

---

**Projeto Programa de Pesquisa em Políticas Públicas**

**WORKSHOP TECNOLÓGICO SOBRE VINHAÇA**

**Painel 5 - “Tratamento da Vinhaça: Biodigestão Anaeróbia”**

**Palestrante: Clarita Schvartz – IPT/CETAE/LRAC  
Centro de Tecnologias ambientais e Energéticas  
Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas**

**Fone: 11 3767 4750**

**[www.ipt.br](http://www.ipt.br)**

**[claritas@ipt.br](mailto:claritas@ipt.br)**

**Colaboração: Marcelus Valentim – FEAGRI/UNICAMP**

**[marcelus.valentim@agr.unicamp.br](mailto:marcelus.valentim@agr.unicamp.br)**

**QUESTÕES A SEREM RESPONDIDAS – TERMO DE REFERÊNCIA**

- 1. Qual a influência da atual utilização da vinhaça no solo? O que esperar para seu uso contínuo? Que cuidados devem ser observados nas áreas de expansão da cultura?**
- 2. Qual a influência na utilização da vinhaça na produtividade de colmos/biomassa da cana-de-açúcar? Que efeitos apresenta na qualidade tecnológica da matéria prima e no processamento industrial para produção de etanol?**
- 3. Qual a influência da vinhaça no meio ambiente (solo, água e ar)?**
- 4. As medidas atualmente empregadas no manejo e monitoramento da vinhaça são adequadas e suficientes?**
- 5. Faltam pesquisas básicas e/ou estudos de viabilidade técnica/econômica/ambiental para caracterizar os impactos e/ou direcionar os modos de utilização da vinhaça?**
- 6. Quais são os usos potenciais da vinhaça e os gargalos tecnológicos para sua adoção?**



## **Questões abordadas no projeto BIOETANOL**

- ⇒ Valorização energética da vinhaça por digestão anaeróbia
- ⇒ Economia de bagaço para a produção de etanol
- ⇒ Redução do impacto ambiental gerado pela sua atual destinação
- ⇒ Avaliação de reúso da água no processo produtivo.

## BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

Processo biológico de tratamento de efluentes/resíduos com dois objetivos:

- saneamento ambiental
- produção de energia na forma de biogás.

## B I O G Á S

Mistura de gases com predominância de metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )

Produto da decomposição da matéria orgânica, na ausência de oxigênio, por microrganismos com essa habilidade natural

## OCORRÊNCIA DE METANO NA NATUREZA

- **Pântanos**
- **Mares**
- **Lagos - sedimentos**
- **Jazidas de Petróleo (50 a 400 milhões de anos)**
- **Minas de Carvão**
- **Rúmen (estômago de ruminantes)**

# IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas



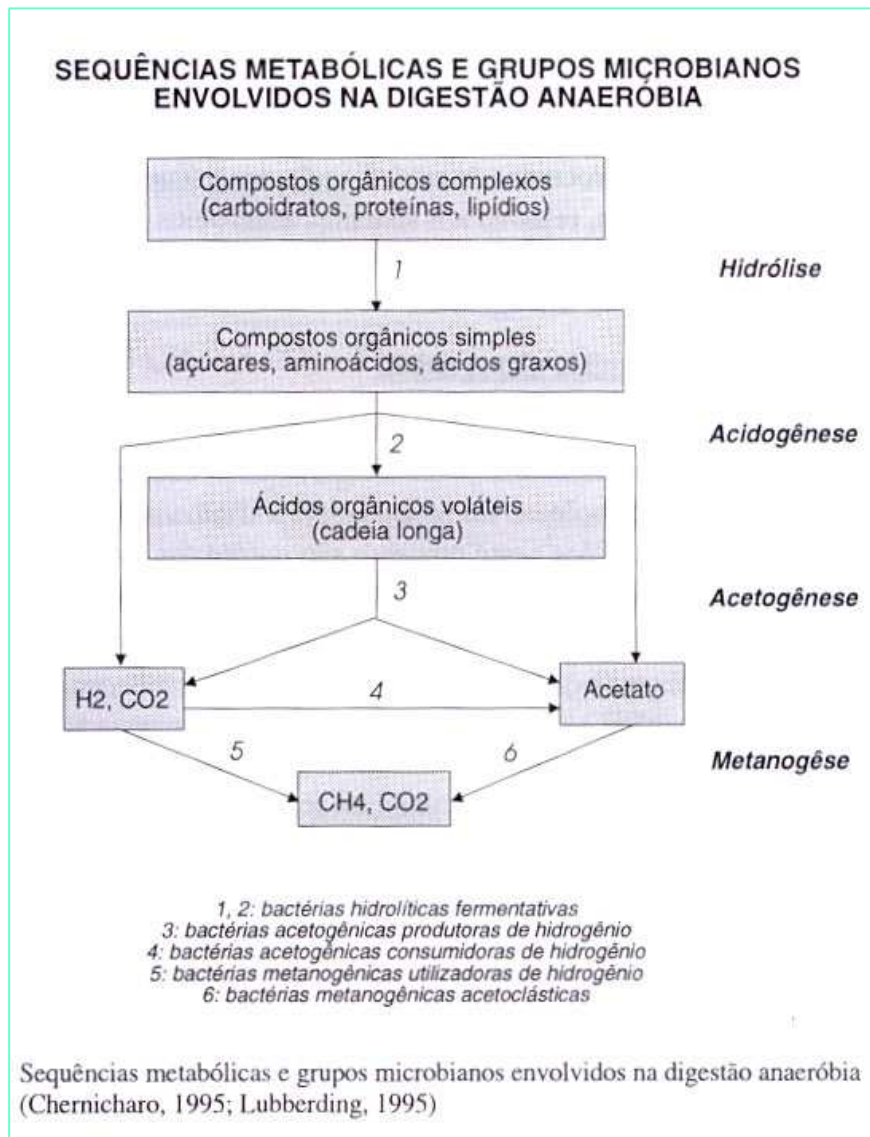
Tedege



## CARACTERÍSTICAS DOS PROCESSOS ANAERÓBIOS

- **Ocorrem na ausência de  $O_2$**
- **Promovem a estabilização da matéria orgânica – saneamento ambiental**
- **Reduzem microrganismos patogênicos**
- **Promovem recuperação de energia - Metano**

## PROCESSO DE DECOMPOSIÇÃO ANAERÓBIA



Mostra os vários grupos de bactérias anaeróbicas fermentativas que atuam na conversão de matéria orgânica complexa até gás metano e gás carbônico

## FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO

### CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO

**pH**

**Sólidos totais e voláteis - ST e SV**

**DQO - Demanda Química de Oxigênio**

**DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio**

**Nutrientes: C, N, P, S**

**Relação  $N/P \leq 5$**

**Relação  $C/N \leq 30$**

**Relação  $C:N:P = 150:5:1$**

**Relação  $DQO:N:P = 350:7:1$**

**Presença de Inibidores**

**Composição da Matéria Orgânica**

**Biodegradabilidade da Matéria Orgânica**

## FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO

### NUTRIENTES MAIS IMPORTANTES

**carbono**

- **fósforo**
- **nitrogênio**

### OUTROS NUTRIENTES

**Mg, Ca, Ba, Mo, Co, Fe, Ni, vitaminas, sulfato, sulfeto**

### TÓXICOS POTENCIAIS

**dependente da concentração: metais (solúveis), fenóis, sulfatos; sulfetos, amônia**

## FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO

**Toxicidade depende de características do composto químico**

- ⇒ **Solubilidade no meio**
- ⇒ **Concentração**
- ⇒ **Formação de complexos**
- ⇒ **Adaptação da população**
- ⇒ **Sinergismo**
- ⇒ **Antagonismo**

