



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia de Alimentos
Lab. de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada



Avaliação de Sustentabilidade da produção de **Etanol** de **Cana-de-Açúcar**

Consuelo de Lima Fernandez Pereira
Prof. Dr. Enrique Ortega



Biocombustíveis

✓ Têm sido apresentados como substitutos renováveis para combustíveis fósseis.

Por serem produzidos a partir de biomassa, assume-se que:

- ❖ são renováveis e inesgotáveis;
- ❖ seu uso pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Etanol

- ✓ Tem sido utilizado como combustível em automóveis por muitos anos no Brasil;
- ✓ Em 2006 foram utilizados **7.1 bilhões de hectares** no cultivo de cana-deaçúcar
- ✓ No mesmo ano foram produzidos **15.8 bilhões de litros de etanol**;
- ✓ 85% destinados ao mercado interno

Porém

- A produção da biomassa, e a sua transformação industrial em biocombustível, requer o uso de energia de **combustível fóssil** na forma de fertilizantes, agroquímicos, maquinário e matérias primas, além do uso no transporte destes insumos



↪ A adoção de monoculturas pode resultar em degradação do solo e destruição do ecossistema natural



↪ Pode ocorrer a competição entre a produção de biomassa para biocombustível e a produção de alimentos por área agriculturável

Objetivo

O Objetivo do presente trabalho é avaliar a **sustentabilidade** do modelo de produção de **etanol** de **cana-de-açúcar** em larga escala através do uso de Análise **E**mergética e Avaliação de Ciclo de Vida.

Análise Emergética

Energia é a soma de **toda a energia**, direta ou indiretamente incorporada, tanto na forma de energia, matéria, trabalho humano ou trabalho da natureza, necessária para produzir um dado bem ou serviço

Odum (1996)

Energia é expressa em equivalente de Joules de energia solar (seJ/J)

