



Fundação de Apoio à
Universidade de São Paulo



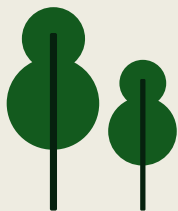
Secretaria de  **SÃO PAULO**
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística GOVERNO DO ESTADO

WORKSHOP 2

PLANO ESTADUAL DE ENERGIA 2050

Race to Zero | Race to Resilience

OFERTA I – Geração de Energia
Elétrica, Geração Distribuída e
Redes Inteligentes, Hidrogênio





Fundação de Apoio à
Universidade de São Paulo



Secretaria de  **SÃO PAULO**
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística GOVERNO DO ESTADO

WORKSHOP 2

PLANO ESTADUAL DE ENERGIA 2050

Race to Zero | Race to Resilience

Geração de Energia Elétrica com
Biomassa/Biometano/Biogás

Dra. Margareth de C. Oliveira
Pavan



AGENDA

1. CONTEXTO

2. METODOLOGIA, PREMISSAS E MODELOS UTILIZADOS

3. RESULTADOS

4. CONCLUSÕES

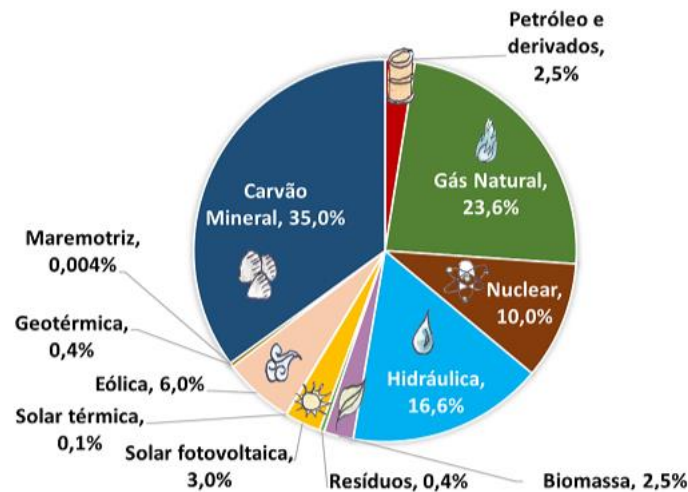
CONTEXTO

Bioenergia geração de Eletricidade

Mundo

Participação da bioeletricidade na matriz elétrica mundial

- ~ 2% da capacidade total instalada.
- ~ 2,5% da geração total de eletricidade



Matriz Elétrica Mundial 2020

Total: 27 milhões TWh

Fonte: IRENA, 2022; IEA, 2022; EPE, 2023.

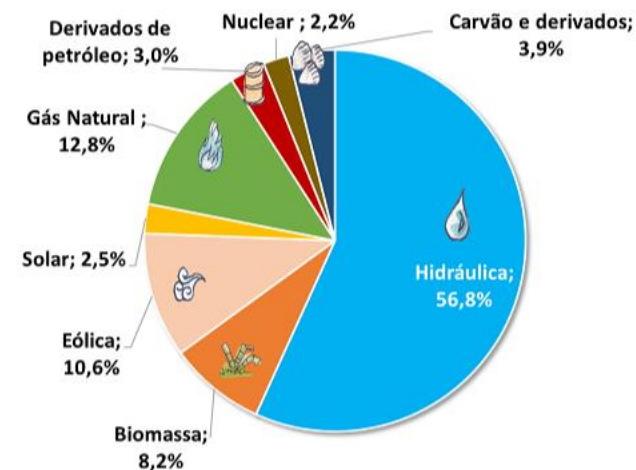
Em termos **mundiais** a geração de eletricidade contribui com ~ **40%** do total global de emissões de carbono relacionadas aos sistemas energéticos.

Resíduos florestais e agrícolas representaram mais de 50% da geração total de eletricidade por bioenergia, seguidas por RSU.

Brasil

Participação da bioeletricidade na matriz elétrica mundial

- ~ 9% da capacidade total instalada.
- ~ 8 % da geração total de eletricidade



Matriz Elétrica Brasileira 2021

Total: 656 TWh

Fonte: BEN, 2022; EPE.

CONTEXTO

Contexto mundial: *drives* para expansão da oferta de bioeletricidade sustentável

Caminhos para
geração de
bioeletricidade
sustentável

Geração de energia despachável para acomodar maior participação de renováveis variáveis (solar e eólica) e atuar em complementariedade às fontes hídricas.

Cogeração de biomassa como opção combustível de transição

Processo de cogeração (CHP) associados a usuários industriais ou redes para fornecimento/troca de calor

Bioenergia combinada com captura e armazenamento de carbono (BECCS)

A bioeletricidade terá um papel importante para o alcance das metas de emissões líquidas zero.

Oportunidades:

- otimização do uso de resíduos como matéria prima
- priorização de projetos de menor custo: uso/ampliação de instalações/infraestruturas existentes

Fonte: Adaptado de IRENA. Bioenergy for the energy transition: Ensuring sustainability and overcoming barriers, 2022; IEA. Technology Roadmap. Delivering Sustainable Bioenergy, 2017.

