

Universidade de São Paulo – USP

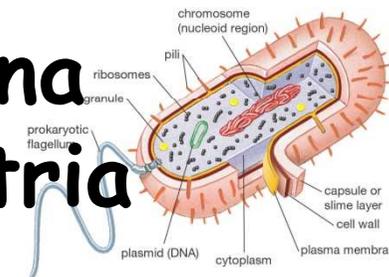


Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq

Departamento de Fitopatologia e Nematologia - LFN

MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL

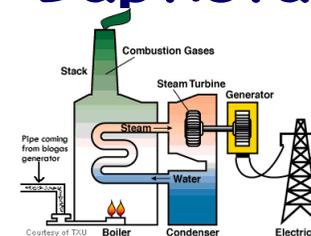
Aplicação de microbiologia na
gestão de resíduos da indústria
sucroenergética



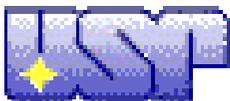
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



Prof. Antonio Sampaio Baptista



Courtesy of TXU



MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL: INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA



O SETOR SUCROENERGÉTICO HOJE

Base1

- ✓ **Estrutura produtiva:** 430 unidades produtoras
- ✓ **Produtores de cana-de-açúcar:** 70.000
- ✓ **Empregos diretos:** 1,2 milhão
- ✓ **PIB setorial:** US\$ 48 bilhões
- ✓ **Exportações:** US\$ 15 bilhões
- ✓ **% Matriz Energética:** 18% (2° fonte)

1º PRODUTOR MUNDIAL DE AÇÚCAR

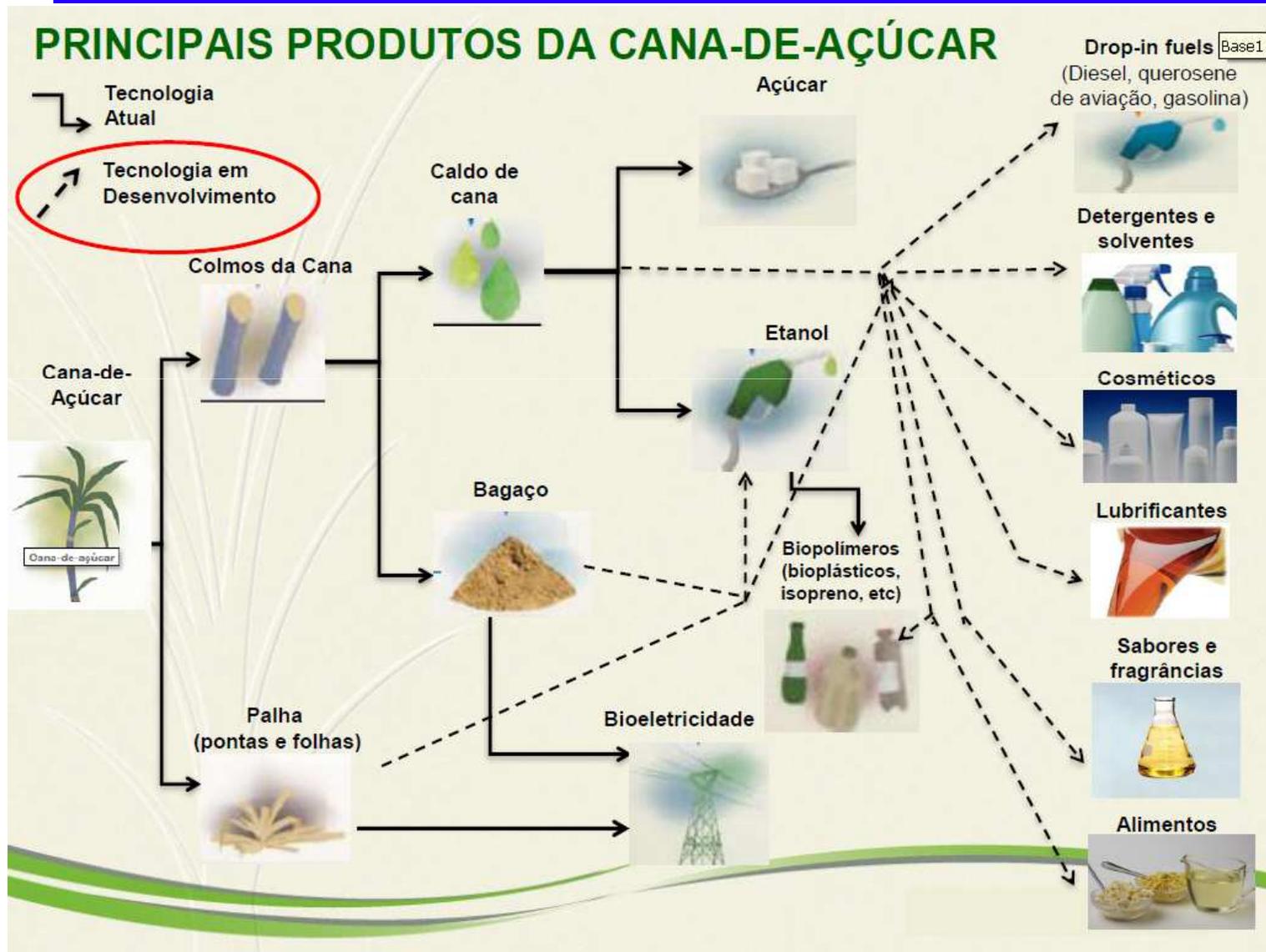
- ✓ 25% Produção mundial
- ✓ 50% Exportações mundiais

