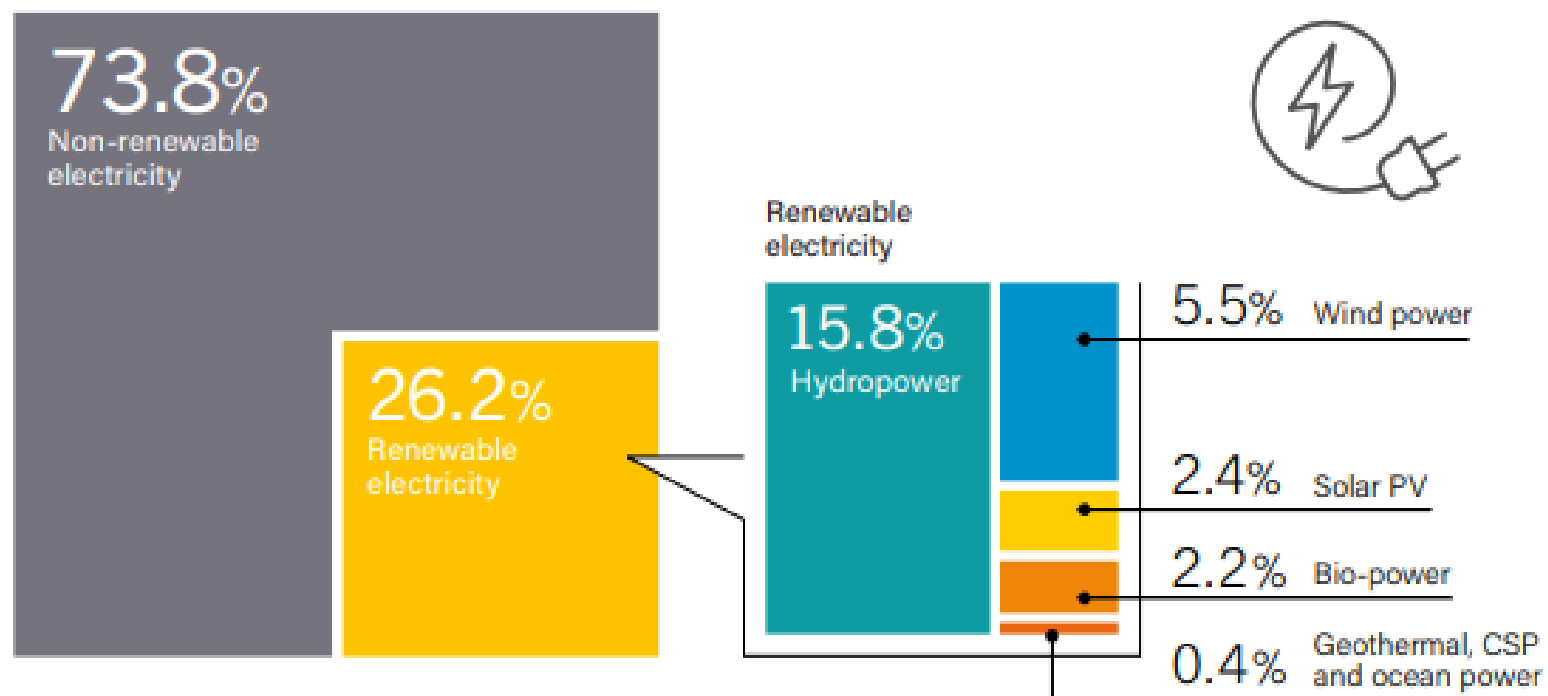


*Biomassa como fonte de
energia
PEN-5014
Cogeração com Biomassa*

Prof^a Suani Coelho

São Paulo, 6 de novembro de 2020

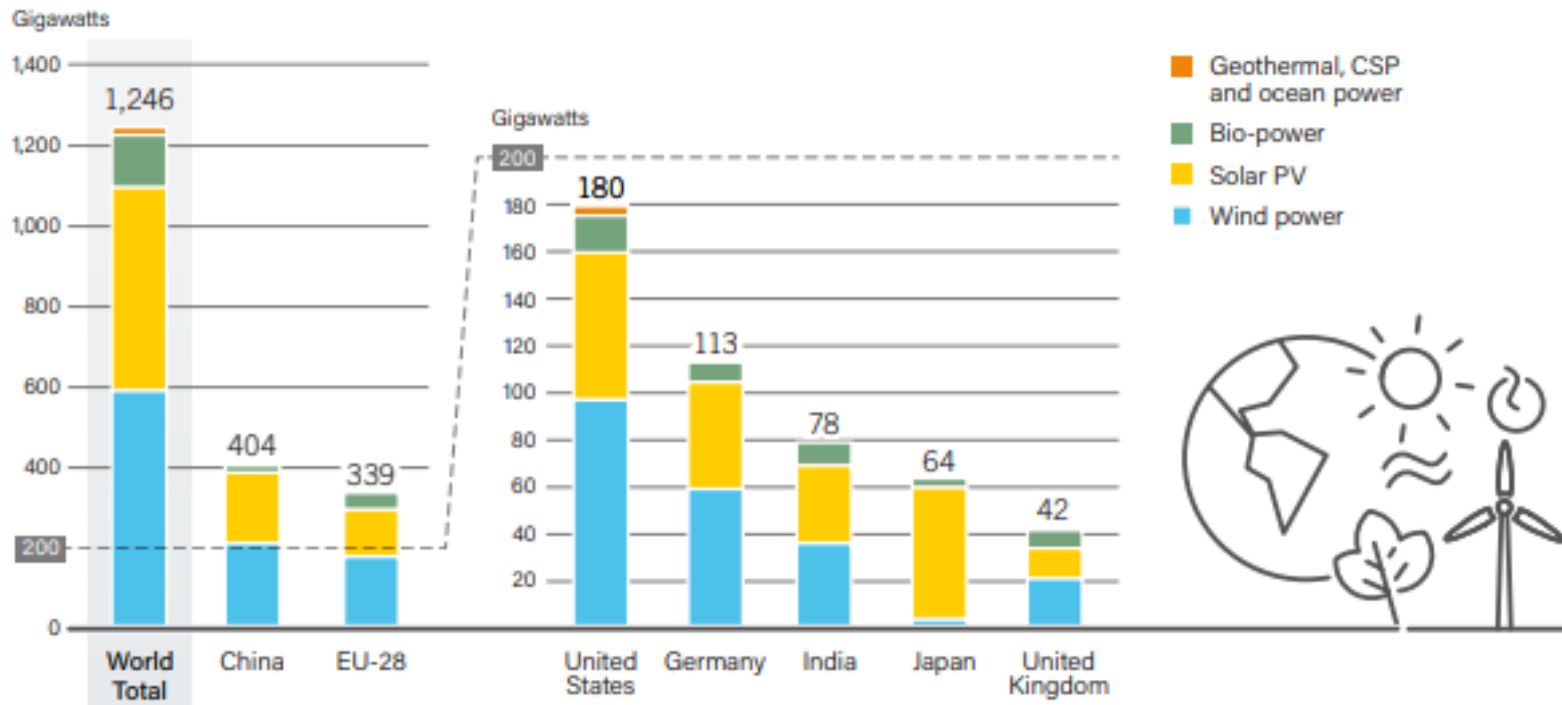
FIGURE 8. Estimated Renewable Energy Share of Global Electricity Production, End-2018



Note: Data should not be compared with previous versions of this figure due to revisions in data and methodology.

Source: See endnote 192 for this chapter.

FIGURE 9. Renewable Power Capacities in World, EU-28 and Top 6 Countries, 2018



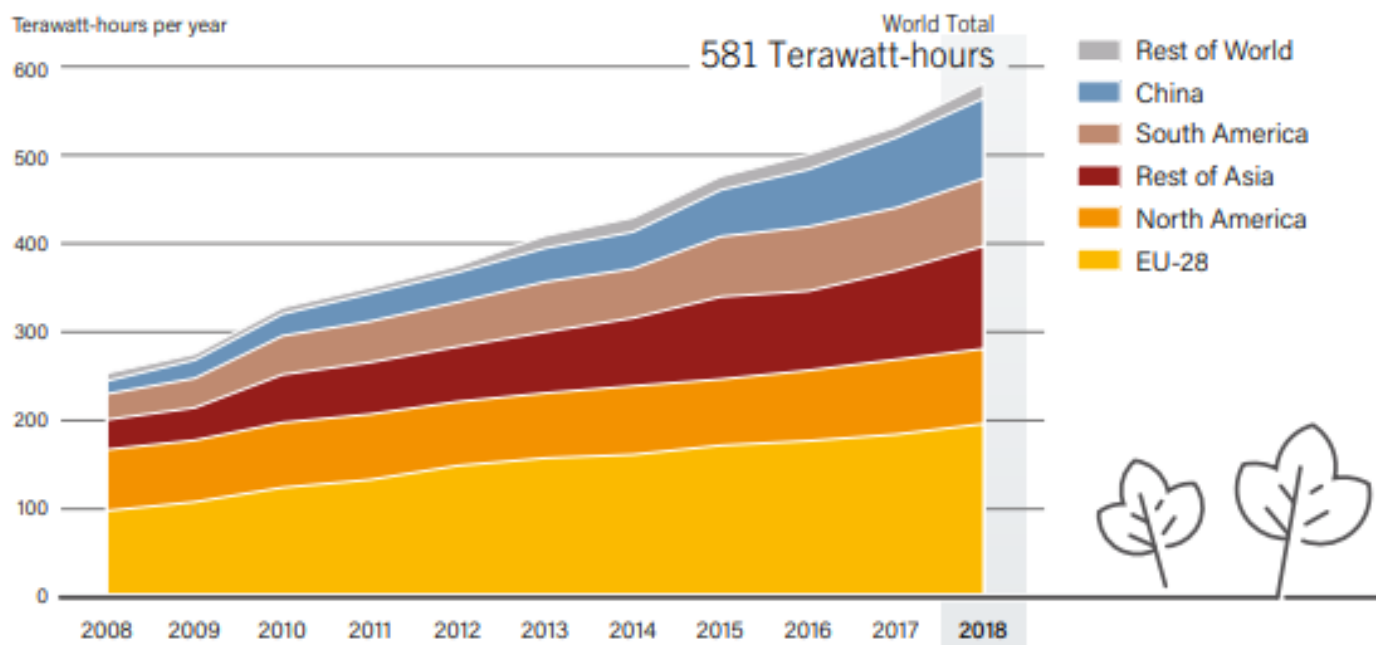
Note: Not including hydropower.

Source: See endnote 195 for this chapter.

Source: REN 21 Global Status Report (2019)

Bioenergia no mundo/eletricidade

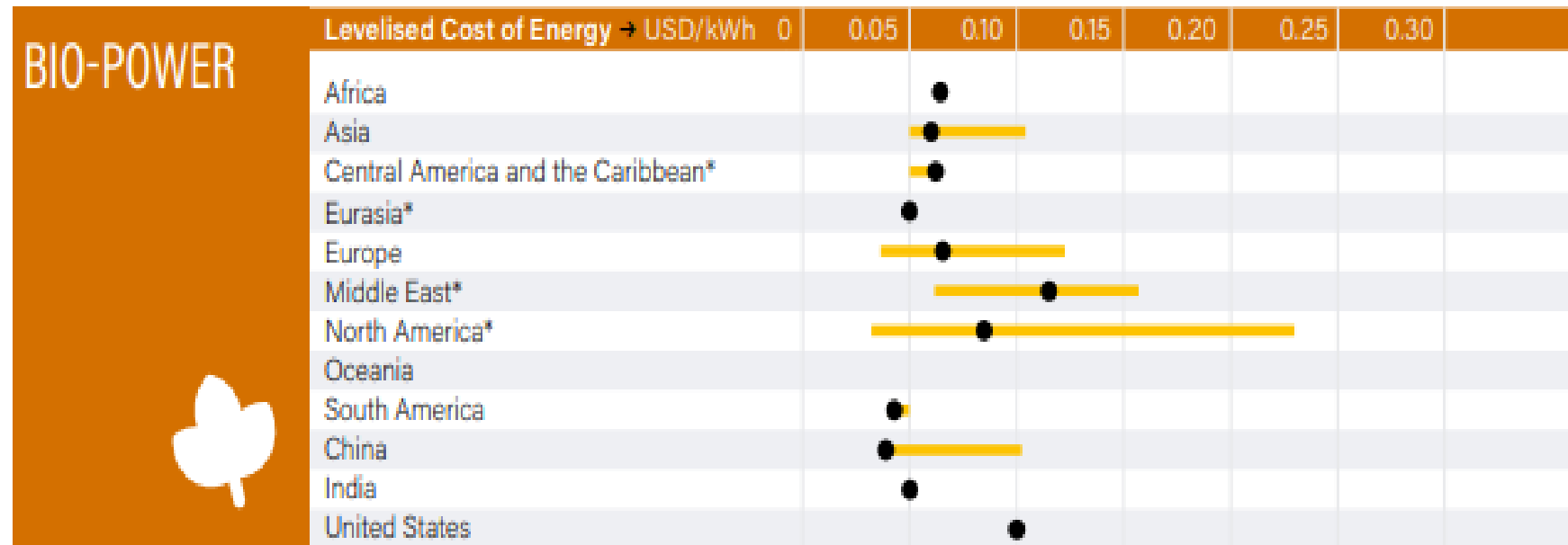
FIGURE 19. Global Bioelectricity Generation, by Region, 2008-2018



Source: See endnote 32 for this section.

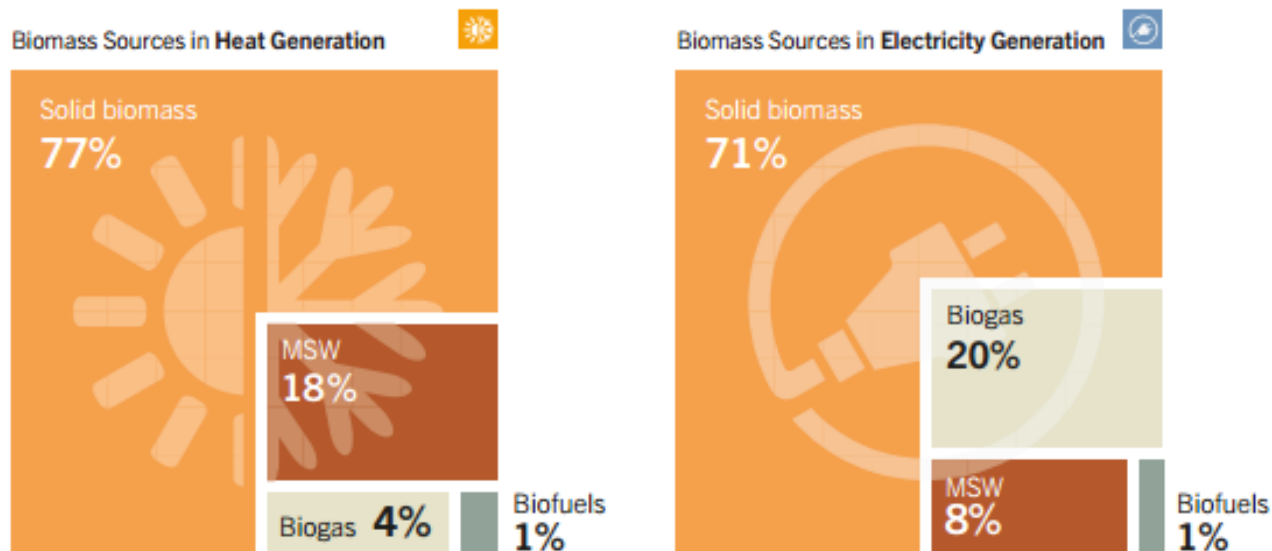
Source: REN 21 Global Status Report (2019)

■ TABLE 3. Renewable Electricity Generating Technologies, Costs and Capacity Factors, 2018



Bioenergia no mundo/eletricidade

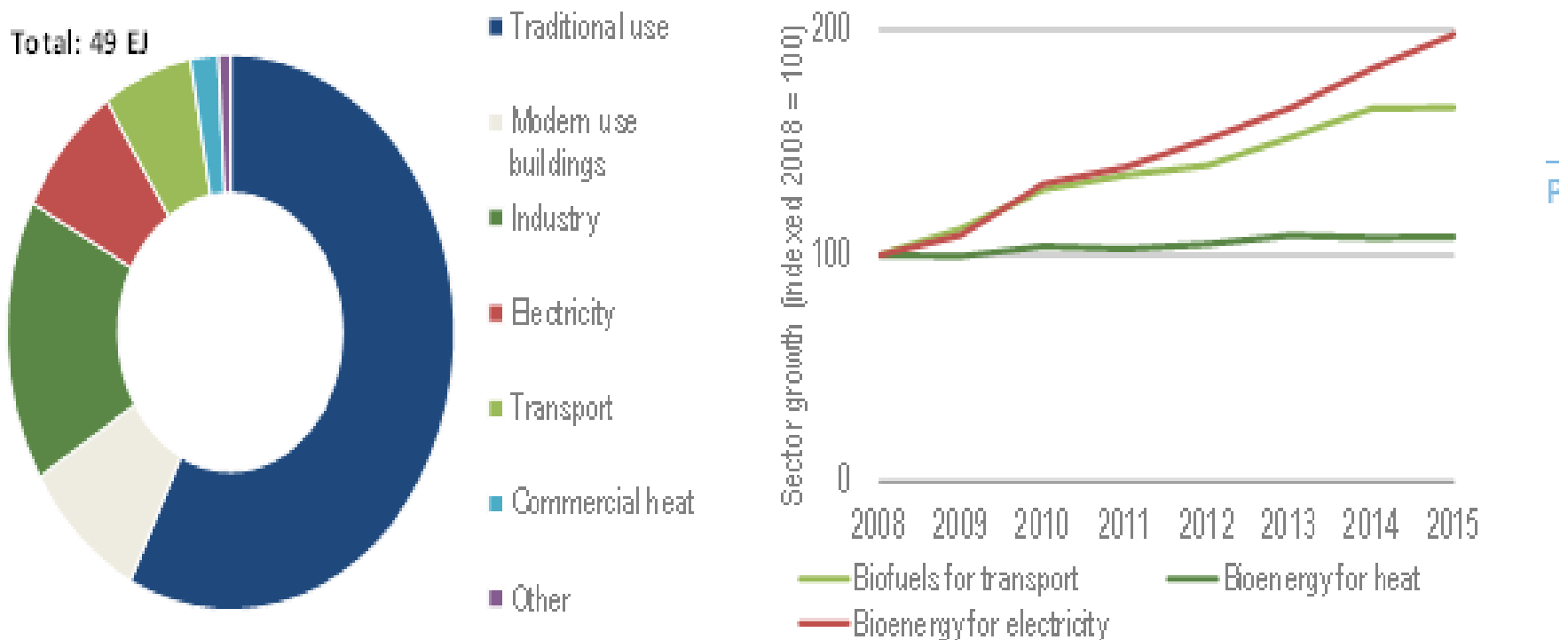
Figure 7. Shares of Biomass Sources in Global Heat and Electricity Generation, 2015



Source:
See endnote 11
for this section.

Municipal solid waste (MSW) includes the renewable portion only.

Figure 2 • Consumption of biomass and waste resources by end use in 2015 (left) and modern bioenergy growth by sector (2008-15)



Source: IEA (2017a), Market report series: Dispatchables 2017; IEA (2017d), World Energy Statistics and Balances 2017

Figure 7. Wood Pellet Global Production, by Country or Region, 2000–2013

Source:
see Endnote 60
for this section.

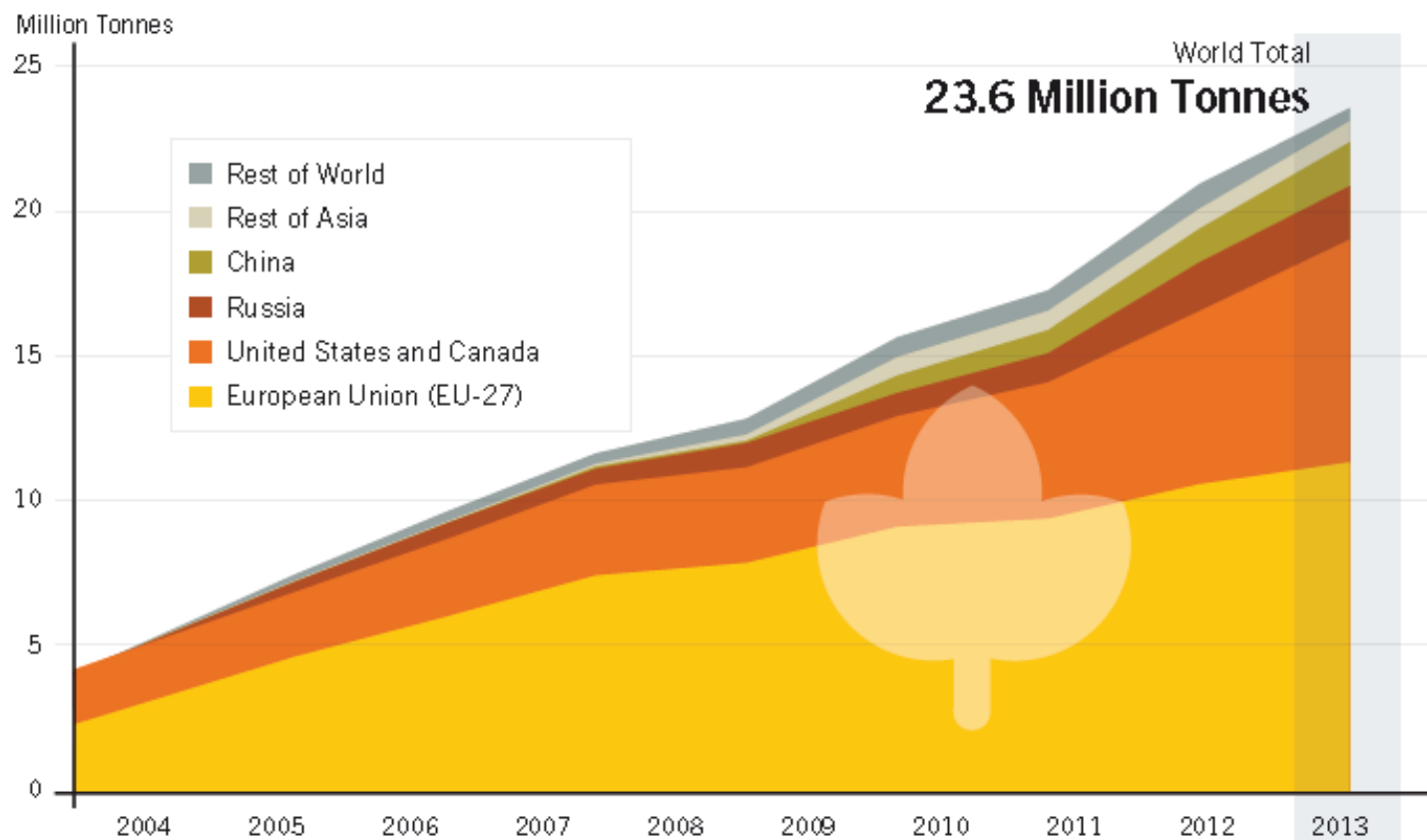
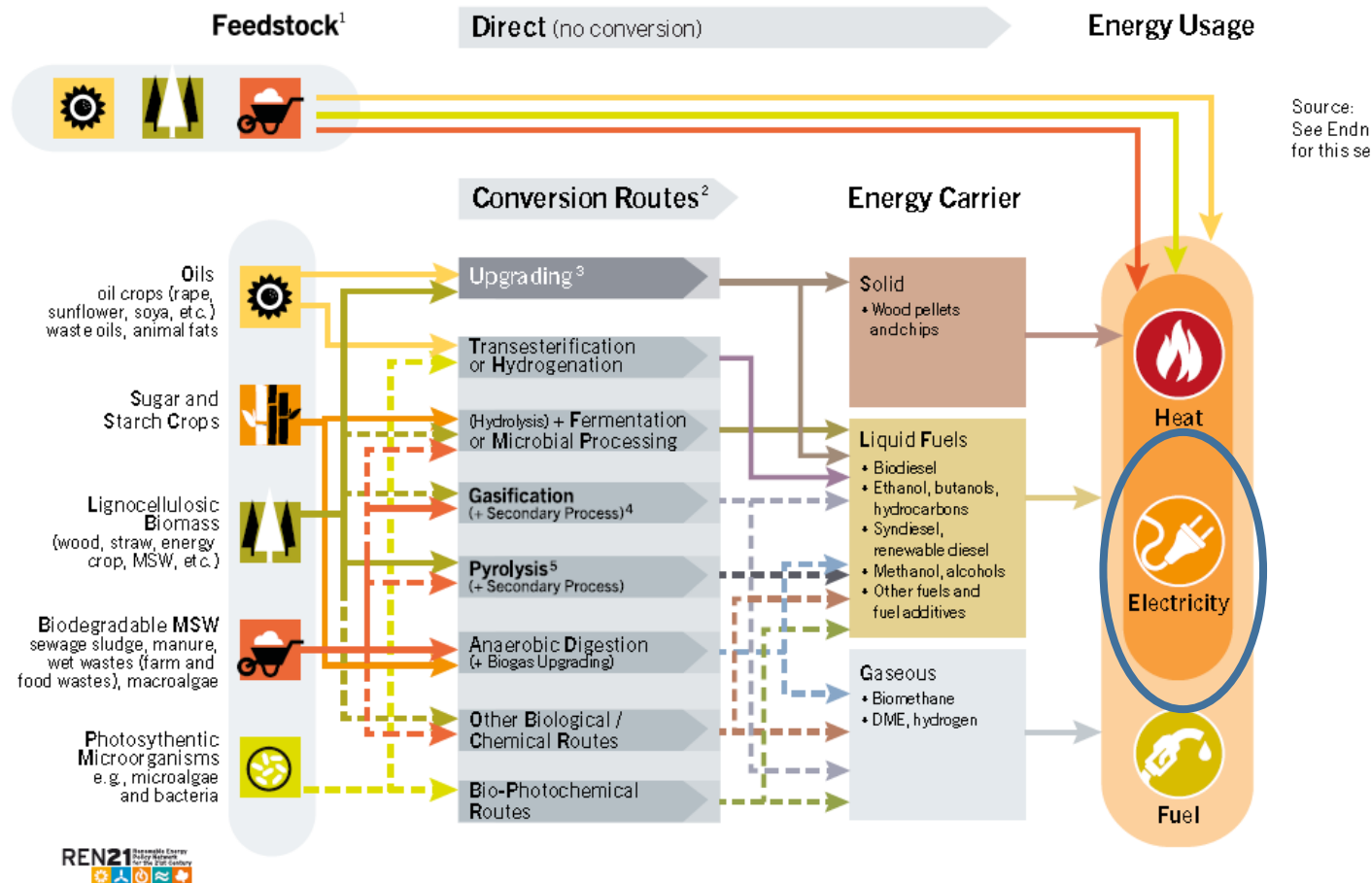


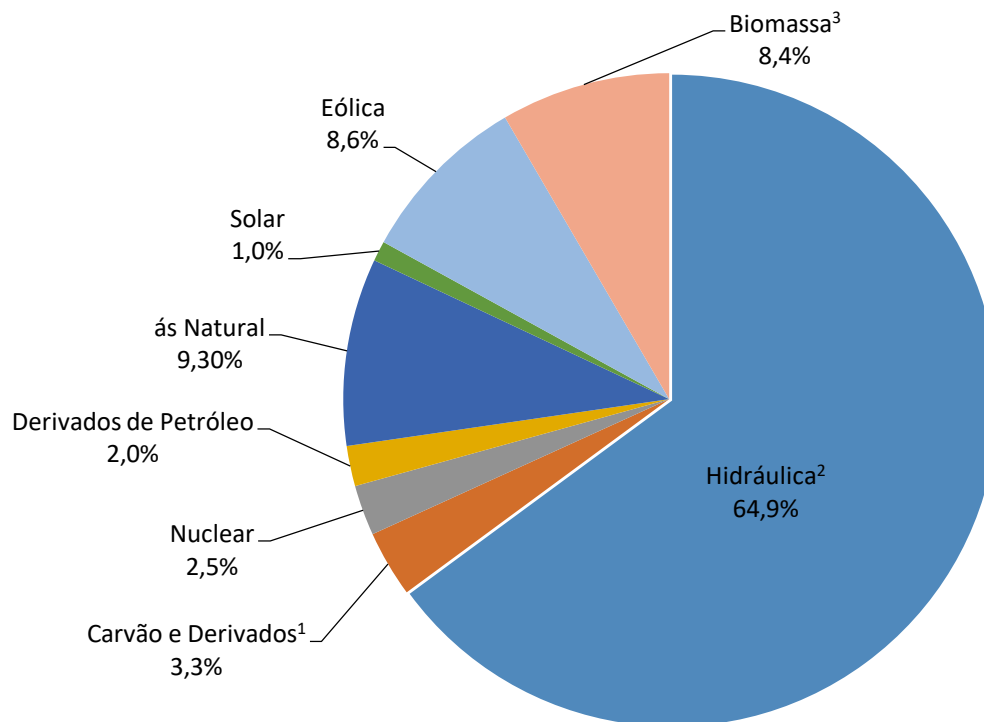
Figure 6. Bioenergy Conversion Pathways



Note: Solid lines represent commercial pathways, and dotted lines represent developing bioenergy routes.

¹ Parts of each feedstock, e.g., crop residues, could also be used in other routes. ² Each route also gives co-products. ³ Biomass upgrading includes any one of the densification processes (pelletisation, pyrolysis, torrefaction, etc.). ⁴ Anaerobic digestion processes release methane and CO₂, and removal of CO₂ provides essentially methane, the major component of natural gas; the upgraded gas is called biomethane. ⁵ Could be other thermal processing routes such as hydrothermal, liquerfaction, etc. DME = dimethyl ether.

Matriz Elétrica Brasileira



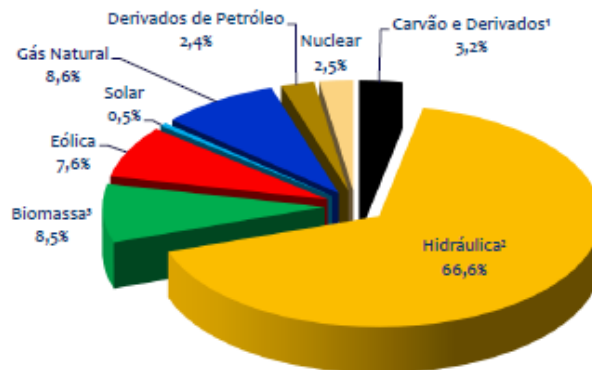
¹ Inclui gás de coqueria, gás de alto forno, gás de aciaria e alcatrão

² Inclui importação

³ Inclui lenha, bagaço de cana, lixo, biodiesel e outras fontes primárias.

BEN 2020 | Matriz Elétrica Brasileira

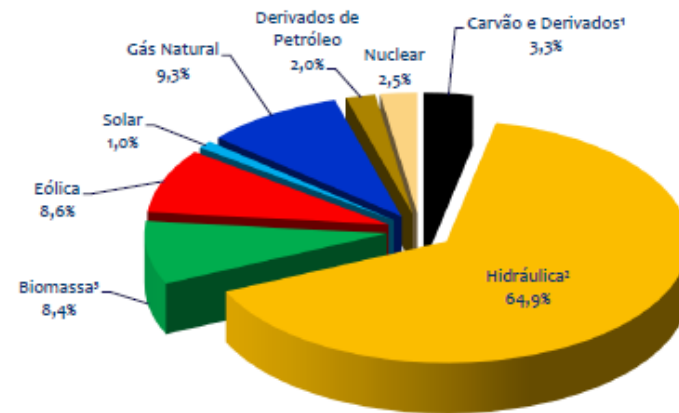
BRASIL (2018)



oferta hidráulica² em 2018: **423,9 TWh**

oferta total² em 2018: **636,4 TWh**

BRASIL (2019)



oferta hidráulica² em 2019: **422,8 TWh**

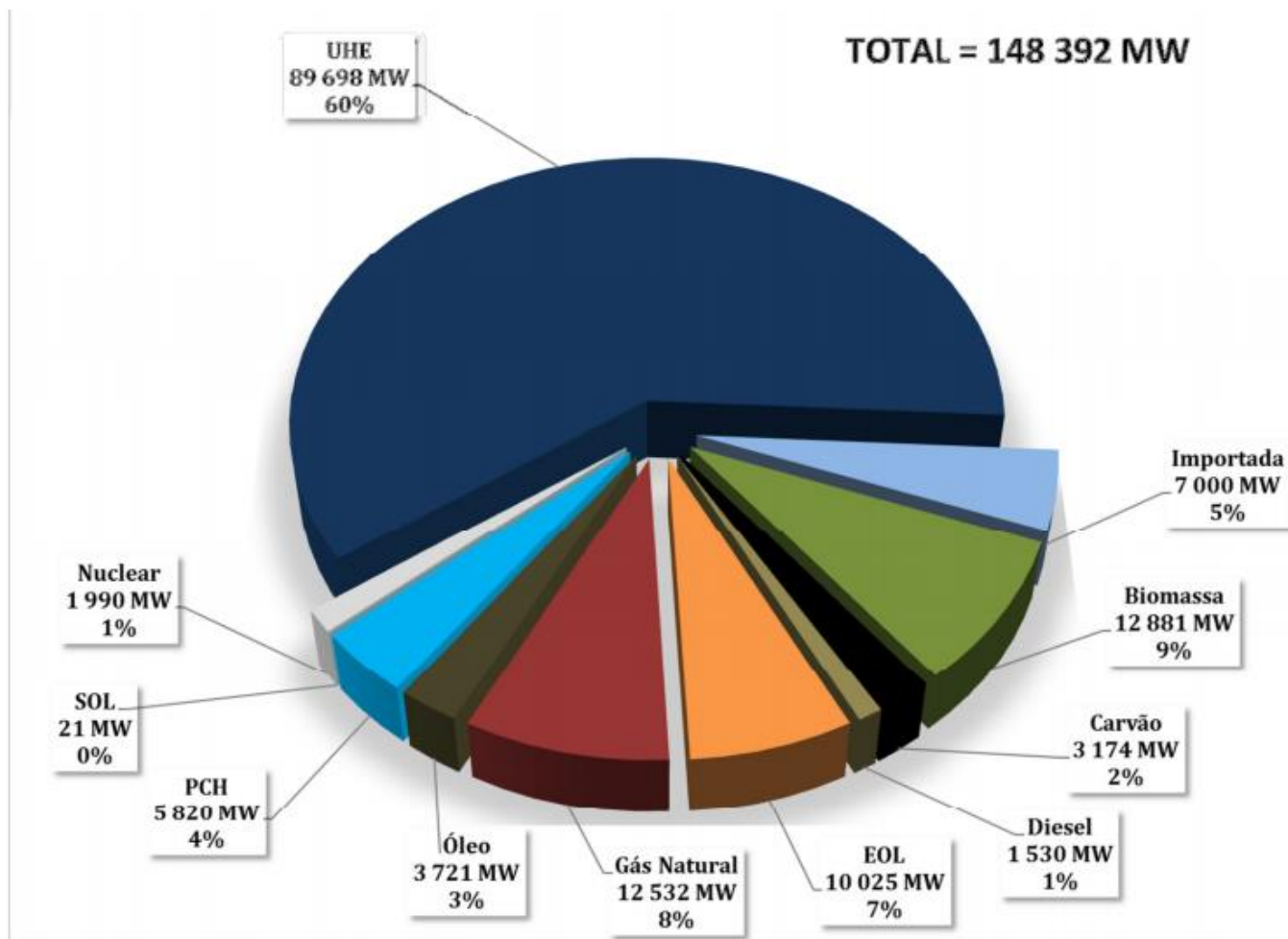
oferta total² em 2019: **651,3TWh**

¹ Inclui gás de coqueria, gás de alto forno, gás de aciaria e alcatrão

² Inclui importação

³ Inclui lenha, bagaço de cana, lixo, biodiesel e outras fontes primárias.