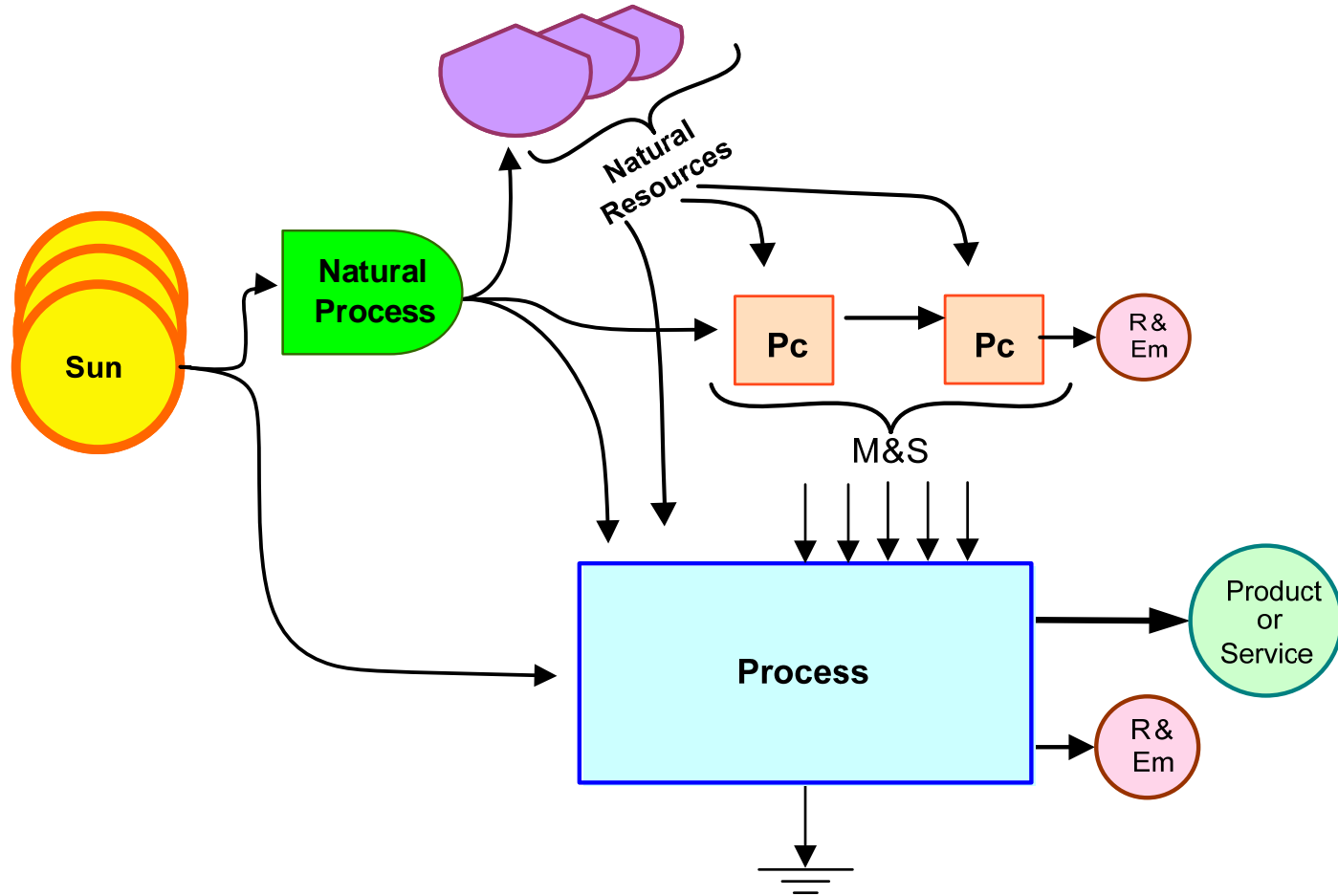
Avaliação de Ciclo Vida

ACV avalia **todos os estágios** do ciclo de vida de um produto, desde a aquisição da matéria prima até a disposição dos resíduos, identificando, quantificando e avaliando os impactos ambientais acumulados ao longo do ciclo.