AOV - toxicidade na forma molecular

### **N amoniacal**

50-200 ppm - efeito benéfico

200-1 000 ppm - não adverso

1 500-3 000 ppm - inibidor, se pH >7,4

> 3 000 ppm - tóxico

## INFLUÊNCIA DE FATORES NA PRODUÇÃO DE METANO

### TEMPERATURA

Termofílica - 50 a 65 °C  
Mesofílica - 25 a 45 °C  
Psicrofílica - < 25 °C

**pH** – 7- 8 (se inferior, por ex. 5, < produção de metano)

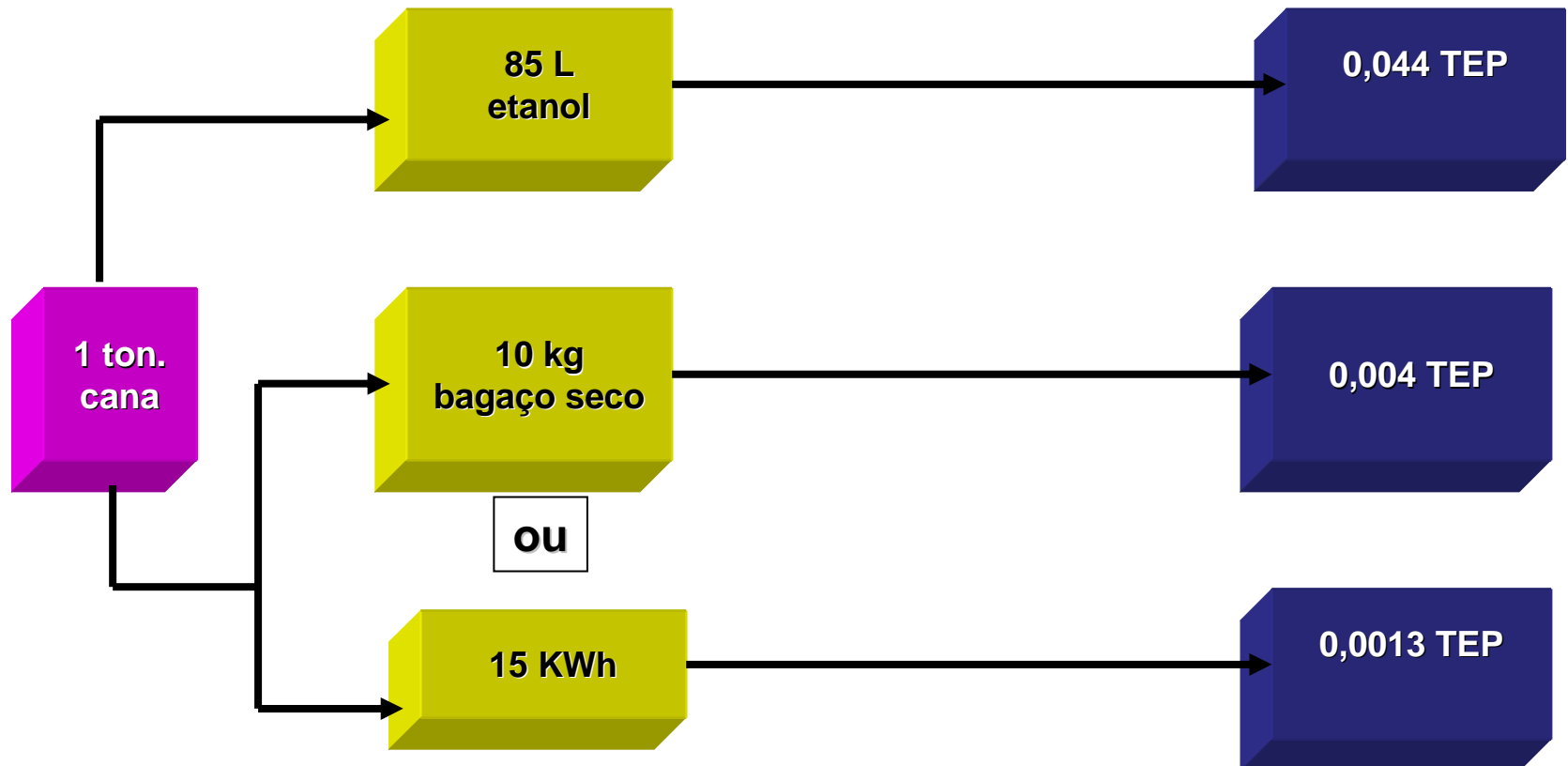
**COMPOSIÇÃO INORGÂNICA DO RESÍDUO** - por ex.,  
presença de sulfato. Há maior produção de sulfeto e há  
inibição da produção de metano