Capacidade Instalada no SIN em dezembro de 2016



Source: EPE (2017). Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE 2026



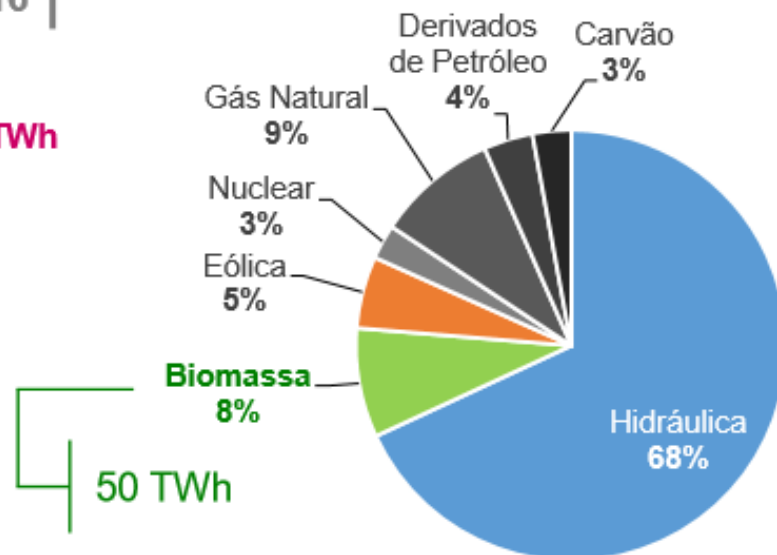
MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

OFERTA INTERNA POR FONTE

Em 2016 |



Total
620 TWh

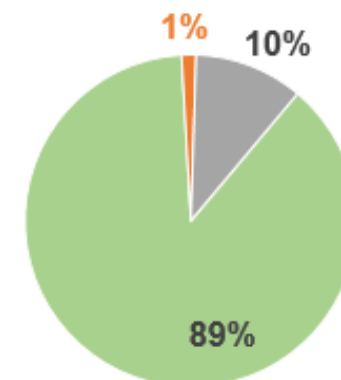


Fontes renováveis representam 82% da oferta interna no Brasil



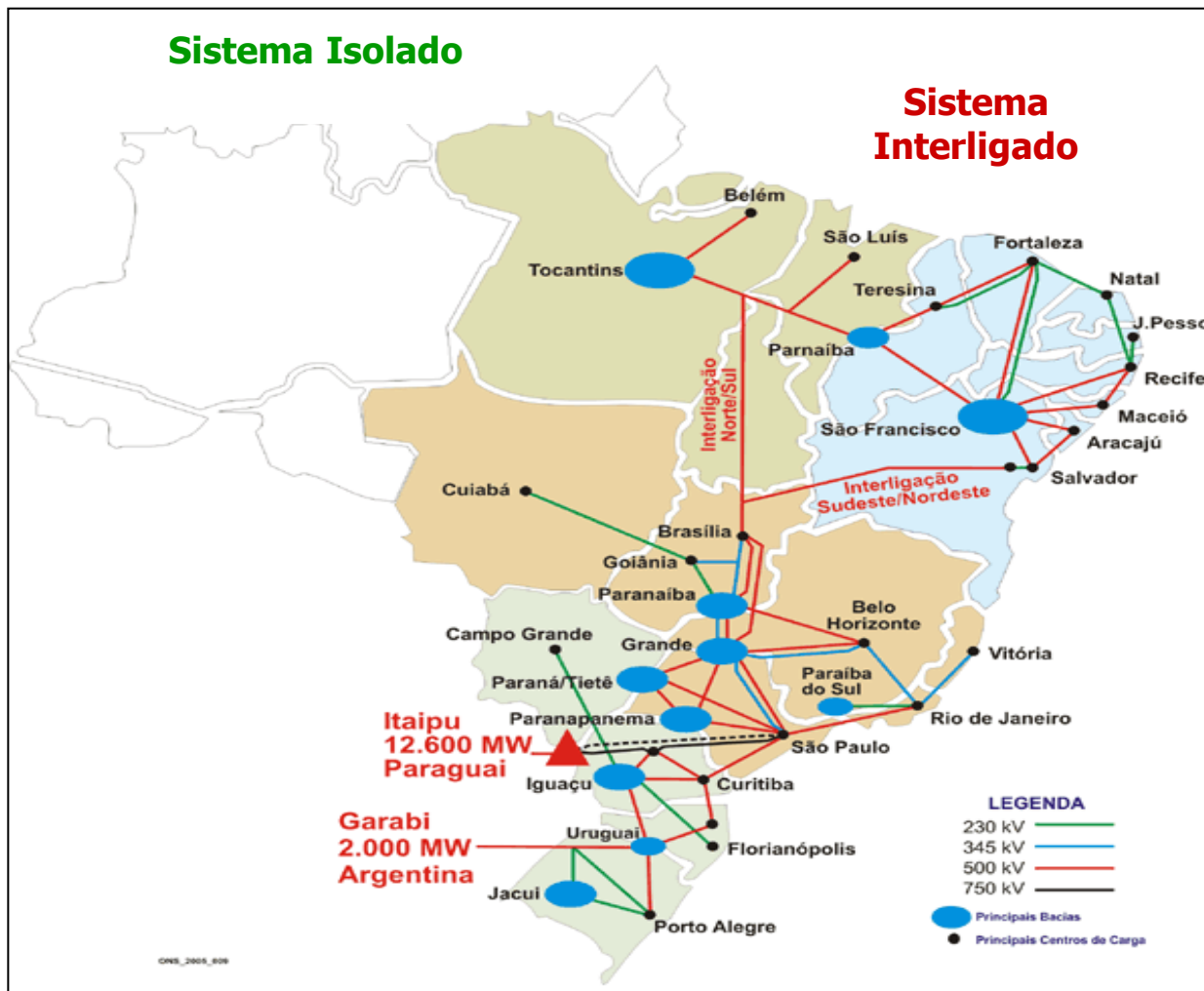
FONTES DE BIOMASSA

Em 2016 |



- Biogás
- Bagaço de cana
- Outros

Sistema Elétrico Brasileiro

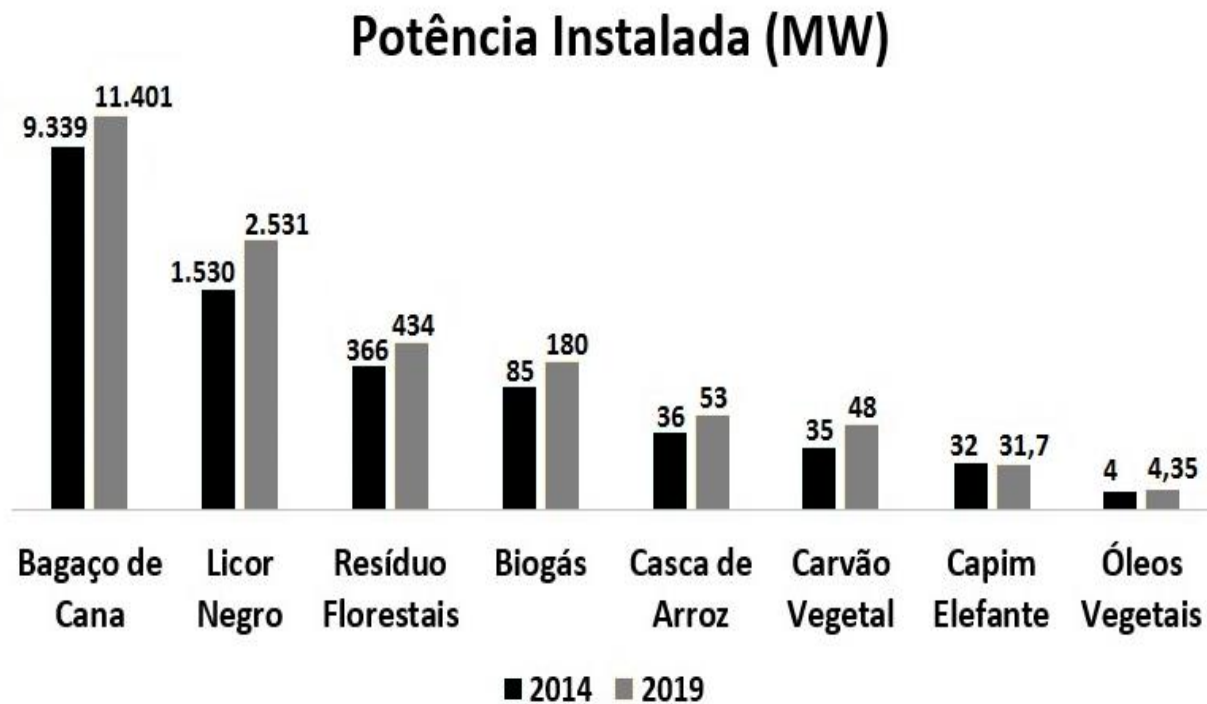


4.508 empreendimentos de Geração em operação



<http://www.docs.ndsr.org/SLIDESCiclo5NDSR20161Rodrigo.pdf>

Potência instalada com biomassa (2014-2019)



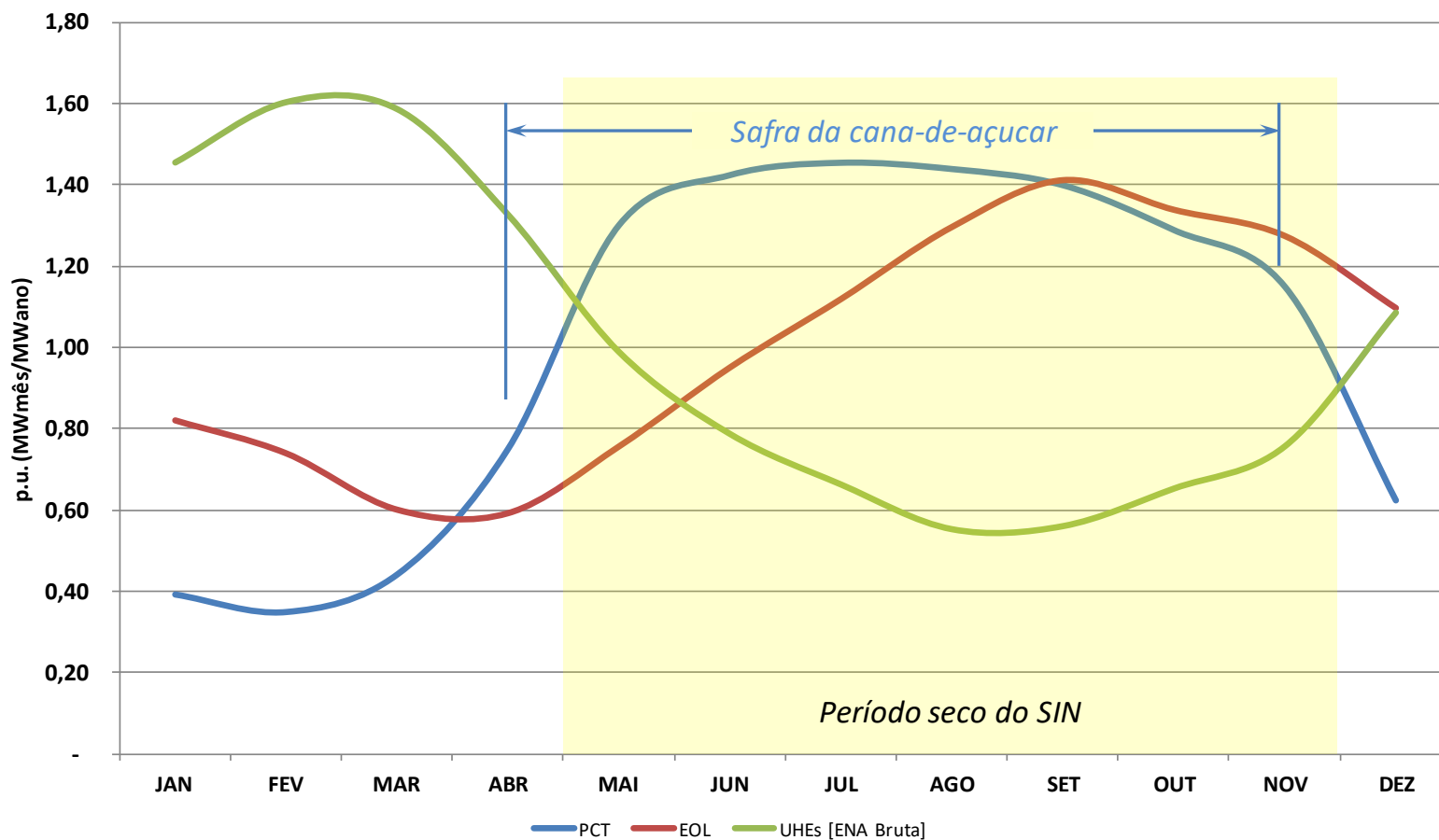
Source: ANEEL, 2020

Termoelétricas com Biomassa



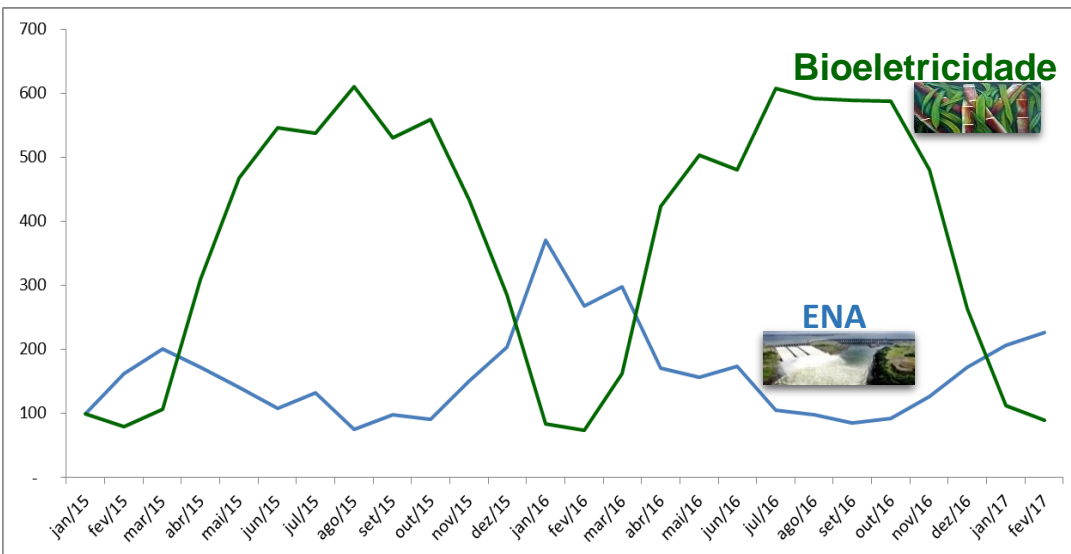
Fonte: Amaral,
2014

Complementaridade Anual das Diversas Fontes de Geração



Complementaridade entre as fontes pode ser explorada para reduzir o risco de exposição individual durante os meses.

Índice de Bioeletricidade para a rede e da Energia Natural Afluente (ENA), 2015 a fev/2017 (mês-base jan/15 = 100)



Fonte: UNICA (2017), dados básicos da CCEE (2017). Inclui as diversas biomassas

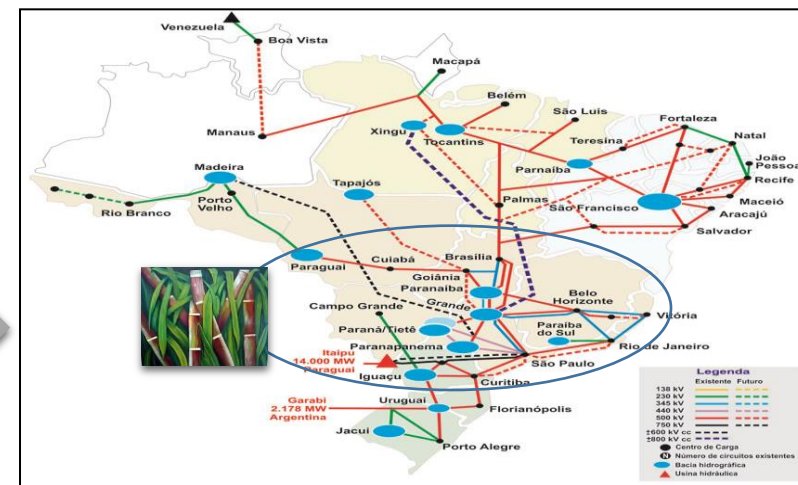
Submercado SE/CO (2016):

- ❑ 86% da bioeletricidade exportada para o SIN, e
- ❑ 57% do consumo no país.

É Geração Distribuída!

❑ Bioeletricidade da cana em 2016: Poupou **15% de água** nos reservatórios das hidrelétricas no submercado SE/CO.

❑ Evitou a emissão de **mais de 9 milhões de tCO₂** em 2016.



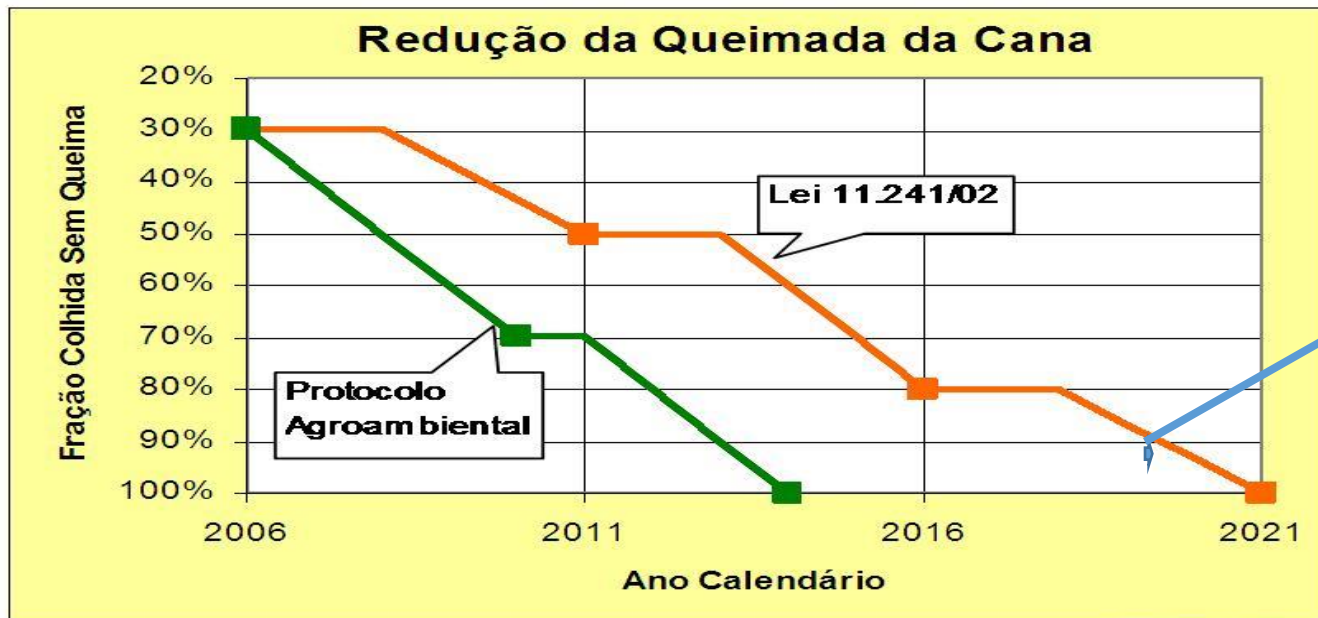


Caldeira (63 bar / 480°C) – Usina Santa Adélia
Foto: CENBIO

Aproveitamento de resíduos

Diferentes usos

Eliminação das queimadas de cana – Estado de São Paulo Quais os usos da palha?



2019 - ~100% of the sugarcane mills already harvest cane without burning

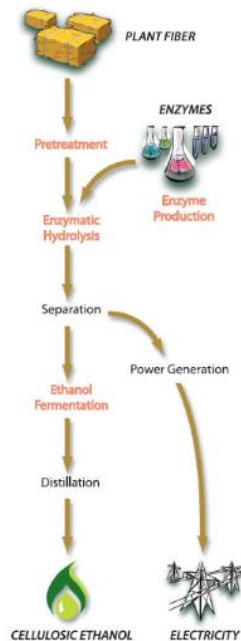
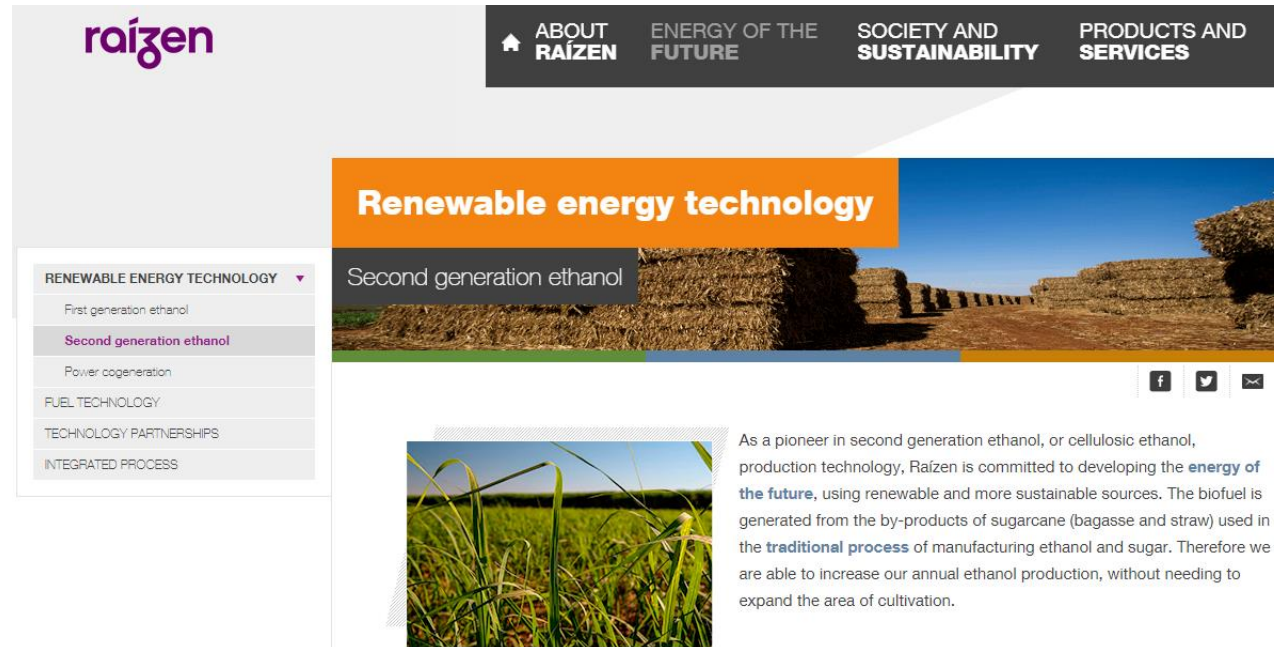
Other states – similar legislation – ex. Mato Grosso - 2024



Etanol 2G – Bagaço de cana



Cellulosic Ethanol Process

The screenshot shows the Raízen website interface. At the top, the **raízen** logo is on the left, and navigation links for **ABOUT RAÍZEN**, **ENERGY OF THE FUTURE**, **SOCIETY AND SUSTAINABILITY**, and **PRODUCTS AND SERVICES** are on the right. A main banner features the text **Renewable energy technology** over an image of hay bales. Below the banner, a dropdown menu is open, showing a list of categories: **RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGY** (selected), **First generation ethanol**, **Second generation ethanol** (highlighted in purple), **Power cogeneration**, **FUEL TECHNOLOGY**, **TECHNOLOGY PARTNERSHIPS**, and **INTEGRATED PROCESS**. To the right of the menu is a smaller image of sugarcane in a field. At the bottom right of the website screenshot, there are social media icons for Facebook, Twitter, and Email, and a paragraph of text.

As a pioneer in second generation ethanol, or cellulosic ethanol, production technology, Raízen is committed to developing the **energy of the future**, using renewable and more sustainable sources. The biofuel is generated from the by-products of sugarcane (bagasse and straw) used in the **traditional process** of manufacturing ethanol and sugar. Therefore we are able to increase our annual ethanol production, without needing to expand the area of cultivation.

In November, 2014, we began operating our first industrial plant for the manufacture of biofuel on a commercial scale. Finished in record time, the unit, located in Piracicaba (SP), allows for production of around 40 million more liters of ethanol a year.

Pellets de bagaço

26

fev

Cosan e Sumitomo criam joint venture para produzir e comercializar pellet de biomassa de cana-de-açúcar

Releases Cosan

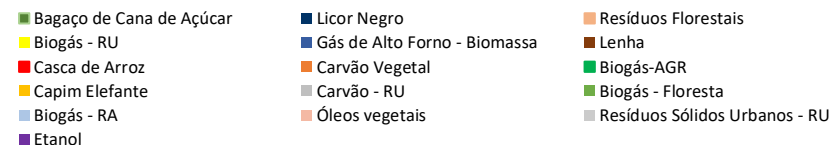
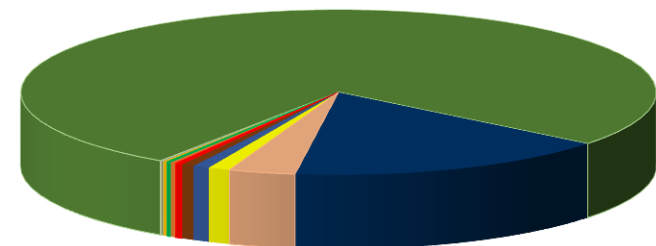
A Cosan Biomassa nasce com tecnologia brasileira e apoio da FINEP e voltada a um mercado mundial de US\$ 4 Bilhões

<https://vimeo.com/156849010>



Geração de eletricidade com biomassa no Brasil

Empreendimentos em operação			
Combustível	Quantidade	Potência (kW)	%
Bagaço de Cana de Açúcar	406	11.743.326,20	76,253%
Licor Negro	18	2.538.634,00	16,484%
Resíduos Florestais	60	520.010,00	3,377%
Biogás - RU	21	174.440,60	1,133%
Gás de Alto Forno - Biomassa	12	127.705,05	0,829%
Lenha	8	104.575,00	0,679%
Casca de Arroz	13	53.333,00	0,346%
Carvão Vegetal	8	48.197,00	0,313%
Biogás-AGR	4	31.867,00	0,207%
Capim Elefante	2	31.700,00	0,206%
Carvão - RU	3	8.250,00	0,054%
Biogás - Floresta	1	5.000,00	0,032%
Biogás - RA	14	4.481,20	0,029%
Óleos vegetais	2	4.350,40	0,028%
Resíduos Sólidos Urbanos - RU	1	4.278,00	0,028%
Etanol	1	320,00	0,002%
Total	574	15.400.467,45	100%



Biomassa – 8,8% da geração de eletricidade no Brasil
Bagaço de cana - 72% do total de eletricidade de biomassa

<https://bit.ly/2IGf4QO>

Geração de eletricidade com biomassa no Brasil

Empreendimentos em construção

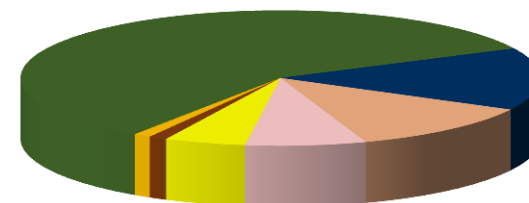
Combustível	Quantidade	Potência (kW)	%
Licor Negro	2	612.007,00	53,924%
Bagaço de Cana de Açúcar	7	281.750,00	24,825%
Resíduos Florestais	9	213.770,00	18,835%
Capim Elefante	2	27.416,00	2,416%
Total	20	1.134.943,00	100%



■ Licor Negro ■ Bagaço de Cana de Açúcar ■ Resíduos Florestais ■ Capim Elefante

Empreendimentos construção não iniciada

Combustível	Quantidade	Potência (kW)	%
Bagaço de Cana de Açúcar	15	527.200,00	58,359%
Licor Negro	1	134.800,00	14,922%
Resíduos Florestais	3	108.000,00	11,955%
Óleos vegetais	2	67.707,00	7,495%
Biogás - RU	2	45.668,00	5,055%
Lenha	1	10.200,00	1,129%
Capim Elefante	1	9.800,00	1,085%
Total	25	903.375,00	100%



■ Bagaço de Cana de Açúcar ■ Licor Negro ■ Resíduos Florestais
 ■ Óleos vegetais ■ Biogás - RU ■ Lenha
 ■ Capim Elefante

<https://bit.ly/2IGf4Q0>



Início

Matriz Elétrica Brasileira

Matriz por fase de construção

Matriz por Origem de Combustível

Matriz por Fonte e Combustível Final

Matriz Renováveis / Não Renováveis

Filtro por Fonte

CGH CGU EOL PCH UFV UHE UTE UTN

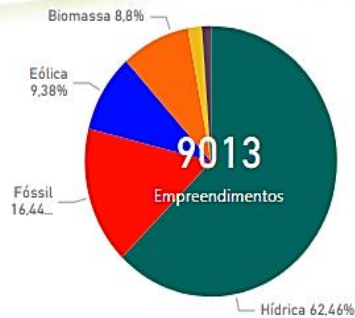
Filtro por Estado

AC AL AM AP BA CE DF ES GO
MA MG MS MT PA PB PE PI PR
RJ RN RO RR RS SC SE SP TO

Filtro por Origem de Combustível

Biomassa Eólica Fóssil Hídrica
Nuclear Solar Undi-Elétrica

- Hídrica
- Fóssil
- Eólica
- Biomassa
- Solar
- Nuclear
- Undi-Elétrica



- Empreendimentos em Operação

Origem	Tipo	Combustível	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	% Potência Outorgada
Hídrica	Potencial hidráulico	Potencial hidráulico	1380	109.260.228,78	62,46%
Eólica	Cinética do vento	Cinética do vento	659	16.401.183,86	9,38%
Fóssil	Gás natural	Gás Natural	166	15.663.773,79	8,95%
Biomassa	Agroindustriais	Bagaco de Cana de Açúcar	406	11.743.326,20	6,71%
Fóssil	Petróleo	Óleo Diesel	2199	4.393.114,17	2,51%
Fóssil	Petróleo	Óleo Combustível	74	3.589.348,88	2,05%
Fóssil	Carvão mineral	Carvão Mineral	13	3.202.740,00	1,83%
Solar	Radiação solar	Radiação solar	3907	3.121.946,25	1,78%
Biomassa	Floresta	Licor Negro	18	2.538.634,00	1,45%
Nuclear	Urânio	Urânio	2	1.990.000,00	1,14%
Fóssil	Petróleo	Outros Energéticos de Petróleo	17	1.003.828,00	0,57%
Biomassa	Floresta	Resíduos Florestais	60	520.010,00	0,30%
Fóssil	Carvão mineral	Gás de Alto Forno - CM	7	351.690,00	0,20%
Fóssil	Petróleo	Gás de Refinaria	6	319.530,00	0,18%
Biomassa	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	21	174.440,60	0,10%
Fóssil	Outros Fósseis	Calor de Processo - OF	4	165.970,00	0,09%
Biomassa	Floresta	Gás de Alto Forno - Biomassa	12	127.705,05	0,07%
Biomassa	Floresta	Lenha	8	104.575,00	0,06%
Biomassa	Agroindustriais	Casca de Arroz	13	53.333,00	0,03%
Biomassa	Floresta	Carvão Vegetal	8	48.197,00	0,03%
Fóssil	Gás natural	Calor de Processo - GN	1	40.000,00	0,02%
Biomassa	Agroindustriais	Biogás-AGR	4	31.867,00	0,02%
Biomassa	Agroindustriais	Capim Elefante	2	31.700,00	0,02%
Fóssil	Carvão mineral	Calor de Processo - CM	2	28.400,00	0,02%
Biomassa	Resíduos sólidos urbanos	Carvão - RU	3	8.250,00	0,00%
Biomassa	Floresta	Biogás - Floresta	1	5.000,00	0,00%
Biomassa	Resíduos animais	Biogás - RA	14	4.481,20	0,00%
Biomassa	Biocombustíveis líquidos	Óleos vegetais	2	4.350,40	0,00%
Biomassa	Resíduos sólidos urbanos	Resíduos Sólidos Urbanos - RU	1	4.278,00	0,00%
Total			9013	174.933.471,18	100,00%

Bagaço de cana

 Início

Matriz Elétrica Brasileira

Matriz por fase de construção

Matriz por Origem de Combustível

Matriz por Tipo e Combustível Final

Matriz Renováveis / Não Renováveis

Filtro por Origem e Tipo de Combustível

Agroindustriais

Filtro por Combustível Final

- Clique nas setas para o detalhamento dos empreendimentos
 - Empreendimentos em Operação

Origem	UF	Tipo	Combustível Final	Qtde	Potência Outorgada (kW)
Biomassa	AL	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	20	317.462,00
Biomassa	AM	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	1	5.000,00
Biomassa	BA	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	1	16.000,00
Biomassa	ES	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	3	69.200,00
Biomassa	GO	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	32	1.407.868,00
Biomassa	MA	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	2	9.400,00
Biomassa	MG	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	46	1.386.920,00
Biomassa	MS	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	22	1.113.368,00
Biomassa	MT	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	8	188.928,00
Biomassa	PA	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	2	12.450,00
Biomassa	PB	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	5	101.500,00
Biomassa	PE	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	19	298.455,00
Biomassa	PI	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	1	18.000,00
Biomassa	PR	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	27	500.020,00
Biomassa	RJ	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	2	49.000,00
Biomassa	RN	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	2	57.000,00
Biomassa	SC	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	3	11.070,00
Biomassa	SE	Agroindustriais	Bagaço de Cana de	5	59.700,00
Total				406	11.743.326,20

Uso de resíduos - Casca de arroz

SÃO SEPE

Com autorização da Aneel, usina que usa casca de arroz para produzir energia inicia operações comerciais

Empreendimento inaugurado no ano passado, na RS 149 em São Sepé, teve investimento de R\$ 60 milhões



<https://www.weg.net/institutional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/weg-fornece-equipamentos-para-usina-termeletrica-com-casca-de-arroz>

Uso de resíduos - Casca de arroz

APROVEITAMENTO DA
CASCA DO ARROZ EM
UMA MICRO CENTRAL
TERMOELÉTRICA:

AValiação DOS IMPACTOS
ECONÔMICOS E AMBIENTAIS
PARA O SETOR ARROZEIRO DO
RIO GRANDE DO SUL



A casca do arroz como fonte energética

Tabela 1 – Comparação do conteúdo energético entre diferentes fitomassas e combustíveis fósseis

Fitomassa	Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)
Batata	14,2-15,9
Girassol	18,0-19,3
Pinheiro	20,0
Bagaço de cana	17,3
Casca de arroz	16,1
Petróleo	38,5
Carvão Mineral (Antracito)	30,2
Gás natural	38,4

Fonte: Compilação do autor

A palha de arroz possui poder calorífico relativamente alta, por causa do baixo teor de humidade (~12%) e sua utilização no mesmo local onde é gerada elimina sua principal desvantagem que é a baixa densidade energética!

Uso de resíduos - Casca de arroz

- 2006 engenhos (dado de 2006) distribuídos em 87 municípios;
- Produção conjunta de 90 milhões de sacos de casca de arroz;
- Apenas ~40% da casca do arroz é Utilizada para outros fins

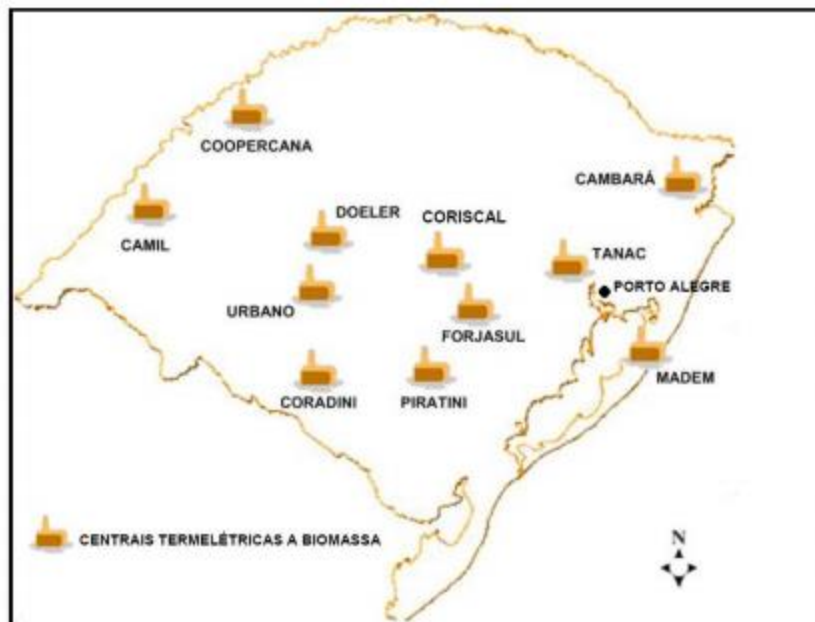


Figura 5 – Localização das principais centrais termoeletricas a biomassa do Rio Grande do Sul.

Uso de resíduos - Casca de arroz

Impactos Ambientais pelo uso da casca do arroz

- Diminuição da casca do arroz em aterros, pois possui longo período de decomposição (cerca de 5 anos);
 - Gera a diminuição de CH₄ pela decomposição.
- Diminuição da forma de descarte ilegal, pois na maioria dos engenhos de arroz, quase todo esse material tinha como destino as lavouras e o fundo de rios, em um descarte prejudicial e criminoso.
- Produto disponível de forma homogênea no decorrer não só do período de safra, mas no curso do ano todo.
- Evita a emissão de SO₂, tendo em vista que a biomassa apresenta teor de enxofre desprezível.
- A casca do arroz está dentre os produtos que se destacam no âmbito do aproveitamento e utilização, como forma alternativa na produção de energia.
 - Diminuição da emissão de CO₂ pela autoprodução de energia.

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4148172/mod_resource/content/1/Grupo%202.pdf

Uso de resíduos - Casca de arroz - ATUALIZAR

	Potência (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Combustível	Classe Combustível
Itaqui	4.200	PIE	100% para Camil Alimentos S/A	Itaqui - RS	Casca de Arroz	Biomassa
Urbano São Gabriel	2.220	REG	100% para Urbano Agroindustrial Ltda.	São Gabriel - RS	Casca de Arroz	Biomassa
CAAL	3.825	PIE	100% para Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda	Alegrete - RS	Casca de Arroz	Biomassa
GEEA Alegrete	5.000	REG	100% para Geradora de Energia Elétrica Alegrete Ltda	Alegrete - RS	Casca de Arroz	Biomassa
São Borja	12.500	PIE	100% para UTE São Borja Geradora de Energia Elétrica S.A	São Borja - RS	Casca de Arroz	Biomassa
Camil Alimentos - Camaquã	4.000	REG	100% para Camil Alimentos S.A.	Itaqui - RS	Casca de Arroz	Biomassa
Total	31.745			R\$	Casca de Arroz	Biomassa

Fonte: adaptado de ANEEL - BIG, 2013

Aprox 30% - excedente

http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2518

- A casca de arroz representa aproximadamente 20-30% do total produzido. Este é o resíduo resultante do beneficiamento do arroz que acontece nas instalações de grandes empresas beneficiadoras ou de cooperativas de produtores.