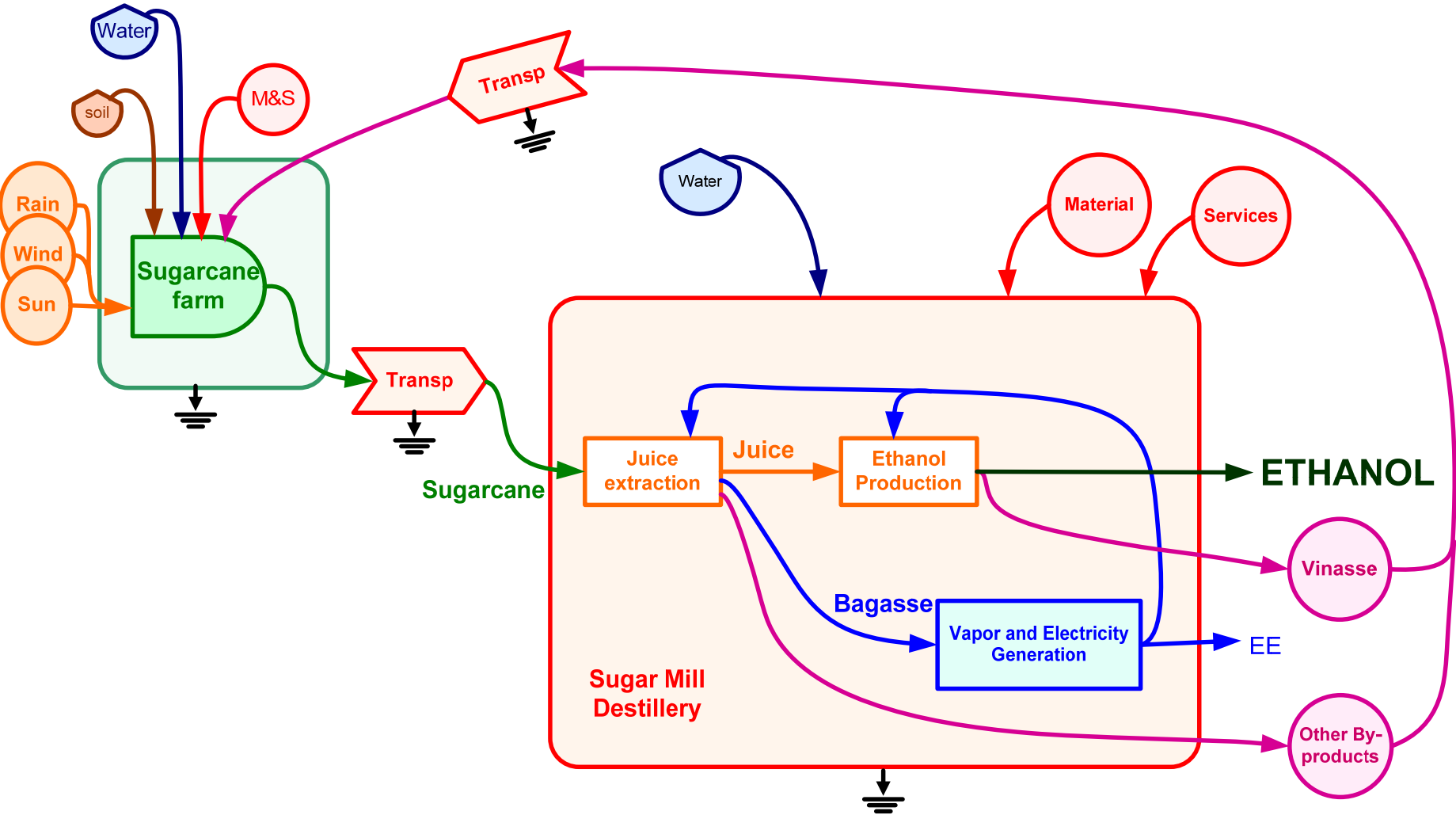
Utiliza o conceito **Berço ao Túmulo**

ISO 14000

Energia & LCA

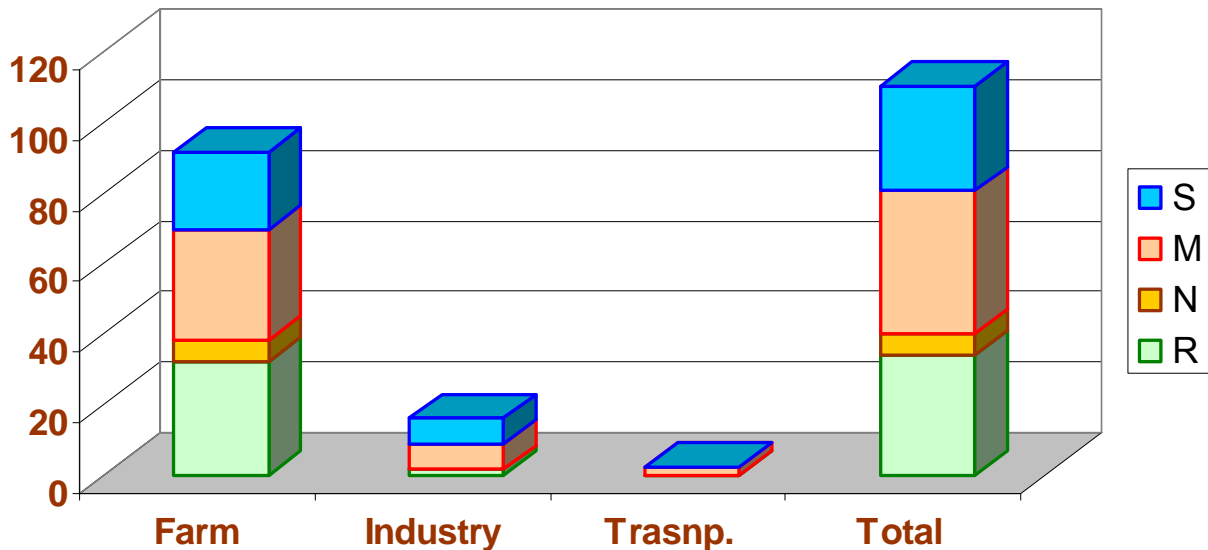


Ethanol Production System



Energia - Resultados

Energy Flow - Ethanol
(1×10^{10} seJ/l of ethanol)