Matéria prima

Resíduos
agrícolas e
florestais

Resíduos de
processo

Matéria prima
residuária de
tratamentos
biológicos (lodo)

Resíduos
orgânicos pós-
consumo

Resíduos sólidos
urbanos

Outros resíduos
orgânicos

CONTEXTO

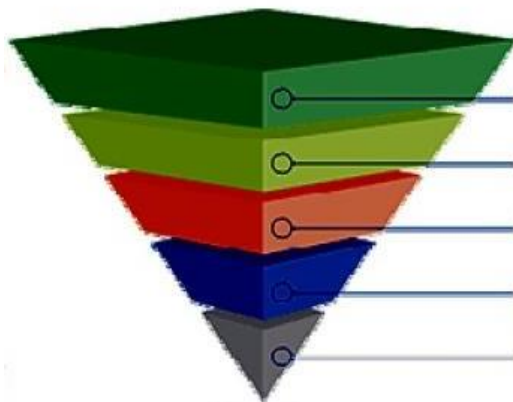
Contexto mundial: *drives* para expansão da oferta de bioeletricidade sustentável

Economia Circular

como estratégia para otimização e aproveitamento dos recursos (biomassa/energia energia/infraestrutura)

Tecnologias *Waste-to-Energy* (inclui biogás, biometano, gaseificação, incineração, recuperação de gás de aterro, pirólise)

- Uso de biomassa para geração de energia sem competição com iniciativas de redução, reuso e reciclagem de resíduos.
- Tecnologias WtE complementares para ao tratamento de resíduos não recicláveis.



Prevenção

Reuso

Reciclagem (ex: digestão anaeróbica (biogás/biometano)/compostagem)

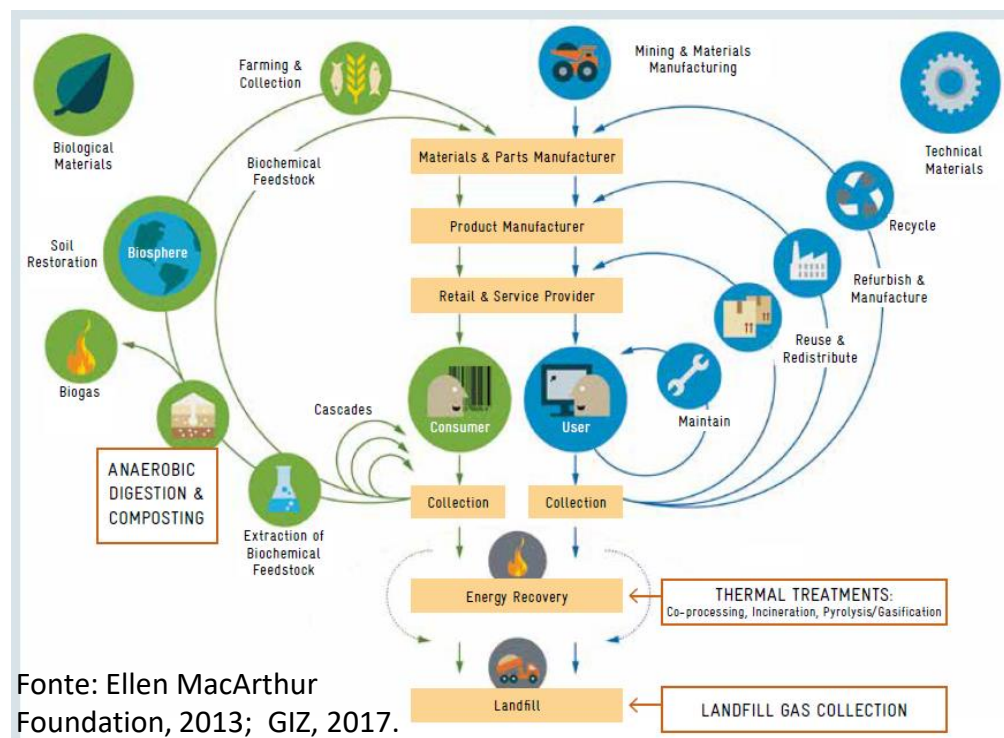
Outros tipos de recuperação (pirólise, gaseificação, incineração/queima direta)

Disposição Final (aterro com captura e utilização de gás de aterro)

Hierarquização para o uso e aproveitamento dos resíduos

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

Subproduto de um processo como insumo para outro, mantendo o fluxo de recursos em um ciclo fechado.



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

CONTEXTO

Contexto mundial: *drives* para expansão da oferta de bioeletricidade sustentável

Novos Modelos de Negócios orientados para Economia Circular

Otimização dos recursos disponíveis (incluindo infraestrutura e recursos materiais).

Propostas de valor aliadas a benefícios socioambientais a partir de **inovação e oportunidades de negócios**, em uma perspectiva de ganhos intersetoriais.

Promoção de desenvolvimento econômico regional com geração de emprego e renda e redução impactos ambientais (incluindo emissões de carbono).

Sinergias entre recursos favorecida pela dinâmica da **simbiose industrial** com desenvolvimento cadeias de valor colaborativas, envolvendo indústrias (ou setores) tradicionalmente separados. Visam vantagens competitivas, a partir trocas físicas de materiais/infraestrutura, energia, água. e / ou subprodutos.

