

Classificações e tipologias

Modelos característicos dos ciclos biológicos



- Na fonte dos recursos (tipo de matéria-prima)
- Na estratégia e no potencial de apoiar o fechamento do ciclos dos recursos

- **Cadeia de suprimentos circulares**
- Recuperação de recursos
- Compartilhamento
- Extensão de vida do produto
- Produto como serviço

Fonte: Adaptado de Lacy et al., 2014

- **Cascata**
- Ciclo puro
- Ciclo curto
- Ciclo longo
- Serviços desmaterializados
- Produto sob demanda

Fonte: Adaptado de Larsson, 2018.

- **Reciclagem**
- **Cascata e reaproveitamento**
- **Matéria prima orgânica**
- Reparo e manutenção
- Reutilização e redistribuição
- Reforma e remanufatura

Fonte: Adaptado de Lüdeke-Freund et al., 2019.



# Tipos e Características dos Modelos de Negócios Circulares

## ▪ Reciclagem

- A geração de valor está relacionada aos padrões de *downcycling* e *upcycling*.
- Conectam extremidades das cadeias de suprimentos.

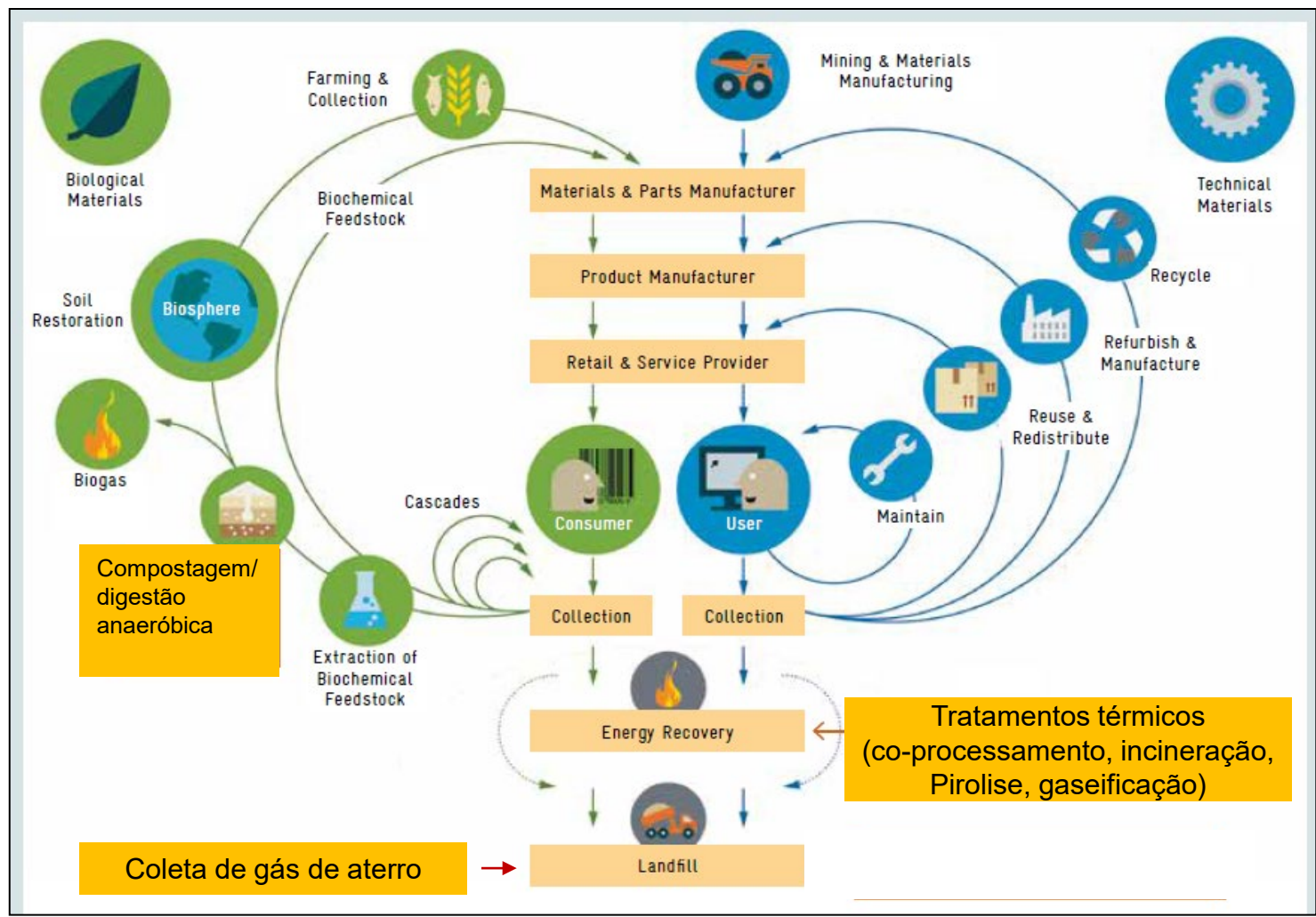
## ▪ Cascata e reaproveitamento

- Desenvolvimento de múltiplos fluxos de resíduos e múltiplas receitas a partir de coprodutos ou subprodutos
- A geração de valor depende da reintrodução de nutrientes biológicos nos componentes do produto, e materiais produzidos.
- Baseado na colaboração entre novos e atores diferentes (às vezes inusitados)

## ▪ Matéria prima orgânica

- Focam na possibilidade de conversão de resíduos orgânicos (biomassa) em biocombustíveis ou outros produtos químicos compostos através de processos de compostagem por digestão anaeróbia.
- Os fluxos de resíduos podem ser organizados diretamente ou através de um intermediário como parceiro para criação de valor.

Fonte: Adaptado de Lüdeke-Freund et al., 2019.



Fonte: Ellen MacArthur Foundation, 2013; GIZ, 2017.

# Waste-to-Energy (WtE) no contexto da Economia Circular



Fonte: Adaptado de European Commission , 2017.  
*The role of waste-to-energy in the circular economy*

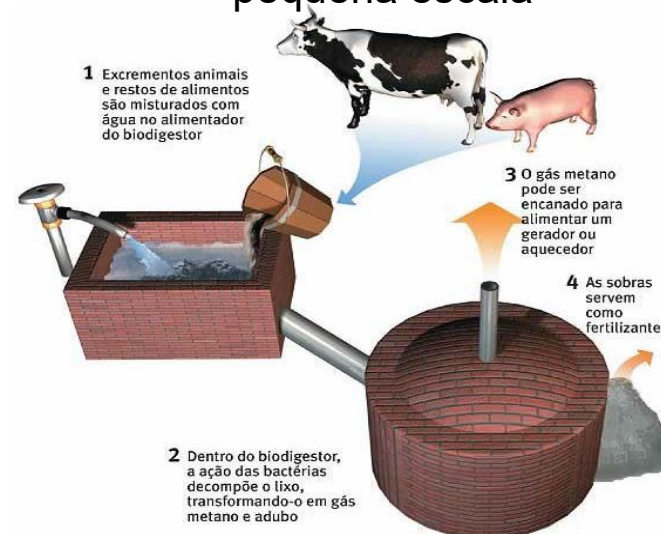
# Modelos de Negócios Circulares para Geração de Energia

A conversão de resíduos em energia (WtE) é possível a partir de diferentes tipos de matérias-primas



- Fecham os ciclos biológicos (EMF, 2015, 2013).
- Criam diferentes fontes de receita a partir de múltiplos fluxos de resíduos produzidos em processos de produção (Pauli, 2010).
- Promovem a utilização eficiente de recursos e o fechamento dos ciclos.