## DESEMPENHO DO PROCESSO

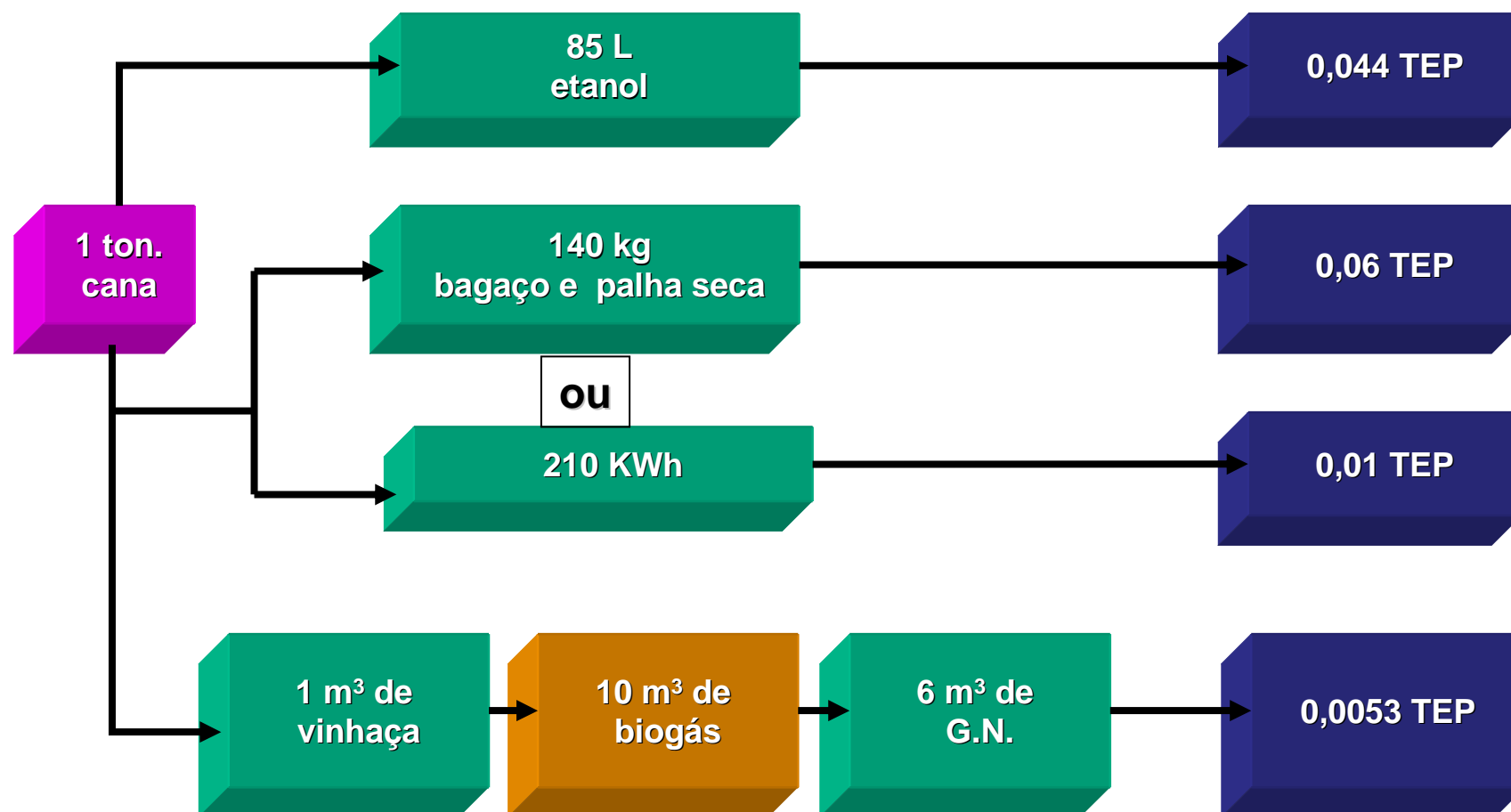
- **PRODUÇÃO DE GÁS** -  $\text{Nm}^3$  gás/ $\text{m}^3$  reator/ dia
- **TEOR DE METANO** - %  $\text{CH}_4$  no gás
- **PRODUÇÃO DE METANO**:  $\text{Nm}^3$   $\text{CH}_4$ /  $\text{m}^3$  reator/ dia