<http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2012/Artigos%20de%20Periodicos/monteirobioenergia.pdf>

- Aproximadamente 30% - eletricidade excedente

http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2518

Capim elefante



Prof Vicente Mazarella

<http://www.capimelefante.org/galeria-de-fotos>

Capim elefante



BIG - Banco de Informações de Geração

Capacidade de Geração do Brasil

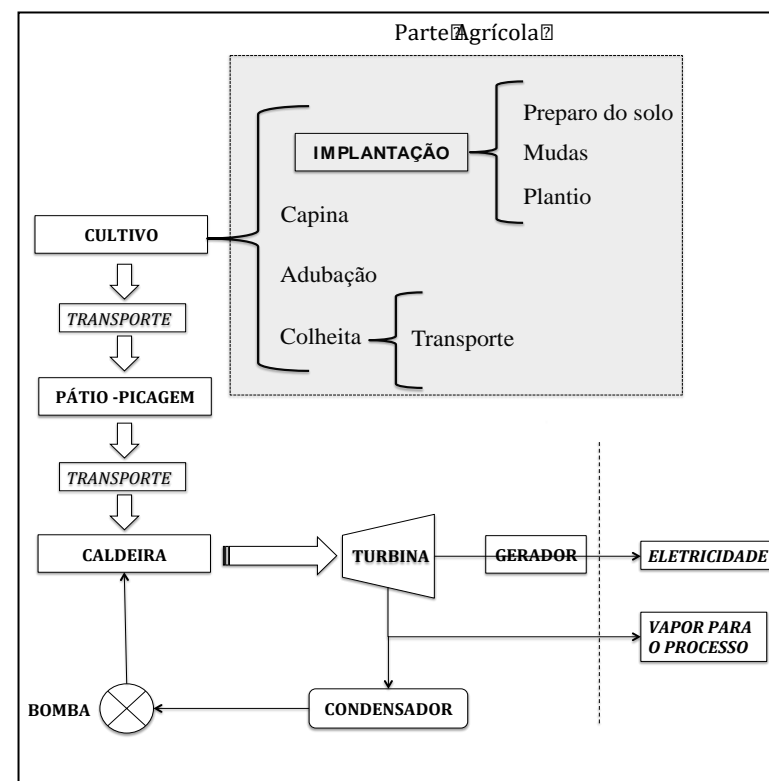
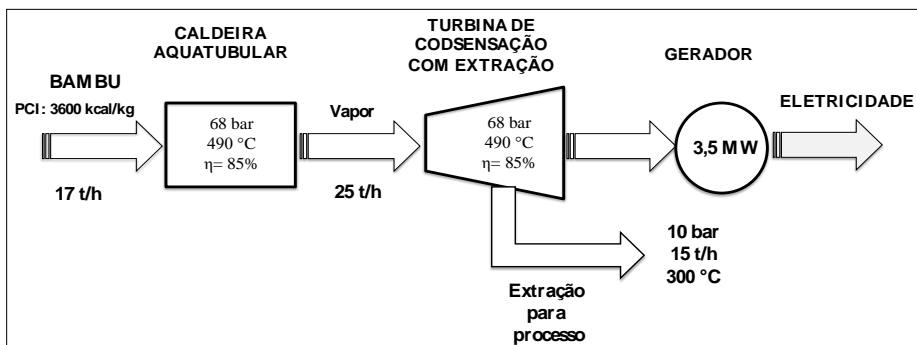
USINAS do tipo UTE em Operação						
CEG	Usina	Data Operação	Potência (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município
UTE.AI.BA.029.634-1.01	Sykué I	26-11-2010	30.000	PIE	100% para Sykué Geração de Energia Ltda.	São Desidério - BA
UTE.AI.MT.029.649-0.01	Unidade de Geração de Energia Elétrica - Agrenco - Mato Grosso	14-02-2015	34.000	PIE	100% para Agrenco Bioenergia Indústria e Comércio de Óleos e Biodiesel Ltda.	Alto Araguaia - MT
UTE.AI.AP.030.335-6.01	Flórida Clean Power do Amapá	-	1.700	REG	100% para Flórida Clean Power do Amapá Ltda	Macapá - AP
Total: 3 Usina(s)			Potência Total: 65.700 kW			

Legenda	
APE	Autoprodução de Energia
PIE	Produção Independente de Energia
REG	Registro
REG-RN482	Registro mini micro Geradores RN482/2012
SP	Serviço Público

<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/CombustivelListaUsinas.asp?classe=Biomassa&combustivel=41&fase=3>

Bambu

- Bambu
- Grupo Penha, Bahia – fabrica de papel reciclado – tese de doutorado Rodrigo Guarnetti – PPGE/IEE/USP

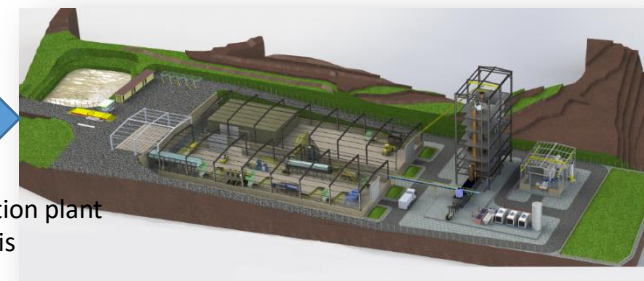


SUCCESS CASES CIRCULAR BIOECONOMY IN BRAZIL

Tech-nology	Feedstock / Residue	Plant ID (location State)	Energy use	Additional information
Anaerobic digestion	Sugar-cane residues	Bonfim mill (Sao Paulo)	Electricity generation	First biogas plant to successfully bid in an energy tender in Brazil
		Cocal mill (Sao Paulo)	Biomethane production and electricity generation	Partnership w/ gas utility GasBrasiliano. The project includes a biomethane-dedicated pipeline to a nearby city currently unattended by the natural gas grid
	Animal residues	CIBiogas – Entre Rios do Oeste (Parana)	Electricity generation and thermal demand	Small-scale swine and dairy cattle farms produce biogas, which are transported to a centralized plant
	MSW in landfill	Caucaia (Ceara)	Biomethane production	Biomethane injected to gas utility (CEGAS) pipeline
Termoverde Caieiras (Sao Paulo)		Electricity generation	Largest biogas plant in Brazil (29.5 MW)	
Incine-ration	MSW	Barueri/ Fox (Sao Paulo)	Electricity generation	First commercial incineration plant expected, under development (20 MW)
Gasification	MSW	Boa Esperança – R&D Aneel/ Furnas (Minas Gerais)	Electricity generation	First small-scale gasification plant (only with MSW), under construction (1 MW)
		Mafra – Weg (Parana)	Syngas production	A test plant is in operation generating syngas (without energy conversion)



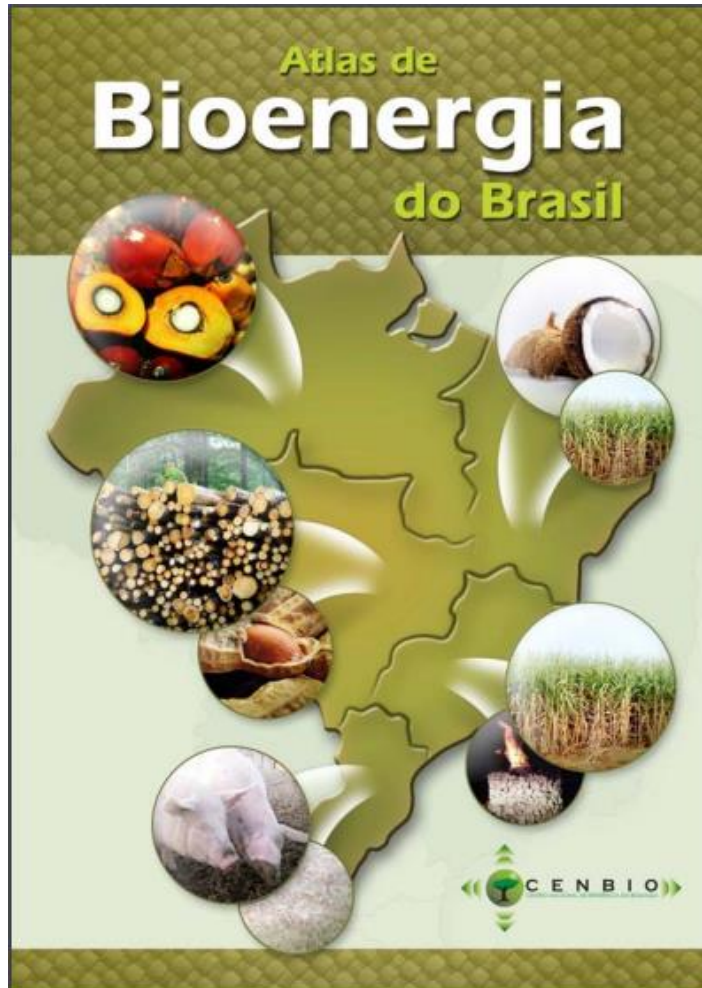
Biomethane from Caucaia Landfill in Ceara



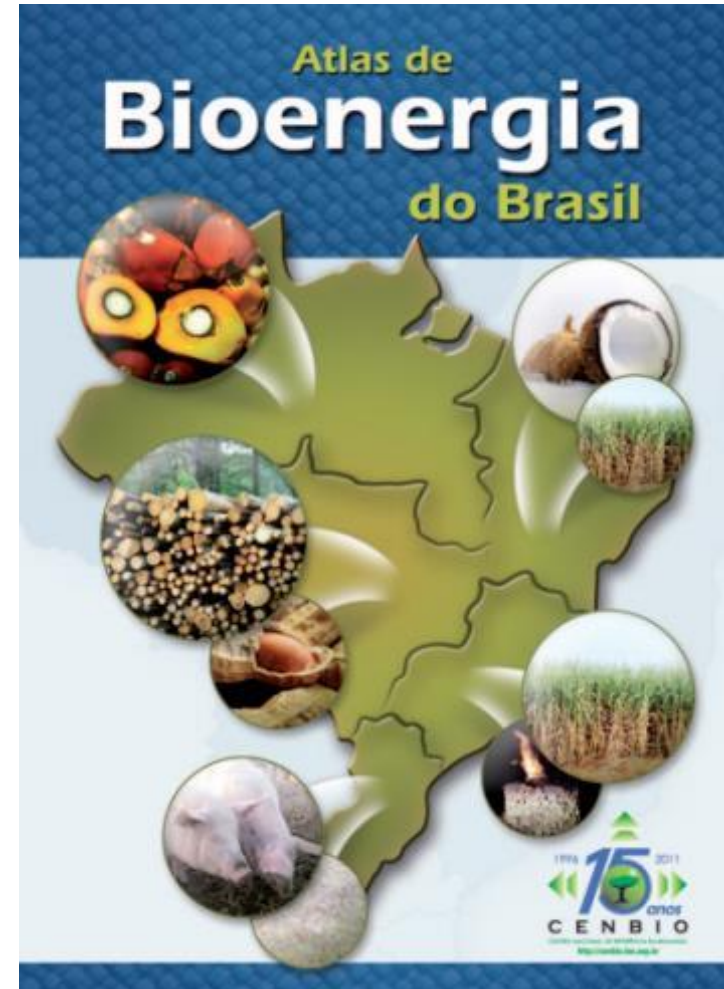
MSW gasification plant in Minas Gerais

Mas o potencial e muito maior ...

Atlas de Bioenergia do Brasil



2009

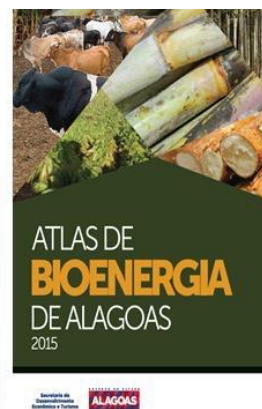
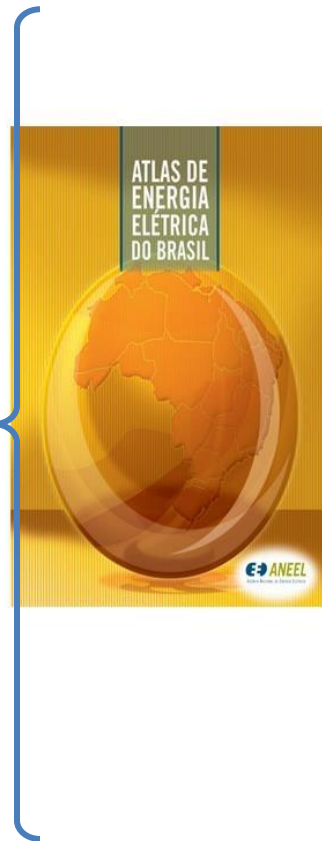
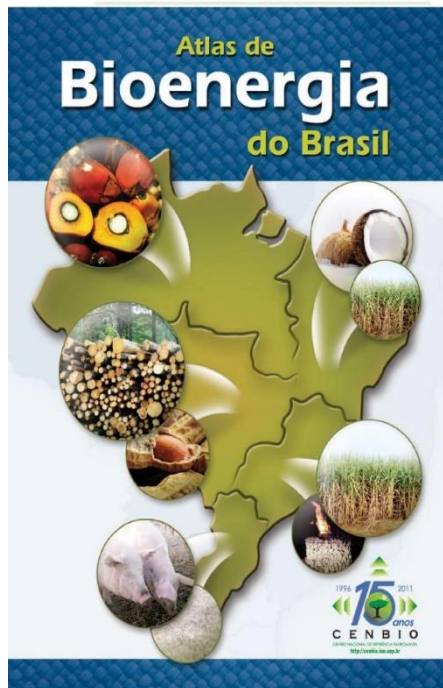


2012

Biomass Potentials

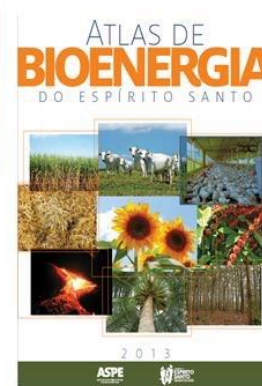


GRUPO DE PESQUISA EM
BIOENERGIA
Universidade de São Paulo | Instituto de Energia e Ambiente



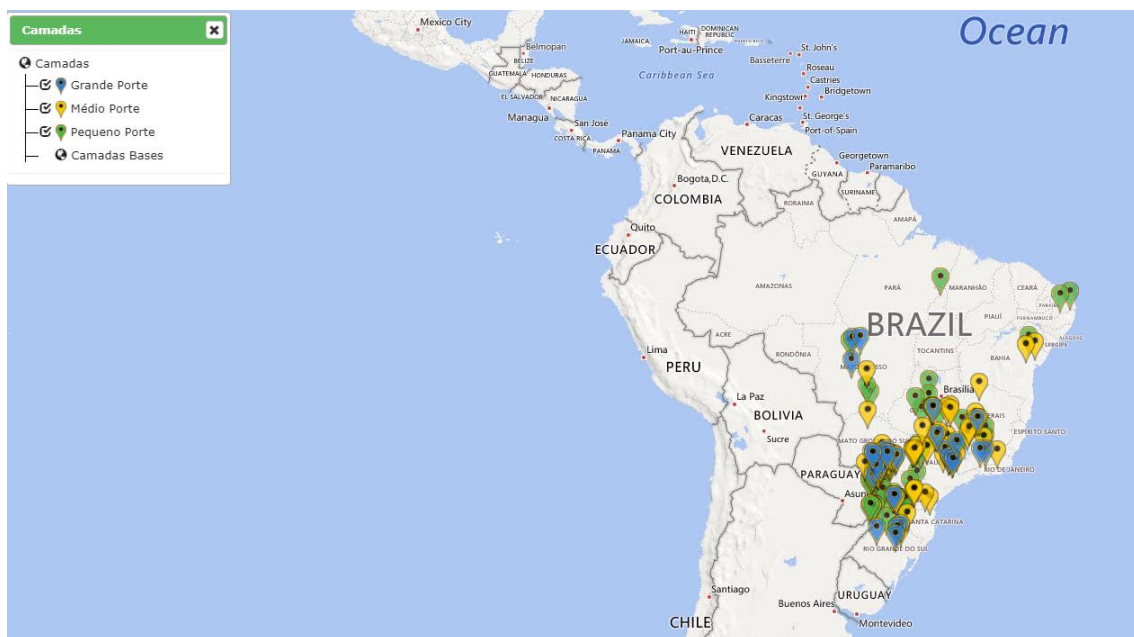

Biogás
BRASIL

Potencial de produção de biogás
no Sul do Brasil



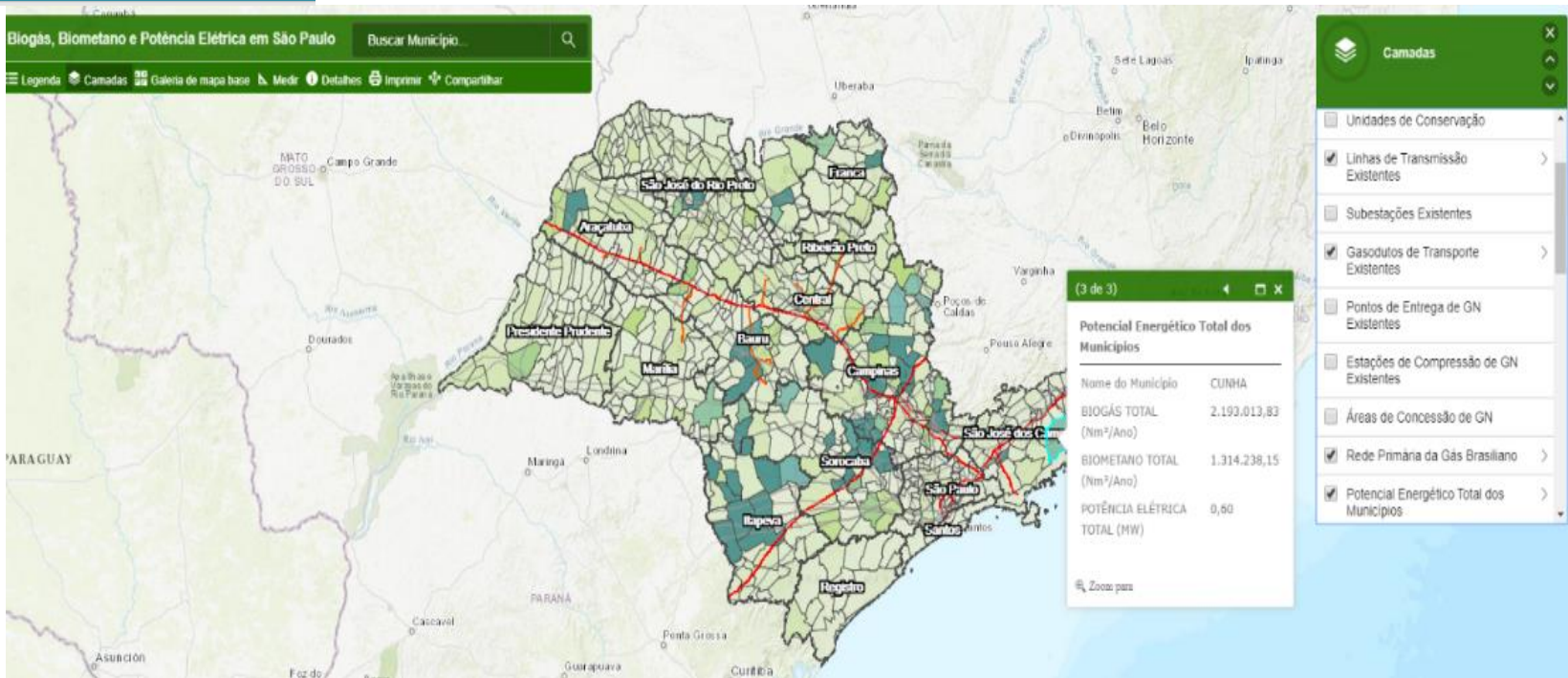


Levantamento de Unidades existentes – Produção de biogás



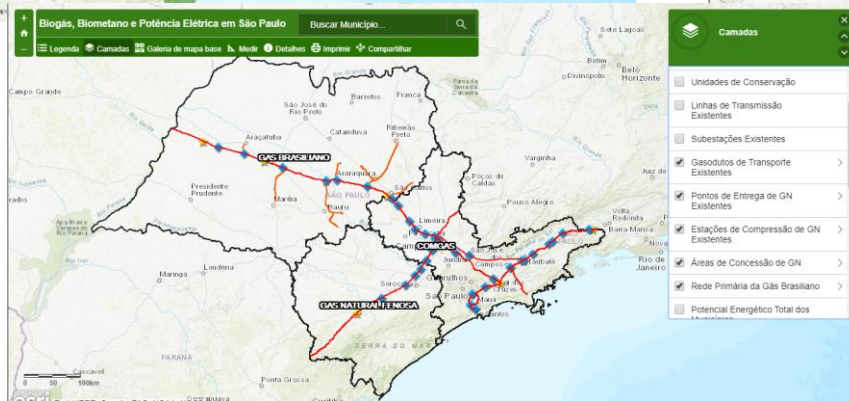
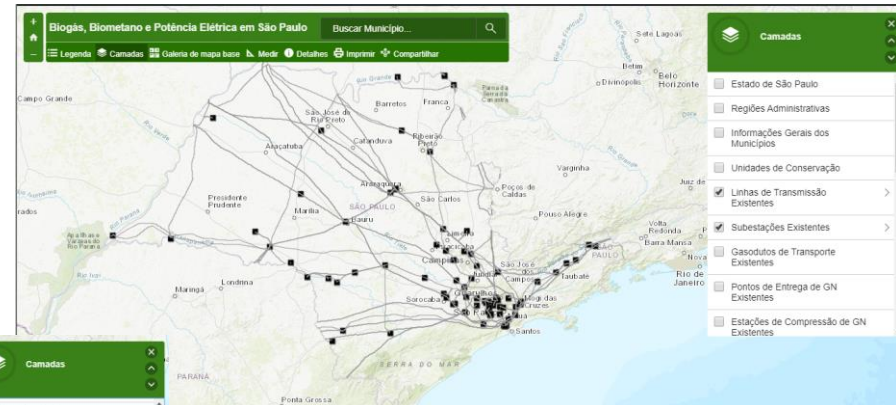
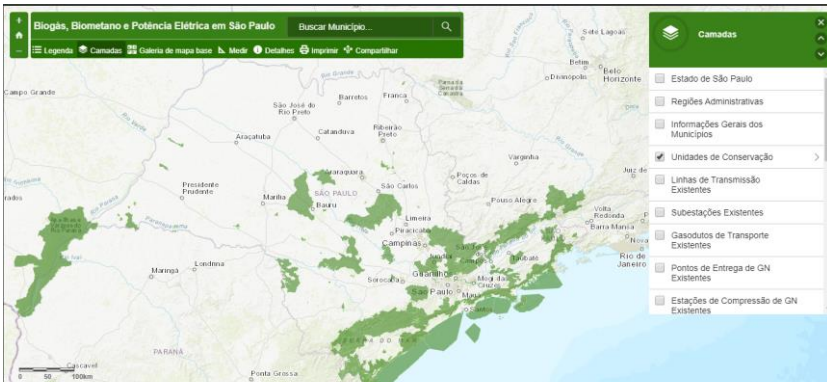
Mapa georreferenciado de biogás e biometano para o estado de São Paulo


 Research Centre
 for Gas Innovation
 cleaner energy for a sustainable future

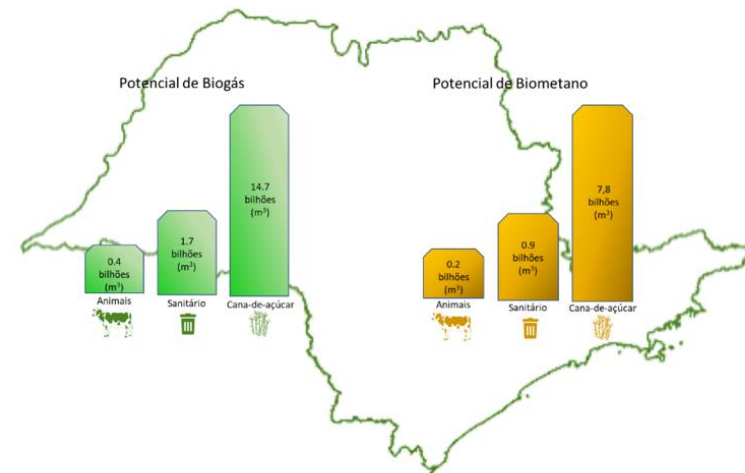


Fonte: www.iee.usp.br/gbio

2019 – Interactive maps – layers for infrastructure & conservation units



- São Paulo state – the most industrialized state in Brazil
 - 46 million inhabitants (2019)
 - 32% of Brazilian GDP (2017)
- Sugar/alcohol sector – the largest potential for biogas production.
- Electric potential for São Paulo State = 36,197 GWh
- Equivalent to 93% of households electric consumption;
- Annual potential biomethane production exceeds 3.87 billion cubic meters the anual amount of NG commercialized, or
- To replace 72% of diesel oil commercialized in the state.

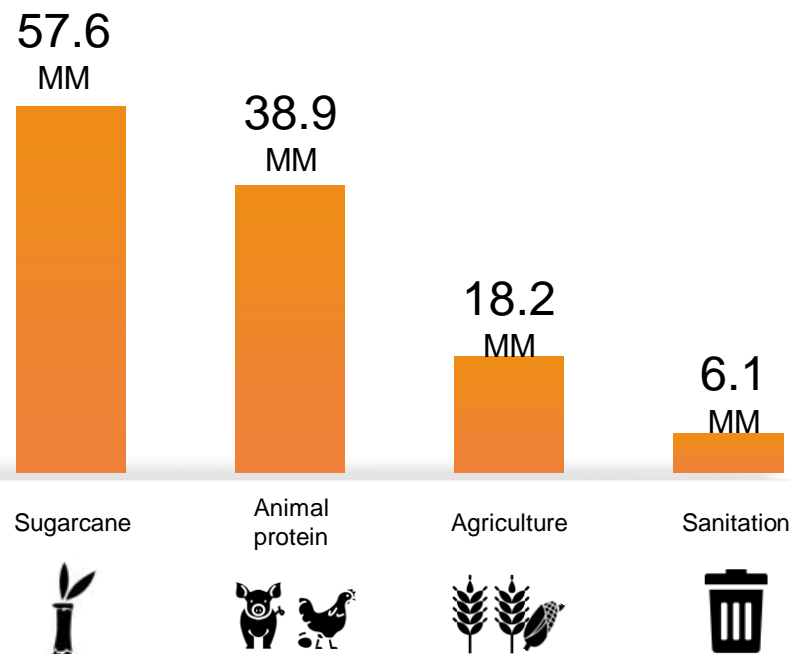


<http://gbio.webhostusp.sti.usp.br/?q=pt-br/noticia/rcgilan%C3%A7a-mapas-interativos-com-o-potencial-de-gera%C3%A7%C3%A3o-de-energia-do-biog%C3%A1s-em-sp>



BRAZIL: A DEVELOPING POWER

BIOGAS POTENTIAL BRAZIL (ANP STANDARD) - Nm³/day



BIOGAS: GOVERNMENT'S PROJECTIONS

- > **400 MW** projected to 2029
- > 3.9 B Nm³ biomethane production only from vinasse and filter cake
- > Opportunity: the sector consumes ≈ 2.5 bi L of diesel



3.9 B Nm³
biomethane



2.3 GW
electricity

ou



3.5 B L
diesel

PRODUCTIVE CHAIN CHALLENGES

INTERIORIZATION OF METHANE

Regulations are necessary to ensure correct access and **new infrastructure that goes beyond the coast.**



Sugarcane

65% Southeast
22% Midwest
 7% Northeast
 5% South
 1% North



Animal Protein

31% Southeast
29% South
 17% Northeast
 14% Midwest
 9% North



Agriculture

49% Midwest
26% South
 11% Southeast
 9% Northeast
 5% North



Sanitation

51% Southeast
24% Northeast
 11% South
 8% Midwest
 6% North

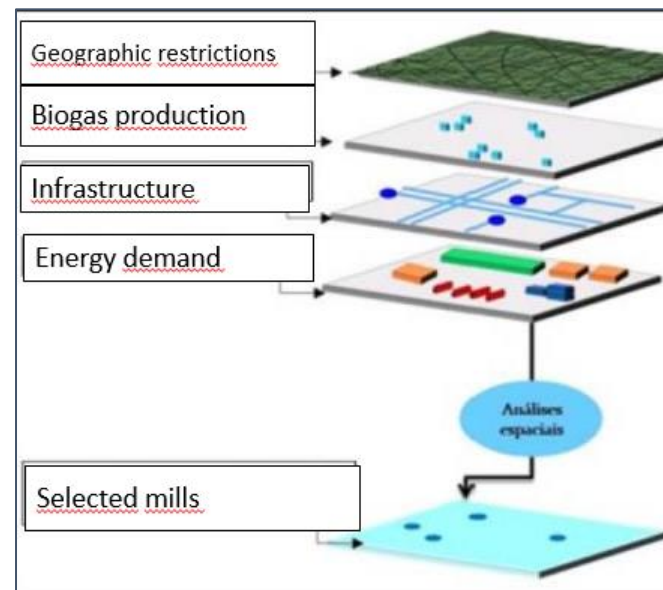


Atlas of Bioenergy for Sao Paulo State (2018)

Evaluation of biomass residues potential for energy conversion

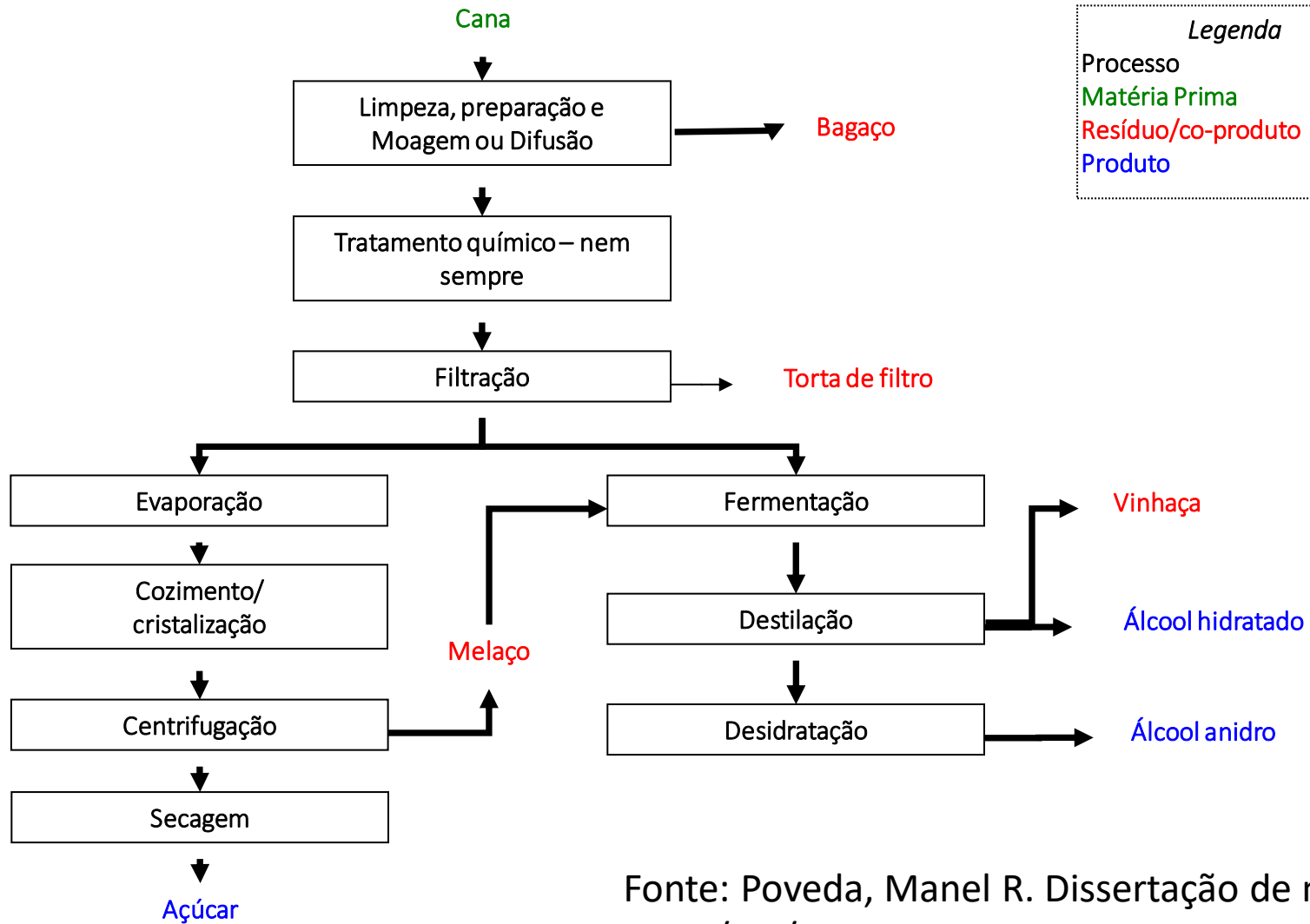
Residues - Positive externalities

Geo-referenced mapping



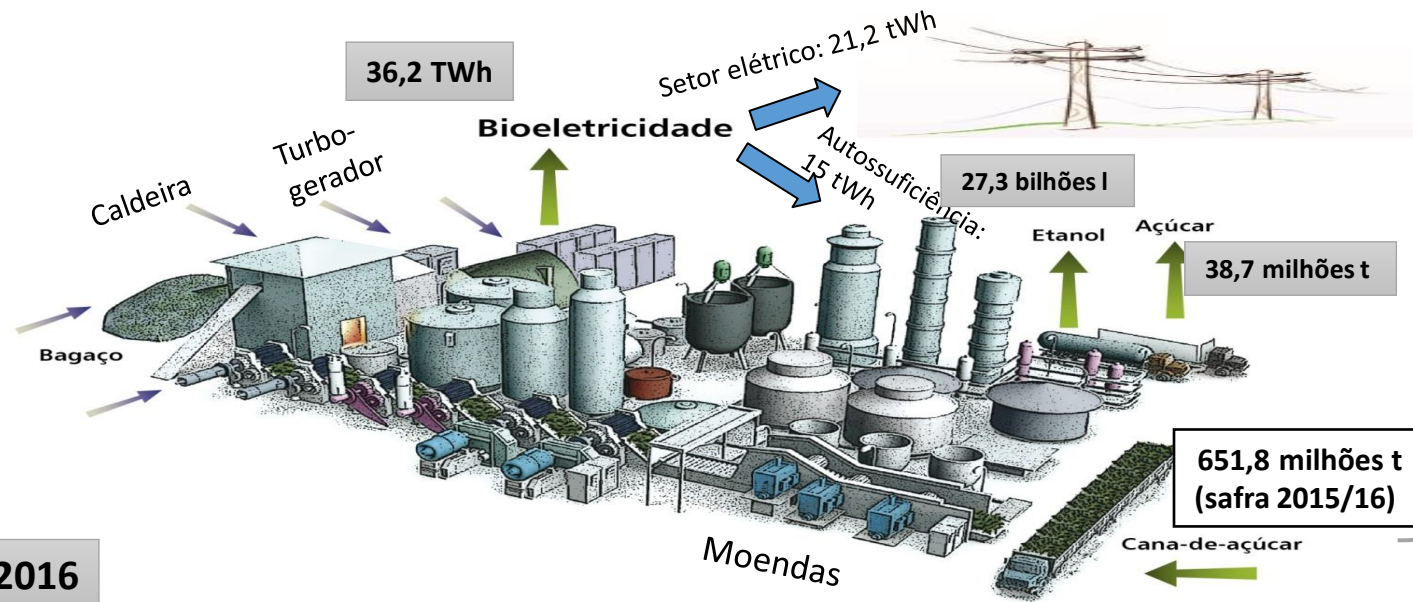
Source: PhD THESIS - POVEDA, M.M., 2017

COGERAÇÃO NO SETOR SUCROALCOOLEIRO



Fonte: Poveda, Manel R. Dissertação de mestrado, PPGE/IEE/USP, 2015

O caminho da bioeletricidade sucroenergética



Biorrefinaria
Integrada
Diversas
Tecnologias
E
Produtos

Em 2016

- 378 usinas a biomassa de cana-de-açúcar em operação
- 44% comercializaram eletricidade: 166 usinas
- 56% são apenas autoprodutoras: 212 usinas



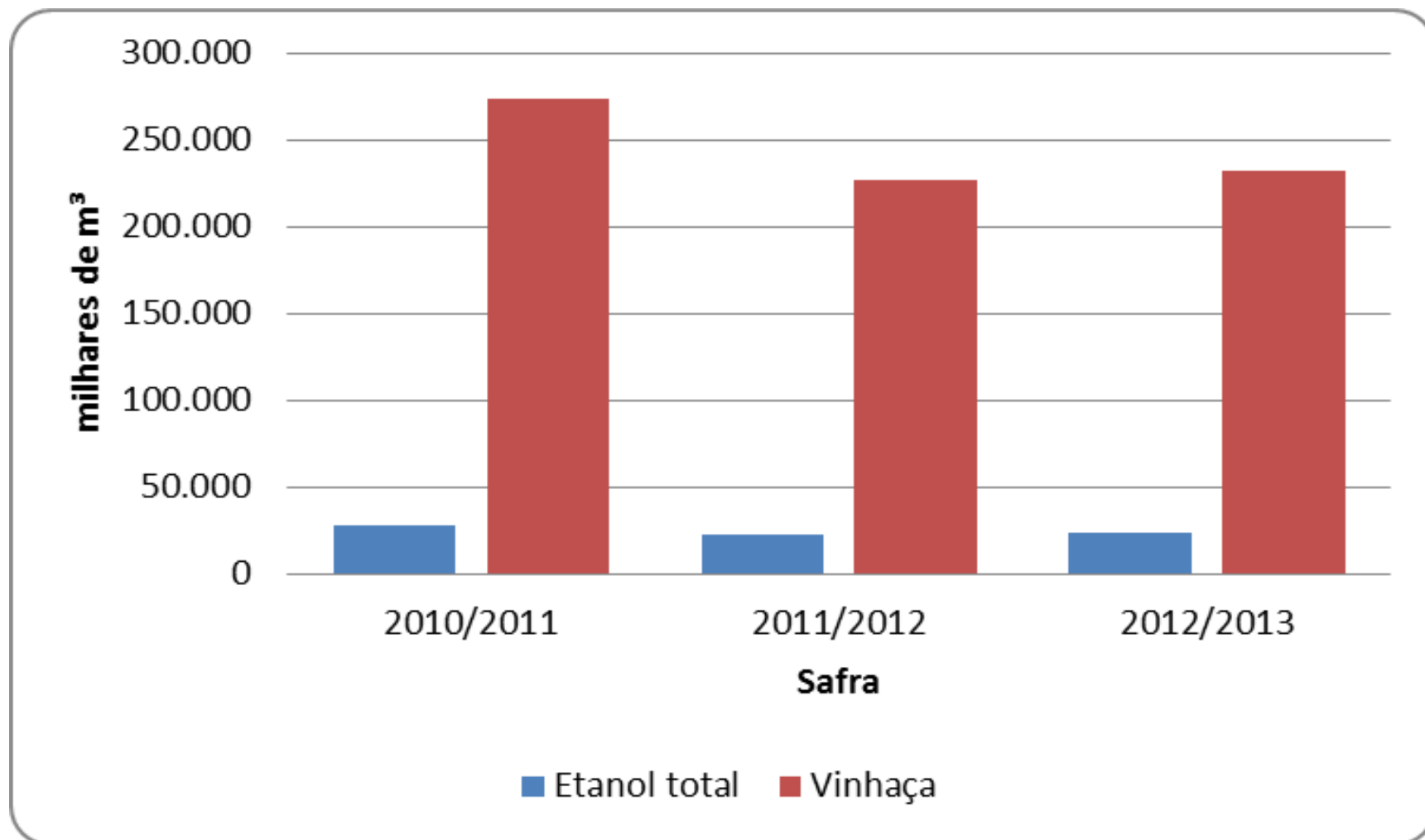
Mais de 200 usinas que, com uma biomassa já existente nos canaviais, podem passar por um processo de reforma (“retrofit”), além de aproveitarem plenamente o bagaço, a palha e o biogás da vinhaça, e tornarem-se grandes geradoras de bioeletricidade para a rede.

COGERAÇÃO NO SETOR SUCROALCOOLEIRO

- Vinhaça
- Bagaço de cana

Produção de vinhaça

Estimativa da produção nacional de vinhaça. Fonte de dados: ÚNICA, 2013.



- Portaria MINTER n° 323 de 29/11/1978: Proíbe o lançamento (direto ou indireto) da vinhaça nos mananciais superficiais. Obriga as destilarias a apresentar projetos para implantação de sistemas de tratamento e/ou utilização da vinhaça.