Corretivos
Fertilizantes } 20%
Herbicidas }
Combustível → 6%

Mão-de-obra 10%

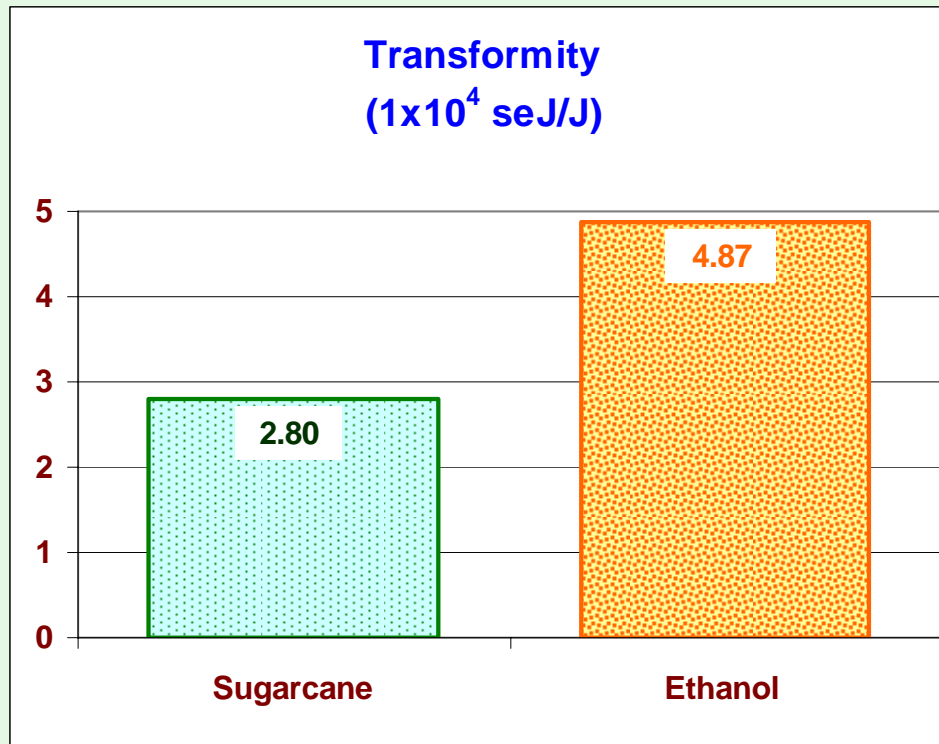
Chuva – 28%

Transformidade

$$Tr = Y/Energy$$

► Energia Total dividida pela energia do produto

✓ É uma medida da eficiência do sistema



Transformidades

Diesel = 5.50×10^4 seJ/J

Gás N. = 4.80×10^4 seJ/J

Carvão = 4.00×10^4 seJ/J

Odum (1996)

Etanol de Milho = 1.74×10^5 seJ/J

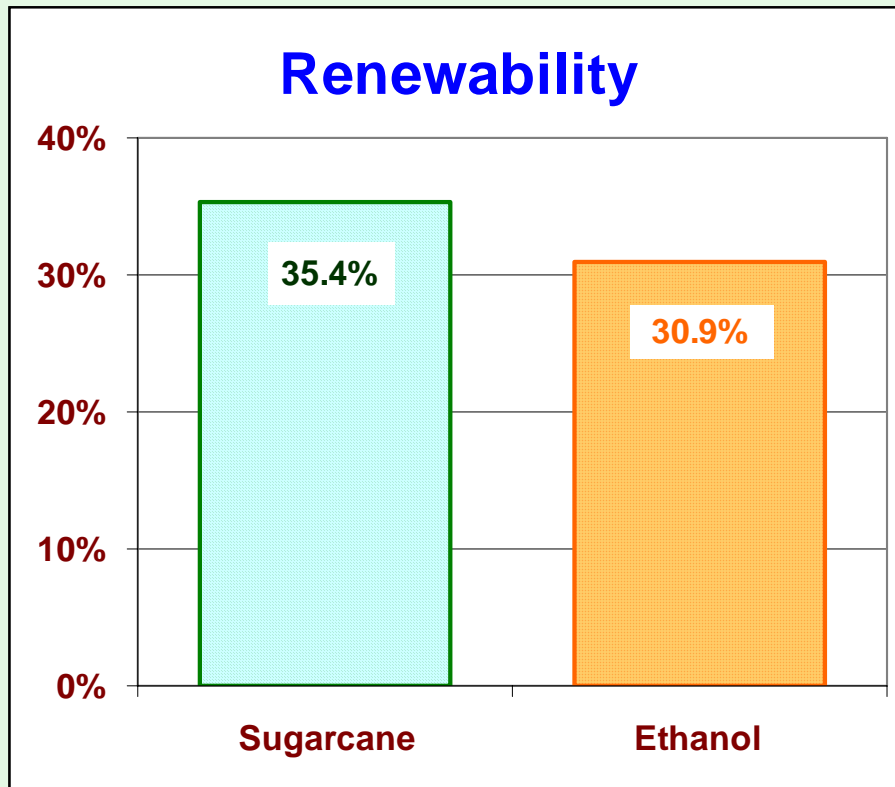
Ulgiati (2001)