- **REMOÇÃO DE CARGA ORGÂNICA** - % redução de DQO  
ou % redução de DBO ou SV
- **EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA  
A GÁS** -  $\text{Nm}^3$  gás/kg DQO ou kg SV adicionado ou removido

## Produção de etanol - Contexto Atual



## Otimização energética



**Composição química da vinhaça**

<b>PARÂMETRO</b>	<b>MELAÇO</b>	<b>CALDO</b>	<b>MISTO</b>
pH	4,2 - 5,0	3,7 - 4,6	4,4 - 4,6
TEMPERATURA (°C )	80 - 100	80 - 100	80 - 100
DBO ( mg O <sub>2</sub> /l )	25.000	6.000 - 16.500	19.100
DQO ( mg O <sub>2</sub> /l )	65.000	15.000 - 33.000	45.000
Sólidos Totais ( mg/l)	81.500	23.700	52.700
Sólidos Voláteis( mg/l)	60.000	20.000	40.000
NITROGÊNIO ( mg/l)	450-1.600	150- 700	480 - 710
FOSFORO (mg/l)	100 - 290	10 - 210	9 - 200
POTÁSSIO (mg/l)	3.740 - 7.830	1.200 - 2.100	3340 - 4.600
CALCIO (mg/l)	450 - 5.180	130 - 1.540	1.330 - 4.570
MAGNÉSIO (mg/l)	420 - 1.520	200 - 490	580 - 700
SULFATO ( mg/l)	6.400	600 - 760	3.700 - 3730
CARBONO (mg/l)	11.200-22.900	5.700 - 13.400	8.700-12.100

## VINHAÇA NA FERTIRRIGAÇÃO

### **Norma técnica CETESB - P4.231/2006 - *Vinhaça - Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola***

Visa disciplinar a aplicação da vinhaça na lavoura de cana, tendo em vista os aspectos agronômicos e ambientais de tal prática.

Obriga a todas usinas/destilarias do Estado de São Paulo a fazer monitoramento da aplicação e armazenagem de vinhaça, pelo monitoramento do solo, da vinhaça e, eventualmente, da água subterrânea coletada de poços de monitoramento ou até de nascentes.

---

## Norma técnica CETESB - P4.231/2006

**Item 5.2** Os tanques de armazenamento de vinhaça deverão ... ser impermeabilizados com geomembrana impermeabilizante ou outra técnica de igual ou superior efeito. Os prazos para impermeabilização dos tanques ... estão fixados na Portaria CTSA 01, de 28 de novembro de 2005.

**Item 5.5** Os canais mestres ou primários de uso permanente para distribuição de vinhaça durante o período da safra deverão ser impermeabilizados com geomembrana impermeabilizante ou outra.

## BIODIGESTÃO TERMOFÍLICA CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

	<b>VINHAÇA IN NATURA</b>	<b>VINHAÇA BIODIGERIDA</b>
<b>pH</b>	<b>4,0</b>	<b>6,9</b>
<b>DQO (g/L)</b>	<b>29,0</b>	<b>9,0</b>
<b>N TOTAL (mg/L)</b>	<b>550</b>	<b>600</b>
<b>N AMON. (mg/L)</b>	<b>40</b>	<b>220</b>
<b>P TOTAL (mg/L)</b>	<b>17</b>	<b>32</b>
<b>SULFATO (mg/L)</b>	<b>450</b>	<b>32</b>
<b>POTÁSSIO (mg/L)</b>	<b>1.400</b>	<b>1.400</b>