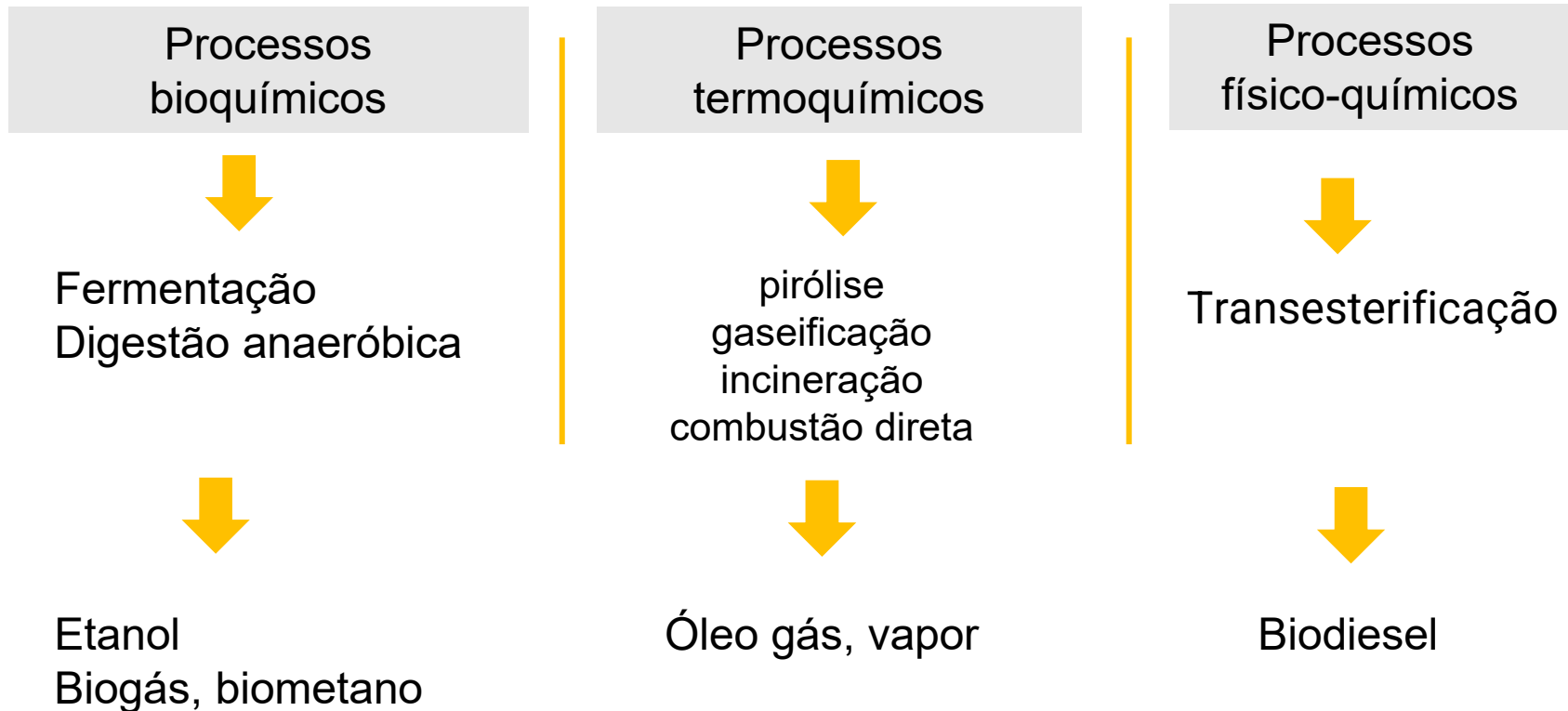
## Processo de digestão anaeróbia em pequena escala



**No modelo Circular os sistemas de gestão de resíduos visam abastecer a economia com matérias-primas secundárias e energia a partir de resíduos**



# Rotas tecnológicas para conversão de resíduos orgânicos em energia



## Processo de digestão anaeróbica para produção de biogás em grande escala



1. Diferentes tipos de biomassa (substrato)
2. Recepção e estocagem de resíduos
3. Preparação, separação, limpeza
4. Pré-tratamento da matéria prima
5. Biofiltração (redução de cheiro e compostos orgânicos)
6. Unidade de sanitização
7. Biodigestor
8. Estocagem do gás
9. Sistema de limpeza do gás
10. Equipamento de segurança (flare)
11. Sistema de Cogeração (CHP)
12. Estocagem do digestato
13. Upgrading do digestato

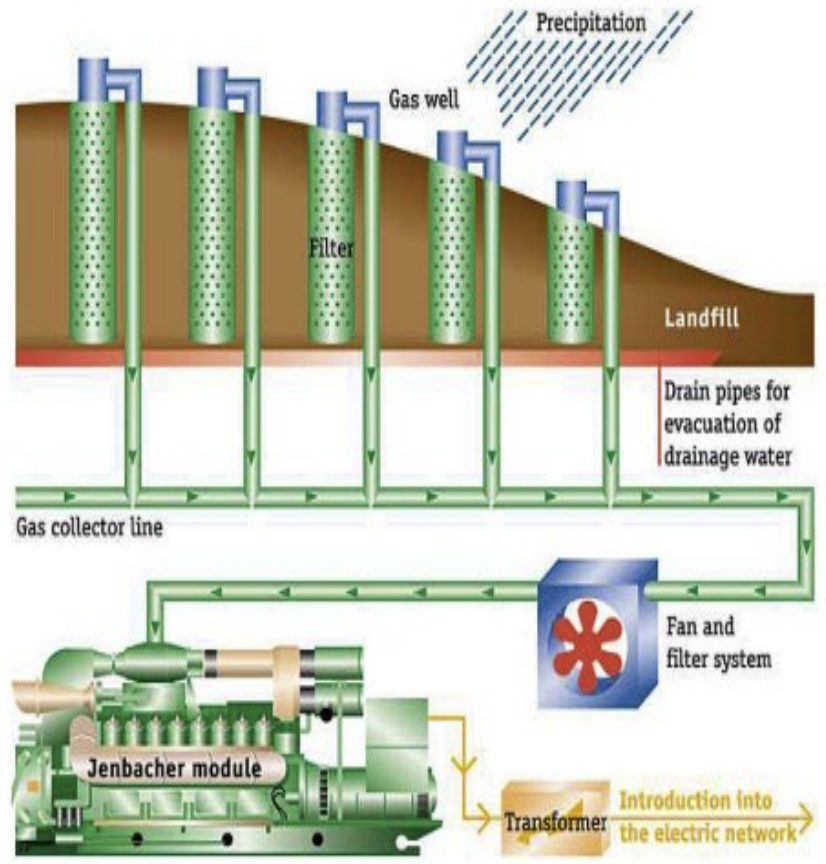


Planta de co-digestão anaeróbica - Dinamarca

Fonte: Biogas Handbook

Fonte: Adaptado de GIZ, 2017

# Recuperação de gás de aterros

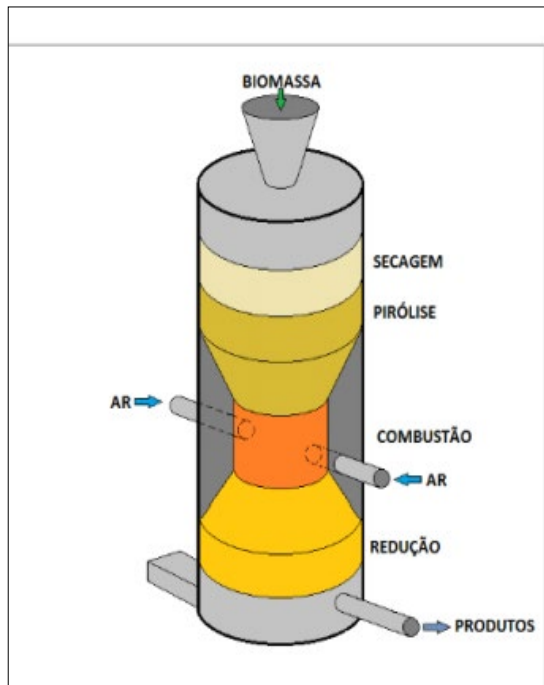


Fonte: Malinauskaite et al.; Energy, 2017.