2º PRODUTOR MUNDIAL DE ETANOL

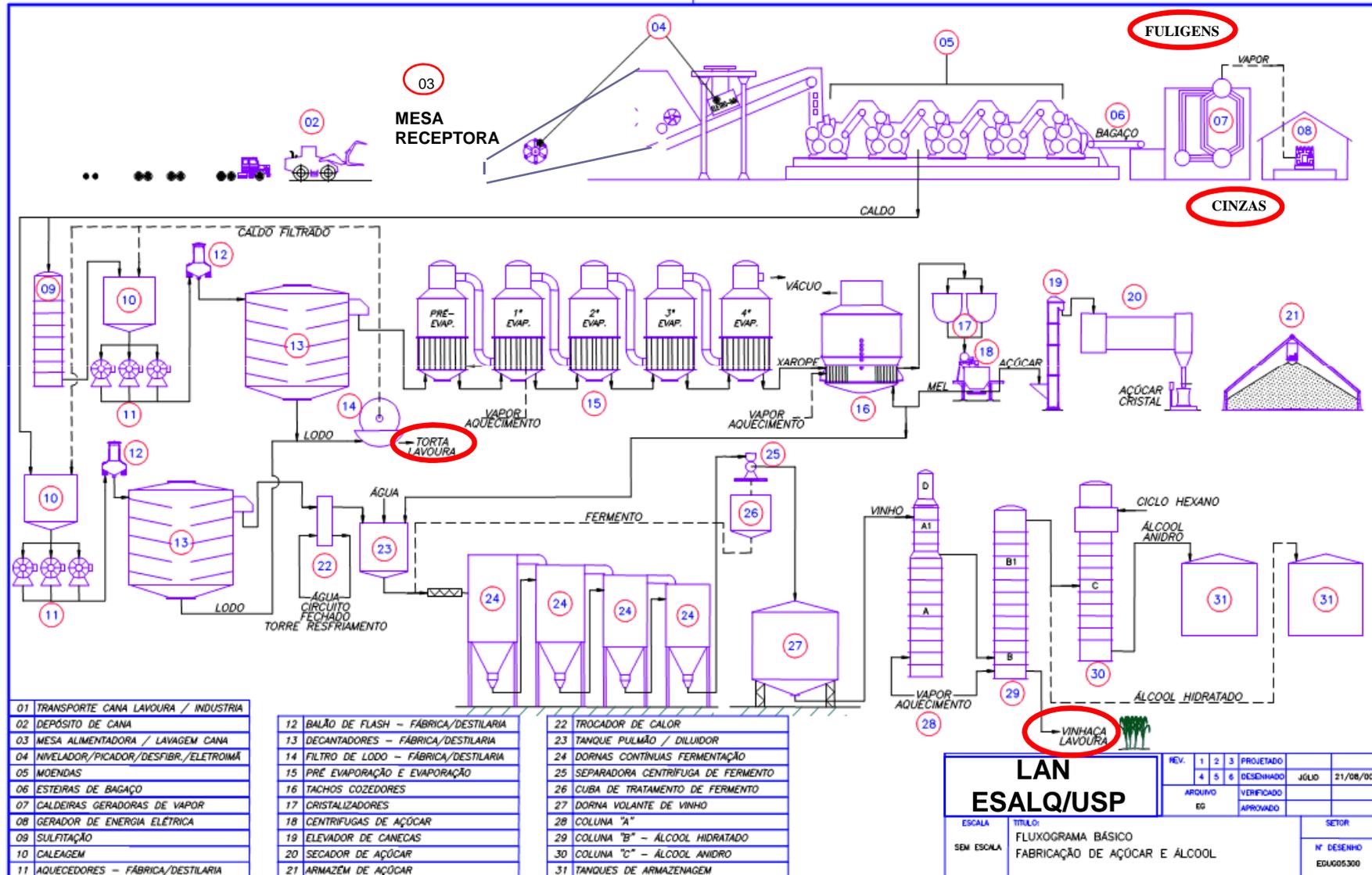
- ✓ 20% Produção mundial
- ✓ 20% Exportações mundiais



UNICA



1 Fluxograma da indústria sucroalcooleira



01	TRANSPORTE CANA LAVOURA / INDUSTRIA
02	DEPOSITO DE CANA
03	MESA ALIMENTADORA / LAVAGEM CANA
04	NIVELADOR/PICADOR/DESFIBR./ELETRÓIMÁ
05	MOENDAS
06	ESTEIRAS DE BAGAÇO
07	CALDEIRAS GERADORAS DE VAPOR
08	GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA
09	SULFITAÇÃO
10	CALEAGEM
11	AQUECEDORES - FÁBRICA/DESTILARIA

12	BALÃO DE FLASH - FÁBRICA/DESTILARIA
13	DECANTADORES - FÁBRICA/DESTILARIA
14	FILTRO DE LODO - FÁBRICA/DESTILARIA
15	PRÉ EVAPORAÇÃO E EVAPORAÇÃO
16	TACHOS COZEDORES
17	CRISTALIZADORES
18	CENTRIFUGAS DE AÇÚCAR
19	ELEVADOR DE CANECAS
20	SECADOR DE AÇÚCAR
21	ARMAZÉM DE AÇÚCAR

22	TROCADOR DE CALOR
23	TANQUE PULMÃO / DILUIDOR
24	DORNAS CONTÍNUAS FERMENTAÇÃO
25	SEPARADORA CENTRÍFUGA DE FERMENTO
26	CUBA DE TRATAMENTO DE FERMENTO
27	DORNA VOLANTE DE VINHO
28	COLUNA "A"
29	COLUNA "B" - ALCÓOL HIDRATADO
30	COLUNA "C" - ALCÓOL ANDRO
31	TANQUES DE ARMAZENAGEM

LAN		REV. 1	2	3	PROJETADO	
		4	5	6	DESENHADO	JGLD
ESALQ/USP		ARQUIVO		VERIFICADO		
		EG		APROVADO		
ESCALA	TÍTULO:	SETOR				
SEM ESCALA	FLUXOGRAMA BÁSICO	Nº DESENHO				
	FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR E ALCÓOL	EDU005300				

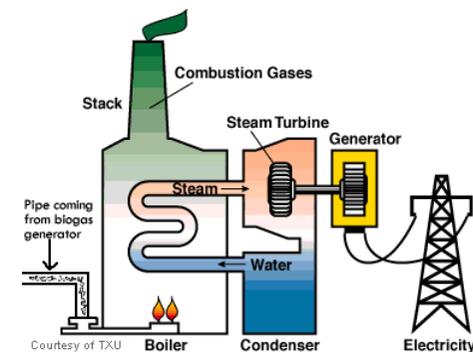
FORMATO:A4

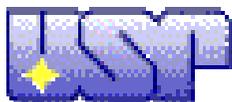


MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL: INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA



- Vinhaça: Resíduo gerado na produção de etanol;
- Para cada 1 litro de etanol produzido são gerados 10 a 14 litros de vinhaça;
- 1 m³ de vinhaça : 0,0053 TEP ou 110 KWh;
- A vinhaça apresenta um alto poder poluente : elevada DBO, DQO e teor de minerais dissolvidos;





MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL: INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA

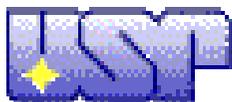


CARACTERIZAÇÃO DA VINHAÇA

Caracterização da vinhaça:	Unidade	Mínimo	Média	Máximo
pH	---	3,50	4,15	4,90
Temperatura	°C	65	89	111
Demanda Bioquím. Oxig. (DBO ₅)	mg/l	6680	16950	75330
Demanda Química Oxig. (DQO)	mg/l	9200	28450	97400
Sólidos Totais (ST)	mg/l	10780	25155	38680
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/l	260	3967	9500
Sólidos Suspensos Fixos (SSF)	mg/l	40	294	1500
Sólidos Susp. Voláteis (SSV)	mg/l	40	3632	9070
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg/l	1509	18420	33680
Sólidos Dissol. Voláteis (SDV)	mg/l	588	6580	15000
Sólidos Dissolvidos Fixos (SDF)	mg/l	921	11872	24020
Resíduos Sedimentáveis (RS) 1h	mg/l	0,20	2,29	20,00

Fonte: Elias Neto & Nakahodo (1995).





MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL: INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA



CARACTERIZAÇÃO DA VINHAÇA

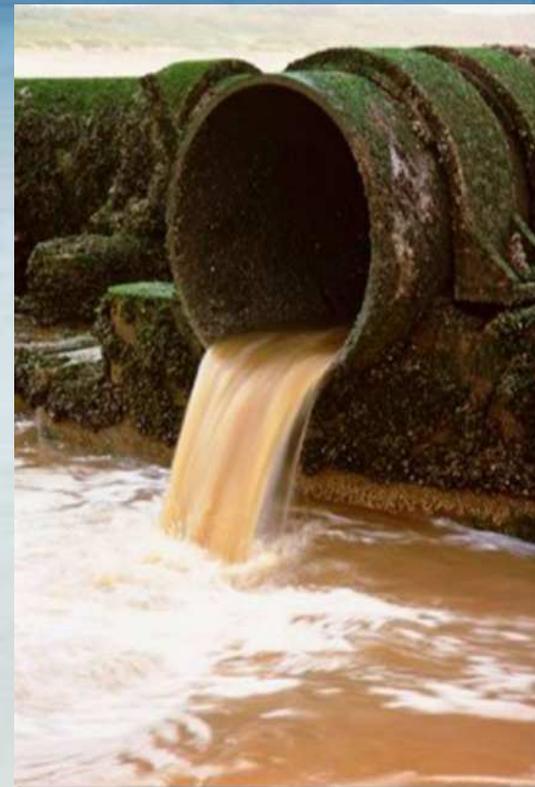
Caracterização da vinhaça:	Unidade	Mínimo	Média	Máximo
Nitrogênio	mg/l	90	357	885
Nitrogênio amoniacal	mg/l	1	11	65
Fósforo Total	mg/l	18	60	188
Potássio Total	mg/l	814	2.035	3852
Cálcio	mg/l	71	515	1096
Magnésio	mg/l	97	226	456
Manganês	mg/l	1	5	12
Ferro	mg/l	2	25	200
Sódio	mg/l	8	52	220
Cloreto	mg/l	480	1219	2300
Sulfato	mg/l	790	1538	2800
Sulfito	mg/l	5	36	153
Etanol - CG	% v/v	0,01	0,09	1,19
Levedura	% v/v	0,38	1,35	5,00
Glicerol	% v/v	0,26	0,59	2,5

Fonte: Elias Neto & Nakahodo (1995).



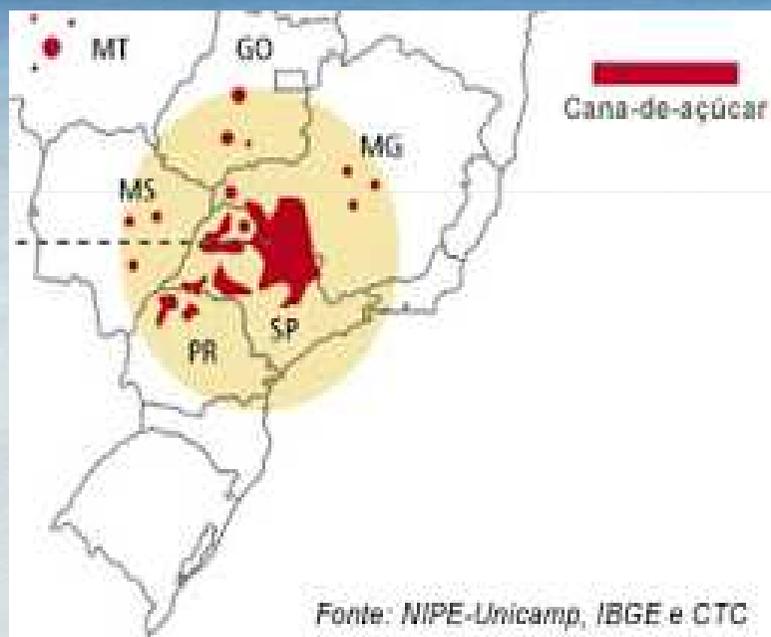


MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL: INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA



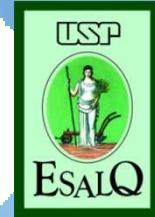


MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL : INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA





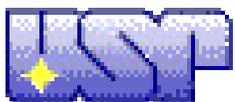
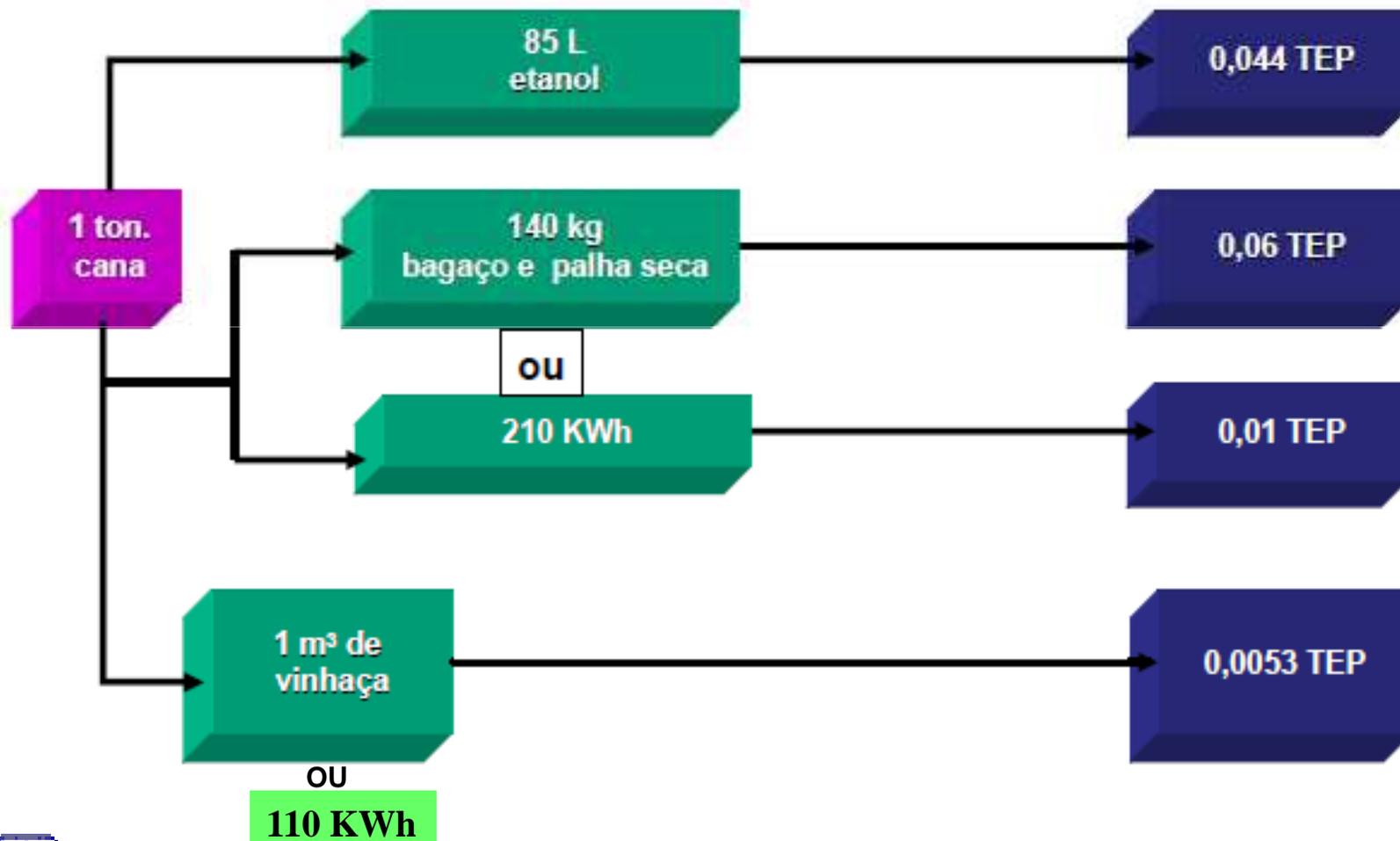
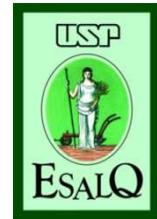
MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL: INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA



- **Demanda por combustíveis renováveis** → **eleva produção vinhaça;**
- ✓ Norma CETESB 4.231 → **novas tecnologias para gestão da vinhaça;**
- **Tendência do setor** → **bioeletricidade e recuperação da água;**
- **Digestão anaeróbia** → **redução do potencial poluente da vinhaça e geração de energia elétrica;**



PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA VINHAÇA



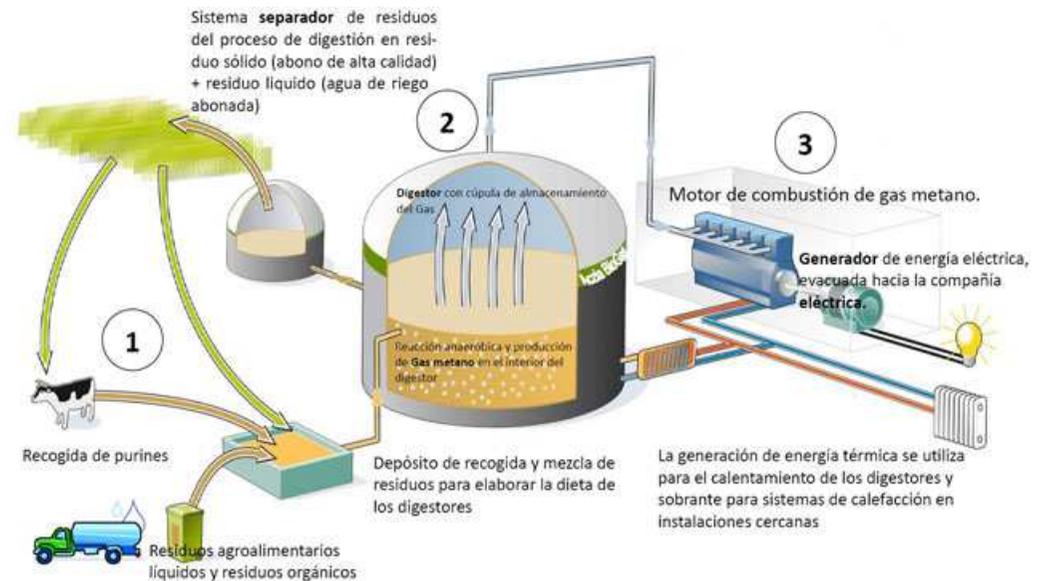
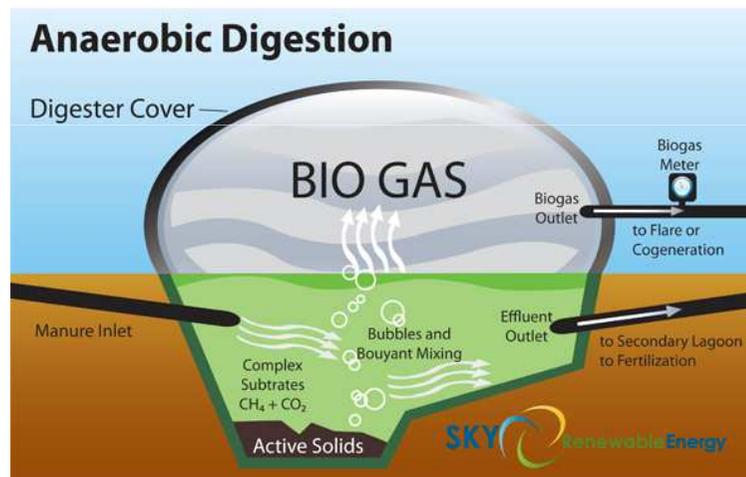
Fonte: IPT/CTC, 2006