Fonte: BIOMETANO - USINA SÃO MARTINHO  
Marcos Eduardo de Souza, 2007

## Vinhaça – IPT - reator UASB

### Dados obtidos na operação de um biodigestor de 500 m<sup>3</sup>

Alimentação – DQO 13 000 a 30 000 mg/L

Sulfato – 800 mg/L

AOV = 3 300 mg/L

TDH = 1,7 h

Carga = 14 kg DQO/m<sup>3</sup> . dia

Eficiência – 90 % remoção de DQO

Biogás – 0,32 Nm<sup>3</sup>/kg DQO adicionada (65% de metano)

Rendimento: 10 Nm<sup>3</sup> Biogás / m<sup>3</sup> vinhaça.

#### **Investimento calculado:**

US\$ 1 a 1,5 milhão para destilaria de 120 000 L álcool/dia

## APLICAÇÕES DO BIOGÁS

### ➤ **AQUECIMENTO E ILUMINAÇÃO**

- Queima direta sem necessidade de qualquer tratamento
- Uso mais comum e de maior retorno, quando se tem demanda

### ➤ **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COMBINADA COM AQUECIMENTO**

- Em geral com motor de combustão interna tocando gerador
- Desumidificação, filtragem e eventual redução de H<sub>2</sub>S

### ➤ **COMBUSTÍVEL VEICULAR OU ADIÇÃO À REDE DE GÁS NATURAL**

- Refino para aumentar o teor de metano, reduzir H<sub>2</sub>S e eliminar partículas
- Eventualmente adiciona-se GLP
- Em geral o custo do refino inviabiliza a operação

## TENDÊNCIAS DO SETOR SUCROALCOOLEIRO

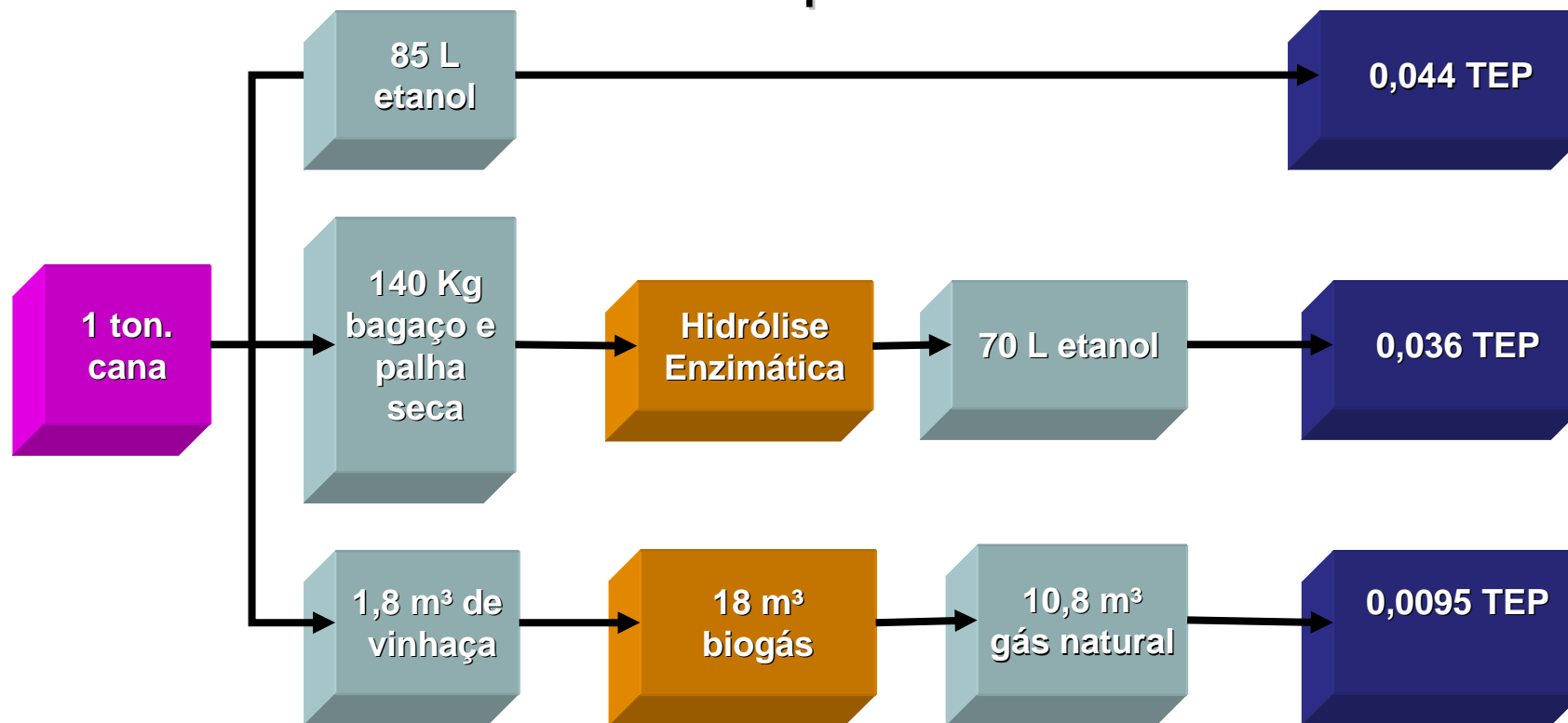
Transformações tecnológicas em curso e para as próximas décadas:

– Novo modelo de produção agrícola (cana crua, sem queimar);

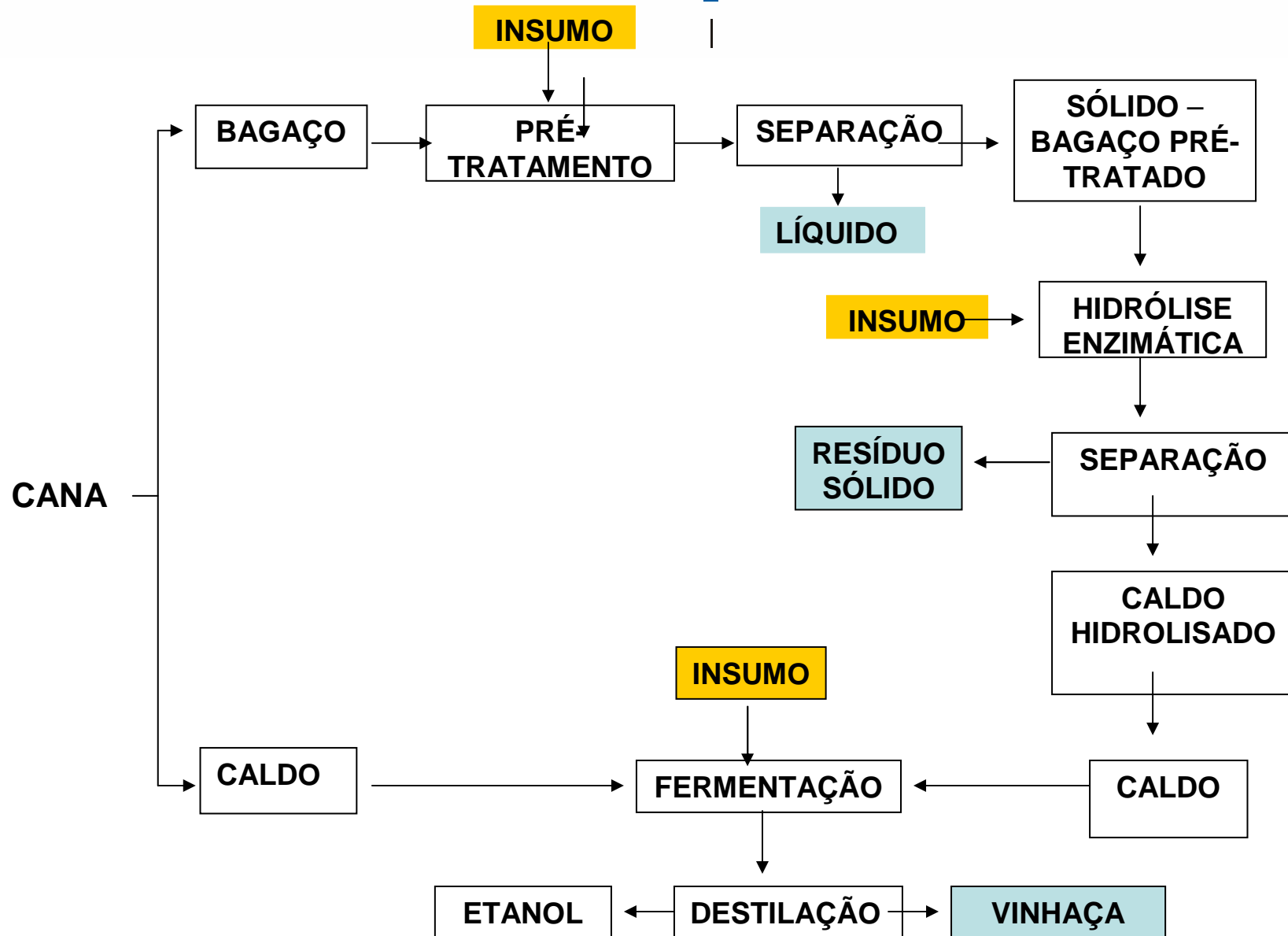
-Maior produtividade agrícola e industrial;