CONTEXTO

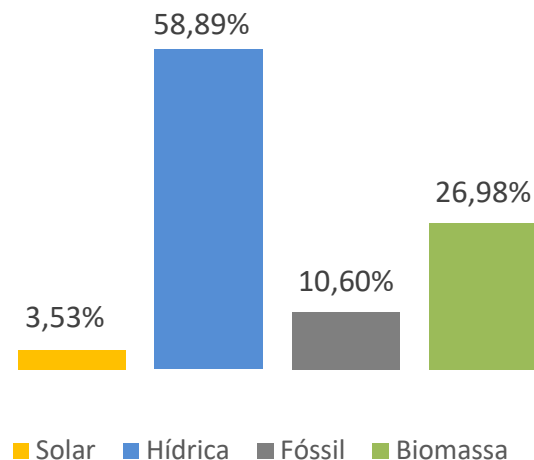
Participação da Biomassa na Matriz Elétrica - SP

Situação atual

25,3 GW

Capacidade
Instalada

**Renováveis
89,4 %**

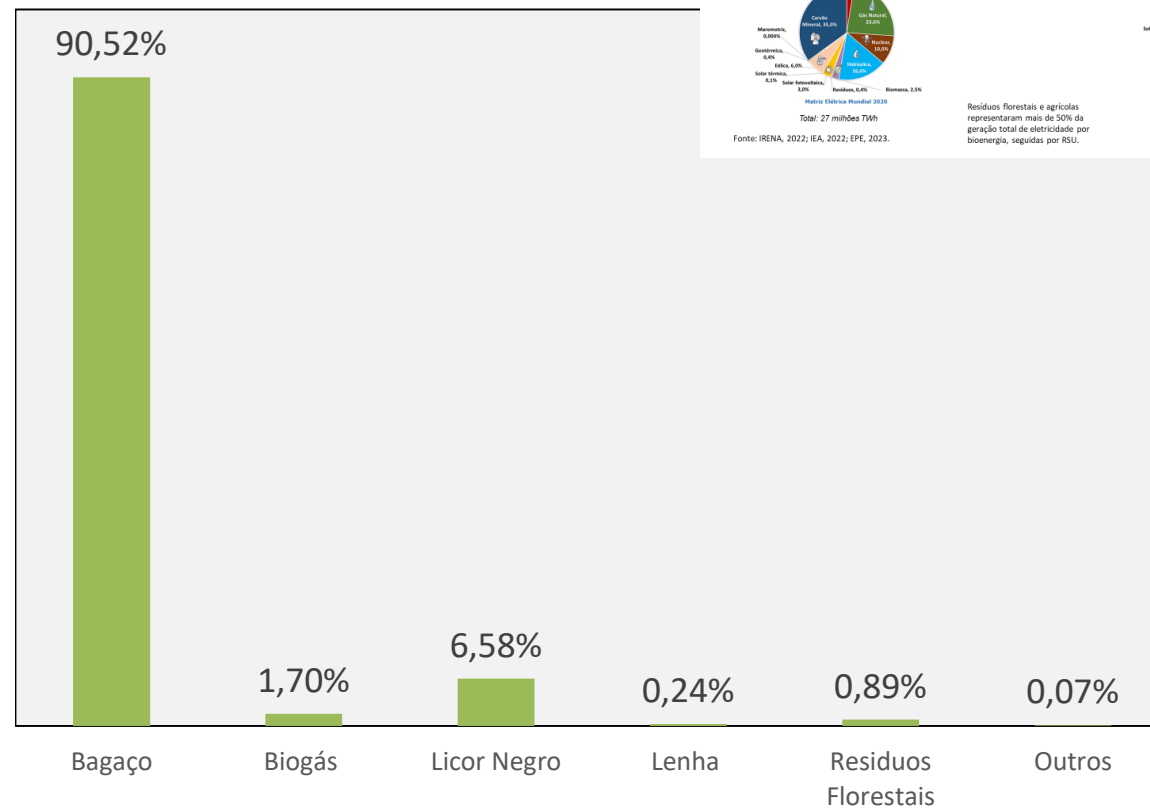


~ 30% das renováveis
(solar+hidro+biomassa)



~ 6,8 GW

Potência outorgada



Fonte: SIGA/ANEEL, 2023



CONTEXTO

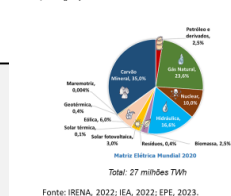


Bioenergia geração de Eletricidade

Mundo

Participação da bioeletricidade na matriz elétrica mundial

~ 2% da capacidade total instalada.
~ 2,5% da geração total de eletricidade

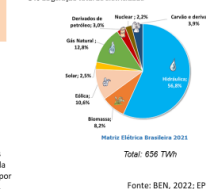


Em termos mundiais a geração de eletricidade contribui com ~ 40% do total global de emissões de carbono relacionadas aos sistemas energéticos.

Brasil

Participação da bioeletricidade na matriz elétrica mundial

~ 9% da capacidade total instalada.
~ 8 % da geração total de eletricidade



Resíduos florestais e agrícolas representaram mais de 50% da geração total de eletricidade por bioenergia, seguidas por RSU.

CONTEXTO

M.C. Oliveira Pavan et al.