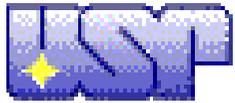


MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL: INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA



Produção de biogás a partir de vinhaça



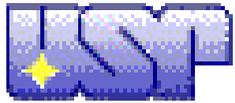


MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL: INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA



Produção de biogás a partir de vinhaça





MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL: INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA



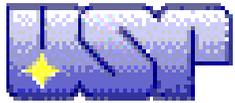
Produção de biogás a partir de vinhaça



Figura 8: Reator UASB São Martinho
Fonte: TreeBio, 2016.



Figura 8: Reator UASB
utilizado para pesquisa
Fonte: Esalq/USP, 2016.



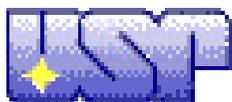
MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL: INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA



Produção de biogás a partir de vinhaça

A produção de metano (CH_4) a partir da vinhaça pode ser um processo viável para a digestão dos compostos orgânicos e possível conversão em energia térmica e elétrica.

- ✓ **Processo fermentativo anaeróbio;**
- ✓ Quatro fases distintas, em que cada fase atua um grupo de agentes microbiológicos (AQUINO & CHERNICHARO, 2005).



Etapas da produção de biogás



Figura 8: Fases metabólicas envolvidas na digestão anaeróbia



Principais grupos de microrganismos envolvidos na produção de biogás



Grupos de microrganismos

Microrganismos : Bactérias

Fase 1: hidrolíticas fermentativas

Fase 2: acidogênicas

Fase 3: acetogênicas

Microrganismos: Arqueas:

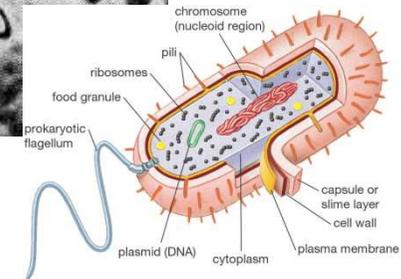
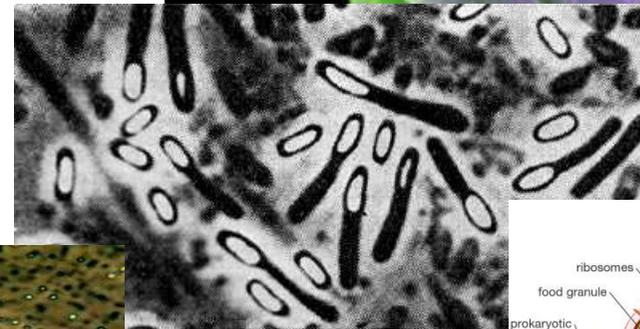
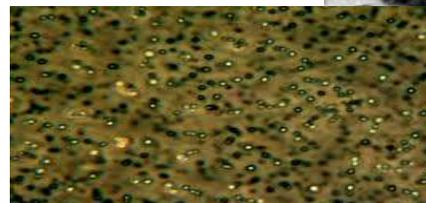
Fase 4: Arqueas metanogênicas utilizadoras de hidrogênio

Fase 4 Arqueas metanogênicas acetoclásticas (acetato)

Principais grupos de microrganismos envolvidos na produção de biogás

Alguns dos microrganismos responsáveis pela formação do metano

- ✓ *Methanobacillus omelianskii*
- ✓ *Methanococcus vannielli*
- ✓ *Methanosarcina barkeri*
- ✓ *Methanobacterium formicium*
- ✓ *Archea metanogens*