<https://www.ccacoalition.org/>



## Pirólise/Gaseificação

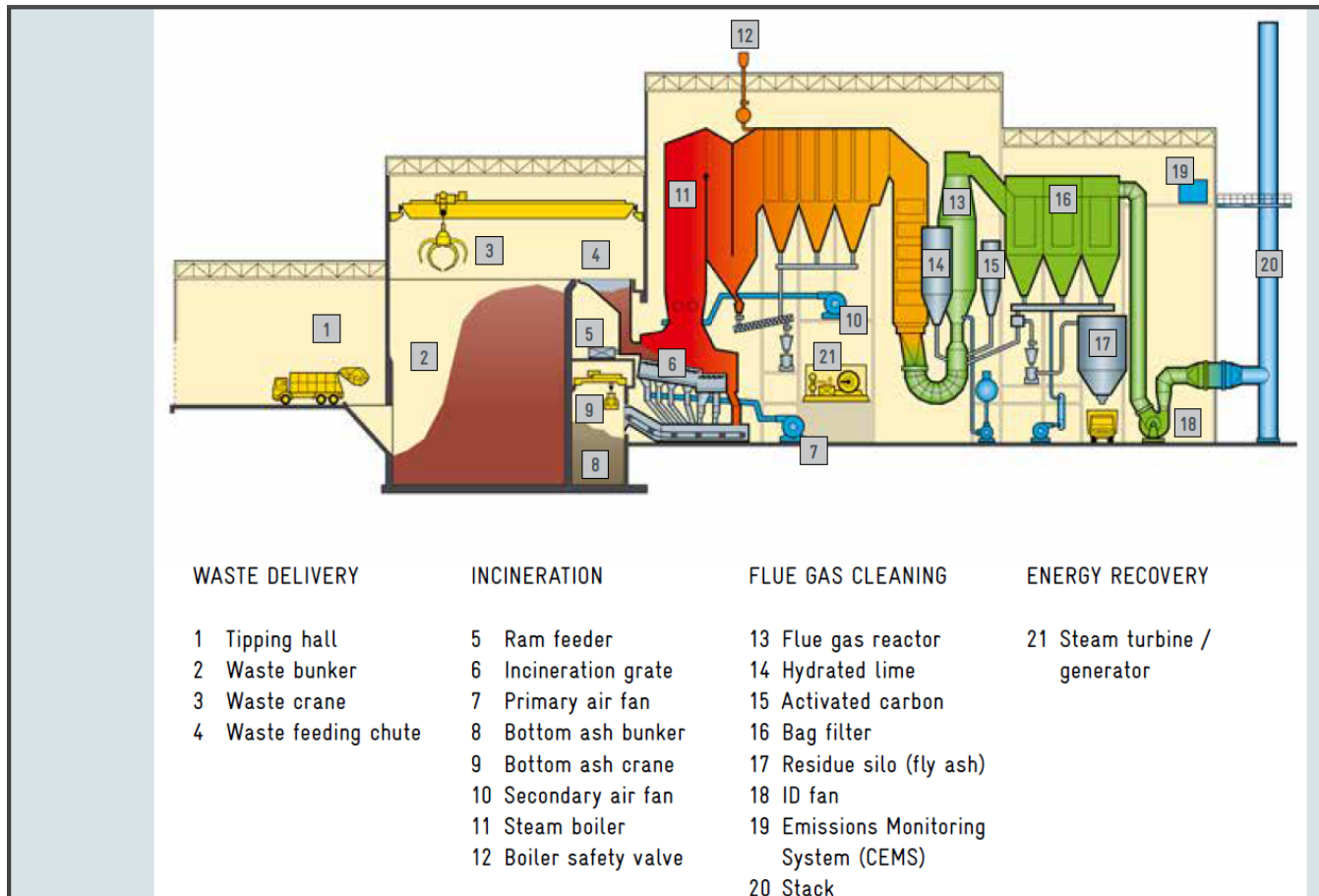


Desenho esquemático de gaseificador.  
Fonte: Ardila, 2015

**Gaseificação:** processo de decomposição térmica da biomassa em um gaseificador, a temperatura entre (700–1300 °C) com oxigênio limitado ou ausente

**Pirólise:** a queima da biomassa ocorre na ausência ou presença limitada de oxigênio - temperatura relativamente mais baixa (450–600 °C).

# Incineração com recuperação de calor e energia



Fonte: GIZ, 2017.

## Coprocessamento



Uso de Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR) para substituir combustíveis tradicionais como carvão, óleo combustível e gás natural.

# Conceito de Biorrefinarias

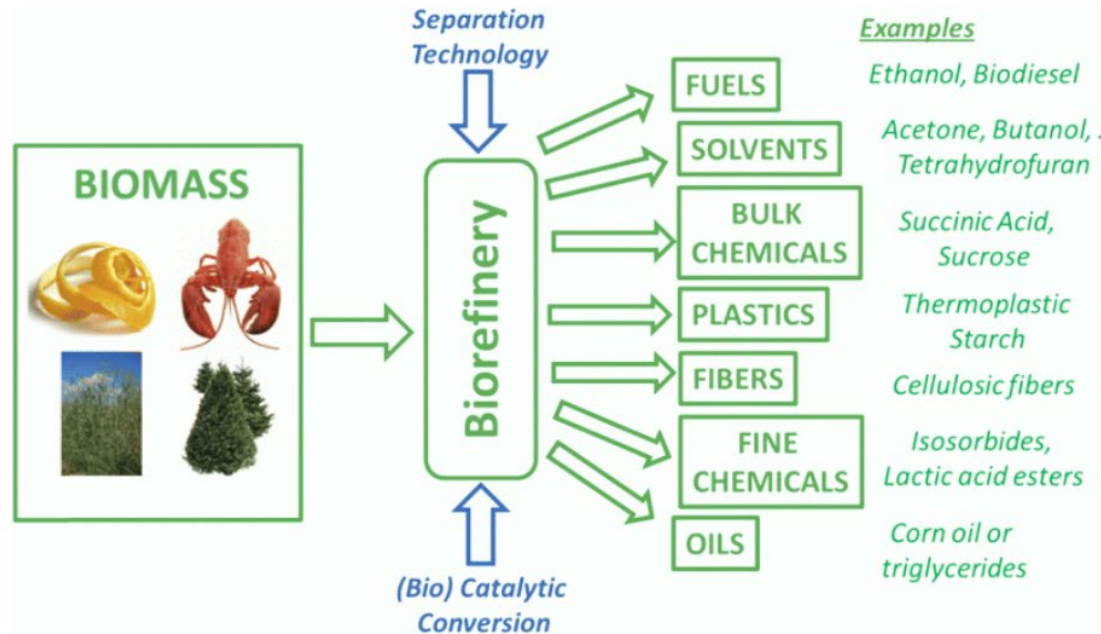
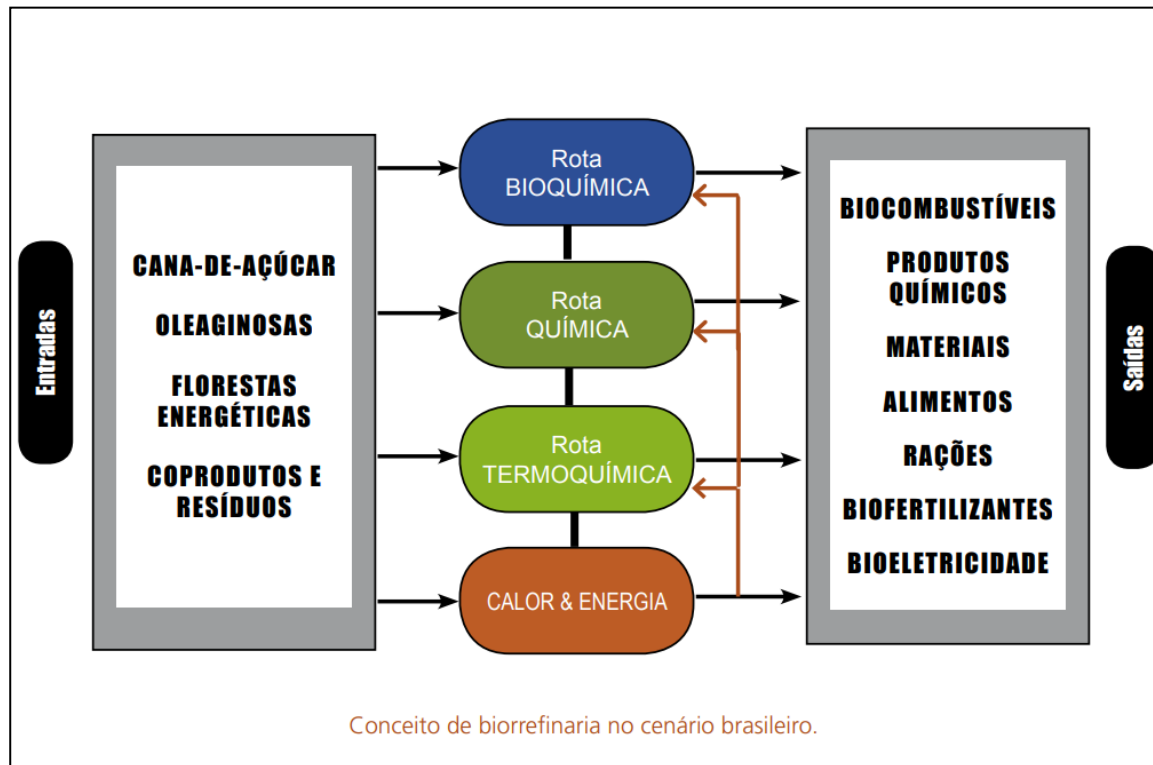