Journal of Cleaner Production 311 (2021) 1276

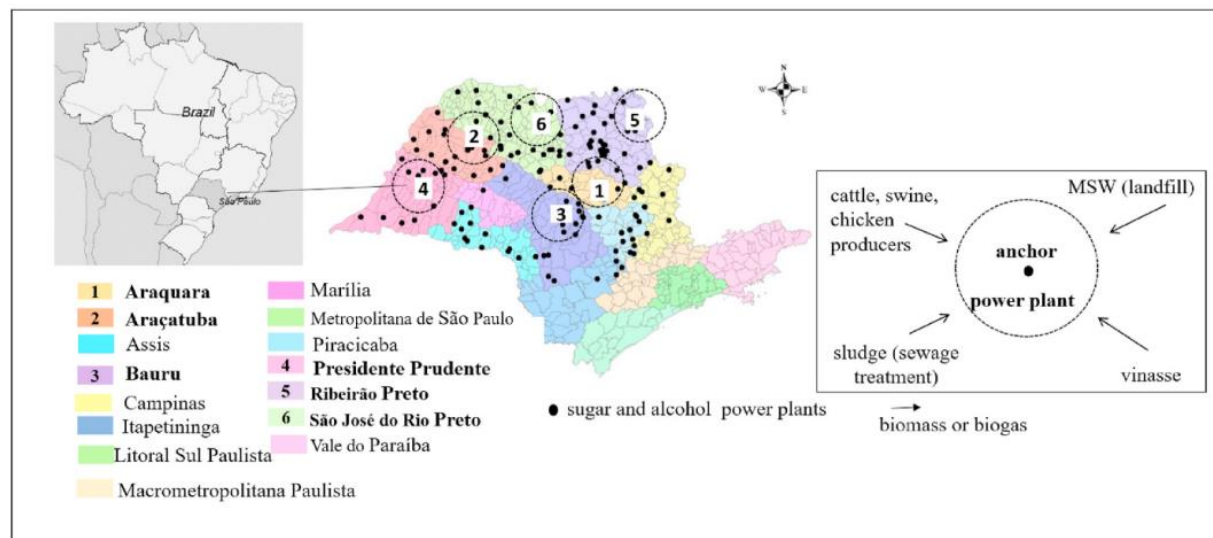


Fig. 2. Mesoregions and location of sugar and alcohol plants in the state of São Paulo.

Produção de biogás a partir de bioenergéticos regionais em sinergia com o processo de cogeração das usinas de açúcar e álcool.

- Sinergia de recursos: biomassa/resíduos e infraestrutura.
- Hubs de *upcycling* para geração de energia
- Dinâmica de ancoragem

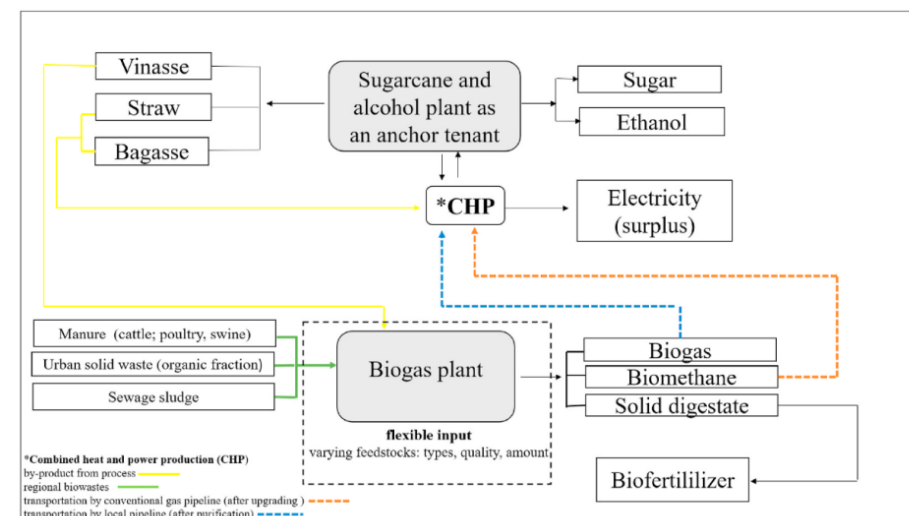
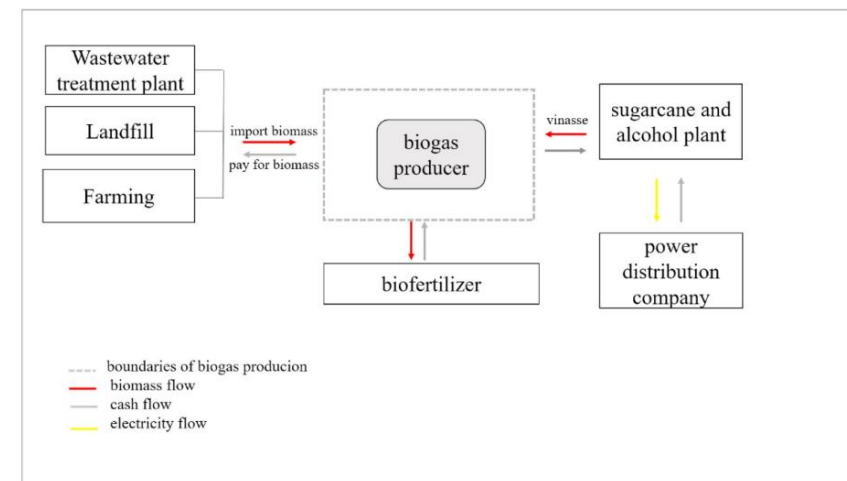


Fig. 3. Anchor-tenant: Symbiosis centred on power plant cogeneration.

CONTEXTO

Produção de Biogás

São Paulo

46 plantas em operação

1,7 milhões Nm³/dia

Brasil

755 em operação

2,3 bilhões Nm³/dia

Produção de Biometano

São Paulo

90 mil Nm³/dia

+ três plantas com previsão de entrada em 2023

Somando 182 mil Nm³/dia

Fonte: Panorama de Biogás no Brasil CiBiogas; 2021; ABIOGAS, 2023.