Renovabilidade- %R

$$\%R = R/Y$$

▶ Percentagem de recursos renováveis

✓ Indica o grau de sustentabilidade



Renovabilidades

Diesel = 0%

Soja = 20%

Milho = 12-20%

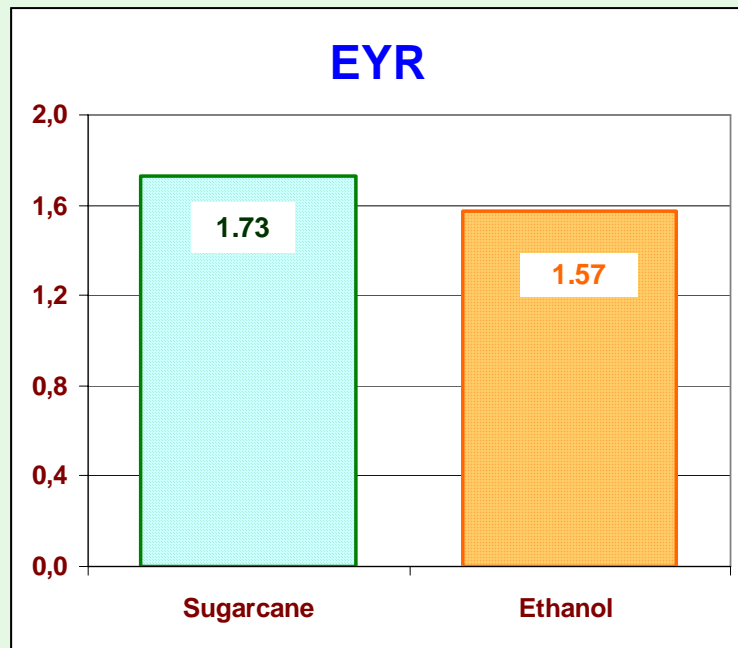
Agroecológico = 70%

Razão de Rendimento Emergético - EYR

► Energia Total dividida pela Energia dos recursos da economia

Indica:

- ✓ A eficiência no uso de bens adquiridos da economia
- ✓ O ganho em energia primária disponibilizada para a economia