Diagram of the biorefinery concept

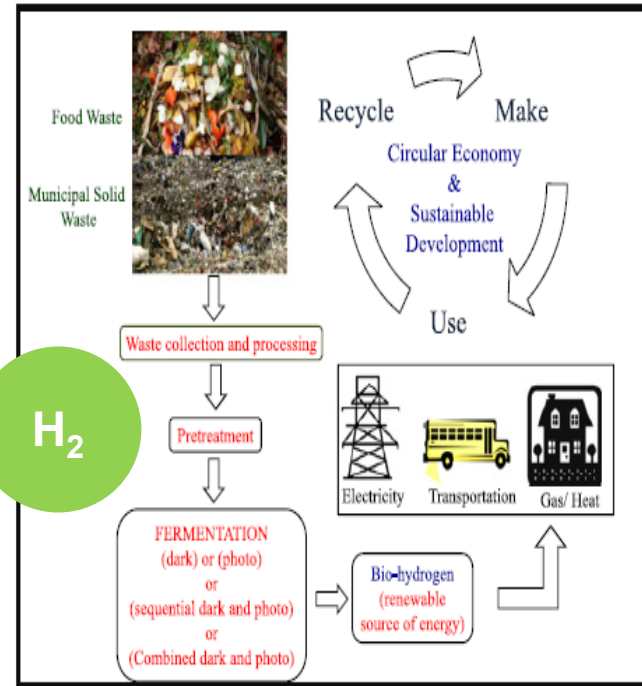
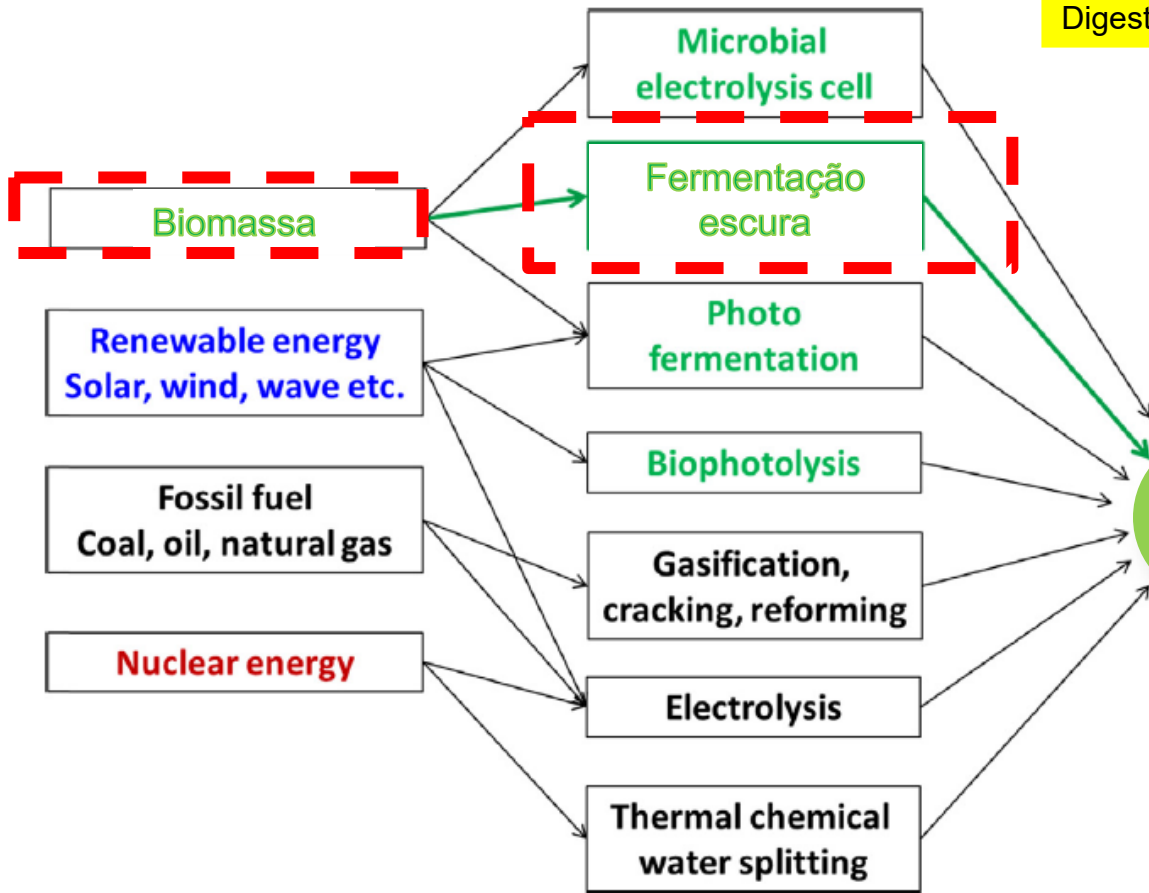
# Conceito de Biorrefinarias



Fonte: Embrapa Agroenergia, 2020

# Produção de Hidrogênio

Digestão anaeróbica > biogás > biometano



Fonte: Science of the Total Environment 713 (2020) 136-633

Fonte: Renewable and Sustainable Energy Reviews 92 (2018) 284-306

## Raízen fecha com Yara 1ª venda de biometano de longo prazo

Publicado em 21/09/2021 às 08h32



A Raízen (RAIZ4) anunciou sua primeira venda de longo prazo para gás natural renovável, ou biometano, com a Yara Brasil Fertilizantes, em um contrato de cinco anos, conforme comunicado divulgado nesta segunda-feira.

O volume envolvido na transação é de 20 mil metros cúbicos por dia, acrescentou a companhia que é controlada pela Cosan(CSAN3).

"O fornecimento do Biometano será efetuado por meio do portfólio da Raízen, utilizando os resíduos do processo de produção de **etanol**, vinhaça e torta de filtro, nos parques de **bioenergia** do grupo", disse a empresa em nota.

O produto será utilizado pela Yara para a produção de hidrogênio e amônia verde em seus parques industriais.

Reuters

Texto extraído do portal Money Times

# Waste-to-Energy (WtE) no contexto da Economia Circular



Fonte: Adaptado de European Commission , 2017.  
*The role of waste-to-energy in the circular economy*



# Modelos de Negócios Circulares para geração de Energia

- Visam a otimização dos recursos disponíveis (incluindo infraestrutura, energia e recursos materiais) – Simbiose Industrial (Chertow, 2000).
- Agregam valor e benefícios socioambientais a partir de **tecnologias inovadoras** e **oportunidades de negócios**, em uma perspectiva de ganhos intersetoriais.
- A sincronização do uso dos recursos pode ser favorecida pela dinâmica da **simbiose industrial** com desenvolvimento de uma rede colaborativa, envolvendo indústrias (ou setores) tradicionalmente separados em uma **abordagem colaborativa** para obtenção de vantagens competitivas, envolvendo a troca física de materiais, energia, água. e / ou subprodutos

Fonte: Baseado em Geissdoerfer et al., 2018; Lewandowski, 2016.

# Vocês já pensaram quantos kg de resíduos você produz em um ano ?



# No Brasil

São gerados **79 milhões**  
de toneladas de Resíduos Sólidos  
Urbanos **por ano**.