<http://www.cptnacional.org.br/>

Fertirrigação com vinhaça



Fonte: Poveda, Manel R. PPGE/IEE/USP, 2015

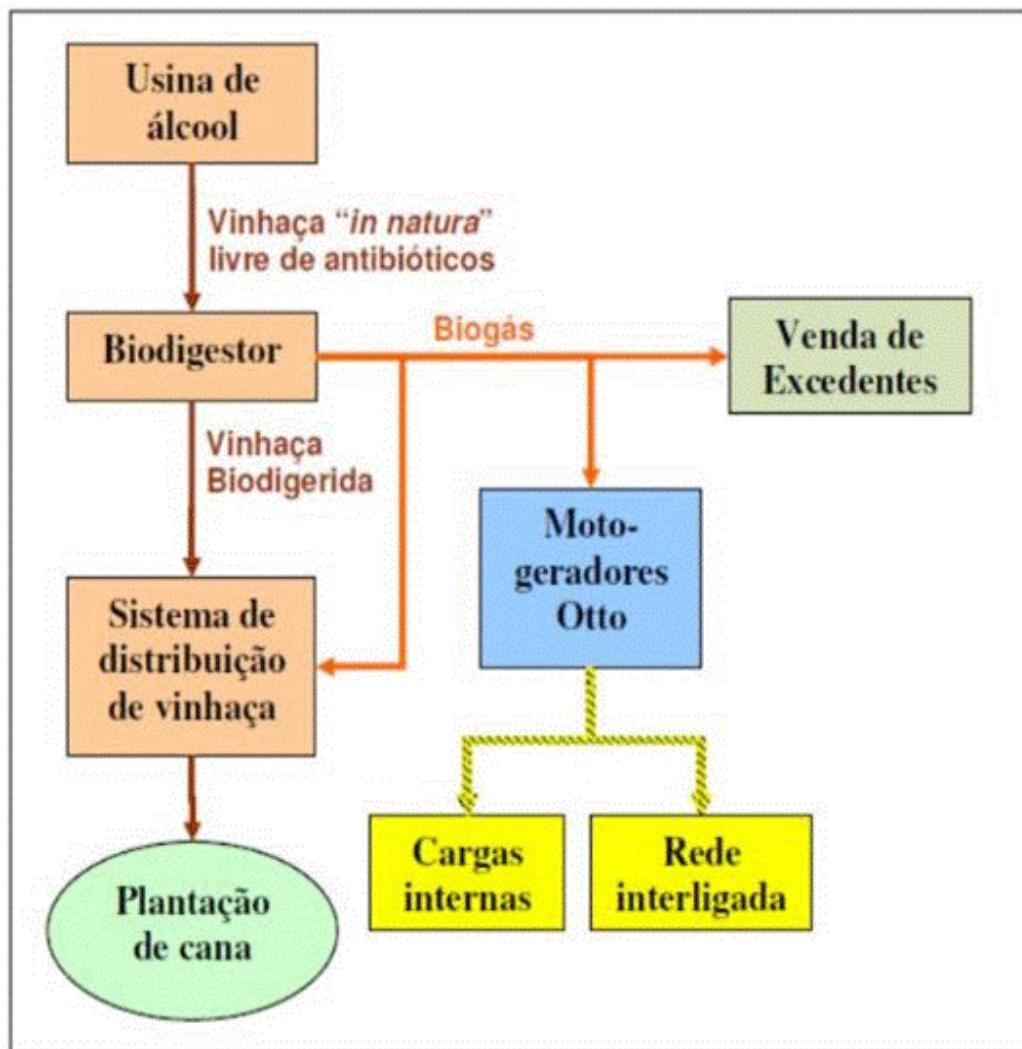
 <p>CETESB</p>	<p>VINHAÇA – CRITÉRIOS E PROCEDIMENTOS PARA APLICAÇÃO NO SOLO AGRÍCOLA</p>	<p>P4.231 Dez/2006</p>
---	---	--

- Monitoramento do lençol freático
- Controle da dose de vinhaça através da concentração do potássio

CUSTO



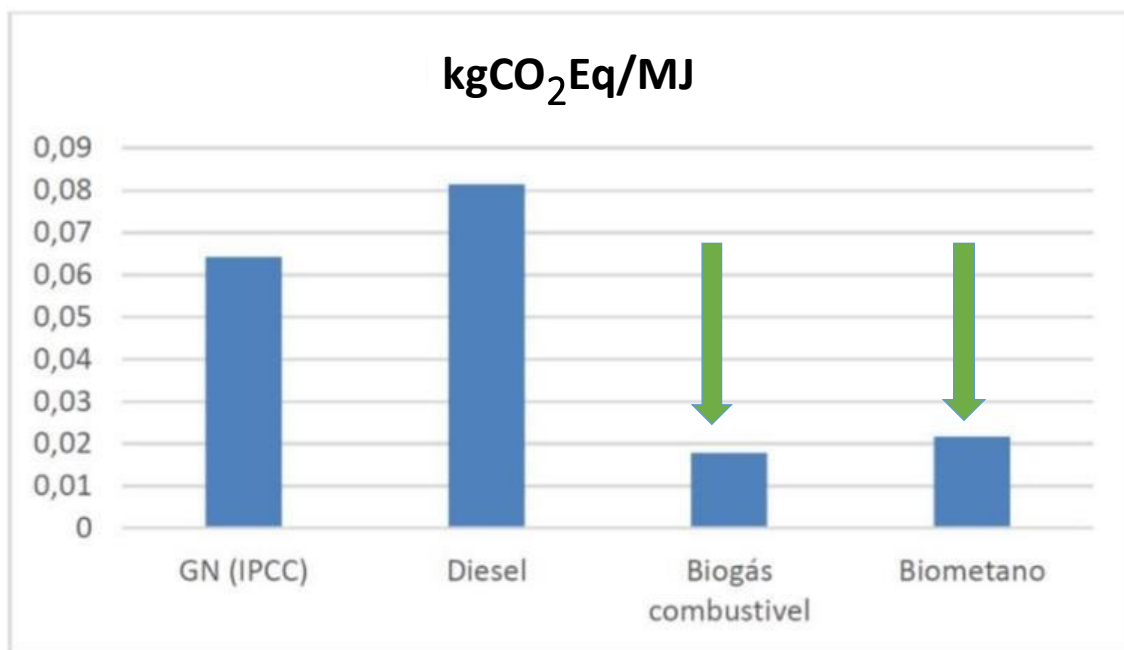
Vinasse anaerobic digestion for energy conversion



GEO ENERGETICA – PARANÁ
<http://www.geoenergetica.com.br/perfil.php>

Source: Poveda, Manel R. Master thesis, PPGE/IEE/USP, 2015

Redução de GEE com uso do biogás

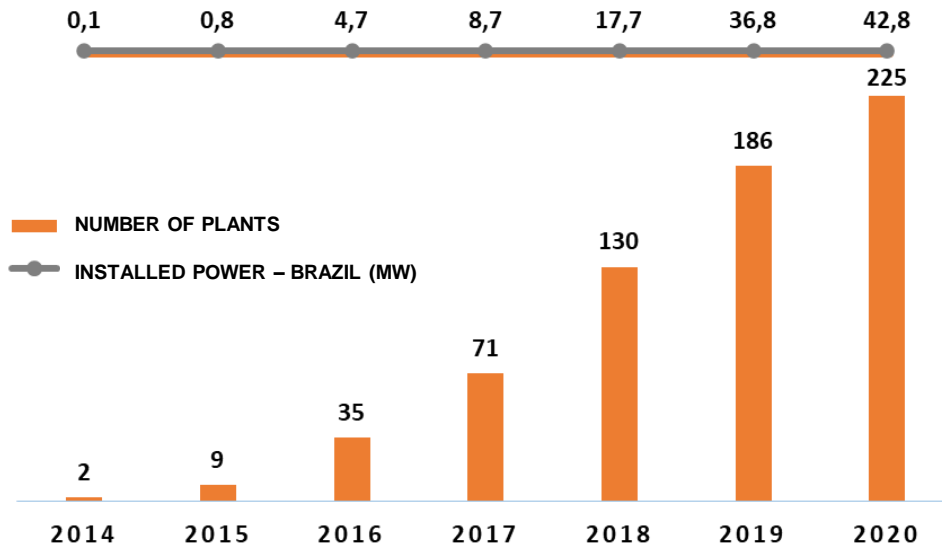


Biogas from vinasse

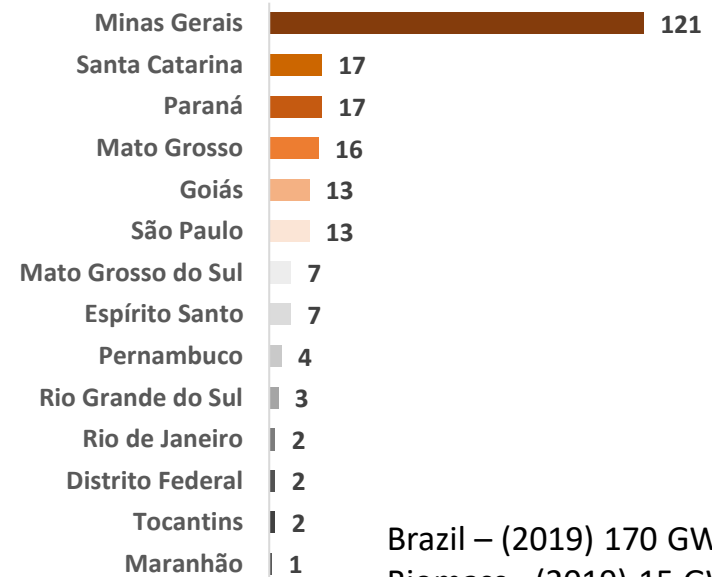
Source: PhD thesis – Manuel M. Poveda (2017)

DISTRIBUTED ENERGY AND BIOGAS BRAZIL

**NUMBER OF PLANTS AND INSTALLED POWER
– BRAZIL ***



BIOGAS PLANTS PER STATE



Brazil – (2019) 170 GW
Biomass - (2019) 15 GW

*micro and mini-generation - plants up to 5MW

BIOGAS FROM ETHANOL PRODUCTION (VINASSE AND RESIDUES)



UNIDADE BONFIM

Raizen Energia S/A (Este grupo possui 24 usinas)
 Guariba - SP



Foto ilustrativa-ABiogás

Bonfim mill (with permission):

4.8 MM t season 2019

170 MM L ethanol

65 MM Nm³ biogas/yr

~ 270 thousand Nm³/d

138 GWh/yr (**20 MW**)

10.5 thousand Nm³/h season (vinasse + filter cake)

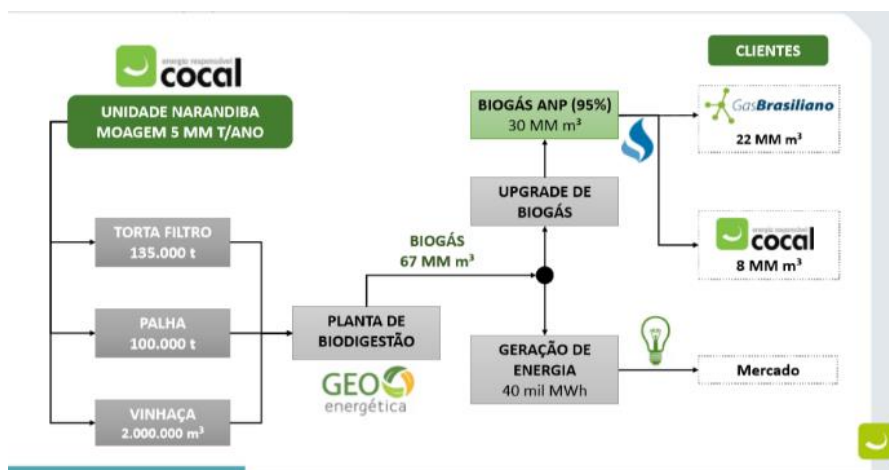
3.5 thousand Nm³/h off-season (filter cake)



PELA PRIMEIRA VEZ UM PROJETO DE BIOGÁS VENCEU UM LEILÃO DE ENERGIA

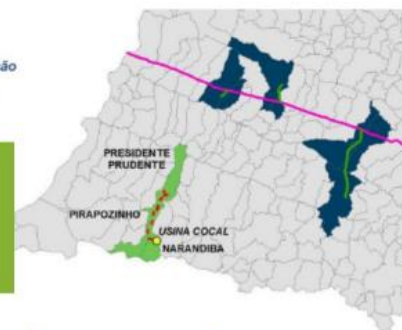

GEO
 energética

Cocal mill & Gas Brasileiro – Biogas & biomethane



1ª Cidade com Sistema de Distribuição Exclusivo de Biometano no Mundo

- ❖ 68 km e rede (52 aço e 16 PEAD)
- ❖ 118 mil m³/d potencial
- ❖ 227 mil pessoas beneficiadas
- ❖ 170 condomínios
- ❖ 400 indústrias
- ❖ 6 mil estabelecimentos
- ❖ 115 mil veículos leves
- ❖ 4 mil caminhões



Testes – Usina Cocal

- Caminhões e tratores Scania com CNG (Bio-metano)



São Martinho Group – Iracema Mill Biogas from vinasse pilot plant



CASES DE SUCESSO: TRANSFORMANDO O AMANHÃ

GRANJA HAACKE - PR



Energia elétrica: 112 kW



Biometano: 640 m³/dia



Substrato: Dejetos de aves e bovinos



Investimento inicial: R\$ 700.00,00



Expansão: -

GEO ENERGÉTICA - PR



Energia elétrica: 7 MW



Biometano: 0



Substrato: Sucoenergético

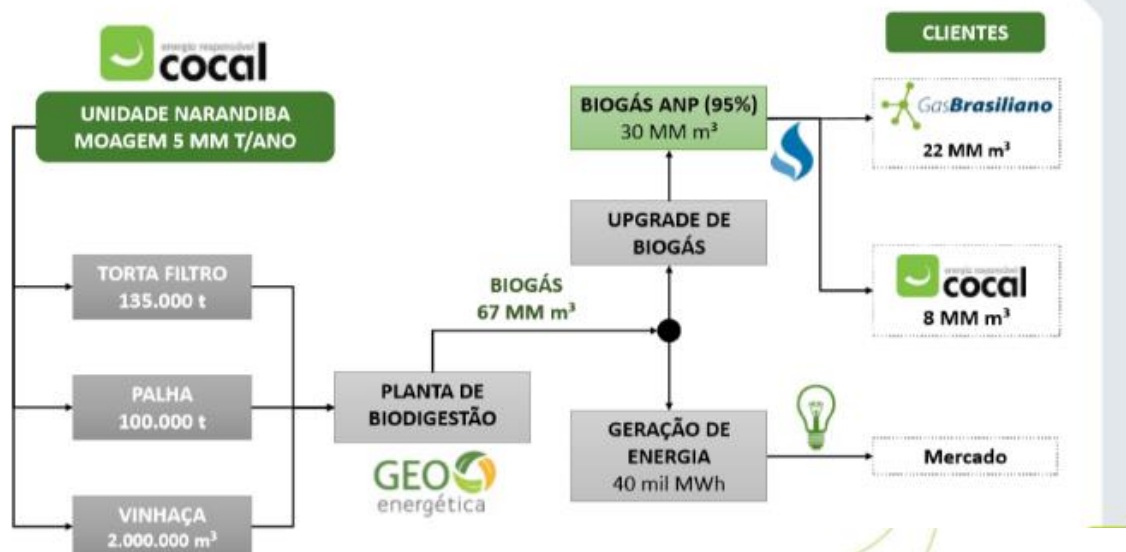


Investimento inicial: R\$ 40 MM



Expansão: 2017 – 10 MW e 3.000 Nm³/dia

Projeto Usina Cocal – Gas Brasileiro – Biogás e biometano

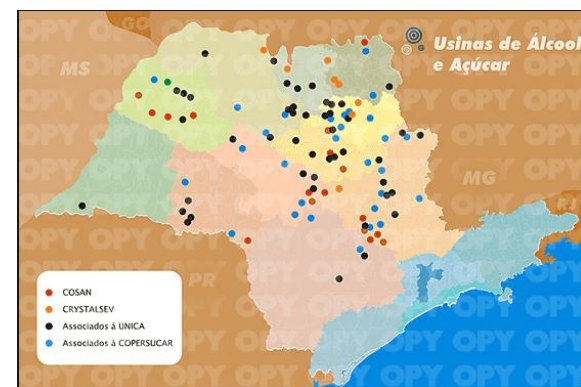
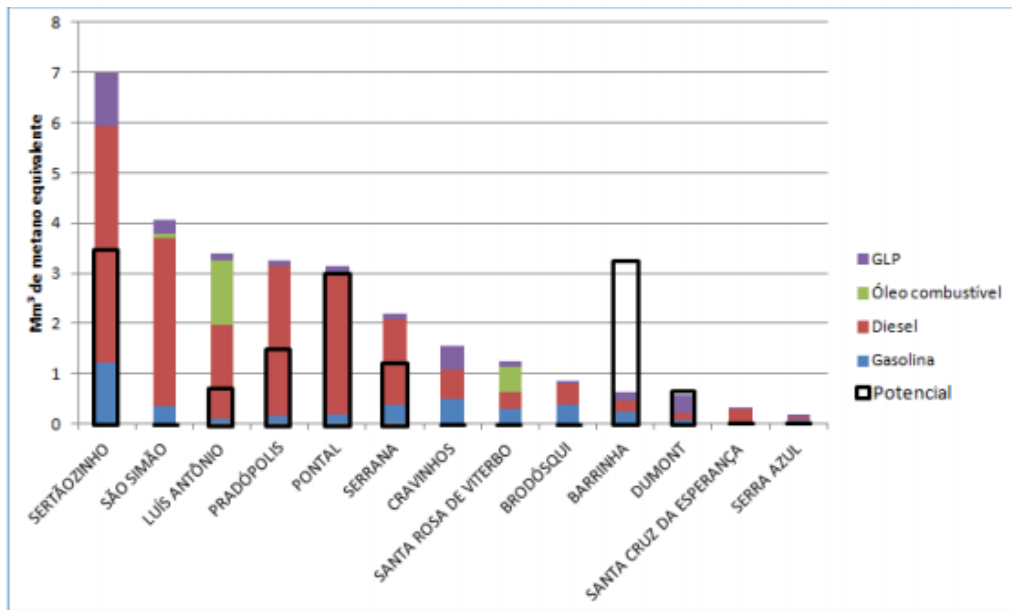


1ª Cidade com Sistema de Distribuição Exclusivo de Biometano no Mundo

- ❖ 68 km e rede (52 aço e 16 PEAD)
- ❖ 118 mil m³/d potencial
- ❖ 227 mil pessoas beneficiadas
- ❖ 170 condomínios
- ❖ 400 indústrias
- ❖ 6 mil estabelecimentos
- ❖ 115 mil veículos leves
- ❖ 4 mil caminhões



Biomethane potential from vinasse in ethanol mills x fuel demand in municipalities

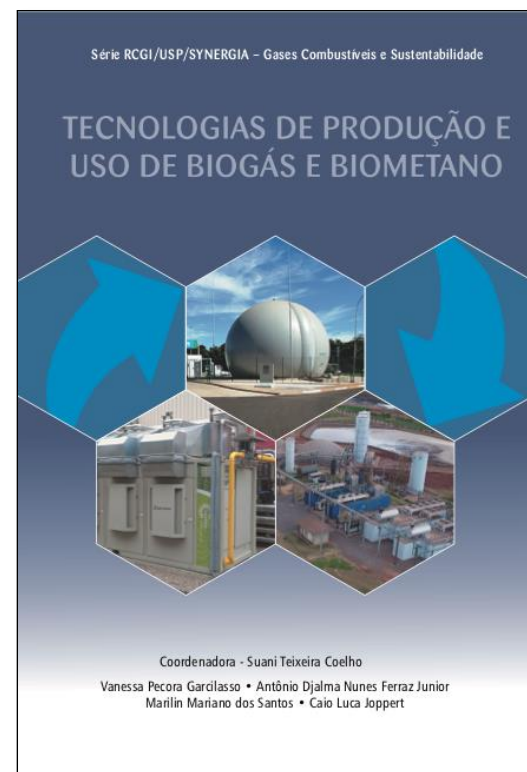


São Paulo municipalities near sugarcane mills

Source: PhD THESIS - POVEDA, M.M., 2017

Technologies for biogas and biomethane production and use

- Digital version available at:
 - <http://www.iee.usp.br/gbio/>
 - <https://www.rcgi.poli.usp.br/>

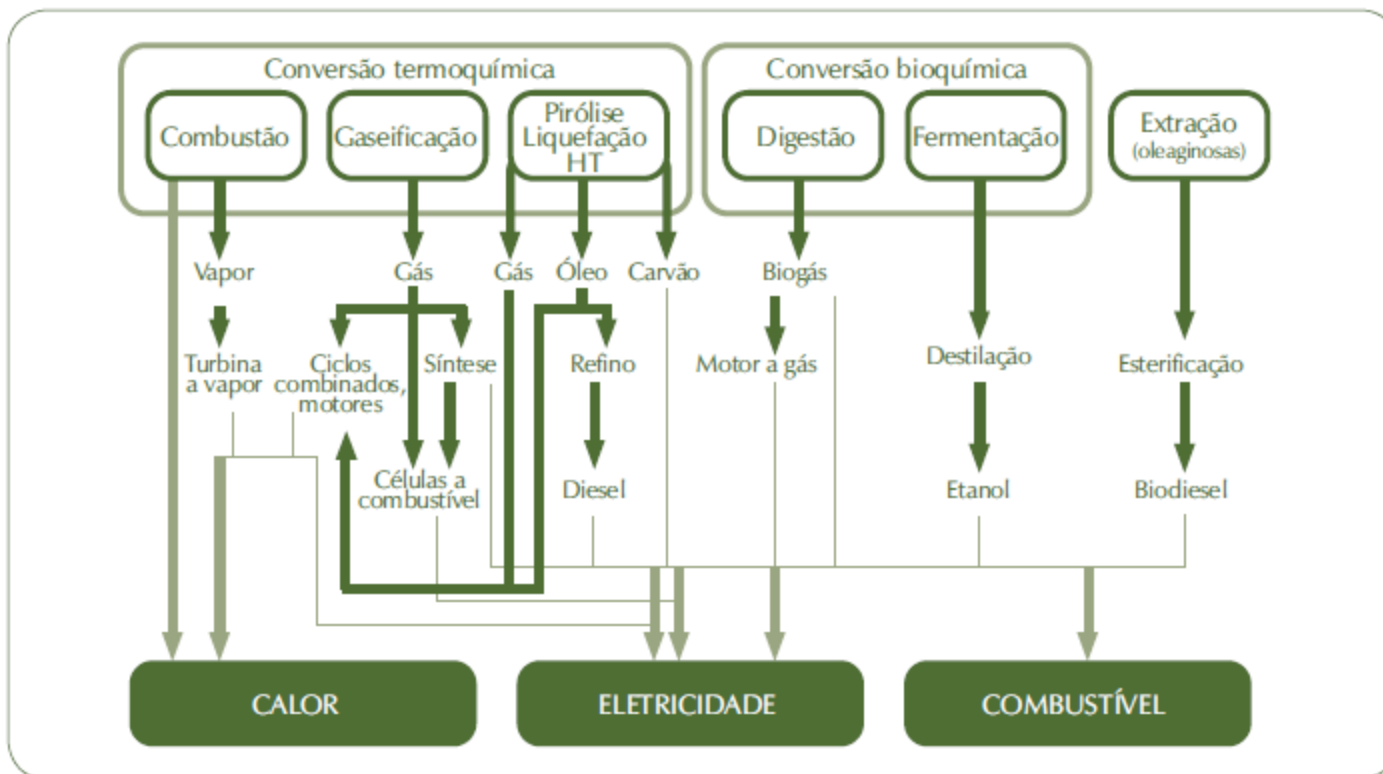


<http://www.iee.usp.br/gbio/?q=noticia/pesquisadores-do-gbio-lan%C3%A7am-livro-sobre-tecnologias-de-produ%C3%A7%C3%A3o-e-uso-de-biog%C3%A1s-e-biometano>

COGERAÇÃO NO SETOR SUCROALCOOLEIRO

- vinhaça
- bagaço de cana

Figura 3 – Rotas tecnológicas para produção de bioenergia



Fonte: Elaborado com base em Turkenburg et al. (2000), apud Seabra (2008).

Geração/cogeração de energia a partir de Biomassa

- Tecnologias para Geração/Cogeração de Energia
- Setor Sucroalcooleiro
- Setor Madeireiro
- Setor de Papel e Celulose
- Resíduos Urbanos e rurais

Definição de cogeração (Combined Heat and Power – CHP)

- Cogeração é a produção combinada de energia térmica e elétrica/mecânica a partir de um mesmo combustível.
- O termo cogeração não depende do combustível utilizado e sim do processo.
- A forma mais eficiente de geração de energia.

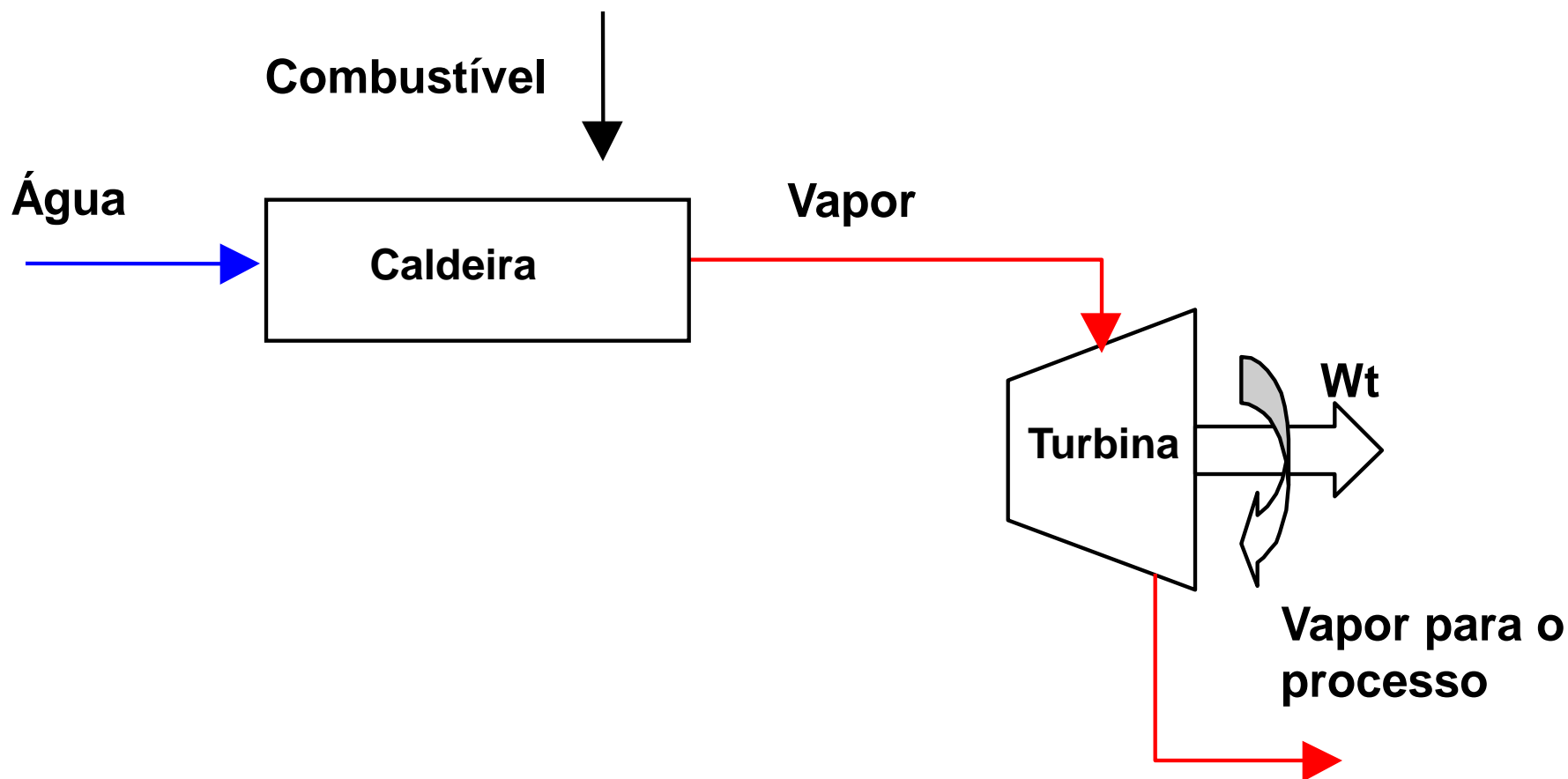
COGERAÇÃO

- Geração de eletricidade
 - Consumo próprio (se houver)
 - Excedente para venda
 - Ex aterros
- Cogeração (eletricidade/vapor)
 - Consumo próprio (se houver)
 - Excedente para venda
 - Ex setor sucroalcooleiro

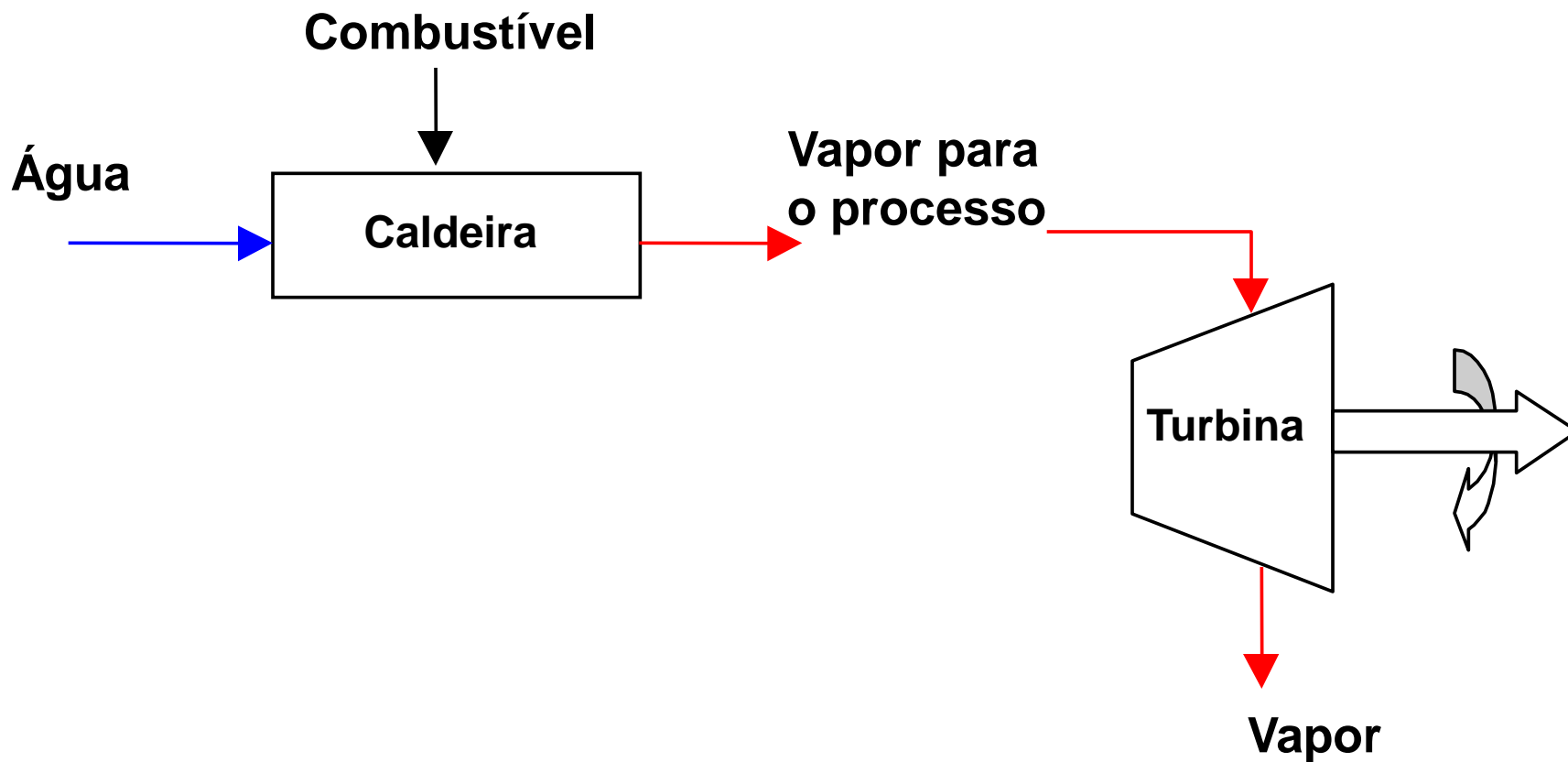


Álcool de cana	5.500 kcal/l	Gás natural	9.000 kcal/m ³
Aparas vinilo	6.300 kcal/kg	Lascas de madeira	3.300 kcal/kg
Bagaço de cana (20% água)	3.200 kcal/kg	Lenha (40% água)	2.400 kcal/kg
Bagaço de cana (50% água)	1.800 kcal/kg	Lenha (seca) (12% água)	3.800 kcal/kg
Bambô (10% água)	3.700 kcal/kg	Madeira de caixotes	3.800 kcal/kg
Borra de café	1.570 kcal/kg	Madeira muito seca	4.800 kcal/kg
Carvão de babaú	7.000 kcal/kg	Madeira de pinho (seca ao ar)	3.500 kcal/kg
Carvão mineral-Cambul/PR	6.200 kcal/kg	Madeira verde	2.500 kcal/kg
Carvão mineral-Charqueadas/RS	3.100 kcal/kg	Óleo combustível 1A	9.550 kcal/kg
Carvão mineral-Mina do Leão/RS	4.200 kcal/kg	Óleo combustível 2A	9.431 kcal/kg
Carvão mineral-Tubarão/SC	4.500 kcal/kg	Óleo combustível 3A	9.388 kcal/kg
Carvão vegetal	7.500 kcal/kg	Óleo combustível 4A	9.291 kcal/kg
Casca árvore	2.200 kcal/kg	Óleo combustível 7A	9.290 kcal/kg
Casca algodão	3.000 kcal/kg	Óleo de algodão	8.050 kcal/l
Casca de amêndoa dendê	4.800 kcal/kg	Óleo de amendoim	8.000 kcal/l
Casca de arroz (12% água)	3.300 kcal/kg	Óleo de babaçu	7.770 kcal/l
Casca de babaçu	4.000 kcal/kg	Óleo de soja	8.125 kcal/l
Casca de cacau (8% água)	3.900 kcal/kg	Óleo diesel	8.466 kcal/l
Casca de café	3.800 kcal/kg	Palha de amendoim (12% água)	3.100 kcal/kg
Casca de caju	4.700 kcal/kg	Palha de trigo (20% água)	3.200 kcal/kg
Casca de côco	4.000 kcal/kg	Papel	4.200 kcal/kg
Casca de eucalipto	3.750 kcal/kg	Piche alcatrão	8.600 kcal/kg
Casca de tanino (68% água)	800 kcal/kg	Pó de linho	4.000 kcal/kg
Casa de soja	3.300 kcal/kg	Pó de madeira fino (seco)	4.000 kcal/kg
Cavaco (eucalipto)	4.300 kcal/kg	Pó de madeira grosso (seco)	4.200 kcal/kg
Cavacos de pinho	2.500 kcal/kg	Pó tabaco	2.300 kcal/kg
Coque de gás	5.400 kcal/kg	Querosene	8.300 kcal/l
Coque de lenha	7.600 kcal/kg	Recortes de couro (14% água)	4.400 kcal/kg
Coque metalúrgico	7.200 kcal/kg	Resíduos de juta	3.800 kcal/kg
Fibras de palmeira (48% água)	2.000 kcal/kg	Restos de borracha	4.000 kcal/kg
Fibras de palmito	3.800 kcal/kg	Sementes de girassol (9,5% água)	4.300 kcal/kg
Filme polietileno	5.600 kcal/kg	Serragem de pinho (40% água)	2.000 kcal/kg
Gás de água	4.000 kcal/m ³	Serragem seca (20% água)	3.500 kcal/kg
Gás de água carburetado	6.000 kcal/m ³	Serragem + Cepilho (seco)	4.600 kcal/kg
Gás alto forno	700 kcal/m ³	Sisal (11% água)	3.400 kcal/kg
Gás de biodigestor (biogás)	5.000 kcal/m ³	Sobra de serraria (pinho)	4.160 kcal/kg
Gás de coqueira	4.300 kcal/m ³	Tecido nailon	7.300 kcal/kg
Gás de gasôgnio	1.260 kcal/m ³	Trapos de pano	4.200 kcal/kg
Gás de nafta	4.750 kcal/m ³	Turfa (seca ao ar 25 a 6% água)	3000-5000 kcal/kg
Gás GLP (50%)	11.200 kcal/kg		

Sistema de Cogeração Tipo *Topping* (setores de açúcar/álcool-papel/celulose)



Sistema de Cogeração Tipo *Bottoming* (setor siderúrgico)



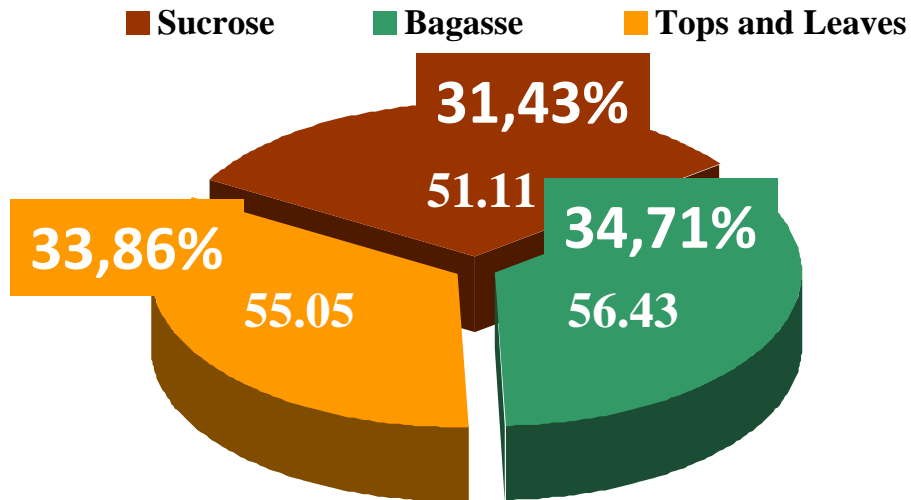
Cana de Açúcar (etanol e bagaço de cana)

Cogeração a partir de bagaço de cana

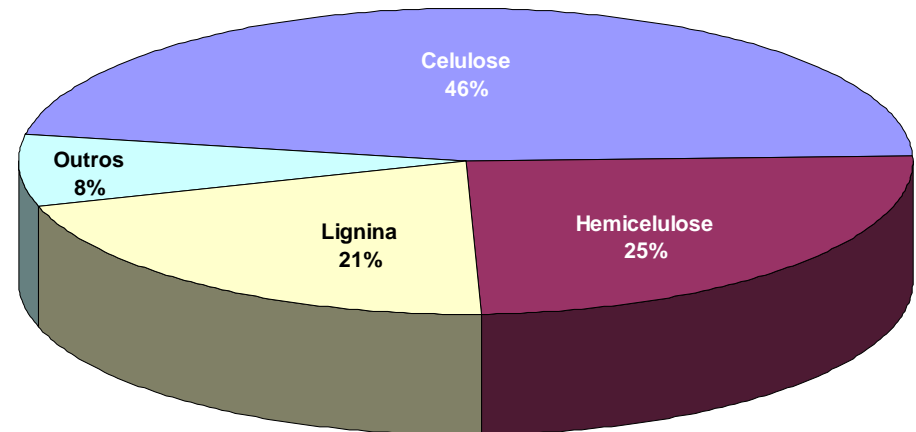


Energy Contained in 1,000 tons of Sugar Cane

(in tons of oil equivalent)



Composição do bagaço de cana-de- açúcar



Cogeração com Bagaço de Cana

- Potencial enorme para tecnologias mais eficientes:
 - cerca de 11.000 MW de eletricidade excedente.
- Tecnologia eficiente comercialmente disponível no país (caldeiras de pressão mais elevada, etc).
- *Retrofit* ou usinas novas (*greenfield*)