Principal tipo de reator envolvido na produção de biogás

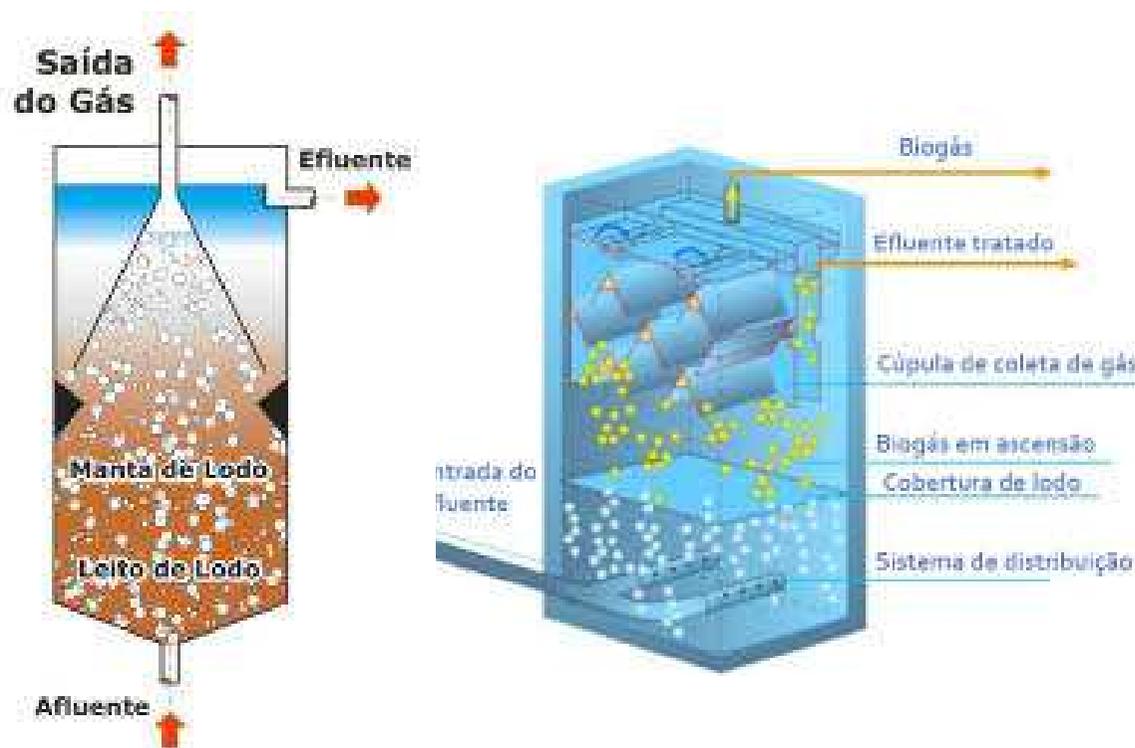


Figura 2 - Ilustrações de biorreator tipo UASB (Up-flow anaerobic sludge blanket"/Reator de manta de lodo de fluxo ascendente



Principais grupos de microrganismos envolvidos na produção de biogás



-
- **Principais condições operacionais de biorreatores tipo UASB para produção de biogás**
 - ✓ **Temperatura da biodigestão: 15 a 60 °C (36 - 40 °C);**
 - ✓ **pH do substrato: 6,8 a 7,2;**
 - ✓ **Carga orgânica alimentada no biorreator: 0,4 a 60 g DQO L⁻¹;**
 - ✓ **Tempo de adaptação do consórcio microbiano: 1 a 6 meses;**
 - ✓ **Tempo de residência hidráulica do substrato: 6 a 48 h;**

Principal tipo de reator envolvido na produção de biogás

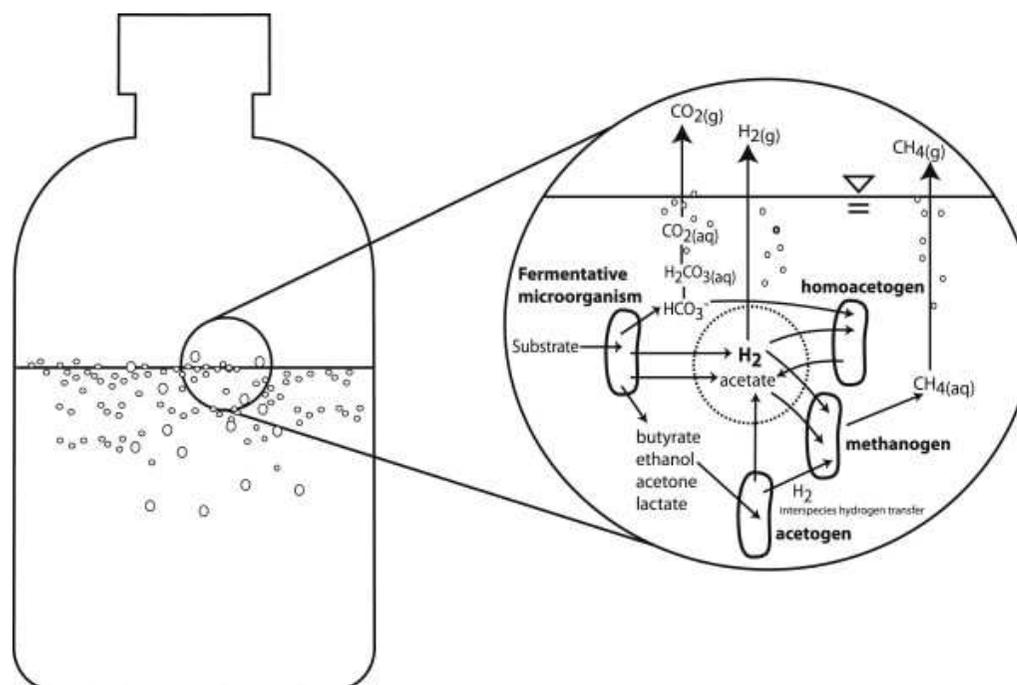
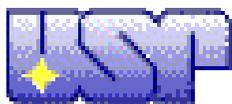


Figura 3- Ilustrações de reações que ocorrem um biorreator



Principais grupos de microrganismos envolvidos na produção de biogás

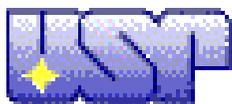


Tabela 1 - Composição média do biogás

Descrição	Fórmula	Concentração
Metano	CH ₄	50 - 75 Vol.-%
Gás Carbônico	CO ₂	25 - 45 Vol.-%
Vapor de Água	H ₂ O	2 - 7 Vol.-%
Oxigênio	O ₂	< 2 Vol.-%
Nitrogênio	N ₂	< 2 Vol.-%
Amoníaco	NH ₃	< 1 Vol.-%
Gás de hidrogênio	H ₂	< 1 Vol.-%
Sulfeto de hidrogênio	H ₂ S	20 - 20.000 ppm