~1,0 kg/res/hab/dia



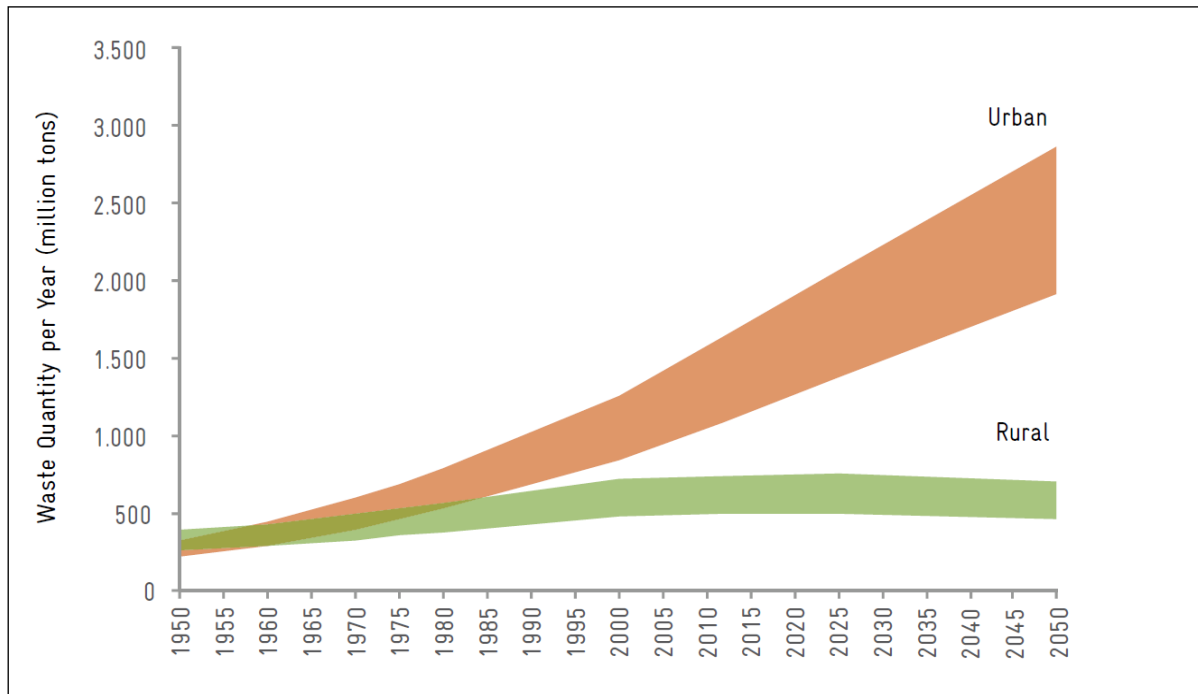
**379 kg/hab/ano**



Região sudeste ~ 1,2 kg/hab/dia

Fonte: ABRELPA, 2020

## Projeção da evolução das quantidades de resíduos urbanos e rurais do mundo, 1950–2050



Fonte: GIZ, 2017.

População Mundial  
**9,7 bilhões**  
(2050) (projeção  
(90% do aumento  
ocorrendo nas áreas  
urbana)

Fonte: ONU, 2018.

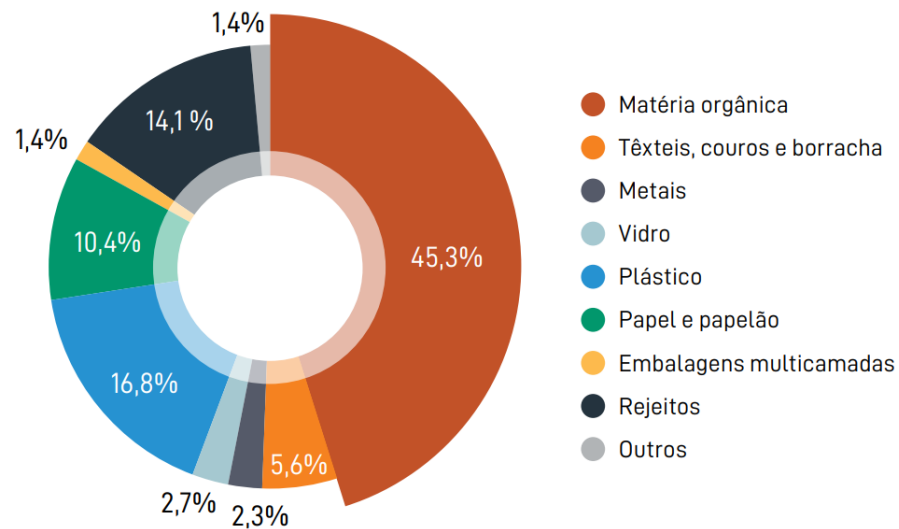
**1950** ~ 0,35 bilhões de ton/ano

**2015** ~ 1,50 bilhões de ton/ano

**2050** ~ 2,75 bilhões de ton/ano

# Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos

Brasil

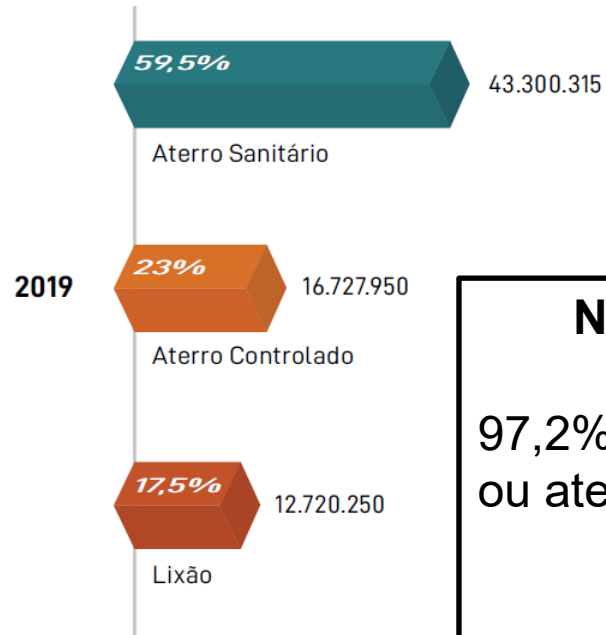


ABRELPA, 2020

# Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos



## Brasil



**No estado de SP**  
 97,2% aterro controlado  
 ou aterro sanitário  
 CETESB, 2020.

ABRELP, 2020



Contents lists available at [ScienceDirect](http://ScienceDirect)

**Journal of Cleaner Production**

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jclepro](http://www.elsevier.com/locate/jclepro)

**Circular business models for bioelectricity: A value perspective for sugar-energy sector in Brazil**

Margareth de C. Oliveira Pavan<sup>a,\*</sup>, Dorel Soares Ramos<sup>b</sup>, Munir Yones Soares<sup>b</sup>, Marly M. Carvalho<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Production Engineering Department, Polytechnic School University of São Paulo, São Paulo, Brazil

<sup>b</sup> Electric Power and Automation Engineering Department, Polytechnic School, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