AGENDA

1. CONTEXTO

2. METODOLOGIA, PREMISSAS E MODELOS UTILIZADOS

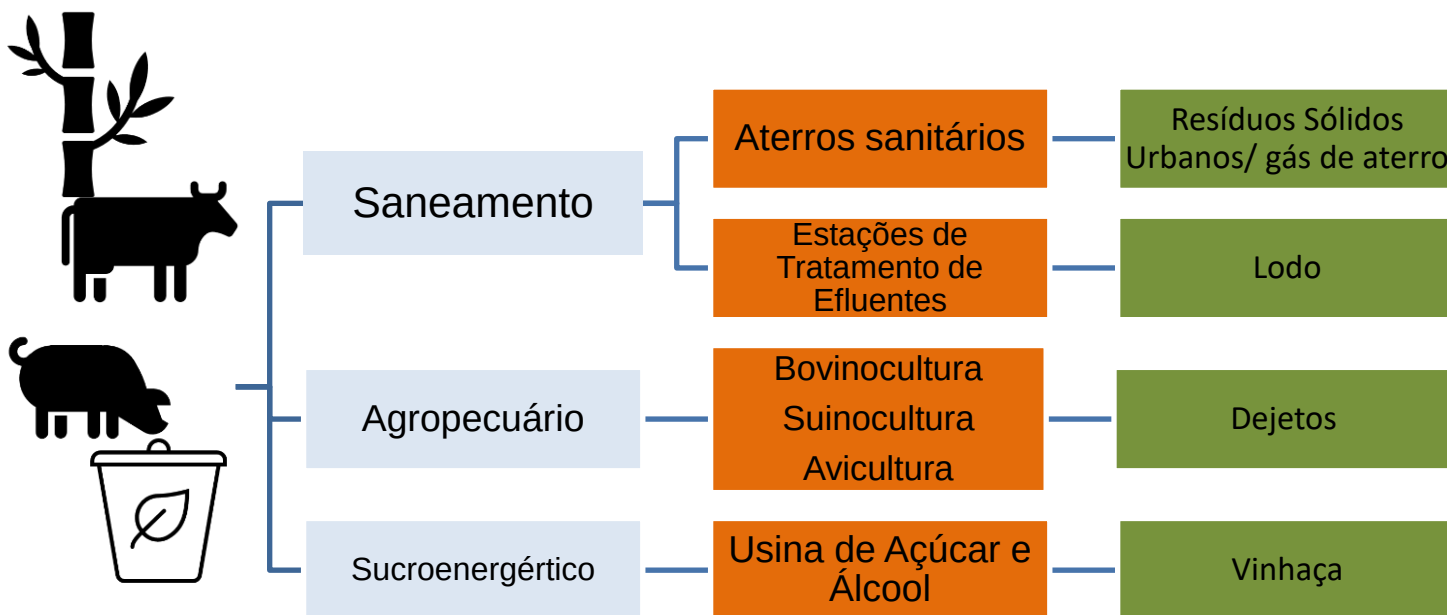
3. RESULTADOS

4. CONCLUSÕES

METODOLOGIA, PREMISSAS E MODELOS

Vocações regionais

Foram avaliados grandes fluxos de biomassa existentes no Estado de São Paulo



Região Administrativa	População	Número de Municípios
Araçatuba	789.840	43
Barretos	438.054	19
Bauru	1.139.226	39
Central	1.037.751	26
Franca	767.758	23
Itapeva	538.895	32
Marília	990.325	51
Presidente Prudente	869.690	53
Registro	277.149	14
Ribeirão Preto	1.423.378	25
São José do Rio Preto	1.552.007	96
São José dos Campos	2.539.662	39
Metropolitana de Campinas	7.093.297	90
Metropolitana de Sorocaba	2.590.505	47
Metropolitana da Baixada Santista	1.874.118	9
Metropolitana de São Paulo	21.483.245	39
	45.404.900	

Fonte: a partir de IBGE, 2018; Fundação SEADE, 2023.

Outras fontes de dados: Pesquisa Agropecuária Municipal- IBGE, ANA - Agência Nacional de Águas, CETESB - Inventário Estadual de Resíduos Sólidos, NovaCana, SNIS, SEMIL/SIMA, ABRELP.

METODOLOGIA, PREMISSAS E MODELOS

Premissas para as projeções:

- Análise de séries históricas (produção de atual de biogás, cana processada e produção de álcool);
- Capacidade atual das usinas, geração de resíduos com base em IBGE, outras fontes de dados secundários;
- Estimativas de crescimento expansão da EPE (diferentes cenários);
- Entrevistas com diferentes stakeholders (fase 1) do projeto.