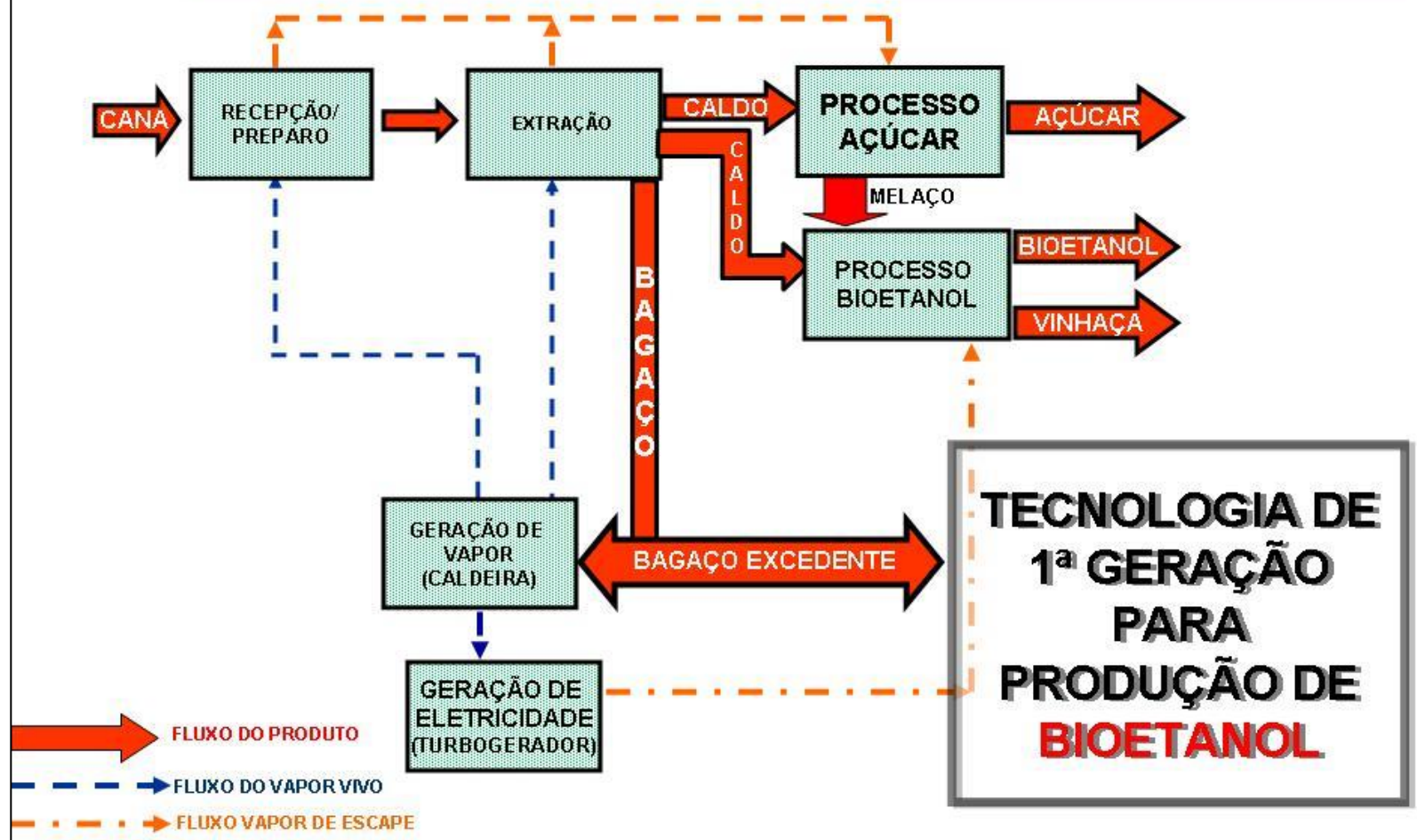


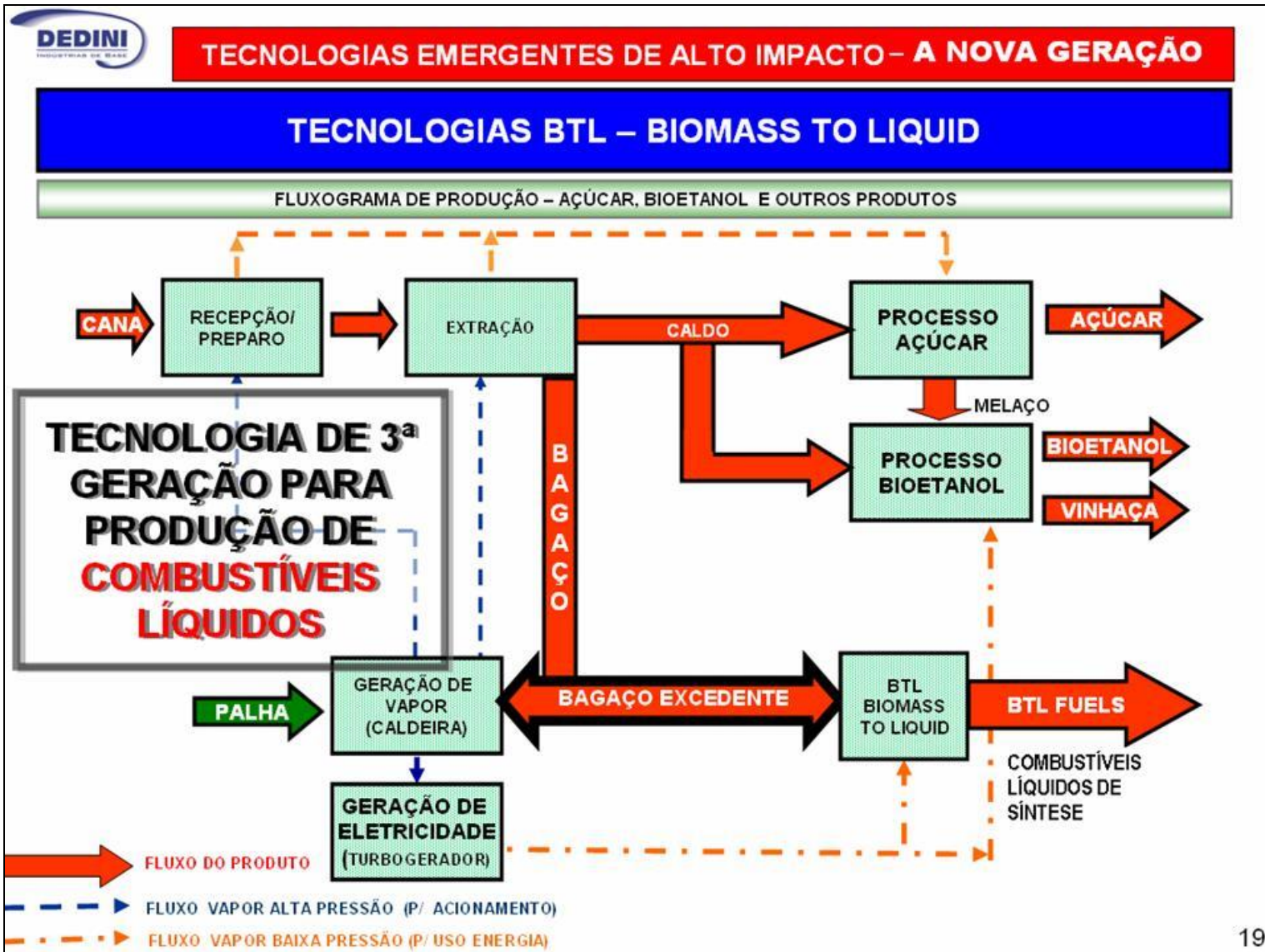
Tecnologias para geração de energia

- Caldeiras de baixa pressão / turbinas de contra pressão (usinas antigas)
- Caldeiras de alta pressão / turbinas de extração-condensação (retrofit / novas usinas)
- Gaseificação

TECNOLOGIA TRADICIONAL DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR, BIOETANOL E ENERGIA EXCEDENTE

FLUXOGRAMA PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR, BIOETANOL E BAGAÇO EXCEDENTE











Pilha de bagaço – Usina Santa Adélia





Caldeira (63 bar / 480°C) – Usina Santa Adélia

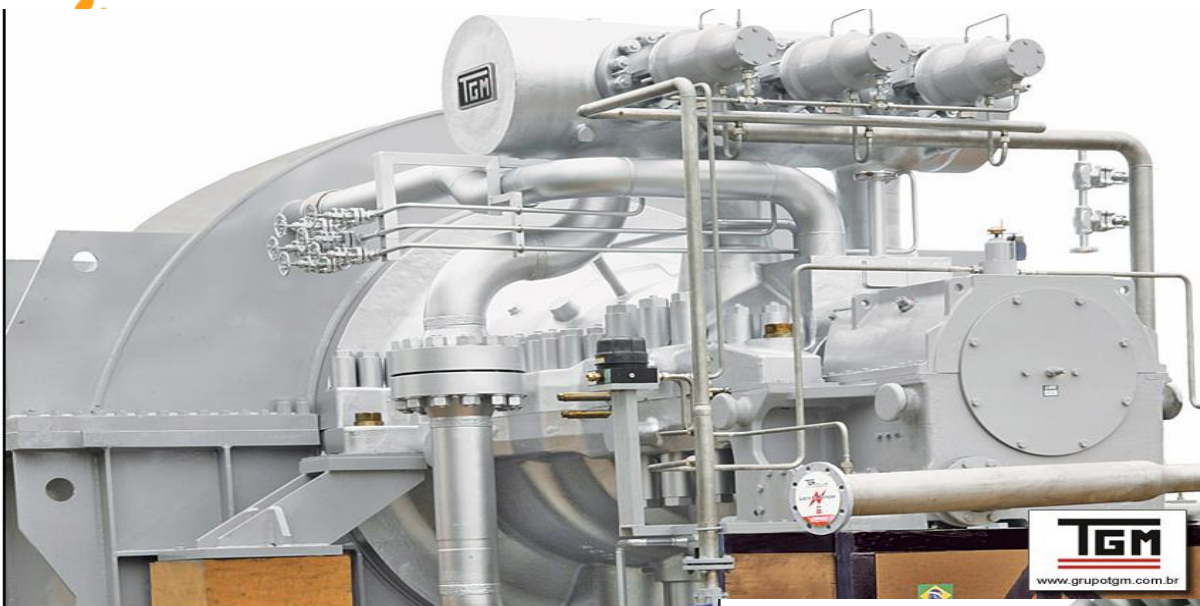






- Usina Equipav – Araçatuba - SP

Turbinas a vapor
de condensação –
140 bar – 540 C –
150 MW



Turbina Reação/Condensação de Alta Pressão/Temperatura - Modelo CT/CTE



Turbina Reação/Condensação de Alta Pressão/Temperatura - Modelo CT/CTE

Micro-turbinas a vapor (<1,5 MW)

Projeto Enermad – CENBIO – 200 kW

TG

2

Micro Turbinas a Vapor

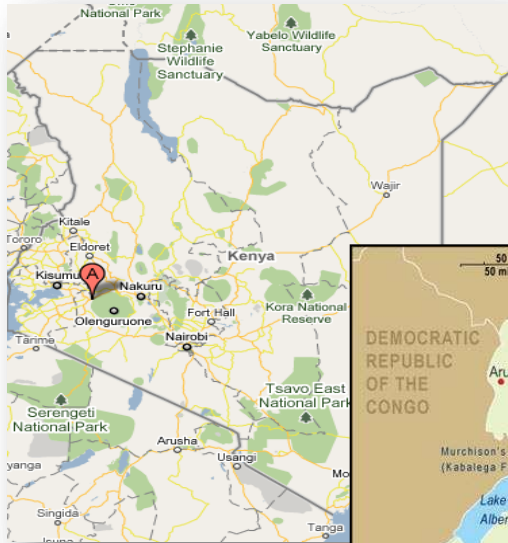
As micro turbinas a vapor TG320 são projetadas para acionar pequenos geradores de energia elétrica e são instaladas tanto em geração isolada quanto em paralelo com a rede elétrica.

São ideais para o aproveitamento de pequenas vazões e baixas pressões de vapor, mesmo na condição saturado, proveniente de caldeiras de biomassa, óleo, gás, resíduos e outros.





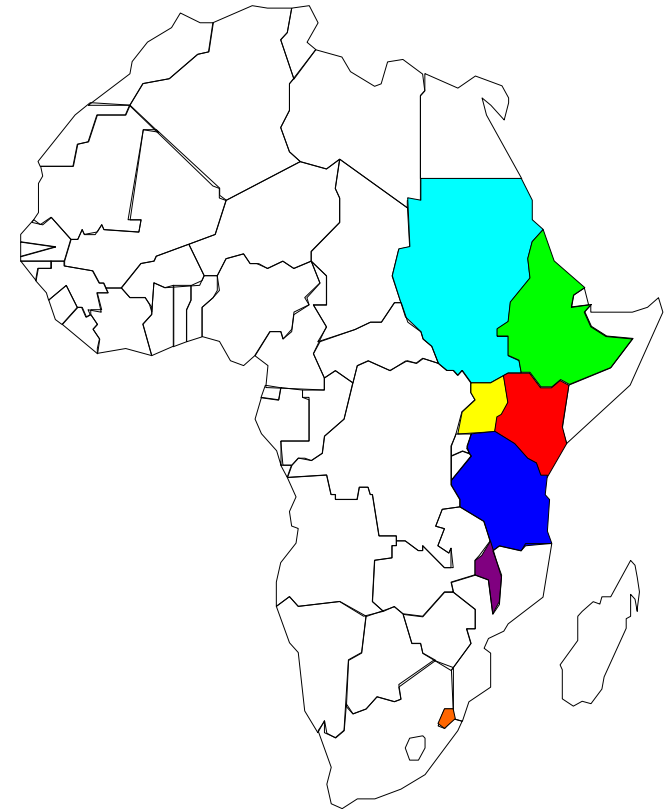

Cogen for Africa Project



Cogen for Africa

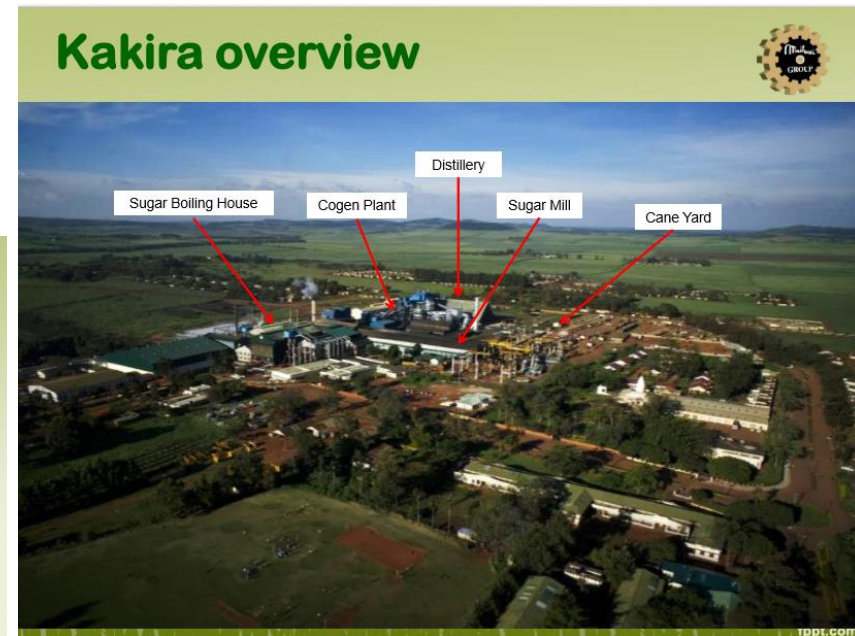
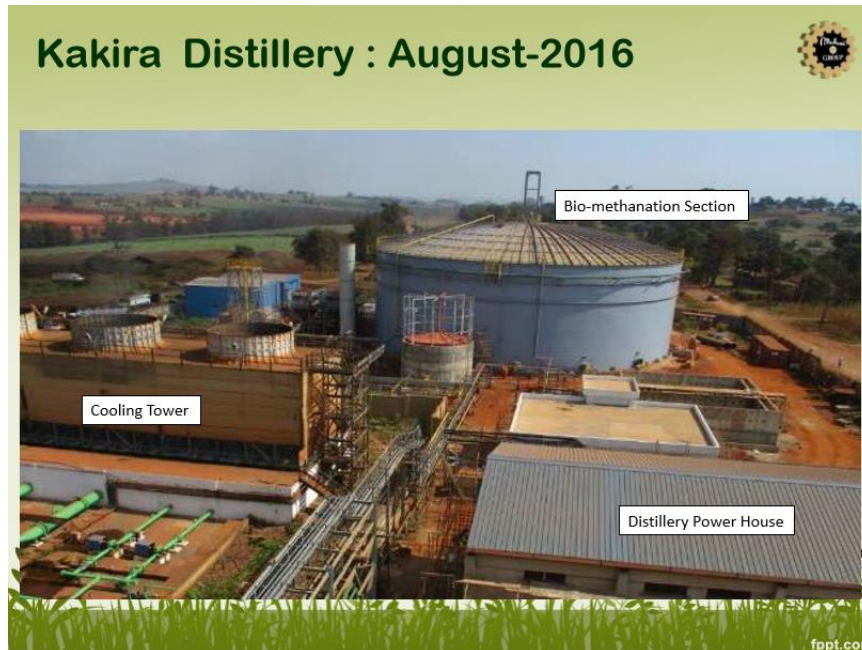


- To build on success of Mauritius & relevant elements of EC-supported Cogen Asia initiative
- Initial 6 year phase to cover 7 countries which have endorsed project (Kenya, Uganda, Tanzania, Sudan, Ethiopia, Malawi and Swaziland) – later phases could expand to other regions of Africa
- Established network of national coordinating centres/national experts willing to play a key role in promoting cogeneration
- Overall coordination provided by AFREPREN/FWD Regional Cogen Project Office



UGANDA

Kakira Sugar Ltd – Etanol de cana + planta de biogas de vinhaça (0,4MW)



Energy supply for households around the plant Uganda



Cogeração com Biomassa

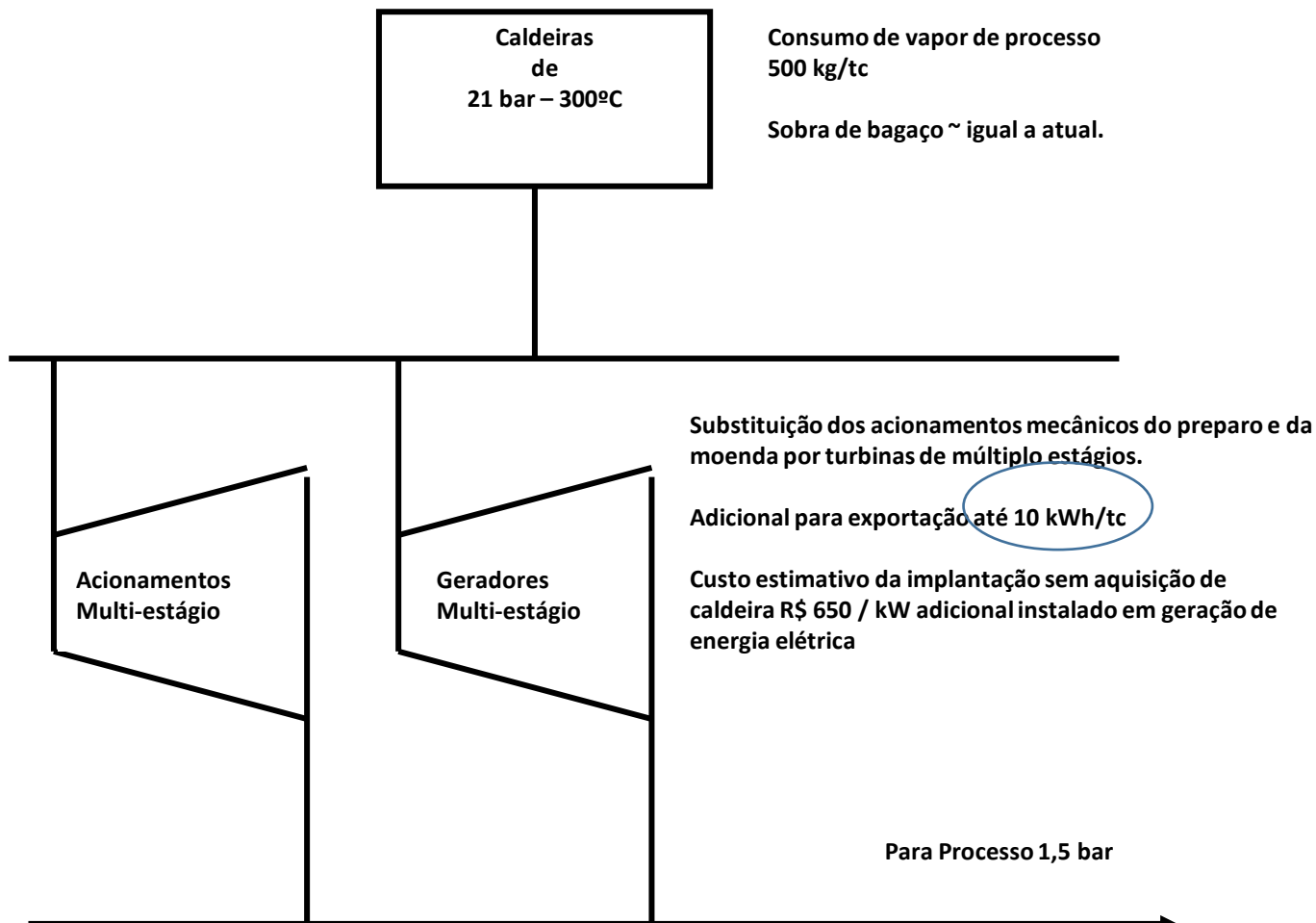
- Tecnologias Utilizadas para Cogeração de Energia
 - Setor Sucroalcooleiro
 - Setor de Papel e Celulose
 - Setor Madeireiro

Usina Típica

- Moagem total (t/safra): 1.300.000
- Moagem horária (t/h): 292
- Produção de açúcar (sc/dia): 8.000
- Produção de álcool
 - Anidro (l/dia): 177.000
 - Hidratado (l/dia): 177.000
- Consumo de vapor de processo(kg/tc): 500
- Condições do vapor vivo
 - Pressão (kgf/cm²): 21
 - Temperatura (°C): 300
- Vapor de processo (kgf/cm²): 1,5

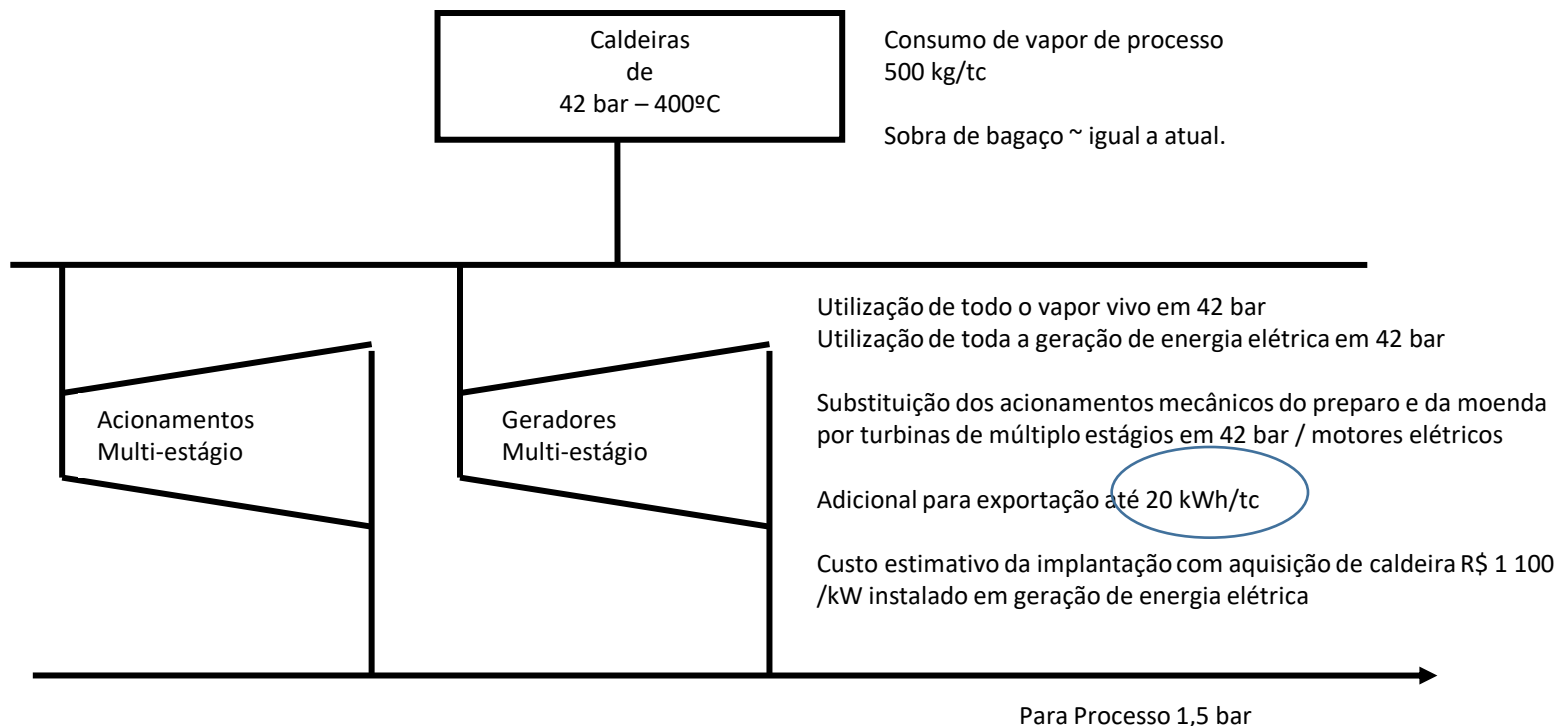
Setor Sucroalcooleiro

Configuração inicial



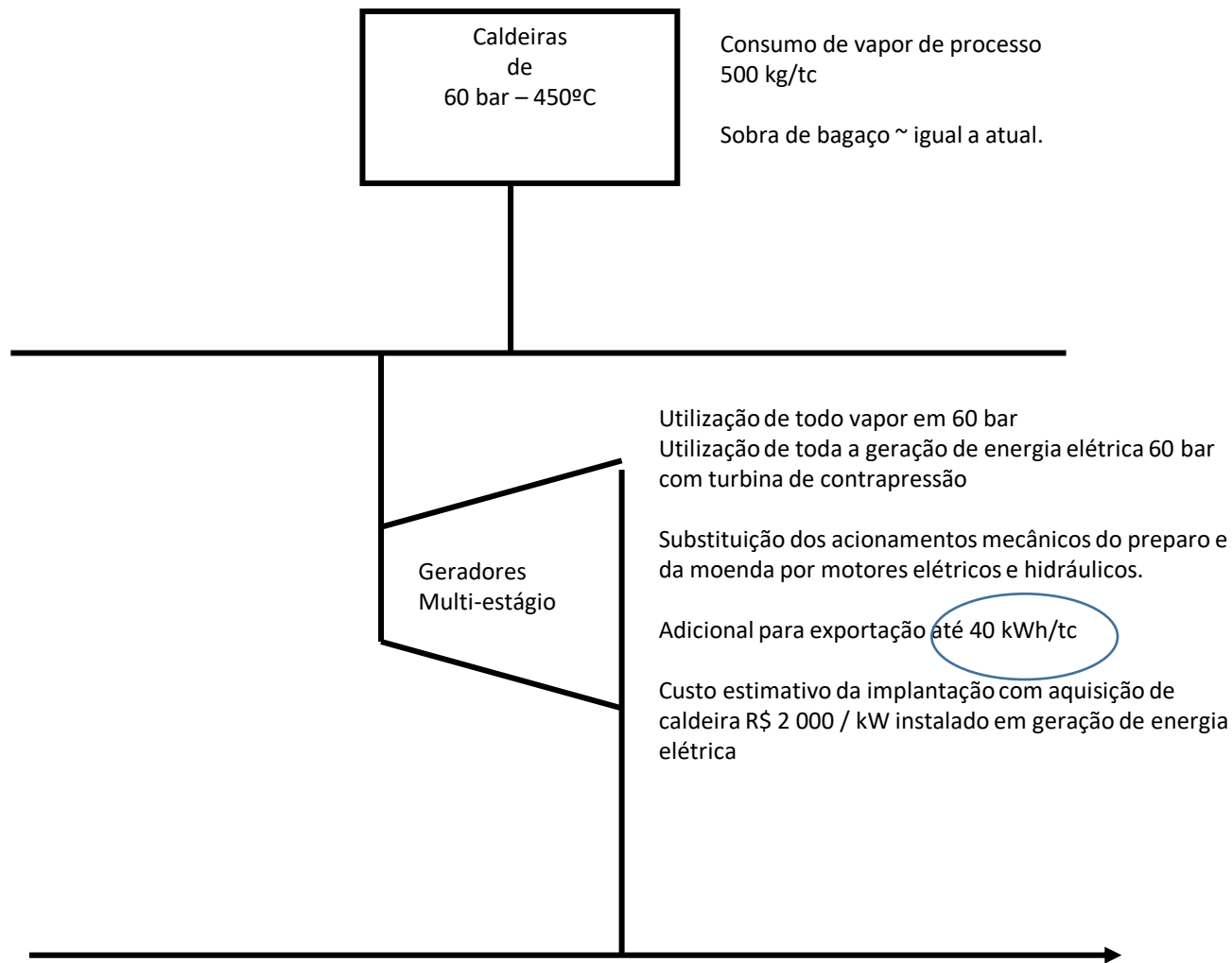
Setor Sucroalcooleiro

Configurações mais eficientes

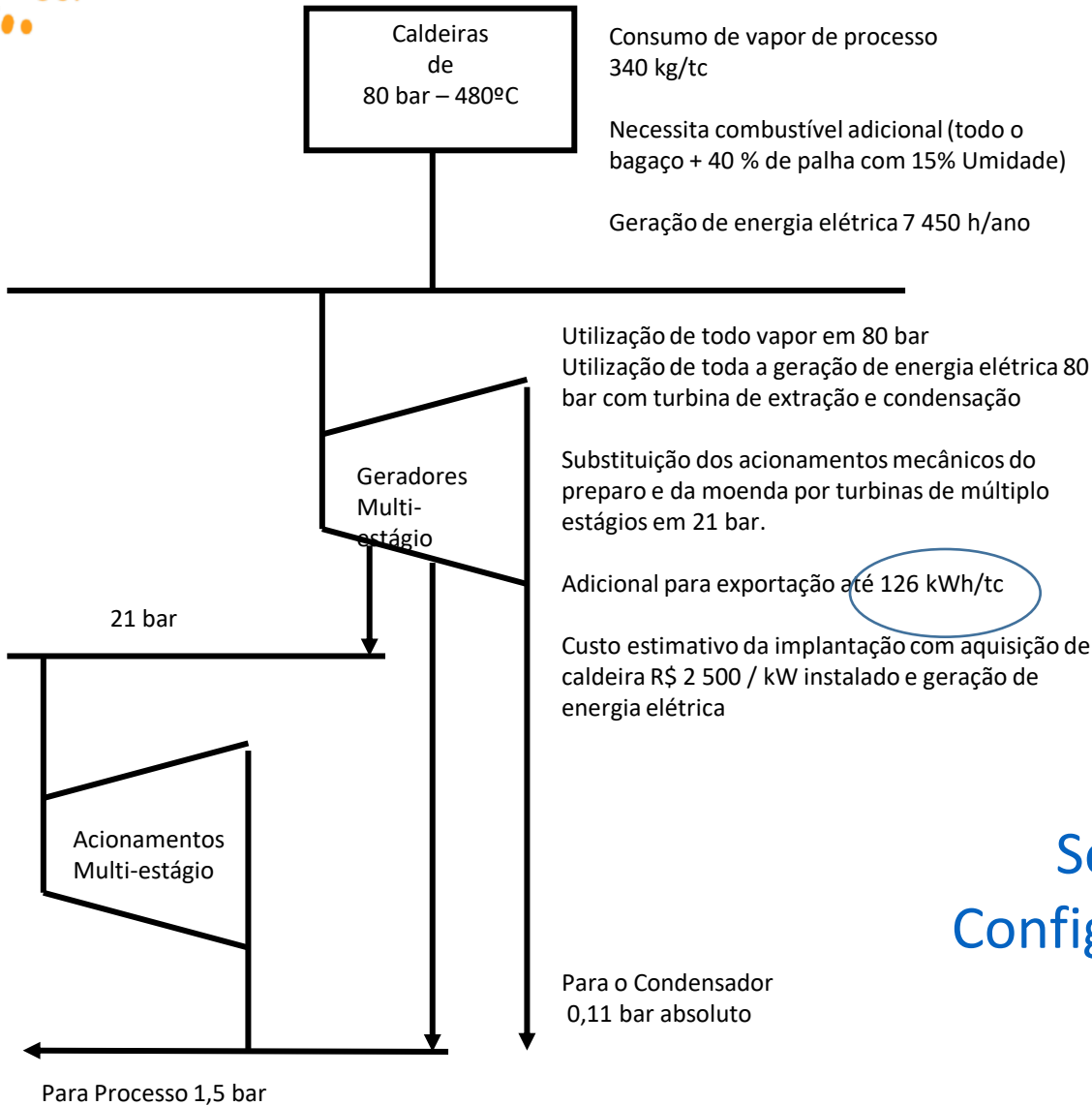


Setor Sucroalcooleiro

Configurações mais eficientes



Para Processo 1,5 bar



Setor Sucroalcooleiro
Configurações mais eficientes
Safrá/entressafrá

Passado: “bagaço que não sobre e que não falte”



Presente: “sustentabilidade e foco em energia, alimentos e eficiência”



Evolução: de produtor de açúcar para produtor de energia & alimentos



Caldeira 21 bar > 12,5 kg vapor/kWh



Caldeira 92 bar > 4,7 kg vapor/kWh

Retrofit 1: Usina Plena e Caldeira com Vida Útil (acima 3 Mt)



MW instalado 33 MW > exporta 8 MW (2010)



Referência: Usina São Martinho

Moagem 2010 > 8,5 Mt - Colheita mecanizada 93%



Caldeiras de 21 bar > vida útil + 10 anos



Biomassa disponível > exportar 150 MW (2010/2015)

Retrofit 2: Expansão Moagem com Troca de Caldeiras (+/- 3 Mt)

1. Conectada na distribuição (15kV) > compra energia na entre safra > capacidade instalada +/- 10 MW para consumo interno (não exporta) > caldeira baixa pressão (21 bar) com vida útil e não utiliza palha
2. Potencial cogeração +/- 50 MW sendo 40 MW para exportar em 138kV > moagem acima 3 Mt e utilizar palha, a partir de 2014 > caldeira alta pressão (acima 90 bar) e chiller (vinhaça)
3. **Necessita de Rede Básica Coletora de Geração Distribuída, para viabilizar exportação**



Fator Indutor: condições de crédito para financiamento da troca de equipamentos

❖ Tempo de Uso Caldeira Existente-SP

- 20 a 30 anos: 18%
- Maior 30 anos: 22%
- 10 a 20 anos: 22%
- Menor 10 anos: 38%

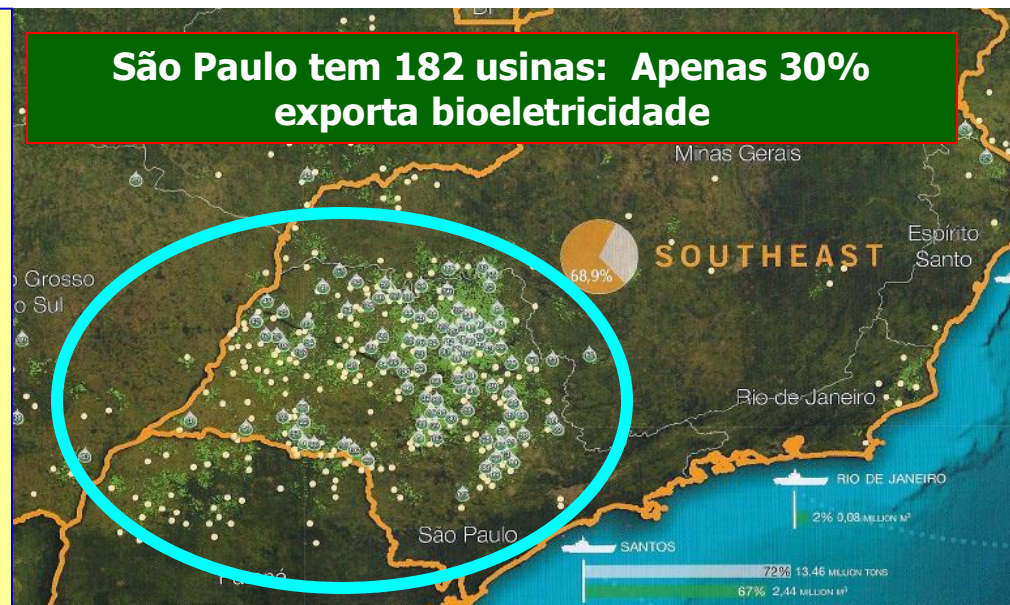
❖ Eficiência Energética de Caldeira-SP

- 21 bar > 12,5kgv/kWh
- 90 bar > 4,6 kgv/kWh

❖ Eliminação uso do fogo na colheita

- 170 unidades até 2014 (93% do total)

São Paulo tem 182 usinas: Apenas 30% exporta bioeletricidade



Rede de Distribuição & Rede Coletora de Geração Distribuída



- ❑ Forte concentração de geração distribuída (GD) > tendência aumentar + 10.000MW, somente com retrofits de usinas para exportar bioeletricidade ao SIN
- ❑ **Sistemas de Sub-Transmissão e de Distribuição > projetados para atender demanda de consumidores > não para coletar oferta de geração distribuída da ordem de 10.000MW;**
- ❑ Reforçar o sistema elétrico existente > para atender solicitações de conexões caso a caso de cogeração de bioeletricidade > resultará num sistema de distribuição e transmissão descaracterizado e sem estrutura operacional consistente para coletar 10.000 MW;

Usinas	Existentes	Exporta Bioeletricidade
Brasil	470	88
SP	184	54



Sistema Integrado Nacional - SIN

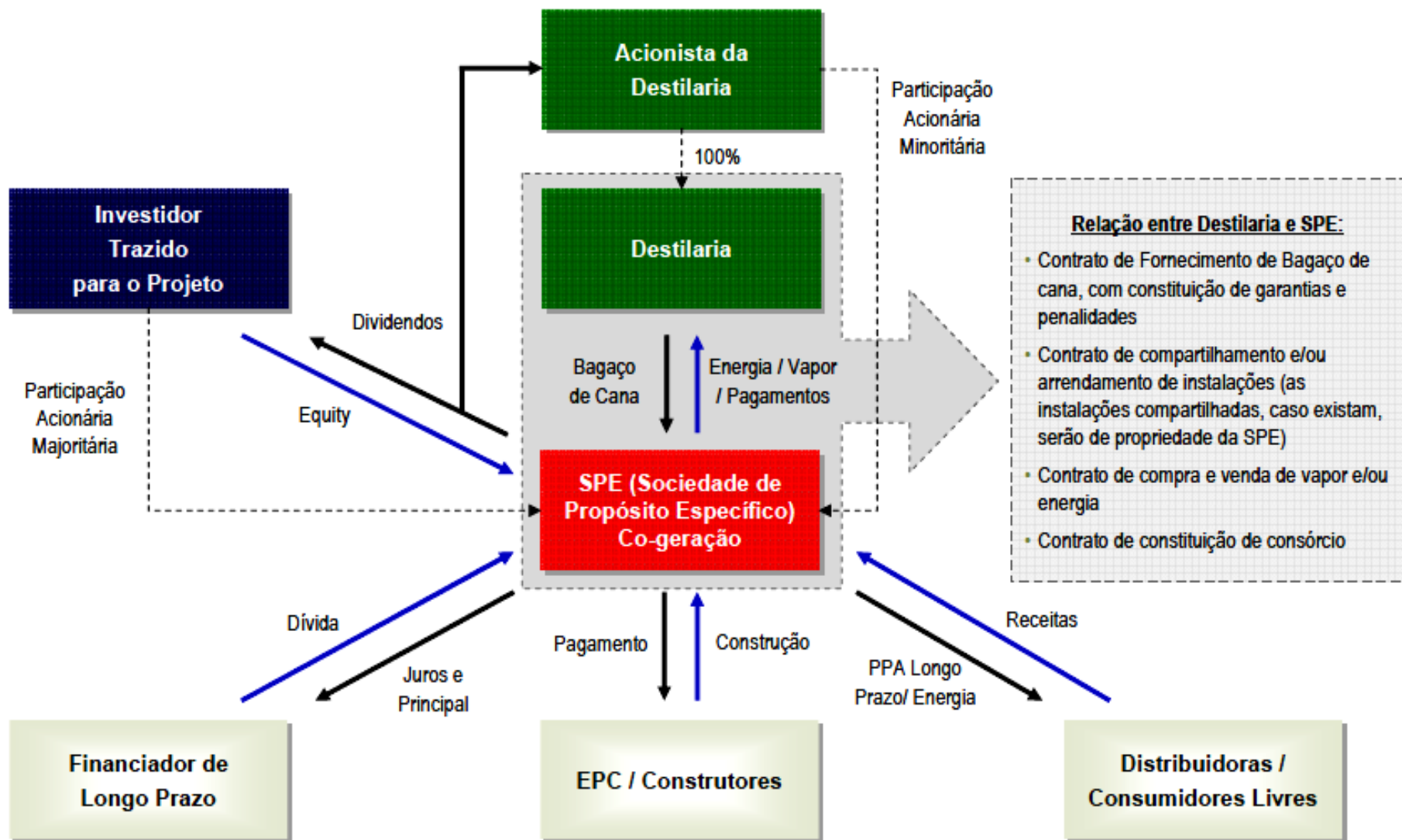
- ❑ convive com ausência de planejamento estratégico para expansão de GD
- ❑ opera rede regulada como DIT Demais Instalações de Transmissão em 138 kV
- ❑ opera espinhas dorsais de dupla tensão 440kV e 500kV ao invés de única tensão