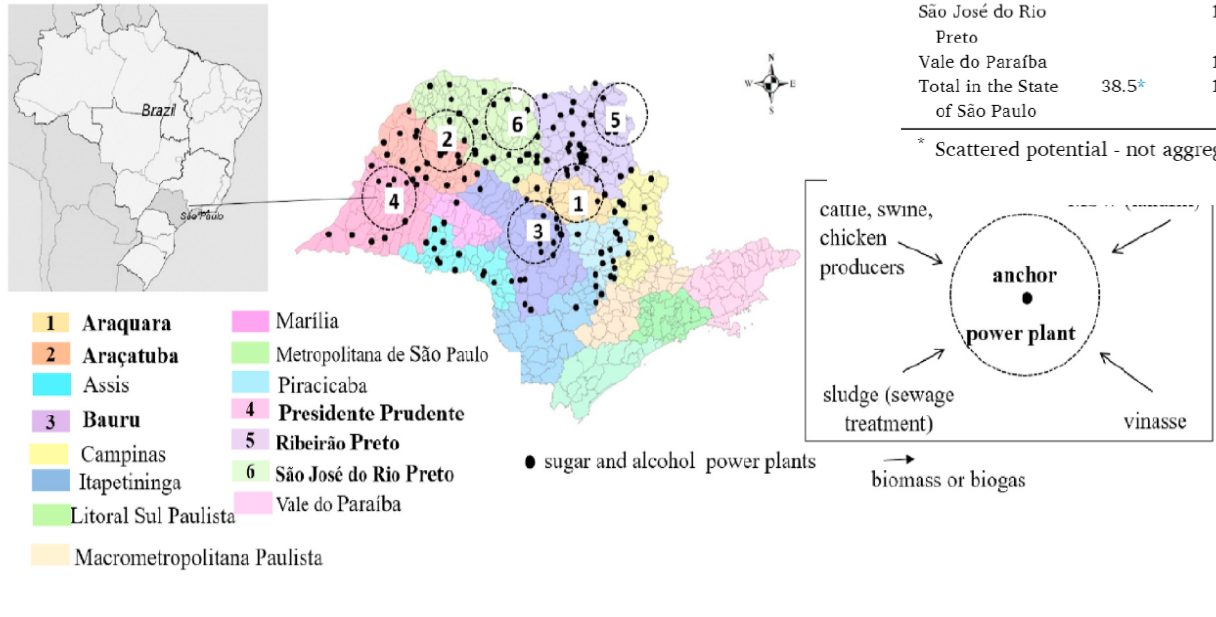


Fig. 2. Mesoregions and location of sugar and alcohol plants in the state of São Paulo.

**Table 1**  
Power Generation from biogas by mesoregion of the state of São Paulo.

State of São Paulo Mesoregions	Power Potential (MW)				Total by mesoregion
	Animal manure	Sewage Sludge	MSW	Vinasse	
Araraquara		5.5	9.9	<u>44.0</u>	59.4
Araçatuba		4.7	13.6	<u>59.0</u>	77.4
Assis		3.8	10.9	<u>38.0</u>	52.6
Bauru		9.9	28.5	<u>71.0</u>	109.4
Campinas		25.8	49.3	24.0	99.1
Itapetininga		5.6	16.2	7.0	28.8
Litoral Sul Paulista		3.1	9.1	0.0	12.2
Macro Metropolitana Paulista		18.0	51.8	3.0	72.8
Marília	3.0	8.6	9.0		20.6
Metropolitana de São Paulo	144.0	414.3	0.0		558.3
Piracicaba	9.4	27.0	30.0		66.3
Presidente Prudente	5.8	19.7	<u>53.0</u>		78.4
Ribeirão Preto		16.2	46.5	<u>144.0</u>	206.7
São José do Rio Preto		10.7	30.7	<u>113.0</u>	154.4
Vale do Paraíba		15.4	44.4	0.0	59.8
Total in the State of São Paulo	38.5*	1656.2			

\* Scattered potential - not aggregated by mesoregion.

# Modelos de Negócios Circulares para geração de Energia

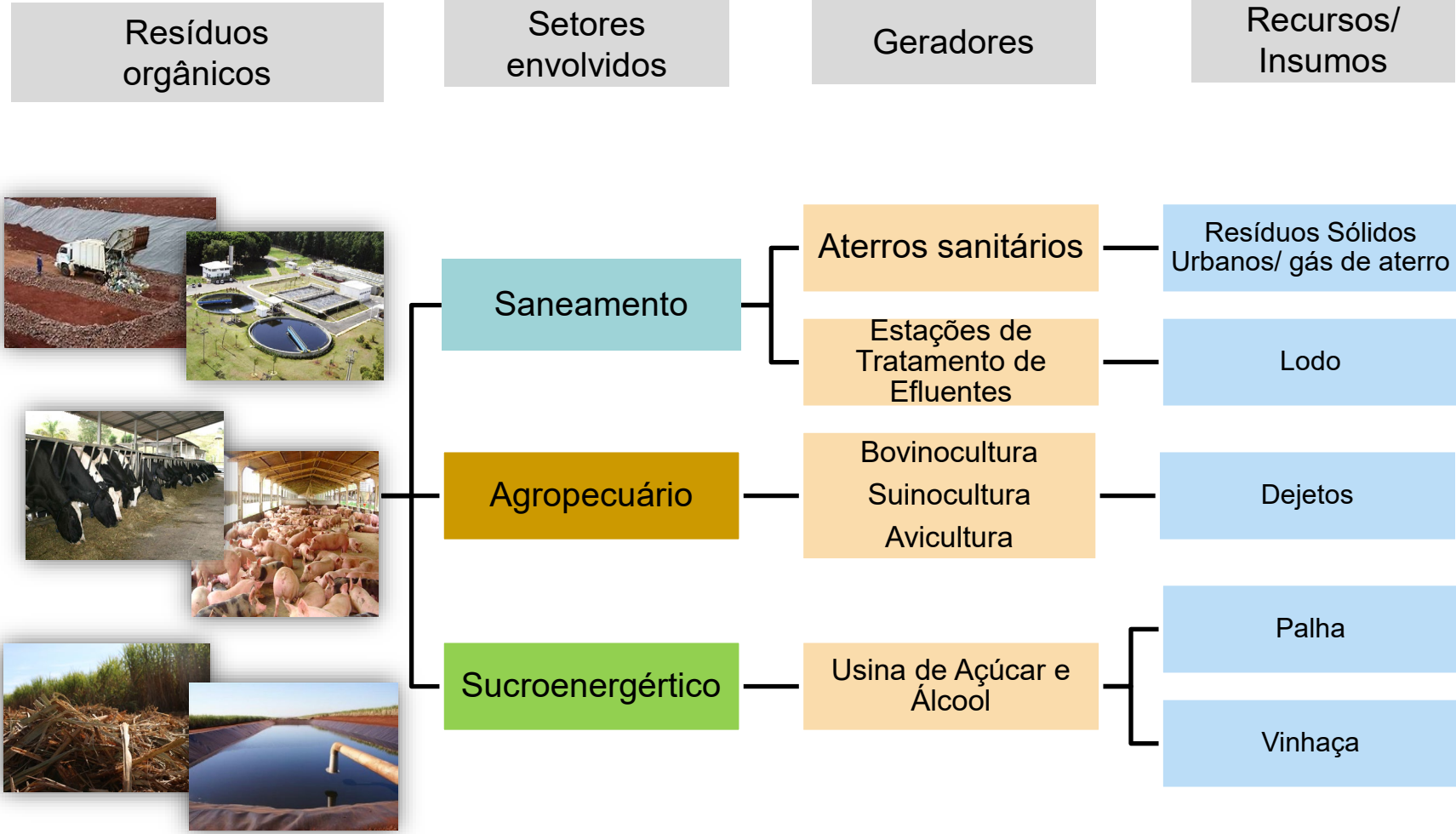
## Modelos de Negócios Circulares baseados em Simbiose Industrial

Desenvolvimento de negócios e sinergia entre empresas a partir da **dinâmica ancoragem (inquilino âncora)**

- Inquilino âncora físico
- Inquilino âncora institucional
- Inquilino âncora de *upcycling*



# Setores e tipos resíduos considerados



***Circular business models for bioelectricity: a value perspective for sugar-energy sector in Brazil***

Fonte: baseado em Journal of Cleaner Production 311 (2021)