AGENDA

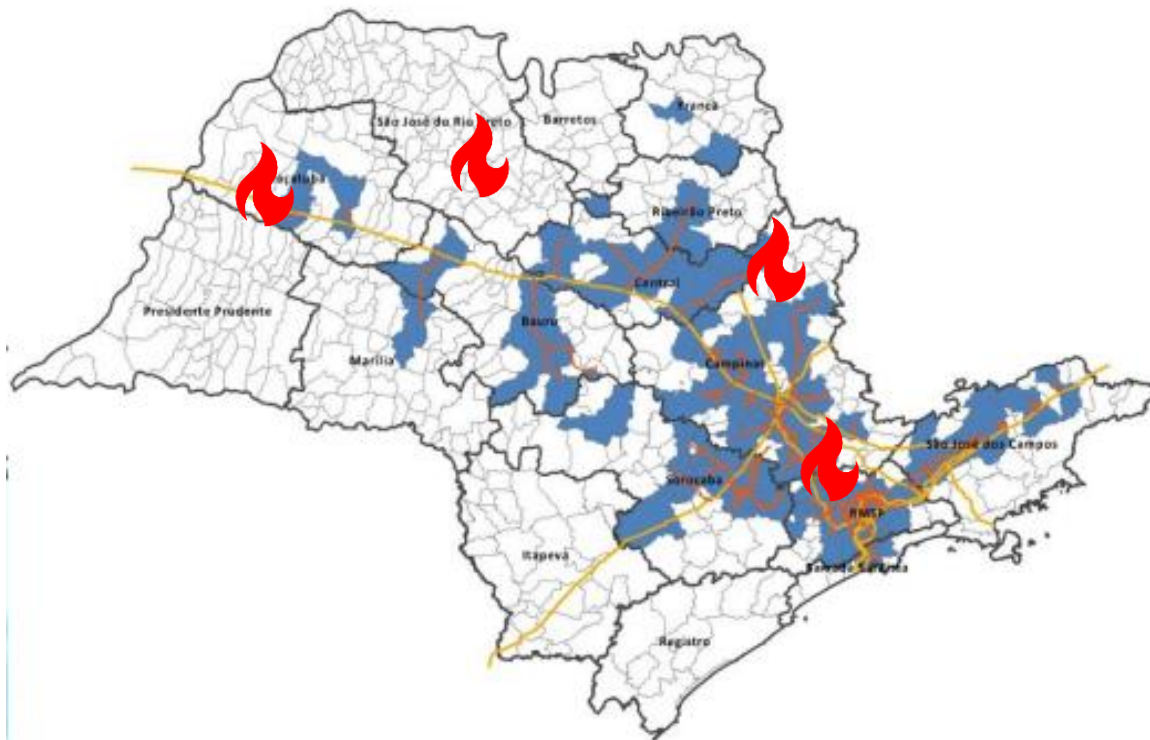
1. CONTEXTO

2. METODOLOGIA, PREMISSAS E MODELOS UTILIZADOS

3. RESULTADOS

4. CONCLUSÕES

RESULTADOS



Fonte: Adaptado de rede de dist de GN, SEMIL/SIMA

BIOGÁS

Saneamento (lodo + gás de aterro): ~ 2.800 MNm³ /ano

Agropecuária (dejetos): ~484 MNm³/ano

Setor Sucroenergético: ~ 2460 MNm³ /ano

Bioeletricidade

1,6 GW médio (biogás)

2,2 GW médio (bagaço)

Região Administrativa	Potencial (MNm ³ /ano)* - BIOGÁS			
	ETE (MNm ³ /ano)	Vinhaça (MNm ³ /ano)	Dejetos (MNm ³ /ano)	***Gás Aterro (MNm ³ /ano)
Administrativa Central	17,65	91,08	7,00	
Araçatuba	19,58	319,13	43,95	
Barretos	50,93	144,52	1,33	
Bauru	46,39	256,61	3,53	28,29
Franca	34,32	187,25	1,92	
Itapeva	24,09	22,73	9,57	
Marília	44,27	180,74	111,15	19,56
Presidente Prudente	38,88	173,06	124,32	11,91
Registro	12,39			
Ribeirão Preto	63,63	343,23		0,91
São José do Rio Preto	69,38	448,08	8,38	80,92
São José dos Campos	113,54	0,00	13,48	21,26
Metropolitana de				
Campinas	317,10	217,79	54,64	201,37
Metropolitana de				
Sorocaba	115,81	77,47	104,56	40,67
Baixada Santista	83,78			
Metropolitana de São				
Paulo	960,41			387,13
	2.012,16	2461,68	483,84	792,02
	2 bilhões	2,4 bilhões	0,48 bilhões	0,79 bilhões

* Fonte: Potencial calculado/elaboração própria para o PEE2050.