- ❑ O SIN será tanto mais seguro, quanto maior for o sistema de GD, que permita o “ilhamento” de regiões estratégicas.
- ❑ O “ilhamento” depende de rede de transmissão planejada para coletar e operar GD com condições de minimizar eventuais interrupções

Proposta Rede Básica Coletora GD

- ❑ **Solução estruturante** > planejar “Rede Básica Coletora de Geração Distribuída - RBCGD”, composta por ramais de Rede Básica (mínimo 230kV) e “Estações Coletoras de GD - ECGD” localizadas no centro de gravidade das centrais de GD (Bioeletricidade, PCHs, UTEs).
- ❑ A RBCGD revitalizará redes e SEs de distribuição existentes para conectar novos consumidores, sem que seja necessário investimentos adicionais para ampliar redes e SEs

Bioeletricidade: Estrutura Aplicável no Desenvolvimento do Projeto



RENOVABIO

Portal Brasil

Perguntas frequentes

VOCÊ ESTÁ AQUI: [PÁGINA INICIAL](#) > [INFRAESTRUTURA](#) > [2017 > 02 > RENOVABIO VAI EXPANDIR PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL NO PAÍS](#)

[Últimas notícias](#)
[Portal Planalto](#)
[Navegue por Estados](#)
[BrazilGovNews](#)

ASSUNTOS

[Cidadania e Justiça](#)

[Ciência e Tecnologia](#)

INFRAESTRUTURA

RenovaBio vai expandir produção de biocombustível no País

Energia

Programa também vai ajudar no process emissões de gases de efeito estufa até 2023



[Todas](#) [Política](#) [Economia](#) [Social](#) [Administração](#) [Tecnologia](#) [Justiça](#) [Infraes](#)

[8º Fórum Mundial da Água](#) [30 anos da Constituição](#) [Infomaterias](#) [Jornal](#) [Rádio](#) [TV](#) [Fo](#)

[Home](#) > [Matérias](#) > [Sanções/Vetos](#)

[Meio Ambiente](#) [Infraestrutura](#) [Agricultura](#) [Social](#) [Tecnologia](#) [Economia](#)

Sancionada, com vetos, lei que cria RenovaBio

Paola Lima | 27/12/2017, 17h51 – ATUALIZADO EM 08/01/2018, 16h22



<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2017/02/renovabio-vai-expandir-producao-de-biocombustivel-no-pais>

<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2017/12/27/sancionada-com-vetos-lei-que-cria-renovabio>

RIGHT MOMENT TO DESIGN A STRATEGIC PLAN (Kutas,2019)*

Brazilian
Commitments at
COP-21



RENOVABIO

Establishment of a
strategic plan for
biofuels in Brazil

It's not an ethanol
program. **All biofuels are
included** (biodiesel,
biogas, biokerosene,
etc)

Reduce **GHG EMISSIONS**
of the transport sector

- 10% of Brazil's total emissions
- 48% of the emissions of the energy sector

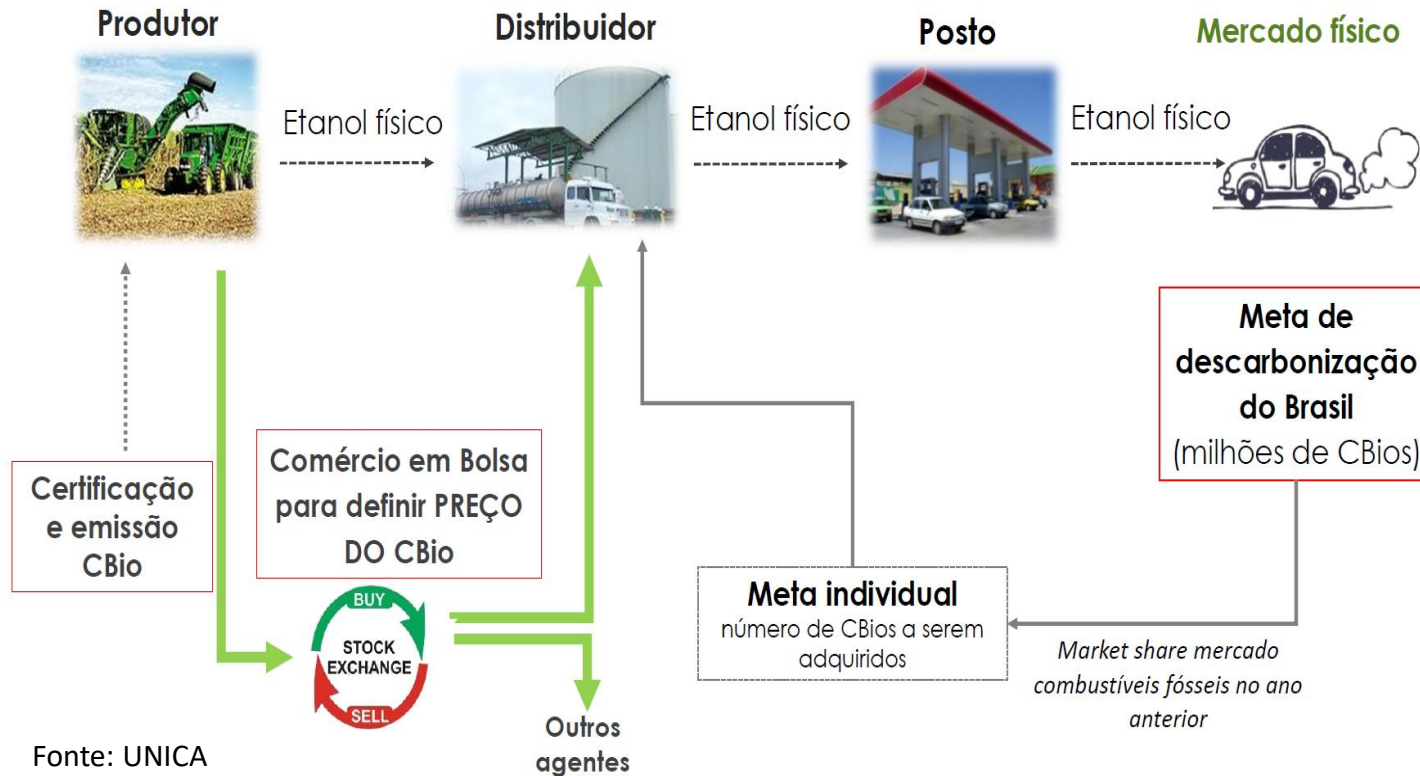
Guarantee
ENERGY SECURITY

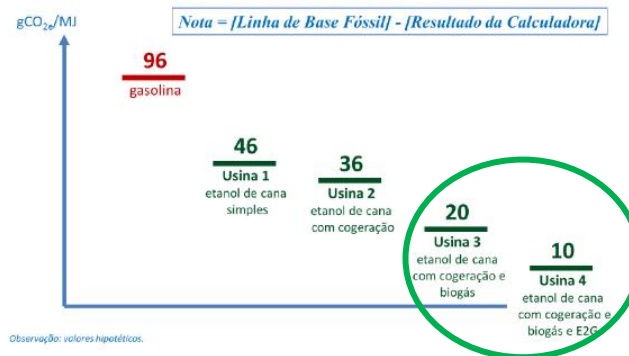
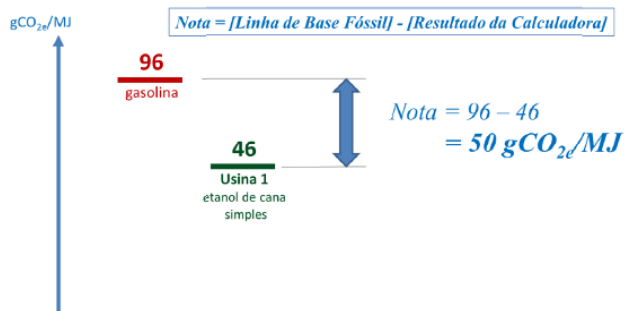
- Increasing fuel consumption
- New rules for domestic oil prices
- The choice is: import more oil or produce more alternative fuels

Reproduced with
permission

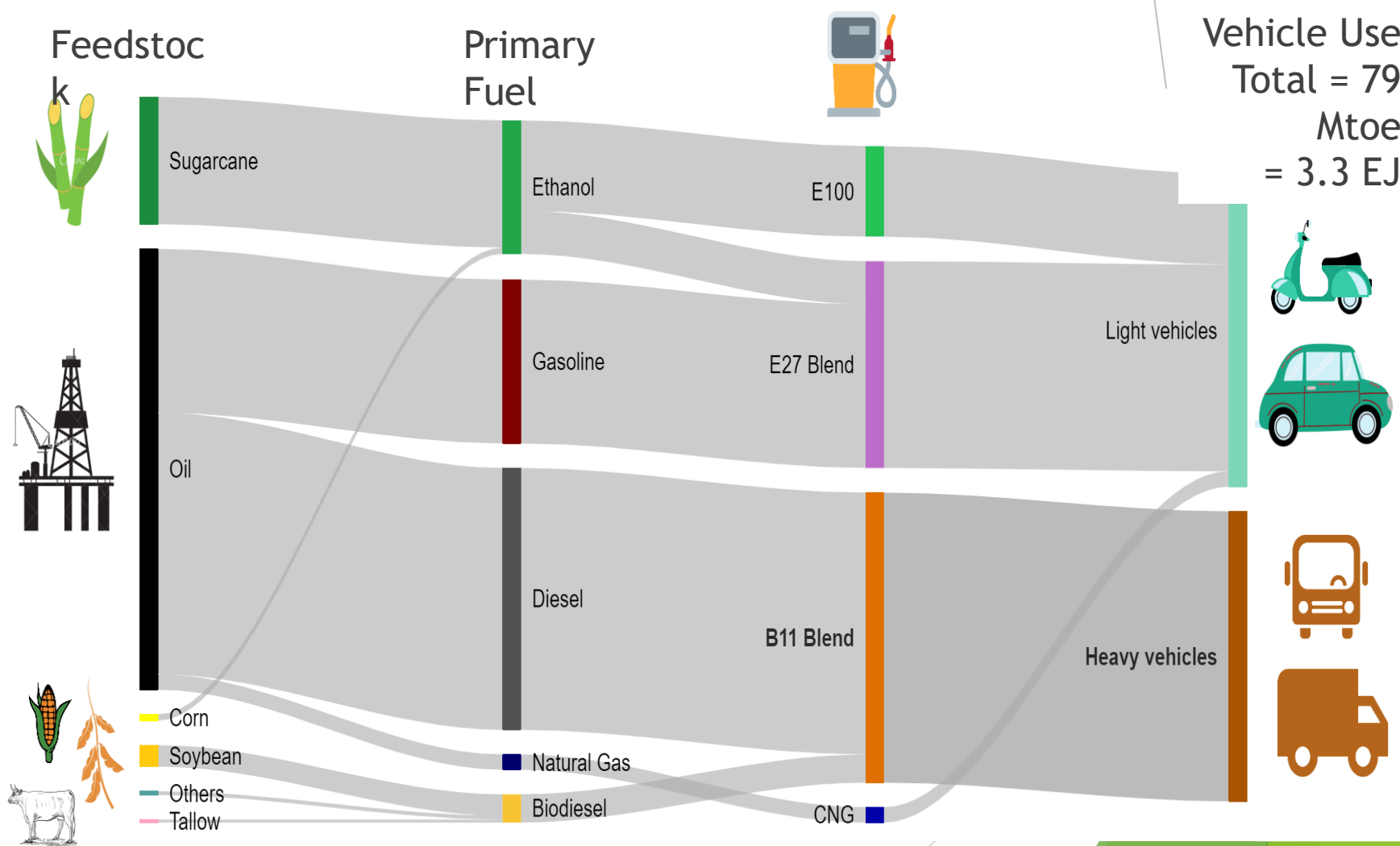
RenovaBio

• Funcionamento do mercado de CBios

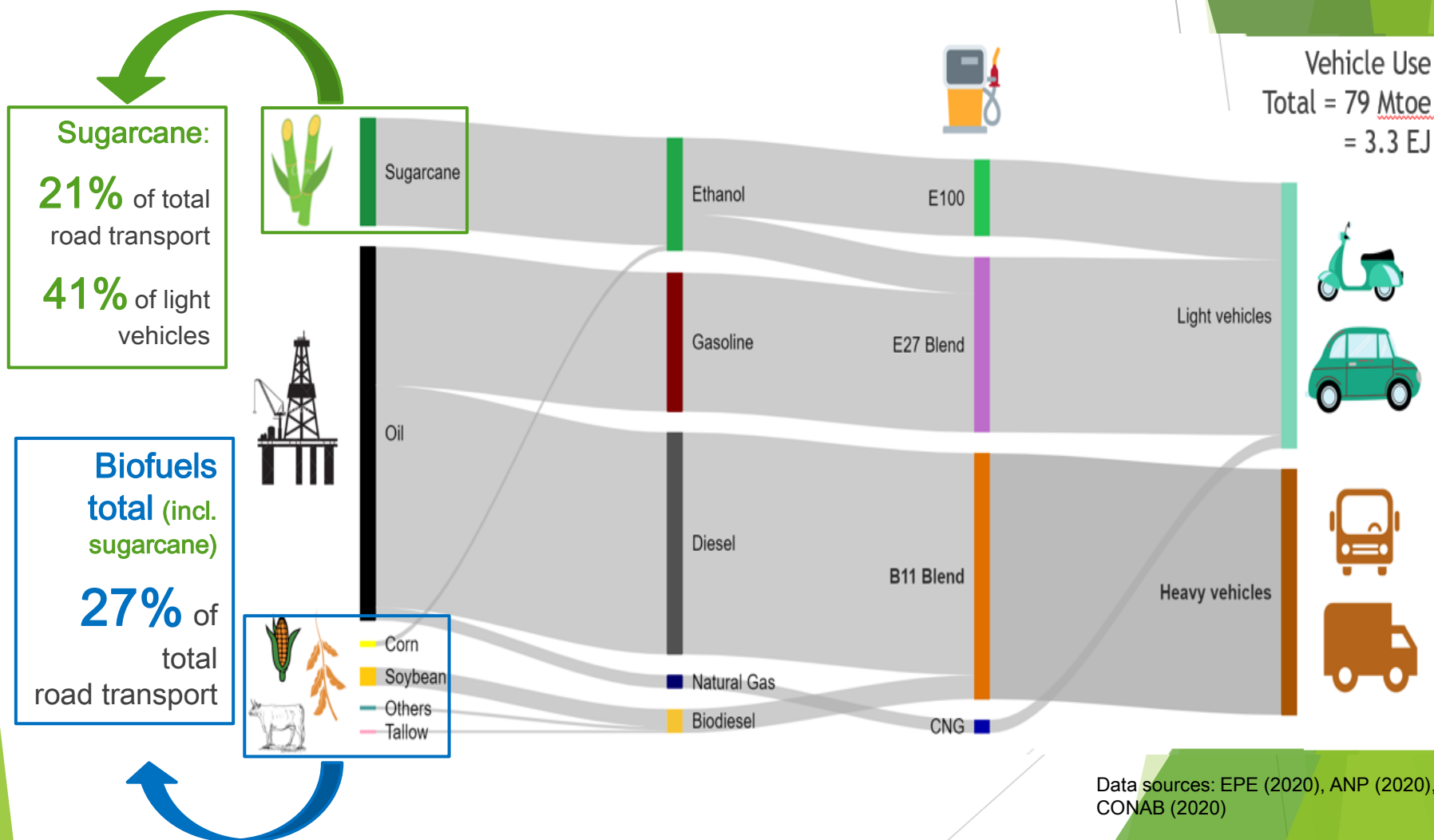




Road transport energy demand - Brazil 2019



Road transport energy demand - Brazil 2019



GHG emissions avoided with gasoline replacement

Feedstock	Avoided emissions
Sugarcane	61% to 82%
Corn	-30% to 38%
Wheat	19% to 47%
Sugar Beet	35% to 56%
Cassava	63%
Lignocellulosic residues*	66.5% to 73%

- UNICA (2010) - including iLUC - sugarcane ethanol has a reduction of GHG emissions of 73-82% compared with gasoline, on a 30- or 100-year time horizon, respectively.

- EPA's calculations - sugarcane ethanol from Brazil reduces GHG emissions compared to gasoline by 61%, using a 30-year payback for iLUC emissions

<http://english.unica.com.br/news/38990375920334398749/epa-reaffirms-sugarcane-biofuel-is-advanced-renewable-fuel-with-61-percent-less-emissions-than-gasoline/>

* In theory – technology under development
Sources: Dai et al, 2006; EBAMM, 2005; IEA, 2004; Macedo et al, 2007 e Nguyen et al, 2007

RenovaBio: incentive to reduce carbon footprint - available and new technologies

Brazilian commitments at COP 21

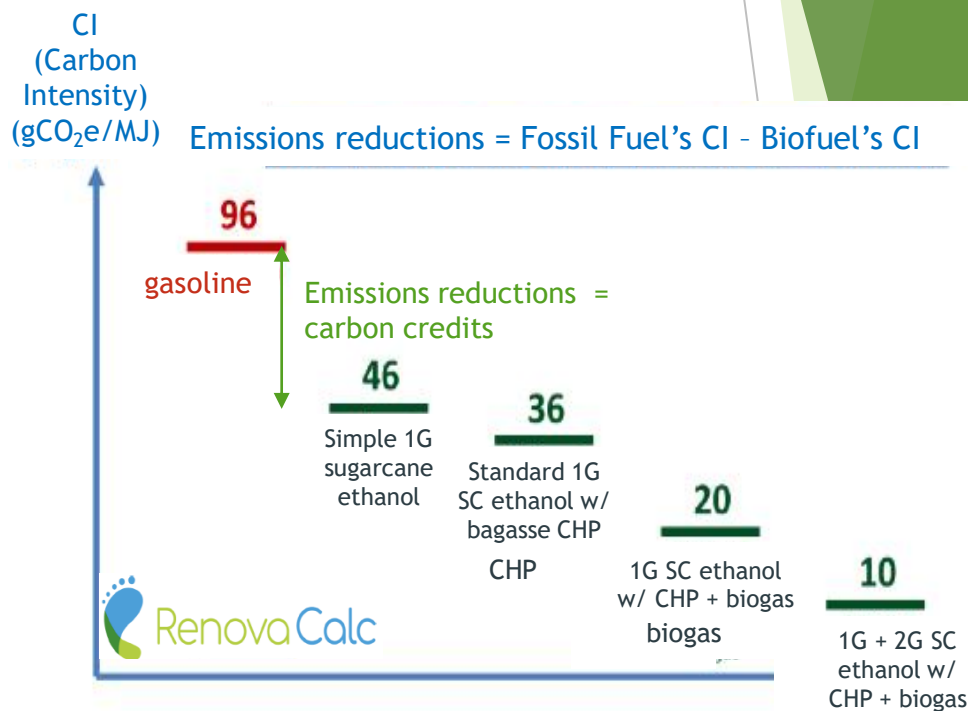


RenovaBio

Carbon credits for biofuels based on lifecycle emissions reductions vs a fossil fuel

Credits purchased by fuel distributors based on CI reduction targets for the fuel supply

All biofuels: Ethanol, biodiesel, biomethane, HEFA-aviation, ...



2020 - new Project proposals at RCGI/FAPESP/SHELL - BECCS perspectives and impacts on RenovaBio

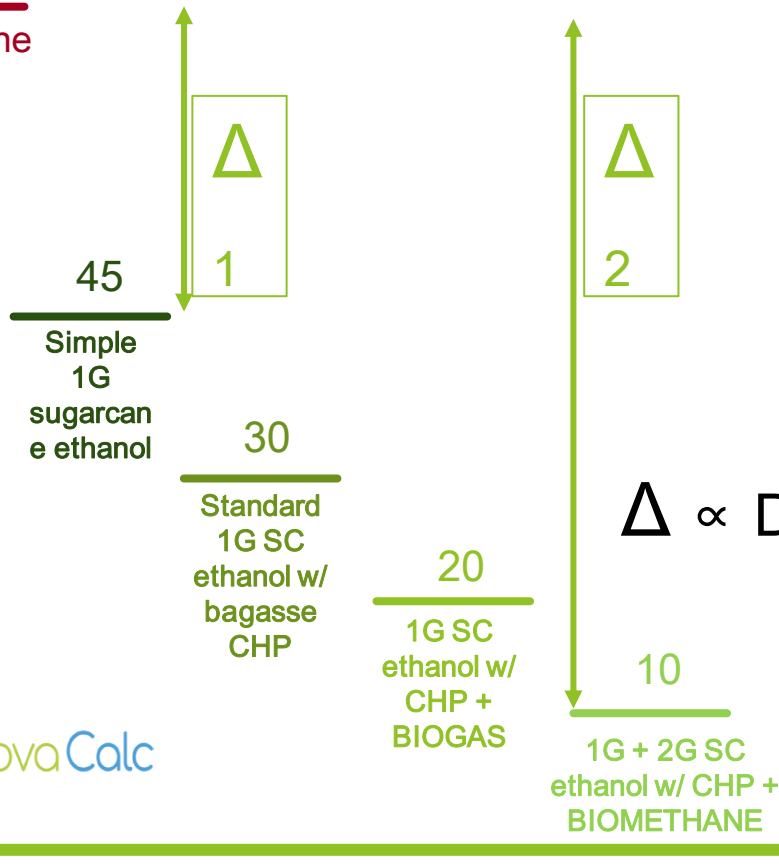
Ethanol from sugarcane

CI
(Carbon Intensity)
(gCO₂e/MJ)

87.4
Gasoline

Δ = Emissions reductions
(gCO₂e/MJ)

Δ = Fossil Fuel's CI – Biofuel's CI



RenovaBio introduces an economic incentive to reduce biofuels' carbon footprint

$\Delta \propto$ Decarbonisation Credits

$\Delta \rightarrow \uparrow \$$



RenovaBio, technology adoption and innovation

➤ Where are emissions coming from? Can they be reduced?

Gasoline emissions (CI) = 87.4 gCO₂/MJ

Ethanol emissions (CI) = 25-30 gCO₂/MJ

- Fertilisers + soil pH correction ~45%
- Diesel consumption ~30%

~ 60
gCO₂/MJ or
~ 68%
reduction

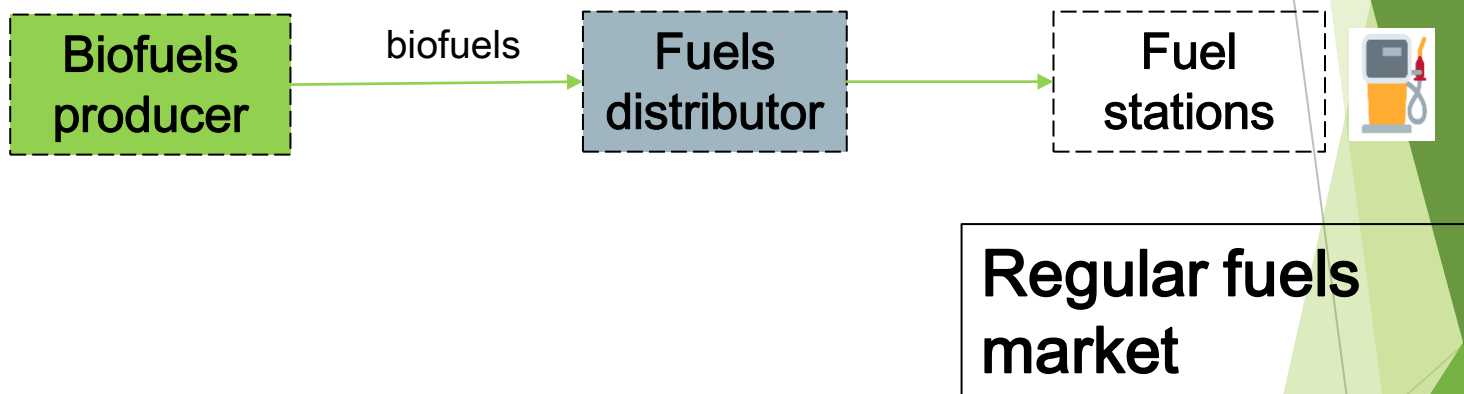
Great tool to identify emissions sources with incentives to mitigate

Ready-to-scale technologies and innovations in sight:

- Increase CHP efficiency and residues utilisation (e.g. straw)
- Incremental process improvements
- 2nd generation ethanol
- Agriculture innovation (reducing emissions-intensive inputs, more productive species etc.)
- BECCS: potential for negative emission technology (20% bonus)
- Biogas production → electricity, biomethane (to grid or replacing diesel as fuel)

RenovaBio can redefine R&D and project priorities or new plants design

RenovaBio



RenovaBio

Brazil's fuel supply 10 year carbon intensity targets

CBio obligation

Accredited certifier

GHG Calculator

Biofuels producer

Fuels distributor

Fuel stations

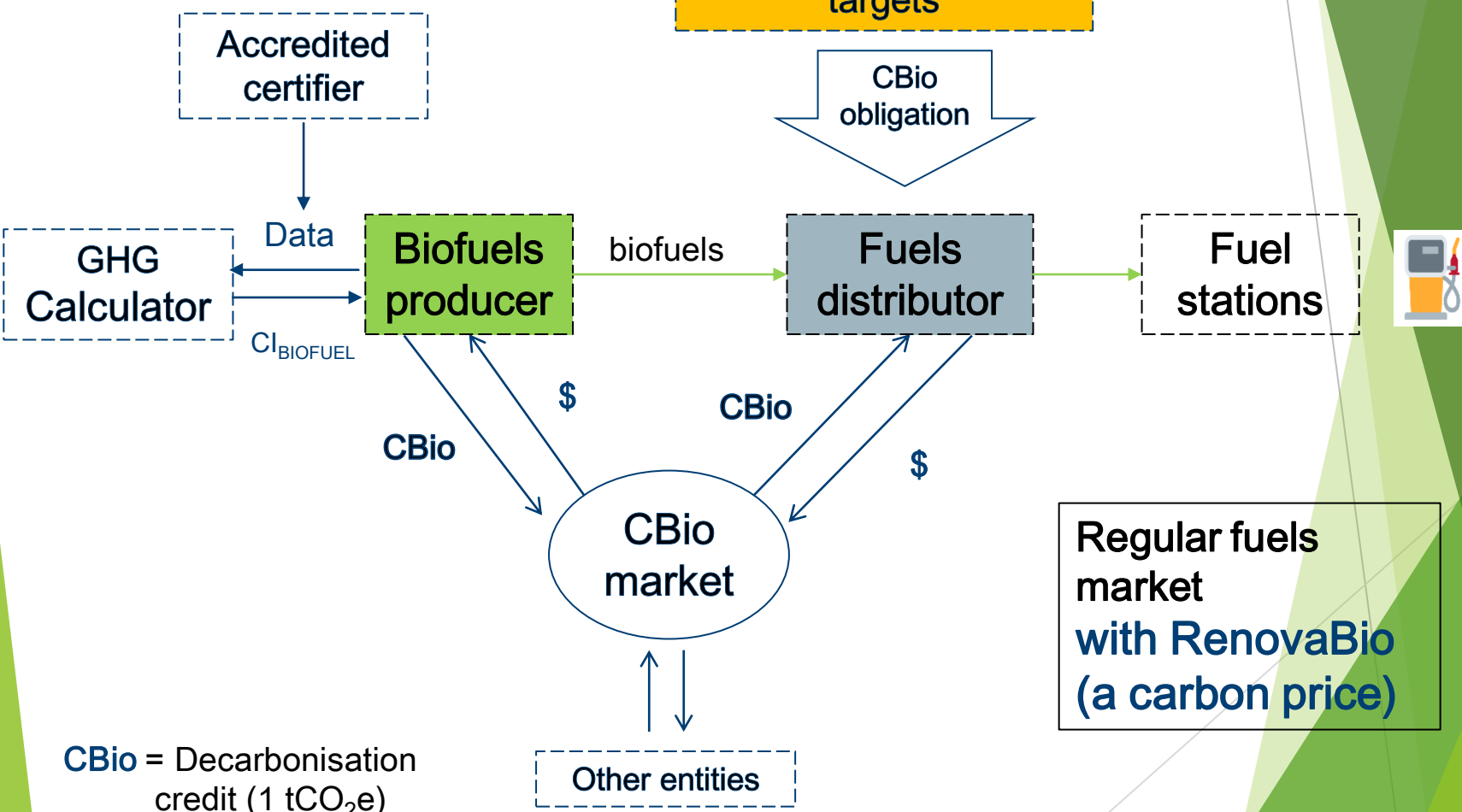


CBio market

Regular fuels market with RenovaBio (a carbon price)

Other entities

CBio = Decarbonisation credit (1 tCO₂e)



Impacts of COVID pandemic on biofuels*

- ▶ Two challenges:
 - ▶ Huge decrease in transportation fuel demand
 - ▶ Low oil prices

- ▶ Huge impacts on biofuel sector – the “perfect storm”

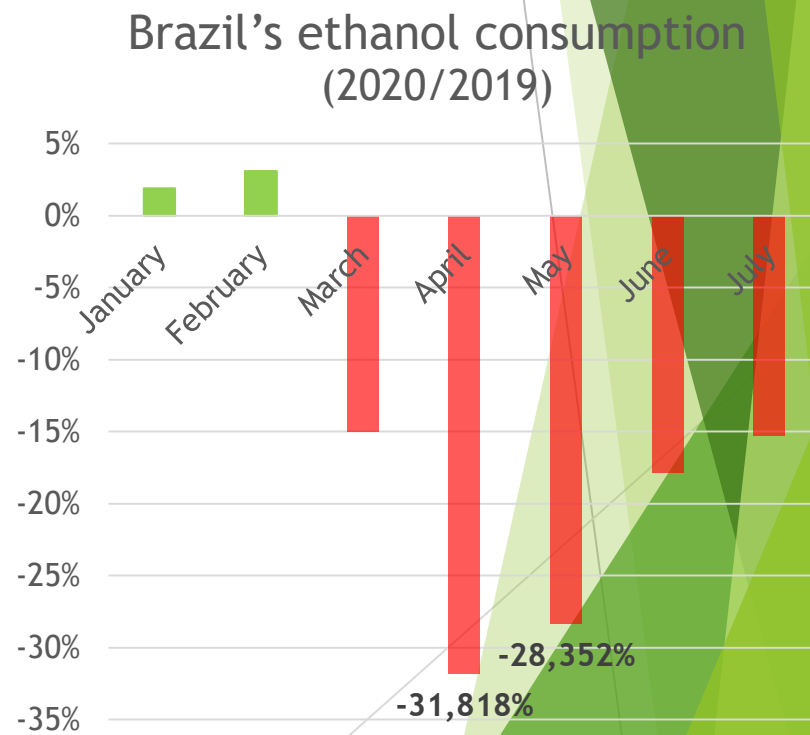
* COELHO, S. T. How bleak is the future for Brazil’s biofuels sector?
Latin America Advisor - Energy Advisor. Washington, DC, USA, p.1 - 6, 2020.
<https://www.thedialogue.org/energy-advisor/>

Impacts of COVID pandemic on biofuels*

- ▶ Worldwide: ↓ demand for fuels and ↓ oil prices: huge impact on biofuels

- ▶ **Brazil:**

- ▶ Ethanol demand ↓ by 50% (UNICA)
- ▶ Ethanol prices ↓ by 35% (from 2.0 BRL down to 1.3 BRL)
- ▶ Sugarcane crushing season starting in April
- ▶ Cane must be crushed
- ▶ Sugar production would be an option only for industries with flexible process



Impacts of COVID pandemic on biofuels*

- ▶ **Main difficulty:** to **store** ethanol since sugarcane must be crushed
- ▶ Large groups (Raizen and Sao Martinho) can afford to **store** the ethanol produced
- ▶ Average storage capacity: 48.8%**
- ▶ **Option to produce sugar?**
 - ▶ Impacts on sugar prices
 - ▶ An option for industries with flexible process.
 - ▶ But some mills produce only ethanol (distilleries). No option for sugar production.
- ▶ **And then, CBIOs targets were reduced by 50% for 2020**

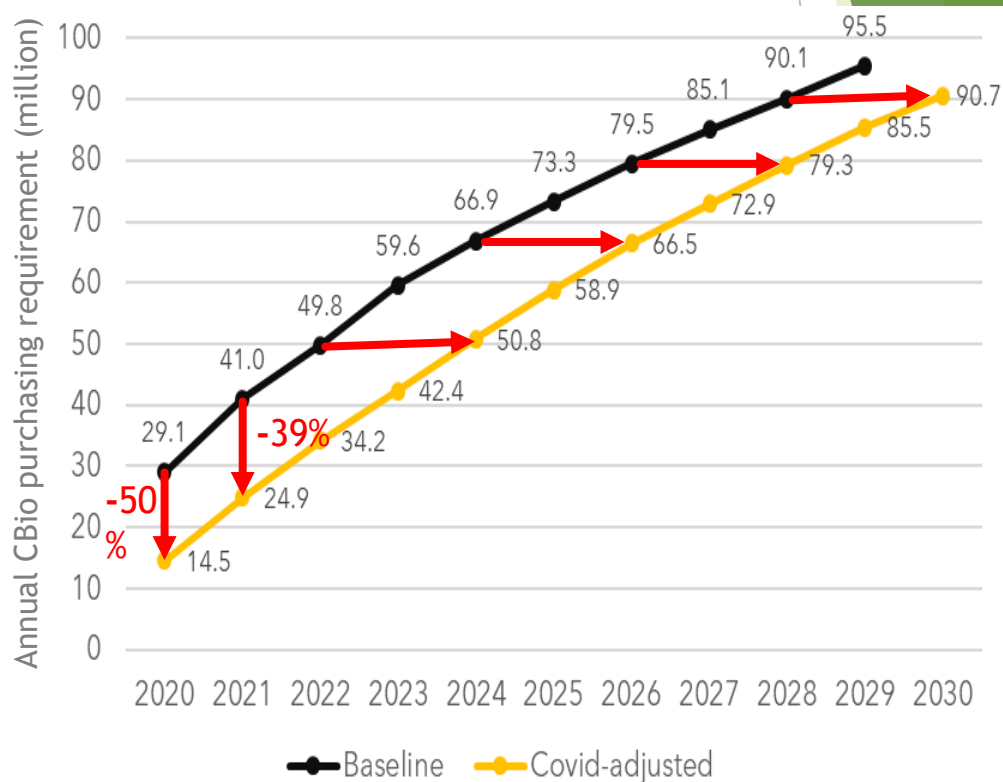
*COELHO, S. T. How bleak is the future for Brazil's biofuels sector? Latin America Advisor - Energy Advisor. Washington, DC, USA, p.1 - 6, 2020. <https://www.thedialogue.org/energy-advisor/>

** <https://projetos.pecege.com/>

Covid-19: adjusting expectations

► Reduction in the national CBio targets to adjust for demand reduction

- 50% reduction in the first year of compliance (2020)
- 39% reduction in the second year (2021)
- Postponing targets by 2 years from 2022



CBio trading at ~R\$ 62 (US\$ 11.20) [/ton of CO₂]

- ▶ “Green Deals” and plans for the post-Covid:
 - ▶ Resilient economic recovery
 - ▶ Local job creation
 - ▶ Speed the energy transition and the climate agenda

“Ambition”, “Opportunity”

SOLVING THE CLIMATE CRISIS

The Congressional Action Plan for a Clean Energy Economy and a Healthy, Resilient, and Just America

led Sustainable Recovery



Greening the Recovery



THE POST-COVID RECOVERY

An agenda for resilience, development and equality



COVID-19 can be an historic turning point in tackling the global climate crisis

The path to COVID recovery: the urgent need for the EU Green Deal and a new approach to Industrial Strategy

 UCL Institute for Innovation and Public Purpose [Follow](#)
May 22 · 7 min read



Europe's moment: Repair and Prepare for the Next Generation

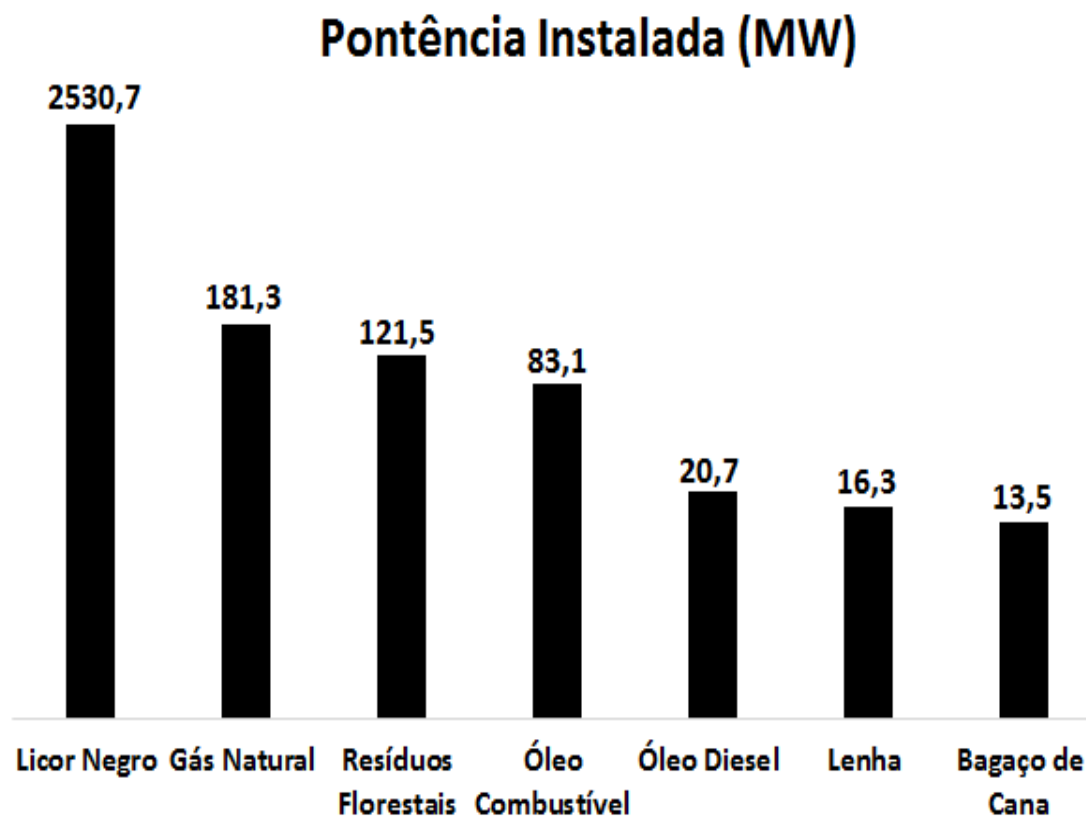
Brussels, 27.5.2020

Cogeração com Biomassa

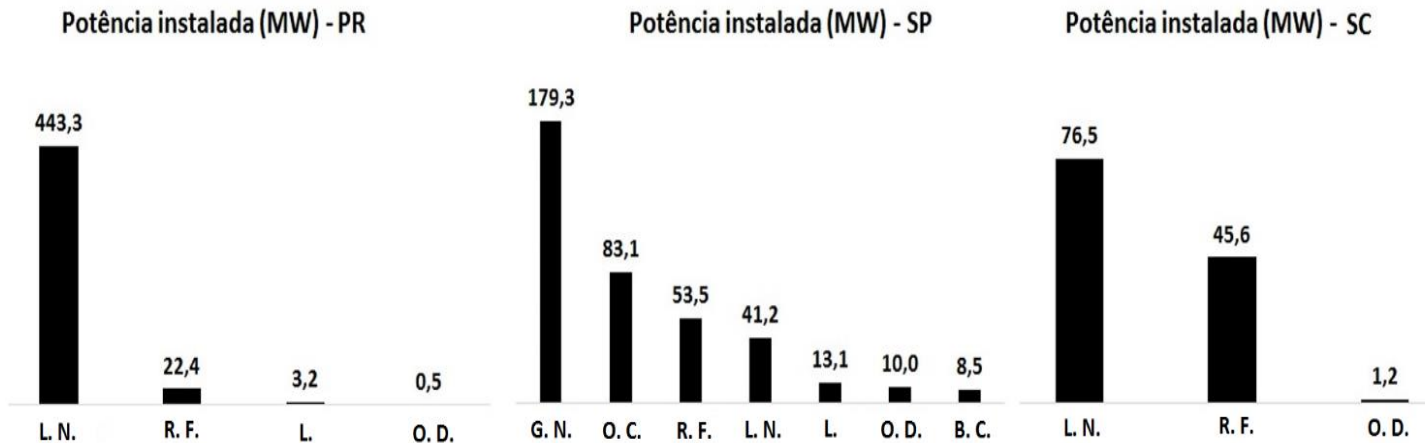
- Tecnologias Utilizadas para Cogeração de Energia
 - Setor Sucroalcooleiro
 - Setor de Papel e Celulose
 - Setor Madeireiro

Potência instalada

Setor de papel/celulose (ANEEL, 2019)



Potência instalada – plantas de papel e celulose – SP, PR, SC



Potência instalada por biocombustível nos três principais estados produtores de energia em plantas de papel e celulose. Onde L. N.: Licor Negro, R. F.: Resíduos Florestais, L.: Lenha, O. D.: Óleo Diesel, G. N.: Gás Natural, O. C.: Óleo Combustível, B. C.: Bagaço de cana-de-açúcar.