– Novo modelo industrial de uso integral da cana para produção de energia.

# Hidrólise Enzimática do bagaço e palha



# Fluxograma da produção de álcool de caldo + hidrolisado de bagaço



## Vinhaça da produção de álcool de caldo + hidrolisado de bagaço

Poderá apresentar características diferentes da vinhaça atual, a considerar os seguintes pontos:

- Poderá ser muito mais diluída – concentração de ART do hidrolisado inferior ao do caldo.
- Poderá ter pentoses oriundas da hemicelulose, dependendo do tipo de pré-tratamento - a levedura atualmente empregada não fermenta pentoses.
- Poderá ter na sua composição os componentes do preparado enzimático (celulases, citratos etc.).
- Poderá conter componentes oriundos do processo de produção de enzimas, se este estiver associado à destilaria, e até células de microrganismos produtores de enzimas.

## A VINHAÇA DO FUTURO

**Composição parcialmente desconhecida** -  
necessidade da realização de determinações analíticas

**Potencial de produção de metano por lodo anaeróbio** - necessidade de ensaios de atividade metanogênica específica

**Estabelecimento de parâmetros de processo e da eficiência de conversão da matéria orgânica a biogás** – necessidade de ensaios de bancada/piloto para avaliar toxicidade de algum composto e a eficiência de processo em termos de redução de carga orgânica e de produção de energia, na forma de metano.

## A VINHAÇA DO FUTURO

**A fertirrigação poderá ainda ser a destinação da nova vinhaça?**

Será também necessária a caracterização química.

Se a concentração de açúcares redutores totais na fermentação alcoólica do caldo + hidrolisado for a mesma que a atualmente empregada, o **volume** de vinhaça **dobrará** e a cultura de cana não absorverá essa quantidade de material.



## **EFLUENTE DA BIODIGESTÃO DE VINHAÇA**

**Afirma-se que o efluente da biodigestão de vinhaça pode ser aplicado na cultura de cana**

- não se tem conhecimento de resultados dessa aplicação
- o efluente da biodigestão poderá ser depurado e a água retornar ao processo produtivo

## BIOGÁS

A destilaria que adotar o processo de produção de etanol do caldo + hidrolisado terá necessidade de insumo energético adicional, que pode ser oriundo do biogás, uma vez que parte do bagaço será desviado para a produção de etanol

## CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES

- **PRINCIPAIS PRODUTOS NOS PROCESSOS DE BIODIGESTÃO**
  - Saneamento ambiental
  - Energia - biogás
  - Condicionador de solo – efluente/resíduo digerido
  
- **IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS**
  - Estabilização da matéria orgânica
  - Higienização de resíduos
  - Segurança ambiental – riscos de explosão
  - Redução do efeito estufa – aproveitamento do metano e geração de créditos de carbono.

**IPT**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

---

MUITO OBRIGADA