## Usinas como âncoras para produção de eletricidade a partir de resíduos orgânicos regionais

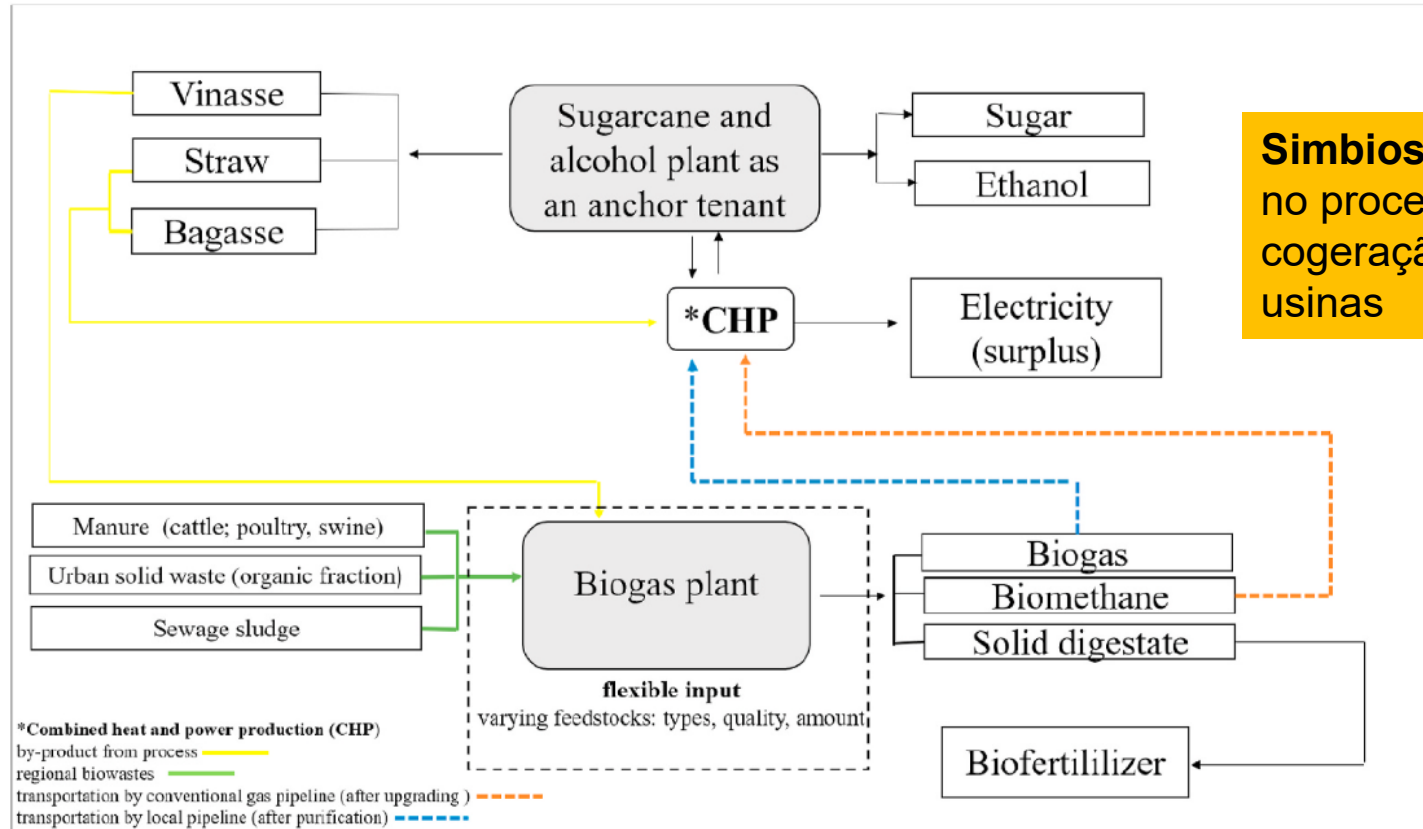


Fig. 3. Anchor-tenant: Symbiosis centred on power plant cogeneration.

Fonte: Journal of Cleaner Production 311 (2021)

# Modelos de negócios para geração de energia

Table 4  
CBM-A and CBM-B elements.

Elements of circular business models	
Sustainable value	Optimises the use of natural resources, reduces pollutant emissions (GHG), and collaborates for the adequate disposal of wastes, thereby alleviating the environmental impact and meeting profitability targets
Long-term perspective	Long-term relationships between the companies based on reliability to ensure the flow of raw materials (biomass) to the system and guarantee the purchase of products (bioelectricity and/or biogas)
Proactive multi-stakeholder management	Considers collaboration between new and different actors, which results in multiple and interconnected value propositions (biogas production connected with bioelectricity production)
Narrowing resource loops	Efficient use of sugarcane biomass, with the same amount of processed cane, can increase the energy supply by sector.
Closing resource loops	Use of by-products as a way to close the resource cycle (vinasse, sludge, waste, organic fraction of MSW) in a closed-loop power generation model—the upcycling strategy
Dematerialising resource loops	Biogas production as a service (a separate unit -outsourcing services)

**Elementos dos Modelos de Negócios Circulares**

# Modelos de negócios para geração de energia

## Benefícios

- Ambientais
- Econômicos
- Sociais

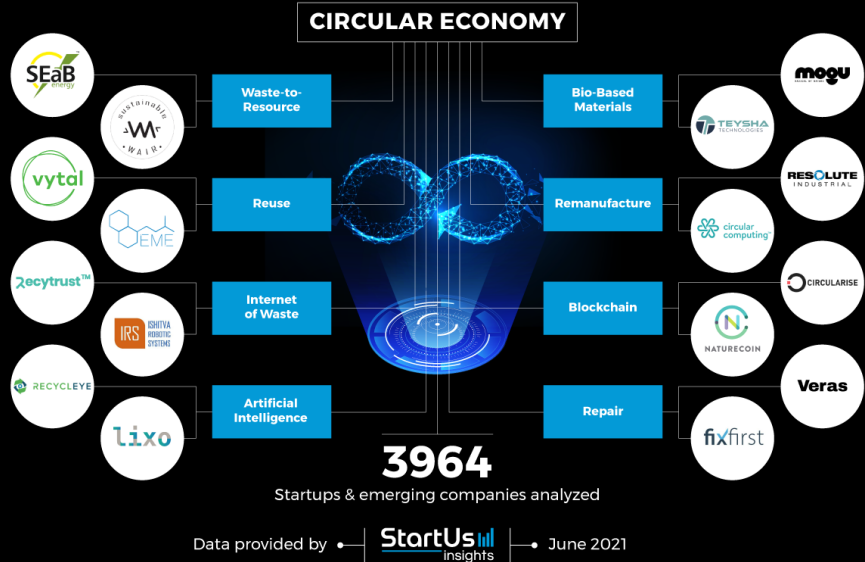
M.C. Oliveira Pavan et al.

Journal of Cleaner Production 311 (2021) 127615

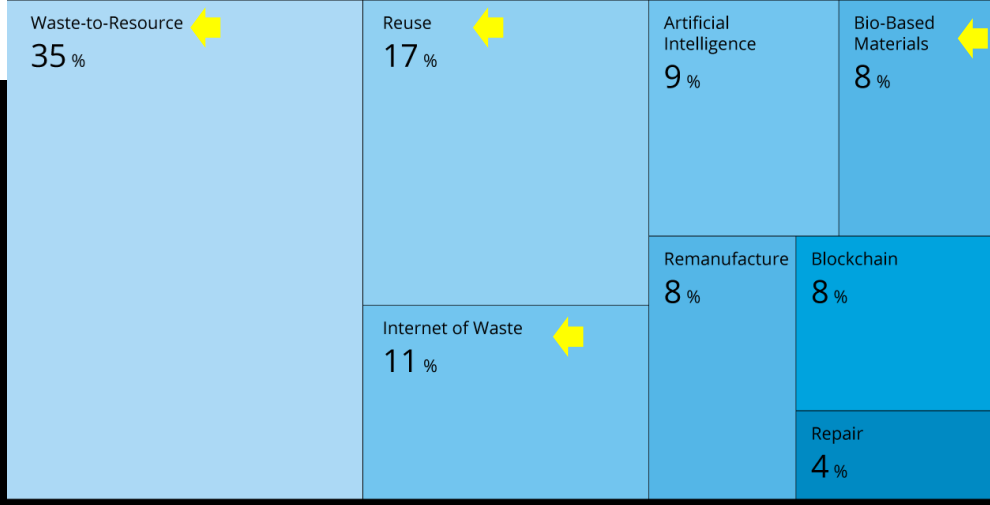
**Table 5**  
CBMs benefits for bioelectricity generation by the sugar-energy sector.