Fonte: BIG ANEEL (2019)



Floresta plantada (VCP)



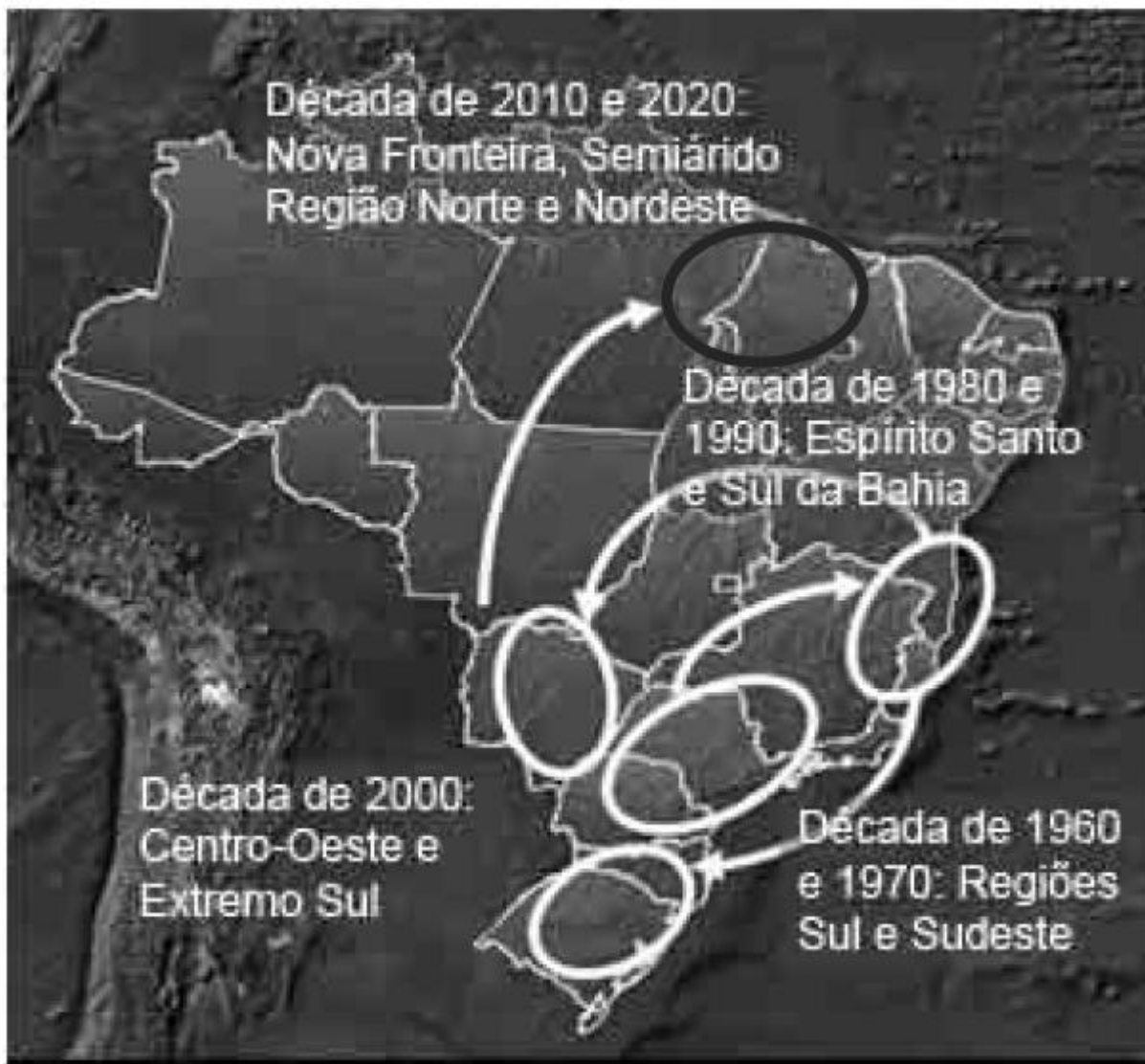
Produção de Mudas de Eucalipto (CENIBRA)



Unidade VCP (Jacareí)



Colheita Florestal (CENIBRA)



Fonte: Adaptado de Suzano Papel e Celulose (2010).

Tabela 3.7.9.b – Setor Industrial – Papel e Celulose

Table 3.7.9.b – Industrial Sector – Paper and Pulp

FONTES	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	%/ SOURCES
CARVÃO VAPOR	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	1,1	1,2	1,2	1,2	STEAM COAL
GÁS NATURAL	6,3	6,7	7,0	7,0	5,7	5,2	6,7	7,2	7,7	7,6	NATURAL GAS
LENHA	15,6	15,2	15,6	15,1	15,3	15,5	14,9	14,9	15,3	15,3	FIREWOOD
LIXÍVIA	43,1	43,3	44,9	44,9	45,5	46,4	46,5	46,3	46,4	47,1	BLACK LIQUOR
ÓLEO COMBUSTÍVEL	8,7	8,2	5,4	5,5	5,6	5,3	4,6	3,8	3,3	2,9	FUEL OIL
ELETRICIDADE	16,6	16,5	16,6	16,7	17,1	16,8	16,1	16,1	16,4	15,9	ELECTRICITY
OUTRAS	8,5	9,0	9,5	9,9	9,9	9,9	10,0	10,5	9,7	10,0	OTHERS
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	TOTAL

O Setor de Papel e Celulose

- **Categoria A: Celulose** (subprodutos: resíduos de madeira e licor negro) – ***geração de excedentes – exemplo CENIBRA (MG) – Suzano (MA)***
- Categoria B e C: Papel (não há)
- Categoria D: Integrada (papel e celulose) – subprodutos (resíduos de madeira e licor negro) – ***exemplo – Klabin do Paraná (Telemaco Borba, PR)***

Tabela 4.3 - Usinas de licor negro no Brasil

Nome	Estágio	Município	Potência (kW)
Aracruz	Operação	Aracruz - ES	210.400
Aracruz Unidade Guaíba (Riocell)	Operação	Guaíba - RS	57.960
Bahia Pulp (Ex-Bacell)	Operação	Camaçari - BA	108.600
Bahia Sul	Operação	Mucuri - BA	92.000
Celucat	Operação	Lages - SC	12.500
Celulose Irani	Operação	Vargem Bonita - SC	4.900
Cenibra	Operação	Belo Oriente - MG	100.000
Centro Tecnológico Usinaverde	Outorga	Rio de Janeiro - RJ	440
Jari Celulose	Operação	Almeirim - PA	55.000
Klabin	Operação	Telêmaco Borba - PR	113.250
Klabin Otadílio Costa (Ex Igaras)	Operação	Otadílio Costa - SC	33.745
Lençóis Paulista	Operação	Lençóis Paulista - SP	25.700
Nobrecel	Operação	Pindamonhangaba - SP	3.200
VCP-MS	Outorga	Três Lagoas - MS	175.100
Veraçel	Operação	Eunápolis - BA	126.600

Fonte: Aneel, 2008

Setor de Papel e celulose

Comercialização de excedentes

- Klabin – 150 MW – Projeto PUMA (PR) - 2016
- Suzano – 100 MW – Imperatriz (MA) – 2013
- Suzano – município de Suzano (MA) – não comercializa (industria integrada)
- Fibria – 76 MW (ES)

http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2014/12/21/internas_economia,601566/risco-de-crise-energetica-atrai-empresas-para-venda-de-excedente.shtml

21/12/2014

SETOR DE PAPEL E CELULOSE

Consumo de Eletricidade por Categoria (MWh)

INDÚSTRIA

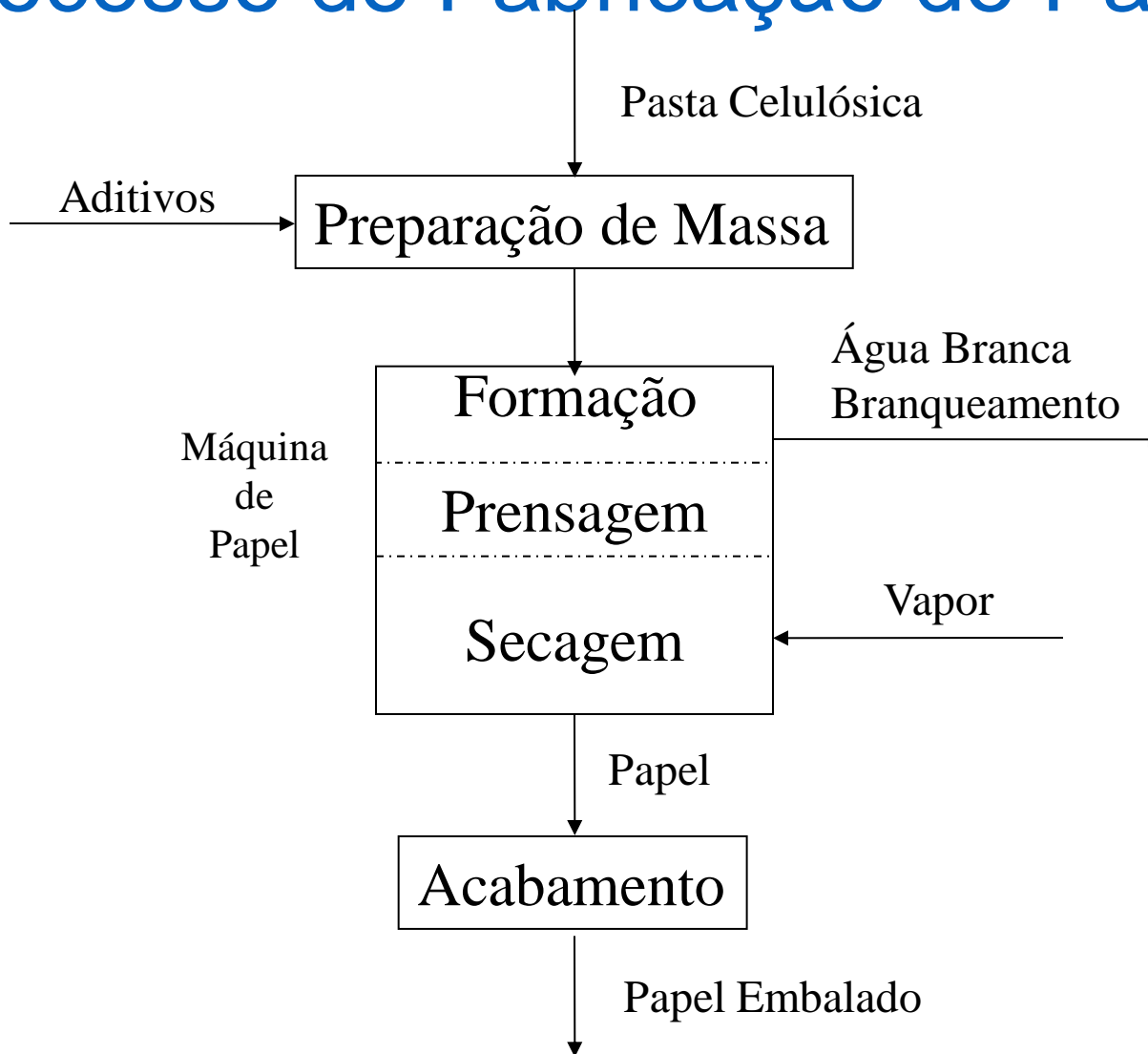
	Celulose		Papel		Sanitários		Integradas	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996	1995	1996
A. Produção	1.811.152	2.146.009	1.977.359	1.922.267	456.259	505.064	4.198.112	4.104.833
B. Consumo de Eletricid.								
B1. Auto-Gerada	1.539.502	1.818.009	82.341	110.599	1.727	7.500	2.734.570	2.734.837
B2. Comprada	372.877	381.946	1.207.510	1.224.535	384.242	471.525	1.907.456	1.956.208
B3. Consumo total	1.912.379	2.200.755	1.289.851	1.335.134	385.969	479.025	4.642.026	4.294.045
C. Consumo Específico (kWh/t)	1056	1026	652	695	846	948	1106	1046

Fonte: BRACELPA, 1997.

Processo de Fabricação de Pasta Celulósica



Processo de Fabricação de Papel



Etapa	Consumo de energia elétrica (kWh/t)
Preparação da matéria prima/polpação	45
Deslignificação (com oxigênio)	75
Branqueamento	120
Secagem da pasta de celulose	143
Calcinação/forno de cal	23
Concentração do licor negro	98
Recuperação de reagentes químicos	124
Tratamento de água e de efluentes	56
Fabricação do papel	(vide tabela 3)
Secagem/acabamento do papel	55 (média)

684 kWh/t

Fonte: McIlroy e Wiczinsky, 1999

Tabela 2 – Demanda média de energia elétrica das principais etapas do processo produtivo em uma fábrica integrada moderna, em kWh/t

Barbelli, 2005 - XII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil, 7 a 9 de Novembro de 2005

http://www.blogdopapeleiro.com.br/biblioteca/Cientificos/Energia/Barbelli_MC_Gestaoenergeticanai.pdf

Tipo de papel	Consumo de vapor (GJ/t)	Consumo de energia elétrica	
		(GJ/t)	(kWh/t)
Papel imprensa	3,4 – 5,5	1,51 – 2,28	420 – 630
Papel de impressão revestido	5,1 – 5,6	1,98 – 2,95	550 – 820
Papel de impressão sem revestimento	4,3 – 7,2	1,98 – 2,41	550 – 670
Papéis especiais	3,7 – 7,7	1,58 – 3,24	440 – 900
Papel de embalagem	3,4 – 8,8	1,85 – 2,38	515 – 660
Papel para fins sanitários	2,6 – 4,5	3,01 – 3,78	835 – 1.050

Fonte: McIvor *et alii*, 1999

Tabela 3 – Consumo específico médio de vapor e energia elétrica para fabricação dos tipos mais importantes de papel

Produção / Consumo de Energia

Fabricas Integradas x Fabricas de papel

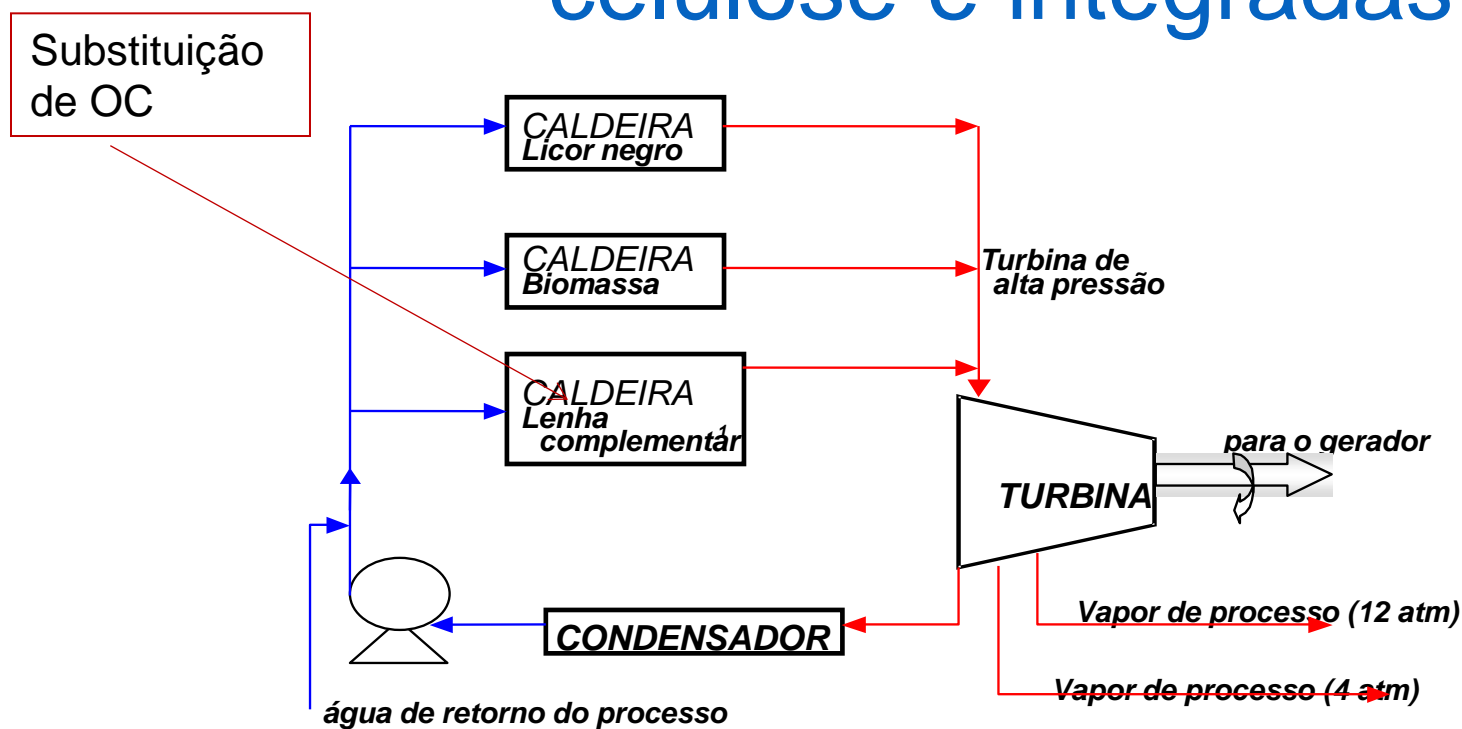
Dados da VCP

- Unidades Integradas
 - Jacareí
 - Luiz Antonio
- Unidades Papel
 - Piracicaba
 - Mogi das Cruzes

Matriz energética (MWh)						
Unidade	Térmica				Elétrica	
	Licor Preto	Biomassa	Óleo	Gás	Gerada	Comprada
JC	2.608.209	379.113	530.568	600.322	302.651	92.382
LA	1.962.526	616.279	360.792	0	256.591	238.152
PI	0	0	0	241.774	0	123.000
MC	0	0	0	41.072	0	14.515

SETOR DE PAPEL E CELULOSE

Cogeração em indústrias de celulose e integradas



Fonte: COELHO et al., 1996.

Se necessário.

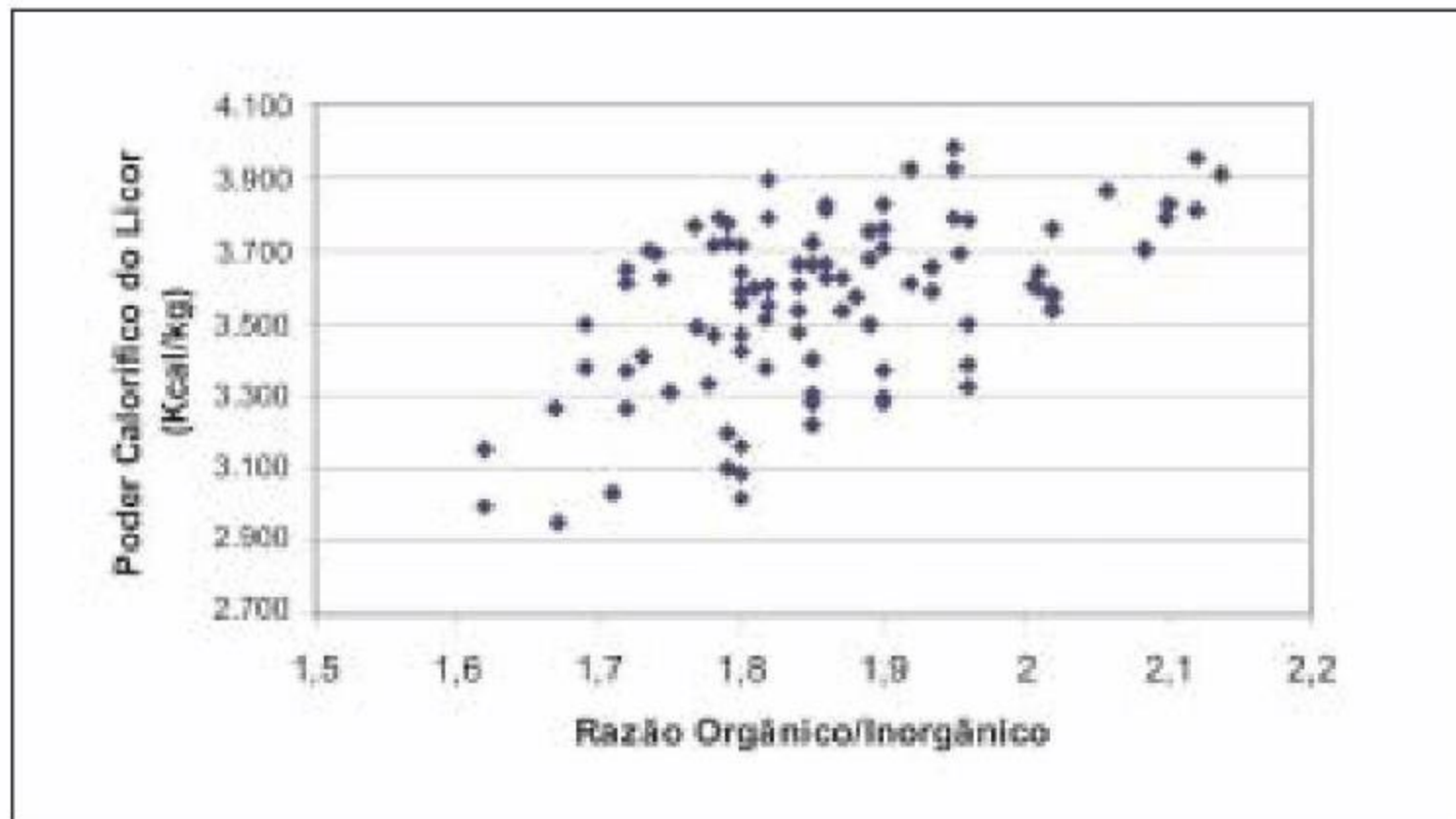


Figura 13 - Poder Calorífico do licor negro de eucalipto, indústria E, em função da razão orgânico/inorgânico

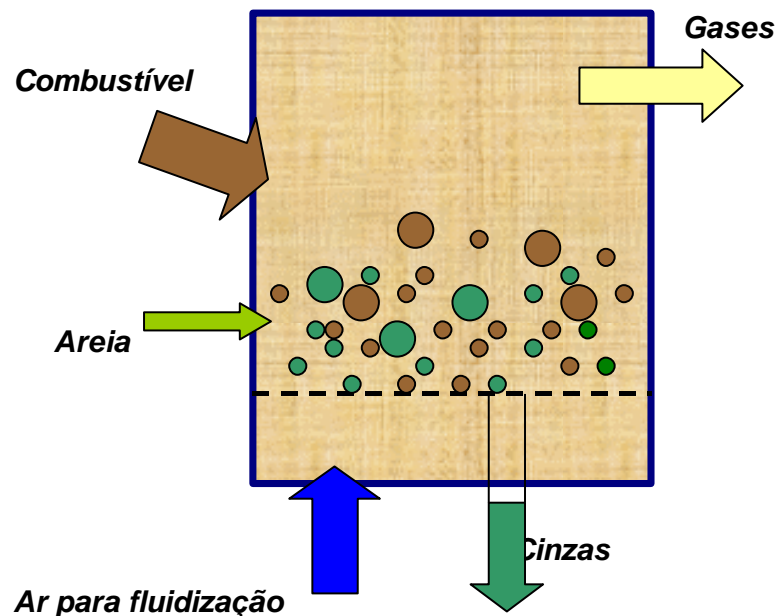
Cardoso et al, 2006 - http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1311778255_84bd9042befaaa88976ba83e0f768c92_408361875.pdf

SETOR DE PAPEL E CELULOSE

Cogeração em indústrias de celulose e integradas

Sistema em uso nas empresas Aracruz (ES) e Klabin (Telêmaco Borba, PR)

Caldeira de Leito Fluidizado – Princípios



INICIAL
EMPRESA
EQUIPAMENTOS
EXPORTAÇÕES
GALERIA DE FOTOS
PARCEIROS
REPRESENTANTES
CLIENTES
NOTÍCIAS
TRABALHE CONOSCO
RESPONSABILIDADE SOCIOAMBIENTAL
CONTATO
WEBMAIL



galeria de fotos

Contato

Sermatec Indústria e
Montagens Ltda.

Rodovia Armando de Salles
Oliveira, Km 341
Sertãozinho - SP

CEP: 14176-500

Fone: (16) 2105-4422

Caldeira de Leito Fluidizado



Caldeira de leito
fluitizado



Alunorte



Alunorte



Alunorte



Alunorte



Alunorte



Alunorte, Barcarena,
Pará

LEITO FLUIDIZADO BORBULHANTE

Especialmente aplicadas para combustíveis de alto teor de umidade, as caldeiras Sermatec de Leito Fluidizado Borbulhante (BFB) permitem a queima de combustíveis com alto teor de contaminantes inertes tais como pedras, ferro, etc.

A combustão realizada em caldeira do tipo BFB, é caracterizada pela injeção do combustível em um leito de areia, permanecendo retido até a sua queima total, o que representa uma eficiência de combustão superior a 99%.

Com a temperatura controlada na faixa de 850 0C, através do controle da relação entre o ar primário e o ar secundário, assim como pela recirculação de gases inertes, as caldeiras apresentam reduzidas emissões de particulados, óxidos de nitrogênio (NOx), assim como de CO.

Fabricadas suspensas por estruturas metálicas ou auto suportadas são totalmente construídas de painéis aletados, com uso restrito a um mínimo de material refratário.

Com 100% de sua fabricação realizada no Brasil pela Sermatec, as caldeiras de leito fluidizado borbulhantes, estão disponibilizadas ao mercado na faixa de produção de 15 t/h a 300 t/h, sem limites de pressão e, temperatura de vapor para aplicação em todos os tipo de biomassa, inclusive para combustíveis complementares como tiras de pneus, carvão, petcoke e outros.

LEITO FLUIDIZADO CIRCULANTE

Representando o atual estado da arte em caldeiras de força, as caldeiras de Leito Fluidizado Circulante (CFB), são caracterizadas pelas seguintes aplicações principais:

- Larga faixa de aplicação de combustíveis:
Matéria volátil: 4 a 40%
Cinzas: 0 a 60%
Poder Calorífico: Superiores a 1.500 Kcal/Kg
Umidade: Menores que 65%

- Utilização de rejeitos de processo;

- Flexibilidade de combustíveis: minimizando incertezas de fornecimento;

- Capacidade de queima de combustível de baixo custo devido a pouca aplicação em caldeiras convencionais.

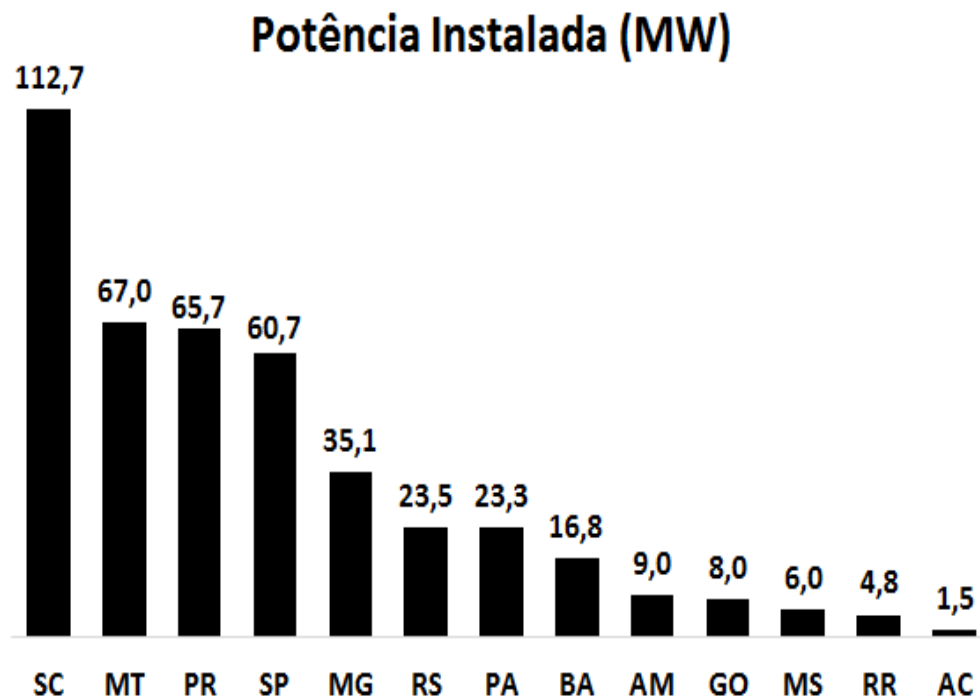
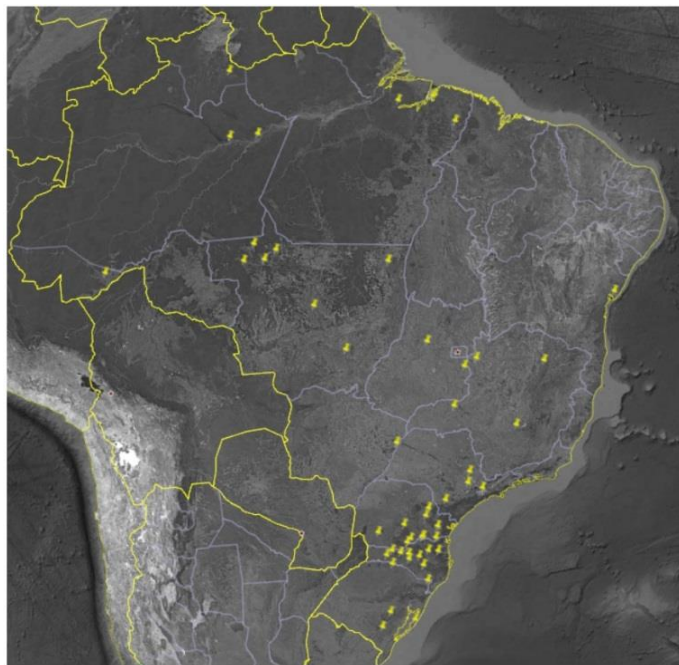
As caldeiras de leito fluidizado circulantes, fabricadas pelas Sermatec, é caracterizada pelo uso de solução de recirculação interna de material inerte, proporcionando acurado controle da temperatura de fornalha e, permitindo que a variação desta temperatura, ao longo de toda altura da fornalha, seja no máximo de 15 0C. Desta forma, as caldeiras proporcionam baixas emissões de óxidos de nitrogênio (NOx), CO e associado ao exclusivo sistema de injeção de calcáreo, reduzidas emissões de óxidos de enxofre (SOx), não requerendo na maioria dos casos os altíssimos investimentos em sistemas de dessulfurização de gases.

Com capacidades de geração de vapor a partir de 30 t/h, as caldeiras de leito fluidizado circulante, não possuem limites de produção de vapor, assim como de pressão de operação, sendo de grande utilização em unidades de geração térmica onde pressões superiores a 120 bar são recomendadas.

Cogeração com Biomassa

- Tecnologias Utilizadas para Cogeração de Energia
 - Setor Sucroalcooleiro
 - Setor de Papel e Celulose
 - Setor Madeireiro

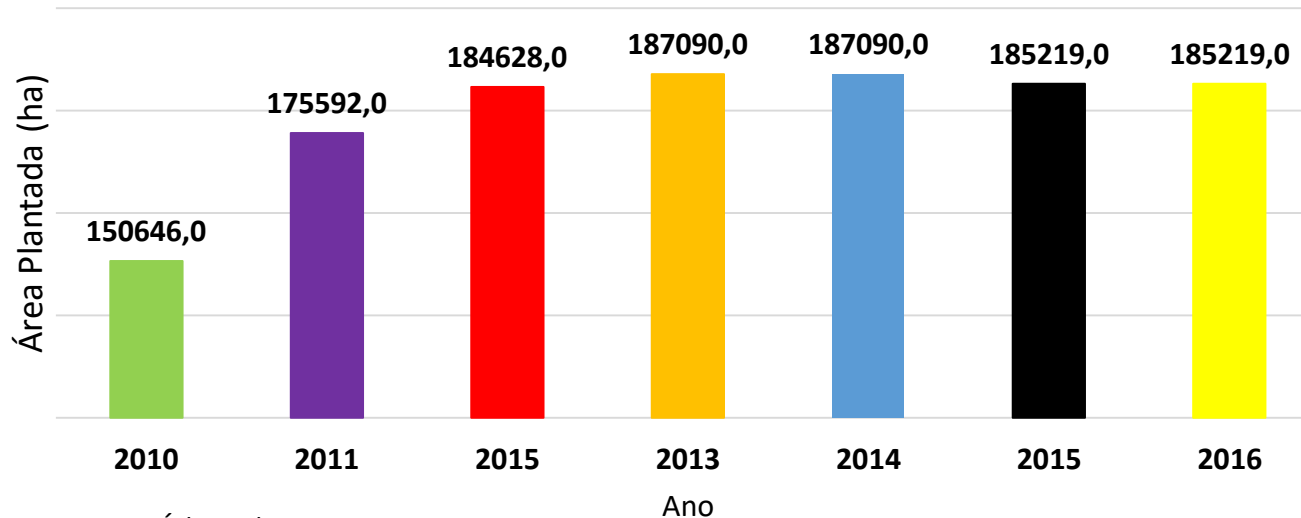
Plantas (UTE) com resíduos florestais



Localização das termelétricas movida a resíduo de florestas no Brasil.

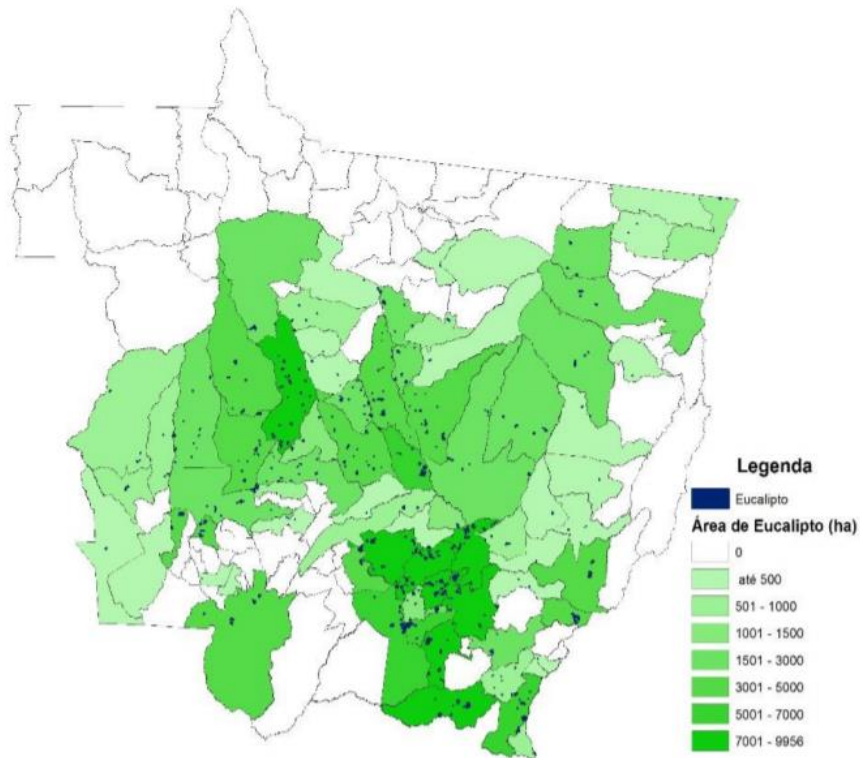
Fonte: Adaptado BIG ANEEL (2019)

- **Oferta** = *Eucalyptus* sp.