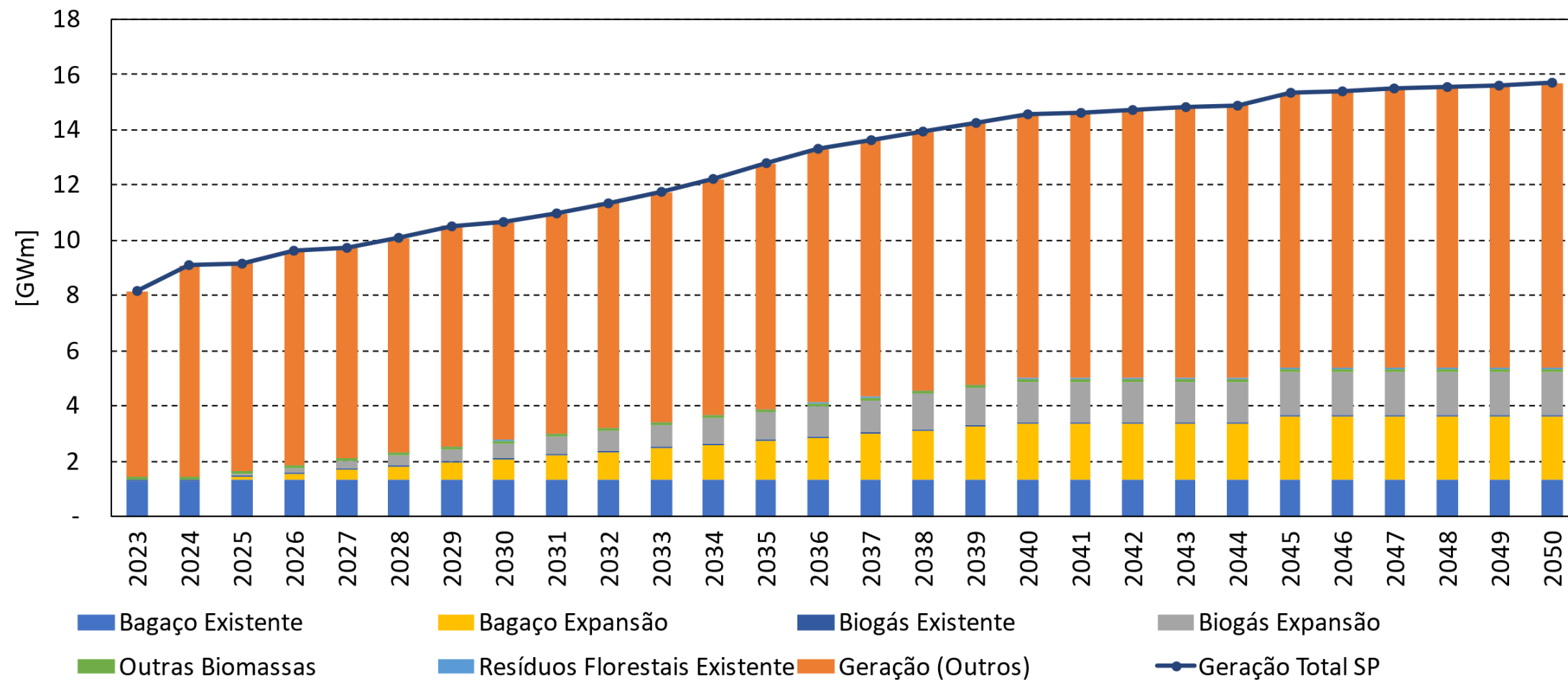
*** aterros já implantados > 500 t/dia .

Valor acumulado (2023-2030)

RESULTADOS

Geração de Energia Elétrica

Balanço Energético Estado de São Paulo

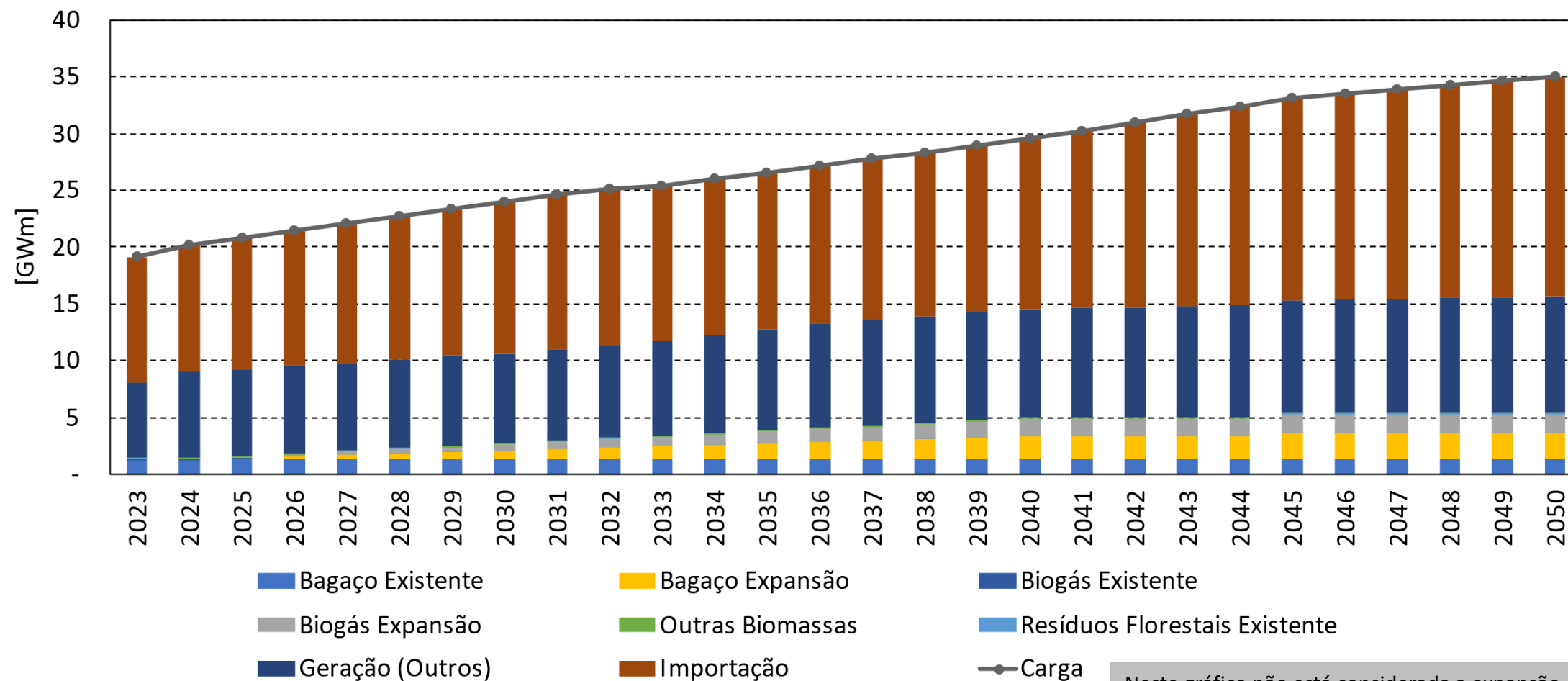


Neste gráfico não está considerada a expansão do uso Biometano (como mix do GN) em térmicas para geração de energia elétrica. Essa alternativa está prevista no balanço.