Poder calorífico inferior do biogás – 5.000 a 7.000 kcal/m³

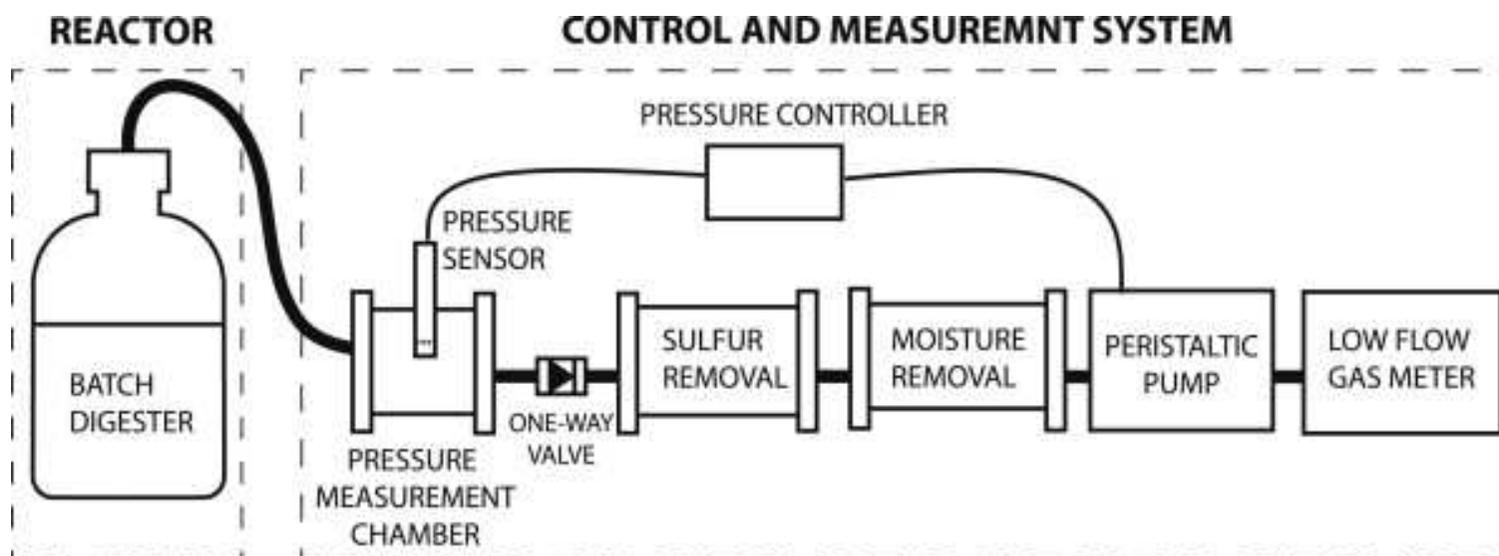
Poder calorífico inferior do biometano – 11.595 kcal/m³



Principais grupos de microrganismos envolvidos na produção de biogás

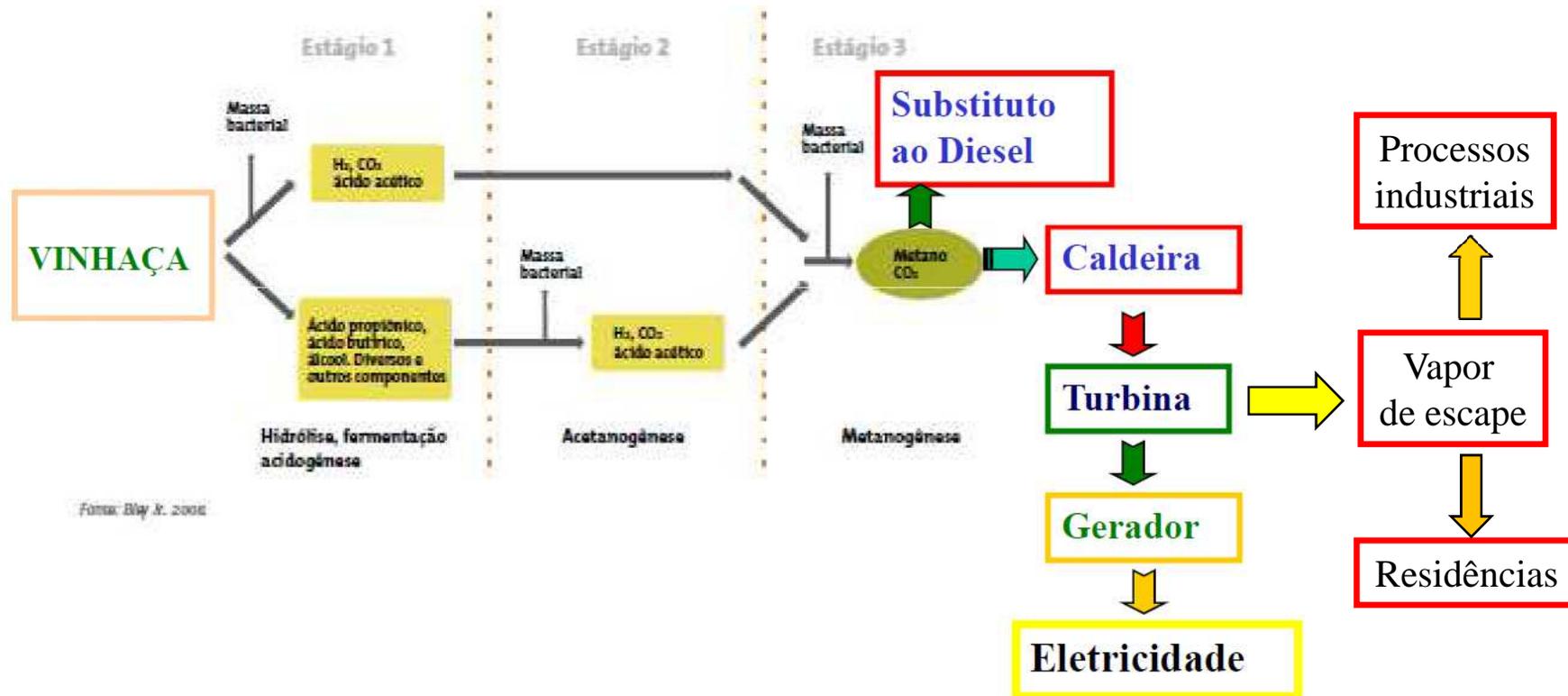


Esquema de produção e purificação do biogás





MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL: INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA





Microbiologia industrial: *transformando resíduos em soluções*



Exemplo para estudo de caso

Parâmetro	Ensaio 1	Ensaio 2
pH final	7,1	7,0
DQO reduzida (%)	81,0	80,1
DQO inicial:	30 g L ⁻¹	41,2 g L ⁻¹
CH4 por litro de vinhaça (L)	4,7	8,1
CH4 por grama de DQO reduzida (L)	0,19	0,25