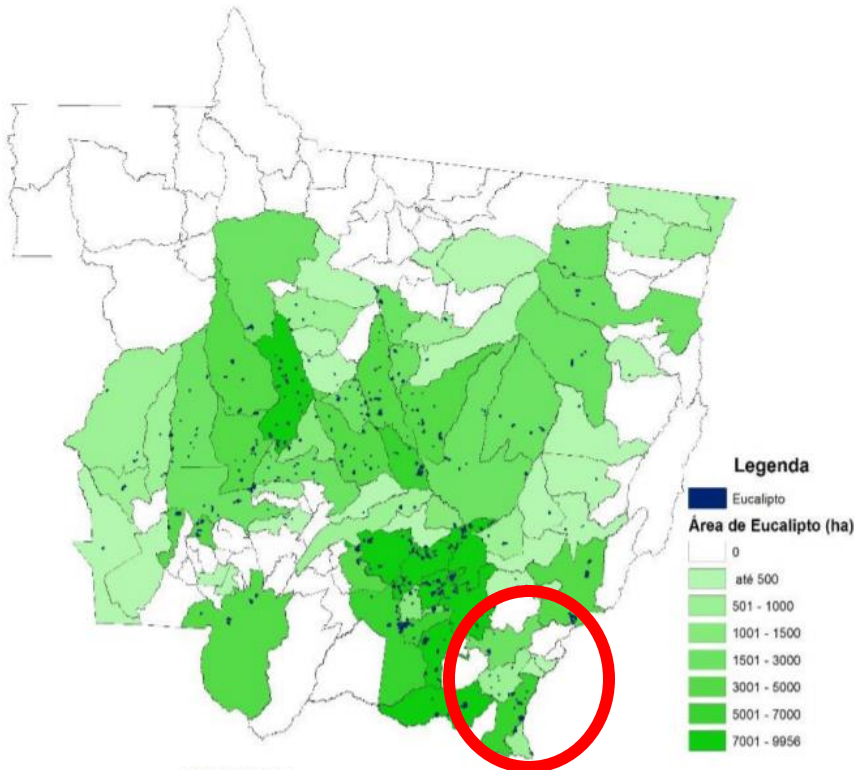
Fonte: IBÁ (2017)

- **Demanda** = Secagem de grãos
Usinas de Etanol de milho
Nova Unidade de Papel e Celulose



Fonte: Imea

Regiões	Área de Eucalipto 2015 (ha)	Demanda por Eucalipto (ha)	Balanço (ha)
Centro-Sul	28.227	12.055	16.172
Médio-Norte	35.383	53.330	-17.947
Nordeste	9.410	12.496	-3.086
Noroeste	6.401	5.651	750
Norte	203	3.674	-3.471
Oeste	16.608	11.169	5.439
Sudeste	79.947	56.681	23.266
MT	176.178	155.055	21.123

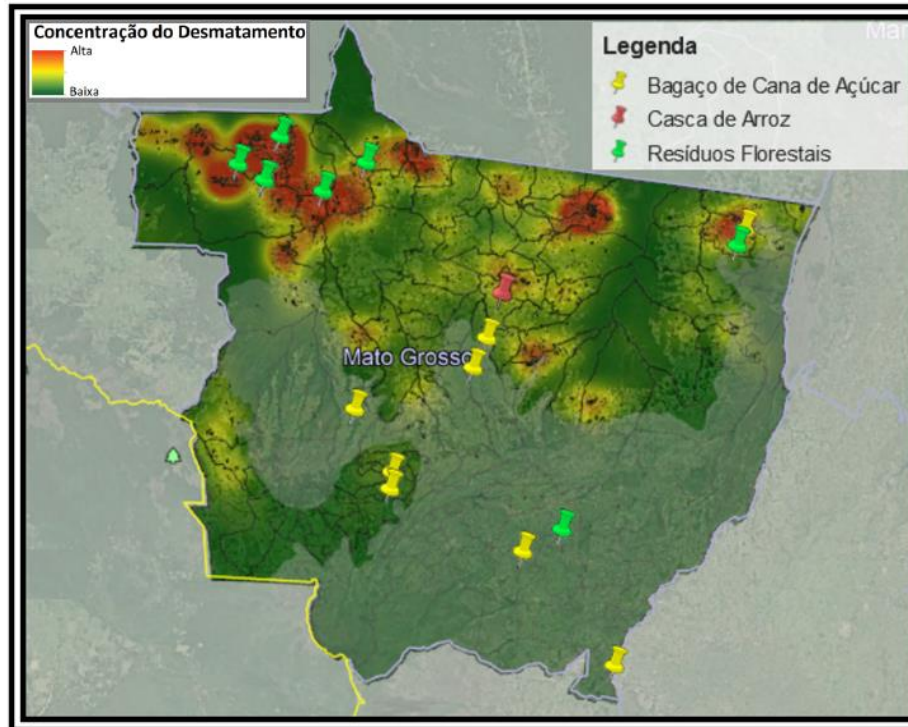


Fonte: Imea

Fábrica de papel e celulose = Alto Araguaia

Regiões	Área de Eucalipto 2015 (ha)	Demanda por Eucalipto (ha)	Balanço (ha)
Centro-Sul	28.227	12.055	16.172
Médio-Norte	35.383	53.330	-17.947
Nordeste	9.410	12.496	-3.086
Noroeste	6.401	5.651	750
Norte	203	3.674	-3.471
Oeste	16.608	11.169	5.439
Sudeste	79.947	56.681	23.266
MT	176.178	155.055	21.123

- **Oferta** = Manejo autorizado e não autorizado.



Termelétricas e concentração de desmatamento no MT.
Adaptado BIG ANEEL e Valdiones et al. (2017).

- **Demanda** = **Secagem de grãos**;
Usinas de etanol de milho.

Plantas (UTE) com resíduos da Indústria Moveleira



Resíduos de madeira serrada



Termelétricas a Biomassa

Indústria Moveleira – Ciclo a Vapor

(Estudo de Caso)

Quantidade total de resíduos por mês	11.000	m³/mês
Densidade	0,70	t/m³
Quantidade total de resíduos por mês	7.700	t/mês
Total de horas de operação por mês	720	h
Fator de operação	91,67%	
Total de resíduos	11,67	ton/h
PCI médio	2.865	kcal/kg

Fonte: CENBIO, 2001

Termelétricas a Biomassa

Indústria Moveleira

Resultados do Estudo de Caso

Tecnologia	Pot. inst.	Invest. total	Amort.	Valor da eletr.	Juros	TIR
	(MW)	(R\$)	(anos)	(R\$)	a.a.	
Cald. de 43 bar, turb. Cond.	4,70	6.110.000,00	10	90,00	13,00%	19,78%

Fonte: CENBIO, Junho de 2001.

Notas:

1. Adotado correção no preço de venda de 5% aa
2. Investimento: capital próprio 20%, financiamento 80%
3. Financiamento: 2 anos de carência, 10 anos total
4. Juros: 9,5 % aa (TJLP) + 1 % aa (spread básico) + 2,5 % aa (spread de risco)

PROJETO ENERMAD (2009) – AMAZÔNIA

(CNPq/MME, CENBIO/IEE/USP e Universidade Federal do Pará)

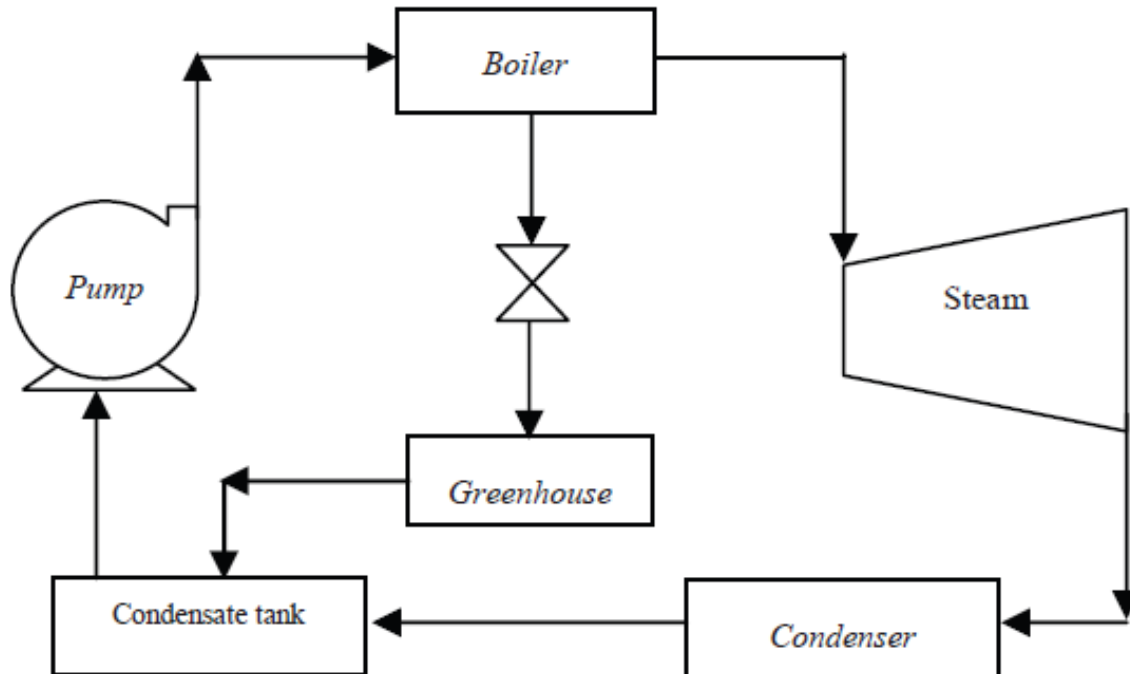
- Vila Porto Alegre do Curumu, Ilha do Marajó, Breves, Estado do Pará. Amazônia
- Localizado nas margens do rio Curumu, oito horas longe da cidade de Breves
- 80 famílias, aproximadamente 400 habitantes.



Município de Breves, Estado do Pará, Amazônia

ENERMAD PROJECT

Technology installed: Small scale Thermoelectric Power Plant (200 kW steam cycle)



Steam cycle with extraction at the boiler



1. Construction



2. Transportation of the equipment



3. Installation of the equipment



**4. Start-up
of the biomass-plant**

Uganda

- Caldeira com cavacos de eucalipto
- Fabrica de chá
- Uganda
- Africa Sub-saariana
- Projeto Cogen for Africa/Afrepren/Quênia



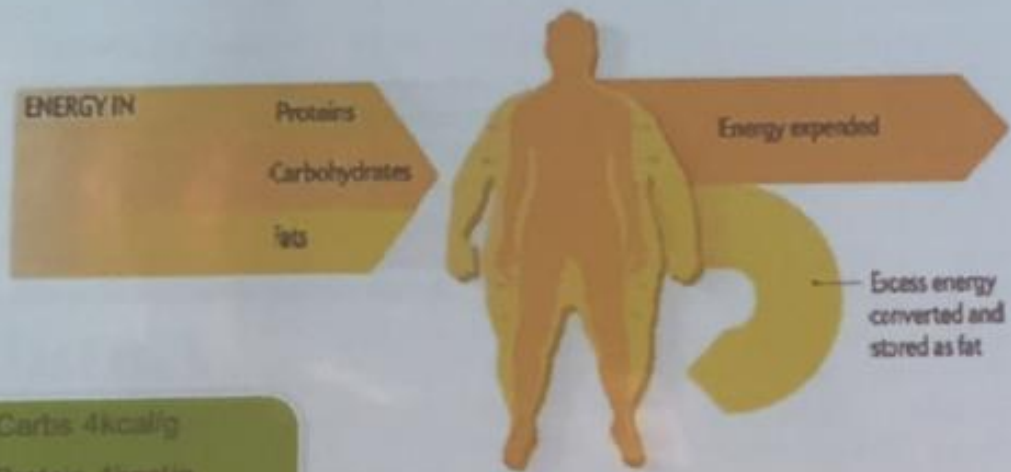
PROXIMA AULA

Exercícios de aplicação

Cogeração com biomassa –
estudo de caso – usina de
açúcar e álcool

First Law of Thermodynamics

Energy consumed has to be converted into a useful form (metabolised) excreted or stored



Carbs 4kcal/g
Protein 4kcal/g
Alcohol 7kcal/g
Fat 9kcal/g



TERMODINÂMICA

1a Lei da Termodinâmica

A aplicação da Lei da conservação de energia resulta na expressão conhecida como 1ª Lei da Termodinâmica:

$$\Delta E = Q - w$$

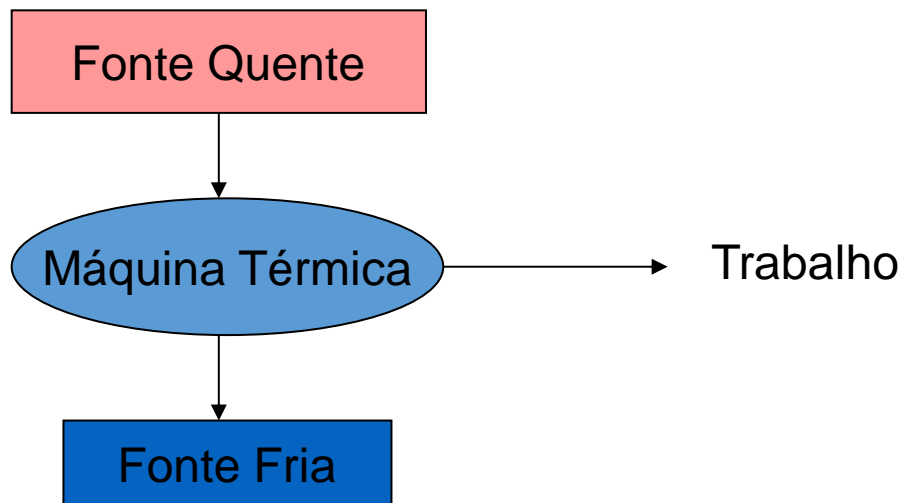
Varição de
energia

Calor cedido
AO sistema

Trabalho
realizado PELO
sistema

2a Lei da Termodinâmica

- A 2a Lei da Termodinâmica estabelece a direção da transferência de calor e limites para as eficiências resultantes dos processos de conversão de energia térmica em trabalho.



$$\eta = \frac{\tau}{Q_Q} = \frac{Q_Q - Q_F}{Q_Q} = 1 - \frac{Q_F}{Q_Q}$$

Balances de energia (sistemas abertos - escoamento em regime permanente – entalpia) – vazão em massa $m = 1 \text{ kg/s}$

$$q - w = h_s - h_e$$

h (entalpia) = u (energia interna) + Pv
(trabalho de escoamento do fluido)

CALDEIRA

$$q = h_s - h_e (+)$$

TURBINA

$$w = h_e - h_s (+)$$

CONDENSADOR

$$q = h_s - h_e (-)$$

BOMBA

$$w = h_e - h_s (-)$$

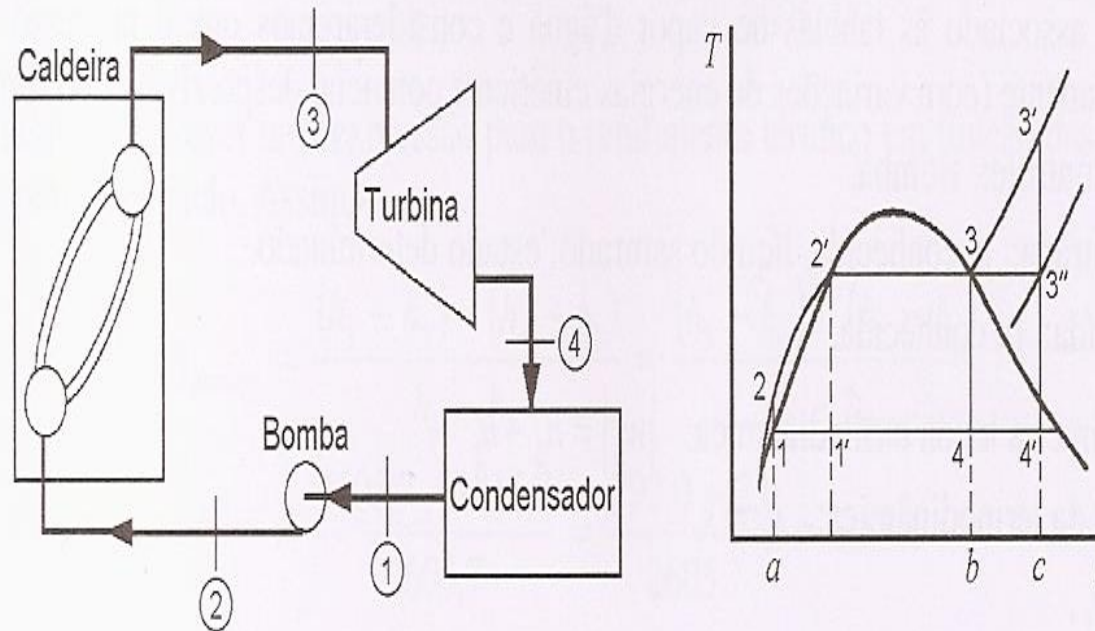


Figura 11.3 — Unidade motora simples a vapor que opera segundo um ciclo de Rankine.

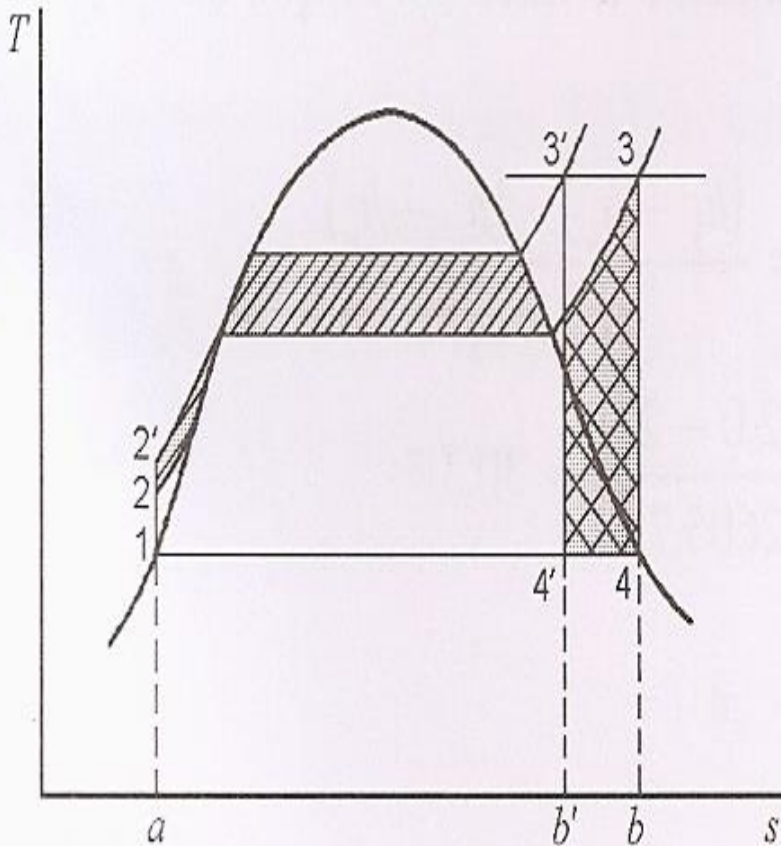
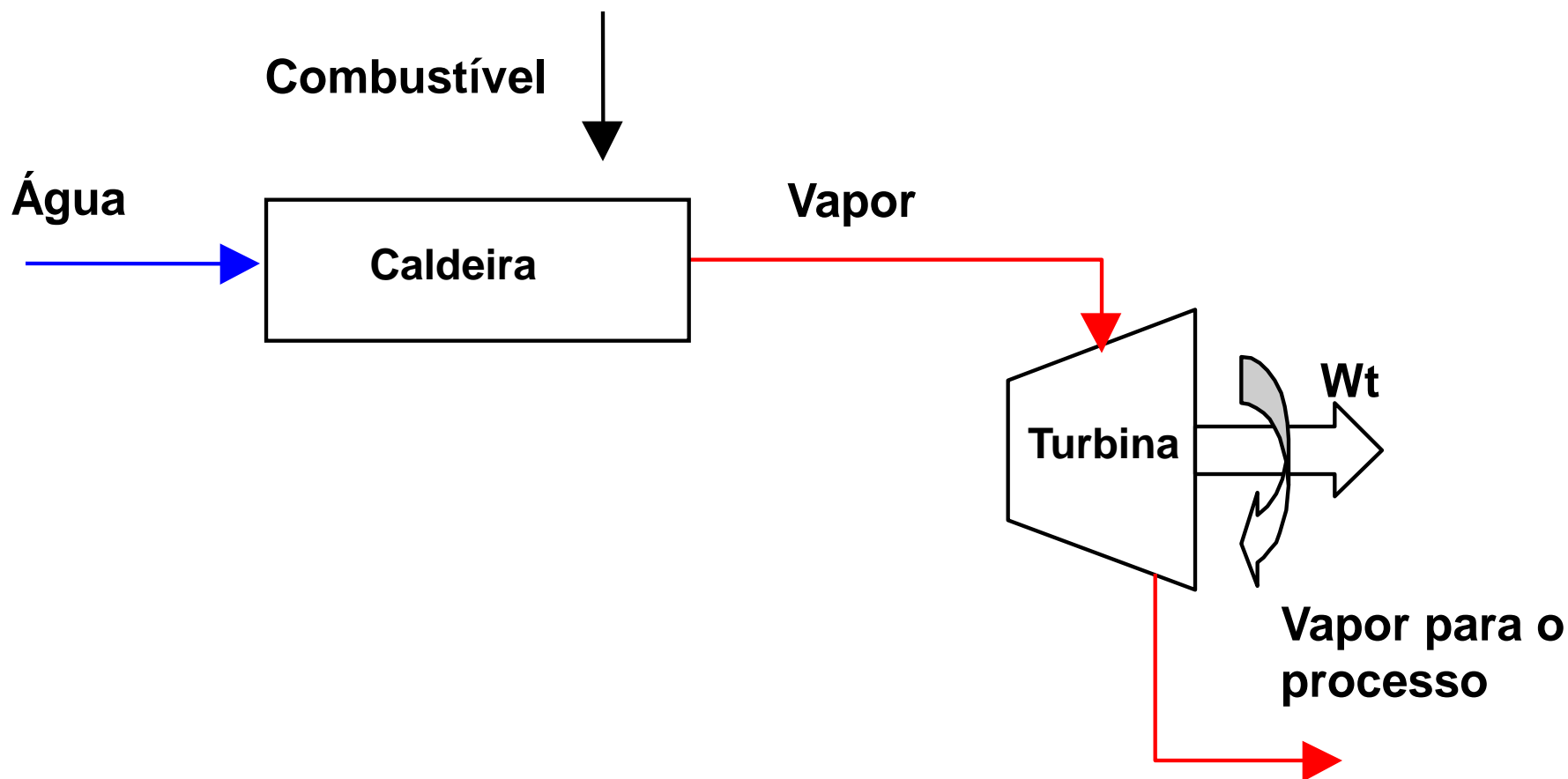


Figura 11.6 – Efeito da pressão na caldeira sobre o rendimento do ciclo de Rankine.

Sistema de Cogeração Tipo Topping



Setor Sucroalcooleiro

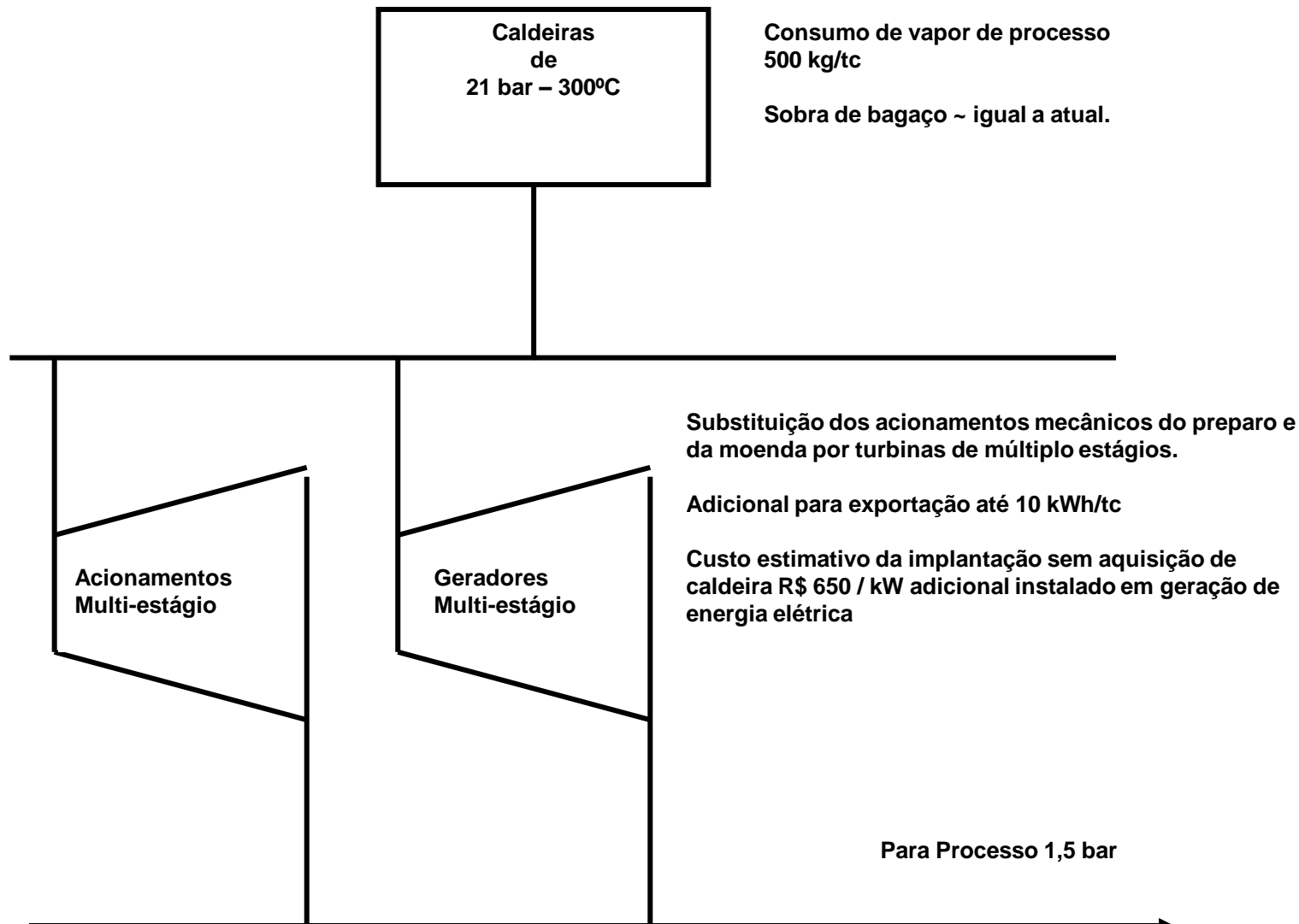


Tabela B.1.2 — Água saturada: tabela em função da pressão

Pressão kPa <i>p</i>	Temp. °C <i>T</i>	Volume específico m ³ /kg		Energia interna kJ/kg			Entalpia kJ/kg			Entropia kJ/kg K		
		Líquido sat. <i>v_l</i>	Vapor sat. <i>v_v</i>	Líquido sat. <i>u_l</i>	Evap. <i>u_{lv}</i>	Vapor sat. <i>u_v</i>	Líquido sat. <i>h_l</i>	Evap. <i>h_{lv}</i>	Vapor sat. <i>h_v</i>	Líquido sat. <i>s_l</i>	Evap. <i>s_{lv}</i>	Vapor sat. <i>s_v</i>
0,6113	0,01	0,001000	206,132	0,00	2375,3	2375,3	0,00	2501,3	2501,3	0,0000	9,1562	9,1562
1,0	6,98	0,001000	129,208	29,29	2355,7	2385,0	29,29	2484,9	2514,2	0,1059	8,8697	8,9756
1,5	13,03	0,001001	87,980	54,70	2338,6	2393,3	54,70	2470,6	2525,3	0,1956	8,6322	8,8278
2,0	17,50	0,001001	67,004	73,41	2326,0	2399,5	73,47	2460,0	2533,5	0,2607	8,4629	8,7236
2,5	21,08	0,001002	54,254	88,47	2315,9	2404,4	88,47	2451,6	2540,0	0,3120	8,3311	8,6431
3,0	24,08	0,001003	45,665	101,03	2307,5	2408,5	101,03	2444,5	2545,5	0,3545	8,2231	8,5775
4,0	28,96	0,001004	34,800	121,44	2293,7	2415,2	121,44	2432,9	2554,4	0,4226	8,0520	8,4746
5,0	32,88	0,001005	28,193	137,79	2282,7	2420,5	137,79	2423,7	2561,4	0,4763	7,9187	8,3950
7,5	40,29	0,001008	19,238	168,76	2261,7	2430,5	168,77	2406,0	2574,8	0,5763	7,6751	8,2514
10,0	45,81	0,001010	14,674	191,79	2246,1	2437,9	191,81	2392,8	2584,6	0,6492	7,5010	8,1501
15,0	53,97	0,001014	10,022	225,90	2222,8	2448,7	225,91	2373,1	2599,1	0,7548	7,2536	8,0084
20,0	60,06	0,001017	7,649	251,35	2205,4	2456,7	251,38	2358,3	2609,7	0,8319	7,0766	7,9085
25,0	64,97	0,001020	6,204	271,88	2191,2	2463,1	271,90	2346,3	2618,2	0,8930	6,9383	7,8313
30,0	69,10	0,001022	5,229	289,18	2179,2	2468,4	289,21	2336,1	2625,3	0,9439	6,8247	7,7686
40,0	75,87	0,001026	3,993	317,51	2159,5	2477,0	317,55	2319,2	2636,7	1,0258	6,6441	7,6700
50,0	81,33	0,001030	3,240	340,42	2143,4	2483,8	340,47	2305,4	2645,9	1,0910	6,5029	7,5939
75,0	91,77	0,001037	2,217	384,29	2112,4	2496,7	384,36	2278,6	2663,0	1,2129	6,2434	7,4563
MPa												
0,100	99,62	0,001043	1,6940	417,33	2088,7	2506,1	417,44	2258,0	2675,5	1,3025	6,0568	7,3593
0,125	105,99	0,001048	1,3749	444,16	2069,3	2513,5	444,30	2241,1	2685,3	1,3739	5,9104	7,2843
0,150	111,37	0,001053	1,1593	466,92	2052,7	2519,6	467,08	2226,5	2693,5	1,4335	5,7897	7,2232
0,175	116,06	0,001057	1,0036	486,78	2038,1	2524,9	486,97	2213,6	2700,5	1,4848	5,6868	7,1717
0,200	120,23	0,001061	0,8857	504,47	2025,0	2529,5	504,68	2202,0	2706,6	1,5300	5,5970	7,1271
0,225	124,00	0,001064	0,7933	520,45	2013,1	2533,6	520,69	2191,3	2712,0	1,5705	5,5173	7,0878
0,250	127,43	0,001067	0,7187	535,08	2002,1	2537,2	535,34	2181,5	2716,9	1,6072	5,4455	7,0526
0,275	130,60	0,001070	0,6573	548,57	1992,0	2540,5	548,87	2172,4	2721,3	1,6407	5,3801	7,0208
0,300	133,55	0,001073	0,6058	561,13	1982,4	2543,6	561,45	2163,9	2725,3	1,6717	5,3201	6,9918
0,325	136,30	0,001076	0,5620	572,88	1973,5	2546,3	573,23	2155,8	2729,0	1,7005	5,2646	6,9651
0,350	138,88	0,001079	0,5243	583,93	1965,0	2548,9	584,31	2148,1	2732,4	1,7274	5,2130	6,9404
0,375	141,32	0,001081	0,4914	594,38	1956,9	2551,3	594,79	2140,8	2735,6	1,7527	5,1647	6,9174
0,40	143,63	0,001084	0,4625	604,29	1949,3	2553,6	604,73	2133,8	2738,5	1,7766	5,1193	6,8958
0,45	147,93	0,001088	0,4140	622,75	1934,9	2557,6	623,24	2120,7	2743,9	1,8206	5,0359	6,8565
0,50	151,86	0,001093	0,3749	639,66	1921,6	2561,2	640,21	2108,5	2748,7	1,8606	4,9606	6,8212
0,55	155,48	0,001097	0,3427	655,30	1909,2	2564,5	655,91	2097,0	2752,9	1,8972	4,8920	6,7892
0,60	158,85	0,001101	0,3157	669,88	1897,5	2567,4	670,54	2086,3	2756,8	1,9311	4,8289	6,7600
0,65	162,01	0,001104	0,2927	683,55	1886,5	2570,1	684,26	2076,0	2760,3	1,9627	4,7704	6,7330
0,70	164,97	0,001108	0,2729	696,43	1876,1	2572,5	697,20	2066,3	2763,5	1,9922	4,7158	6,7080
0,75	167,77	0,001111	0,2556	708,62	1866,1	2574,7	709,45	2057,0	2766,4	2,0199	4,6647	6,6846
0,80	170,43	0,001115	0,2404	720,20	1856,6	2576,8	721,10	2048,0	2769,1	2,0461	4,6166	6,6627
0,85	172,96	0,001118	0,2270	731,25	1847,4	2578,7	732,20	2039,4	2771,6	2,0709	4,5711	6,6421
0,90	175,38	0,001121	0,2150	741,81	1838,7	2580,5	742,82	2031,1	2773,9	2,0946	4,5280	6,6225
0,95	177,69	0,001124	0,2042	751,94	1830,2	2582,1	753,00	2023,1	2776,1	2,1171	4,4869	6,6040
1,00	179,91	0,001127	0,19444	761,67	1822,0	2583,6	762,79	2015,3	2778,1	2,1386	4,4478	6,5864

Tabela B.1.3 (Continuação) — Vapor d'água superaquecido

T	$p = 500 \text{ kPa (151,86)}$				$p = 600 \text{ kPa (158,85)}$				$p = 800 \text{ kPa (170,43)}$			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
1100	1,26718	4256,3	4889,9	9,4224	1,05594	4256,1	4889,6	9,3381	0,79188	4255,6	4889,1	9,2049
1200	1,35964	4466,8	5146,6	9,6028	1,13302	4466,5	5146,3	9,5185	0,84974	4466,1	5145,8	9,3854
1300	1,45210	4682,5	5408,6	9,7749	1,21009	4682,3	5408,3	9,6906	0,90758	4681,8	5407,9	9,5575
	$p = 1,00 \text{ MPa (179,91)}$				$p = 1,20 \text{ MPa (187,99)}$				$p = 1,40 \text{ MPa (195,07)}$			
Sat.	0,19444	2583,6	2778,1	6,5864	0,16333	2588,8	2784,8	6,5233	0,14084	2592,8	2790,0	6,4692
200	0,20596	2621,9	2827,9	6,6939	0,16930	2612,7	2815,9	6,5898	0,14302	2603,1	2803,3	6,4975
250	0,23268	2709,9	2942,6	6,9246	0,19235	2704,2	2935,0	6,8293	0,16350	2698,3	2927,2	6,7467
300	0,25794	2793,2	3051,2	7,1228	0,21382	2789,2	3045,8	7,0316	0,18228	2785,2	3040,4	6,9533
350	0,28247	2875,2	3157,7	7,3010	0,23452	2872,2	3153,6	7,2120	0,20026	2869,1	3149,5	7,1359
400	0,30659	2957,3	3263,9	7,4650	0,25480	2954,9	3260,7	7,3773	0,21780	2952,5	3257,4	7,3025
500	0,35411	3124,3	3478,4	7,7621	0,29463	3122,7	3476,3	7,6758	0,25215	3121,1	3474,1	7,6026
600	0,40109	3296,8	3697,9	8,0289	0,33393	3295,6	3696,3	7,9434	0,28596	3294,4	3694,8	7,8710
700	0,44779	3475,4	3923,1	8,2731	0,37294	3474,5	3922,0	8,1881	0,31947	3473,6	3920,9	8,1160
800	0,49432	3660,5	4154,8	8,4996	0,41177	3659,8	4153,9	8,4149	0,35281	3659,1	4153,0	8,3431
900	0,54075	3852,2	4392,9	8,7118	0,45051	3851,6	4392,2	8,6272	0,38606	3851,0	4391,5	8,5555
1000	0,58712	4050,5	4637,6	8,9119	0,48919	4050,0	4637,0	8,8274	0,41924	4049,5	4636,4	8,7558
1100	0,63345	4255,1	4888,5	9,1016	0,52783	4254,6	4888,0	9,0171	0,45239	4254,1	4887,5	8,9456
1200	0,67977	4465,6	5145,4	9,2821	0,56646	4465,1	5144,9	9,1977	0,48552	4464,6	5144,4	9,1262
1300	0,72608	4681,3	5407,4	9,4542	0,60507	4680,9	5406,9	9,3698	0,51864	4680,4	5406,5	9,2983
	$p = 1,60 \text{ MPa (201,40)}$				$p = 1,80 \text{ MPa (207,15)}$				$p = 2,00 \text{ MPa (212,42)}$			
Sat.	0,12380	2595,9	2794,0	6,4217	0,11042	2598,4	2797,1	6,3793	0,09963	2600,3	2799,5	6,3408
225	0,13287	2644,6	2857,2	6,5518	0,11673	2636,6	2846,7	6,4807	0,10377	2628,3	2835,8	6,4146
250	0,14184	2692,3	2919,2	6,6732	0,12497	2686,0	2911,0	6,6066	0,11144	2679,6	2902,5	6,5452
300	0,15862	2781,0	3034,8	6,8844	0,14021	2776,8	3029,2	6,8226	0,12547	2772,6	3023,5	6,7663
350	0,17456	2866,0	3145,4	7,0693	0,15457	2862,9	3141,2	7,0099	0,13857	2859,8	3137,0	6,9562
400	0,19005	2950,1	3254,2	7,2373	0,16847	2947,7	3250,9	7,1793	0,15120	2945,2	3247,6	7,1270
500	0,22029	3119,5	3471,9	7,5389	0,19550	3117,8	3469,7	7,4824	0,17568	3116,2	3467,6	7,4316
600	0,24998	3293,3	3693,2	7,8080	0,22199	3292,1	3691,7	7,7523	0,19960	3290,9	3690,1	7,7023
700	0,27937	3472,7	3919,7	8,0535	0,24818	3471,9	3918,6	7,9983	0,22323	3471,0	3917,5	7,9487
800	0,30859	3658,4	4152,1	8,2808	0,27420	3657,7	4151,3	8,2258	0,24668	3657,0	4150,4	8,1766
900	0,33772	3850,5	4390,8	8,4934	0,30012	3849,9	4390,1	8,4386	0,27004	3849,3	4389,4	8,3895
1000	0,36678	4049,0	4635,8	8,6938	0,32598	4048,4	4635,2	8,6390	0,29333	4047,9	4634,6	8,5900
1100	0,39581	4253,7	4887,0	8,8837	0,35180	4253,2	4886,4	8,8290	0,31659	4252,7	4885,9	8,7800
1200	0,42482	4464,2	5143,9	9,0642	0,37761	4463,7	5143,4	9,0096	0,33984	4463,2	5142,9	8,9606
1300	0,45382	4679,9	5406,0	9,2364	0,40340	4679,4	5405,6	9,1817	0,36306	4679,0	5405,1	9,1328
	$p = 2,50 \text{ MPa (223,99)}$				$p = 3,00 \text{ MPa (233,90)}$				$p = 3,50 \text{ MPa (242,60)}$			
Sat.	0,07998	2603,1	2803,1	6,2574	0,06668	2604,1	2804,1	6,1869	0,05707	2603,7	2803,4	6,1252
225	0,08027	2605,6	2806,3	6,2638	—	—	—	—	—	—	—	—
250	0,08700	2662,5	2880,1	6,4084	0,07058	2644,0	2855,8	6,2871	0,05873	2623,7	2829,2	6,1748
300	0,09890	2761,6	3008,8	6,6437	0,08114	2750,0	2993,5	6,5389	0,06842	2738,0	2977,5	6,4460
350	0,10976	2851,8	3126,2	6,8402	0,09053	2843,7	3115,3	6,7427	0,07678	2835,3	3104,0	6,6578
400	0,12010	2939,0	3239,3	7,0147	0,09936	2932,7	3230,8	6,9211	0,08453	2926,4	3222,2	6,8404
450	0,13014	3025,4	3350,8	7,1745	0,10787	3020,4	3344,0	7,0833	0,09196	3015,3	3337,2	7,0051
500	0,13998	3112,1	3462,0	7,3233	0,11619	3107,9	3456,5	7,2337	0,09918	3103,7	3450,9	7,1571
600	0,15930	3288,0	3686,2	7,5960	0,13243	3285,0	3682,3	7,5084	0,11324	3282,1	3678,4	7,4338

EXERCÍCIOS

- (1) CONSIDERANDO AS CONFIGURAÇÕES APRESENTADAS, CALCULAR O RENDIMENTO MÁXIMO POSSÍVEL DE CADA UMA ($1 - T_F/T_Q$), ONDE T_F É A TEMP DA FONTE FRIA (VAPOR DE SAÍDA DA TURBINA) E T_Q É A TEMP DA FONTE QUENTE (VAPOR DA CALDEIRA)
- TEMPERATURA ABSOLUTA (K)
- (2) PARA CADA CONFIGURAÇÃO E CONSIDERANDO UMA USINA MOENDO 1000 TONELADAS DE CANA POR HORA, CALCULAR O POTENCIAL EXCEDENTE DE ELETRICIDADE (MW)
- (3) Na configuração de caldeira a 21 bar, e considerando uma usina com moagem de 300 toneladas de cana por hora (tc/h), calcular a potência disponível para venda de excedentes. Adotar consumo específico de energia mecânica nas moendas (acionamento multi-estágio) igual a 20 kWh/tc e consumo específico de eletricidade 22 kWh/tc.