RESULTADOS

Geração de Energia Elétrica

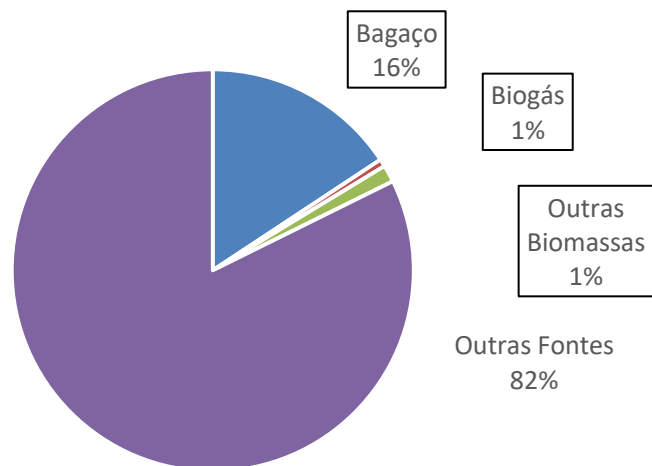
Balanço Energético Estado de São Paulo



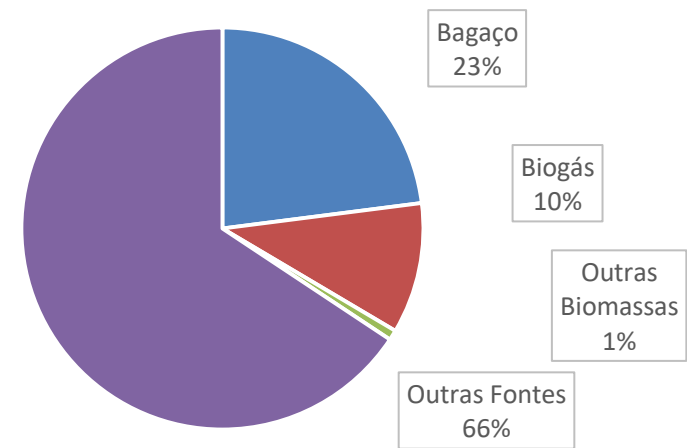
Neste gráfico não está considerada a expansão do uso Biometano (como mix do GN) em térmicas para geração de energia elétrica. Essa alternativa está prevista no balanço.

RESULTADOS

Participação da Biomassa na Geração Total
(8,15 GWh 2023)



Participação das Biomassa na Geração Total
(15,7 GWh 2050)



Não está considerada a expansão do uso Biometano (como mix do GN) em térmicas para geração de energia elétrica. Essa alternativa está prevista no balanço.

AGENDA

1. CONTEXTO

2. METODOLOGIA, PREMISSAS E MODELOS UTILIZADOS

3. RESULTADOS

4. CONCLUSÕES

CONCLUSÕES

Oportunidades para de geração de energia elétrica a partir de biomassa/biogás/biometano no Estado de São Paulo

Potencial disponível no estado (vinhaça, lodo, resíduos sólidos urbanos – gás de aterros e dejetos de animais, é da ordem de **1,6 GW** médio).

Com acréscimo possível de **2,2 GW** médio pelo processo de cogeração/bagaço.

- **Ganho de escala:** pode ocorrer com o envolvimento de indústrias (ou setores) tradicionalmente separados para obtenção de vantagens competitivas, com o compartilhamento de infraestruturas e /ou troca de subprodutos (resíduos).
- **Externalidades positivas:** geração de valor e benefícios socioambientais a partir de Inovação e oportunidades de modelos negócios voltados para sustentabilidade, em uma perspectiva de ganhos intersetoriais.

- A disponibilidade de biomassa está dispersa de forma diferenciada nas diferentes regiões do estado, o que favorece o desenvolvimento de **diferentes modelos de negócios**, a depender da escala e logística de escoamento dos recursos e infraestrutura.
- As tecnologias para o desenvolvimento do potencial já são consolidadas
- Não existe uma “solução única”, mas sim opções diferentes que podem ser usadas para diferentes combinações, dependendo das diferentes necessidades de flexibilidade e características locais.
- O uso de biogás ou biometano associado ao processo de cogeração pode impulsionar o desenvolvimento de outros setores

CONCLUSÕES

Oportunidades de Políticas Públicas

- Leilões dedicados de Energia Elétrica
- Políticas flexíveis para concessão de transporte de gás
- Implantação de mecanismos de certificação/valorização dos atributos da fonte (despachabilidade/benefícios ambientais/proximidade dos centros de carga)
- Incentivos fiscais
- Nacionalização de tecnologias
- Criação de centros de referências coordenados com a disseminação de conhecimento
- Integração de políticas públicas
- Políticas que incentivem a parcerias público-privada na gestão dos serviços de coleta e tratamento de resíduos

Secretaria de
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística



SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO



Fundação de Apoio à
Universidade de São Paulo