Microbiologia industrial: transformando resíduos em soluções



Estudo de caso

Unidade que produz 500 m³ de etanol por dia

Produção de vinhaça: 6000 m³/dia

Produção de metano: 48600 m³/dia

Produção de eletricidade: 14,18 MWh

Produção excedente de água: 1625 m³/dia

Produção de cinzas e fuligem: 100 t/dia





Microbiologia industrial: transformando resíduos em soluções



Estudo de caso

Unidade que produz 500 m³ de etanol por dia

- ✓ **Previsão de faturamento com a comercialização de:**
 - **R\$ 19.000.000,00/ano**
- ✓ **Disponibilidade total de água: 5760 m³/dia**
 - **Abastecer uma população: 15.780 pessoas;**
- ✓ **Disponibilidade excedente de água: 1625 m³/dia**
 - **Abastecer uma população: 4.438 pessoas;**





Microbiologia industrial: transformando resíduos em soluções



Estudo de caso

Unidade que produz 500 m³ de etanol por dia

- ✓ **Potássio recuperado da vinhaça: 3.296 t/ano;**
 - **Potencial de faturamento: R\$ 4.320.000,00/ano;**
- ✓ **Potencial de faturamento bruto anual:**
R\$ 23.320.000,00/ano.

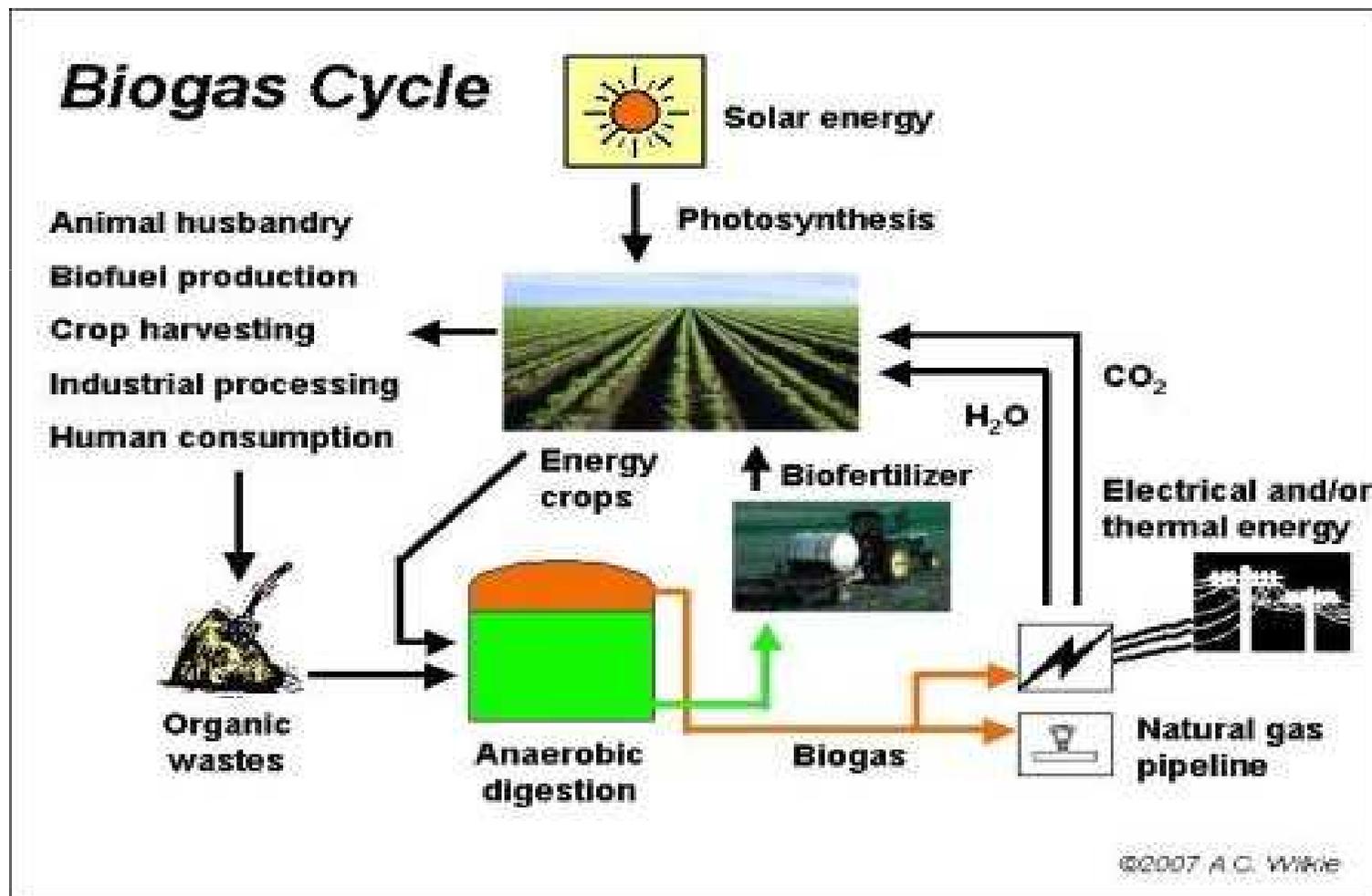


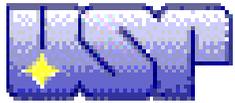


MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL: INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA



Ciclo de vida do biogás





MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL: INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA



Considerações finais

- ❖ ***Através do uso de microrganismos é possível reduzir o potencial poluidor de resíduos da indústria sucroenergética;***
- ❖ ***Com aplicação da microbiologia industrial é possível transformar resíduos como a vinhaça em biogás, a partir do qual pode ser gerado energia elétrica, térmica ou mecânica;***



MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL: INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA



Considerações finais

No processo de biodigestão da vinhaça, a água da vinhaça biodigerida pode ser recuperada e o material remanescente desse processo pode ser utilizado como um biofertilizante. Este pode ser aplicado nas lavouras de cana de açúcar, fechando o ciclo de vida do biogás obtido a partir da vinhaça.



AGRADECIMENTOS



Obrigado pela atenção

Prof. **Antonio Sampaio Baptista**

LAN/ESALQ/USP

Contato: asbaptis@usp.br