$$EYR = Y/F$$

EYR

Soja = 1,3

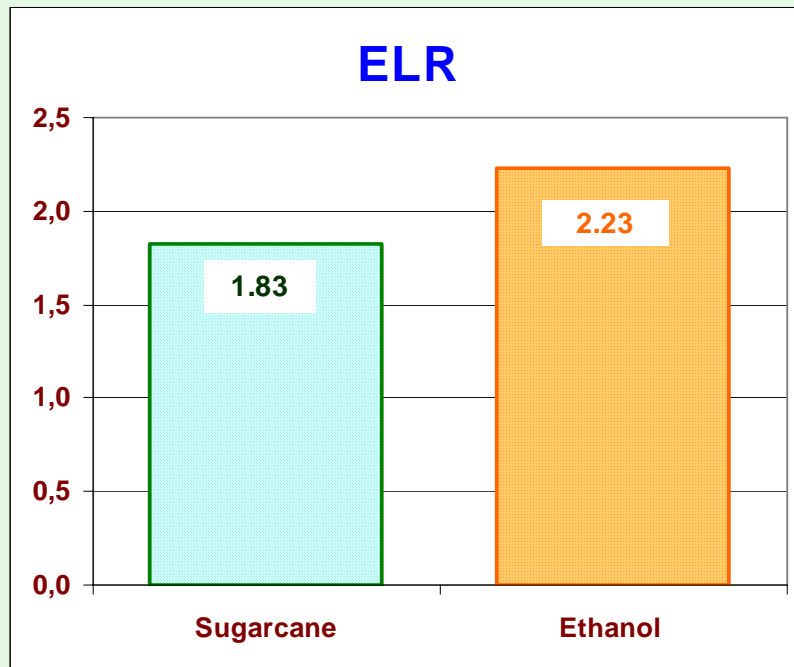
Milho = 1,3 - 1,7

Agroecológico = 20

Taxa de Carga Ambiental - ELR

► Razão entre os recursos renováveis e não renováveis

✓ Avalia a pressão causada ao ecossistema pelo sistema produtivo em estudo



$$ELR = (N+F)/R$$

Impacto

ELR < 2 – baixo

2 < ELR < 10 – Moderado

ELR > 10 - Intenso

LCA – Indicadores

Indicadores	Cana	Etanol	Unidade ^a
Uso da Terra	0.125	1.5	m ² /FU
Perda de Solo	0.15	1.8	kg/FU
Uso de água	0.01	18.4	l/FU
Uso de Comb. Fóssil	0.003	0.04	kg/FU

^a FU – 1 kg de cana ou 1 l de etanol

Eficiência Energética

✓ É uma medida da eficiência do sistema na conversão da biomassa em biocombustível.

✓ **8.2** J produzidos / joule investido

Biomassa	Eficiência Energética	Fonte
Cana	8.3	Lamonica, 2005
Cana	9.2	Macedo, 1998
Milho (Itália)	1.36	Ulgiati, 2001
Milho (USA)	1.11	Shapouri, et al., 2002
Milho (USA)	0.78	Pimentel e Patzek, 2005
Trigo (France)	1.92	Malça e Freire, 2006

Emissões de CO₂ - Balanço

Absorção (fotossíntese) = Emissão (queima, fermentação e queima etanol)

Etapa		kg CO ₂ /TC
Agrícola		
Combustível Fóssil (direto)		5,1
Oxidação do solo erodido		12,8
Materiais		9,7
Balanço Agrícola		17,7
Indústria		
Combustível Fóssil (direto)		1,6
Material		3,2
Balanço		22, 5

0.29 kg CO₂/l etanol

8 g CO₂/MJ

Emissões

Gasolina = 100 g CO₂/MJ
(Spila et al., 1992)

Conclusões

- **Etanol** de cana-de-açúcar pode ser uma opção viável para substituir combustível fóssil.
- Comparado a outros biocombustíveis apresenta alta eficiência energética
- Seu uso resulta em menores emissões de CO₂ do que combustíveis fósseis.

Entretanto

Conclusões – Cont.

- ✓ Ao uso de etanol estão associados consumos significativos de recursos naturais, como por exemplo água, perda de solo e área necessária à produção de cana-de-açúcar, não contabilizados nas pesquisas energéticas, porém de grande impacto ambiental local e regional.

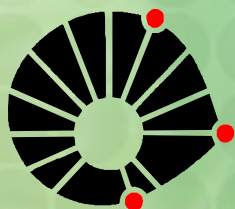
Conclusões – Cont.

→ **A etapa agrícola** é aquela que aquela que consome maior volume de recursos, tanto naturais como provenientes da economia;

Portanto, **a adoção de práticas de manejo mais sustentáveis** pela etapa agrícola resultará em melhoria do desempenho ambiental do álcool combustível.

Conclusões – Cont.

- A produção de cana-de-açúcar e sua transformação em etanol **emite CO₂** devido ao uso de combustíveis fósseis ao longo da cadeia.
- O uso do etanol como combustível produzido pelo modelo atual **não é sustentável a longo prazo** devido a sua baixa renovabilidade e às externalidades associadas a sua produção.



UNICAMP



LEIA

Obrigada !

clfp@fea.unicamp.br

ortega@fea.unicamp.br