Biogas for power generation		Sustainability dimension		
Benefits		Environmental	Economic	Social
Principles of Industrial symbiosis (Chertow, 2000)				
Connection with different sectors (and actors) whose relationship is unusual: relationship between the sectors of solid waste, sanitation, and agriculture	<b>Individual benefits for power plants symbiosis network</b>	1.Improved waste management	1. New business possibilities	1.Environmental awareness about the products value
The link between these actors and stakeholders in a collaborative network		2.Recycling of soil nutrients (cane field) 3.Suitability for waste disposal (e.g. vinasse)		2. A proactive approach towards stakeholders in the closed loops
Process-oriented solution: using by-products from one process as feedstock for another process, which benefits from geographical proximity of businesses	<b>Benefits for the integrated symbiosis network</b>	1.GHG reduction	1. Furthering new businesses along a more extended supply chain 2.Encouraging the addition of value-to-waste as an income	1.Job creation in a regional context
		2.Increasing renewable energy supply 3.Increased landfill life		2.Development focused on innovation and technology

# Top 8 Circular Economy & Innovations in 2021








## Impact of Top 8 Circular Economy Trends & Innovations



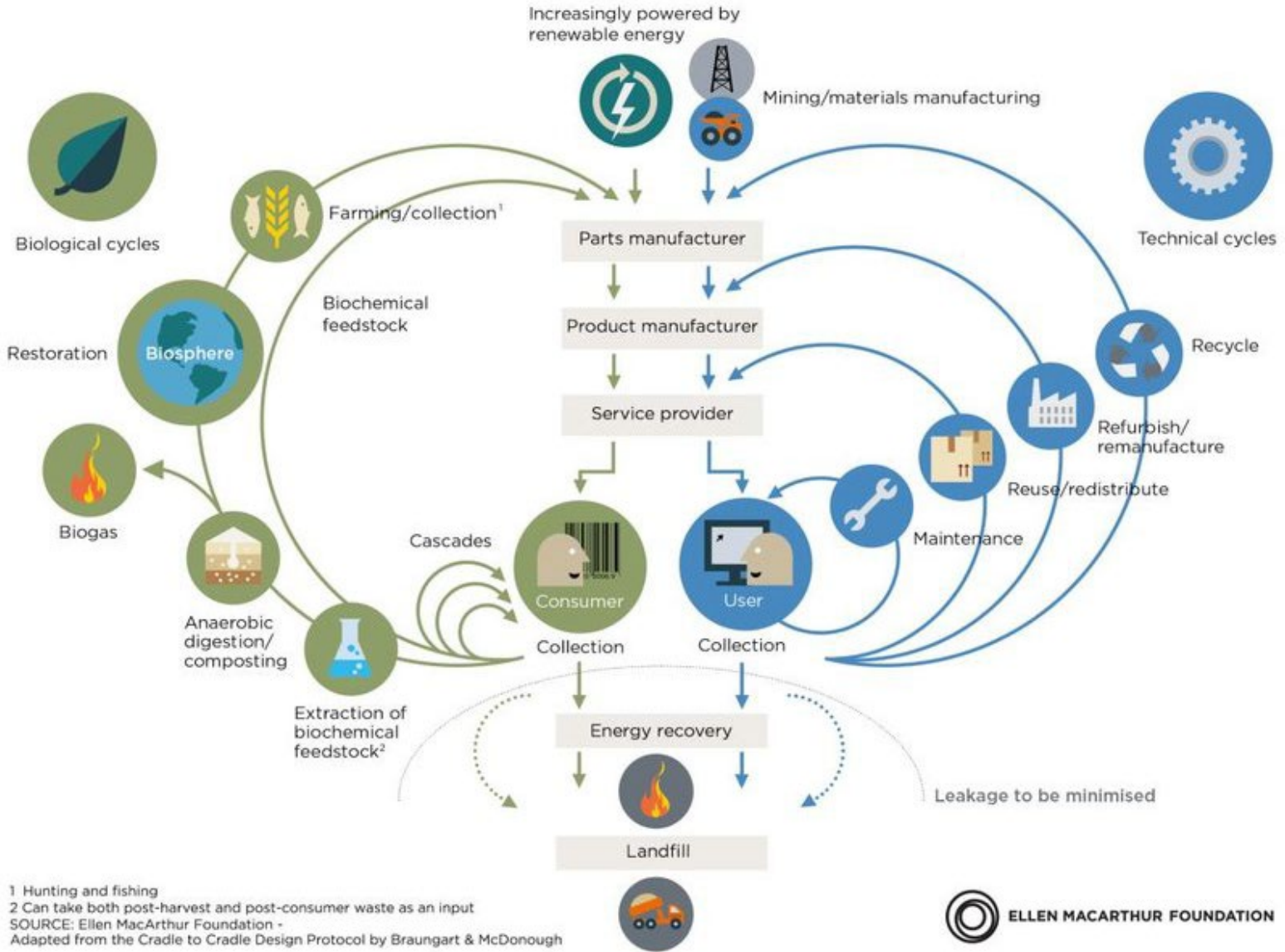
This tree map illustrates the top 8 innovation trends & their impact on the Circular Economy | StartUs Insights | Copyright © 2021 StartUs Insights. All rights reserved June 2021

Fonte: <https://www.startus-insights.com/>

	<p><b>WAIR produz tênis a partir de resíduos têxteis.</b> A startup dinamarquesa coleta resíduos têxteis, principalmente jeans e uniformes, e os transforma em tênis. A empresa fabrica solados de borracha ecológica composta por 70% de borracha reciclada e 30% de borracha virgem. A startup usa materiais vegetais e algodão reciclado para fazer palmilhas e cadarços. Quando os sapatos chegam ao fim de seu ciclo de vida, a startup os fragmenta e os reutiliza como insumo para novos produtos.</p>
	<p><b>CozZo é uma startup búlgara que oferece um aplicativo móvel para ajudar usuários a evitar o desperdício de alimentos.</b> O aplicativo faz uma imagem (escaneamento) digital da geladeira, despensa e freezer e mostra quando cada item irá expirar. O App rastreia as datas de validade de todos os alimentos e ajuda os usuários na decisão de quando descartar os alimentos. O aplicativo também emite um relatório de alimentos consumidos e desperdiçados, e faz uma análise mensal da utilização do produto. Além disso, remove automaticamente os itens expirados e emite alerta aos usuários para reabastecer seus estoques.</p>
	<p><b>SEaB Energy é uma startup britânica que oferece soluções para gerar energia no local a partir de resíduos orgânicos.</b> Um digestor anaeróbico em contêiner transforma dejetos de animais e resíduos agrícolas em eletricidade e calor, gerando fertilizante como subproduto. O digestor converte a biomassa em biogás, que alimenta um motor para produção de calor e energia (CHP).</p>
	<p><b>Maltento é uma empresa de biotecnologia sul-africana que produz proteína a partir de moscas.</b> O produto proteico produzido pela empresa complementa o sabor e as propriedades nutricionais de alimentos para pets, peixes e outros animais. Além do valor proteico, as enzimas antimicrobianas de larvas de mosca ajudam a melhorar a saúde intestinal dos animais e dão sabor agradável aos pets. As larvas da mosca se alimentam de resíduos de alimentos e de grãos de uma cervejaria próxima a fazenda produtiva. São comercializados a proteína e fertilizante, um subproduto do ciclo de desenvolvimento das moscas.</p>
	<p><b>MOGU é uma startup italiana que oferece materiais à base de micélio para design de interiores.</b> A empresa desenvolve um biocompósito a partir de cepas de micélio e de resíduos agroindustriais e resíduos têxteis. O micélio fúngico atua como um reforço estrutural no composto e proporciona a produção de pisos, telhas e painéis acústicos. Os biocompósitos produzidos pela empresa são estruturalmente estáveis, seguros, biodegradáveis e de secagem rápida (menor gasto energético).</p>

## Dinâmica - respostas

Case	Localização no Diagrama de Borboleta	Tipo de Modelo de Negócio Circular	Elementos/Estratégia de fechamento dos ciclos
WAIR/Dinamarca			
CozZo/Bulgária			
SEaB Energy/Reino Unido			
Maltento/África do Sul			
MOGU/Itália			
Raizen/Yara/Brasil			
Sabesp/ETE/Franca/Brasil			
Outro case que você conheça			



1 Hunting and fishing  
 2 Can take both post-harvest and post-consumer waste as an input  
 SOURCE: Ellen MacArthur Foundation -  
 Adapted from the Cradle to Cradle Design Protocol by Braungart & McDonough