

Avaliação de aspectos econômicos e ambientais da produção integrada de etanol e biodiesel



Simone P. Souza
Joaquim E. A. Seabra

Programa de Pós-Graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos
Faculdade de Engenharia Mecânica
Universidade Estadual de Campinas



O setor de combustíveis no Brasil



∞ O Brasil é dependente líquido de diesel e gasolina

∞ Saldo da balança comercial (2013) (MDIC, 2014):

∞ DIESEL: - US\$ 8 bilhões → 18% do consumo (EPE, 2014).

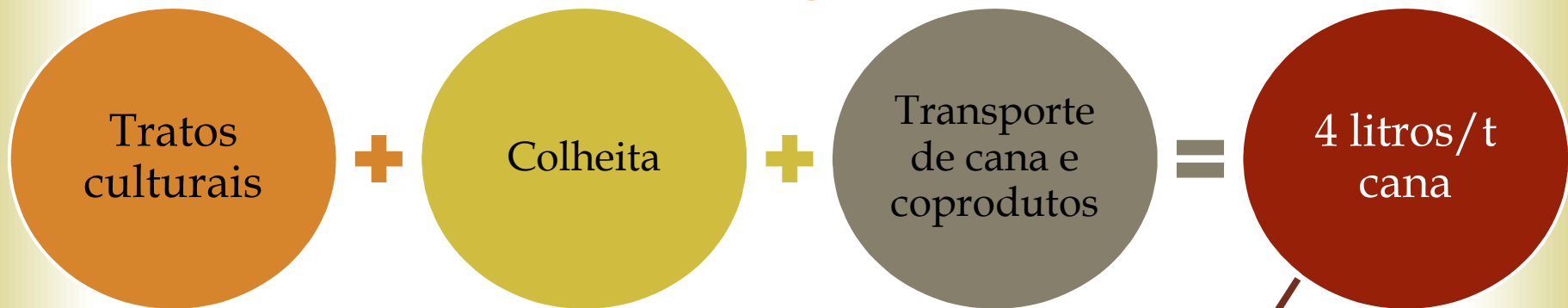
∞ GASOLINA: - US\$ 2 bilhões → 8% do consumo (EPE, 2014).

∞ Ao mesmo tempo...

∞ 3º maior produtor de biodiesel do mundo (2013) (REN21, 2014).

∞ 2º maior produtor de etanol do mundo. Responsável por 30% da oferta global (OECD/IEA, 2013).

Etanol de cana-de-açúcar no Brasil



2/3 do consumo de energia fóssil
1/3 das emissões de GEE
* Tendência de aumento devido à colheita mecanizada

☞ Elevado consumo de diesel → comprometimento do perfil ambiental do etanol

Quanto o setor consome?

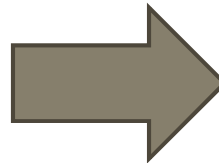
→ Safra 2013/2014 → 5% do consumo nacional (EPE, 2013). → Portanto, qualquer ação para reduzir o consumo de diesel, também reflete na demanda nacional.

Como melhorar o perfil ambiental do etanol?

Produção integrada → modelos de biorrefinaria

O setor sucroenergético já é um importante modelo de produção integrada...

...no entanto, ainda há potencial para melhorias!



Açúcar
Etanol
Melaço
Eletricidade
Reaproveitamento dos resíduos
Biodiesel
Coproductos de valor agregado

Pontos importantes:

- Melhora a interação na produção de bioenergia, químicos e alimentos.
- É fundamental ser economicamente sustentável!

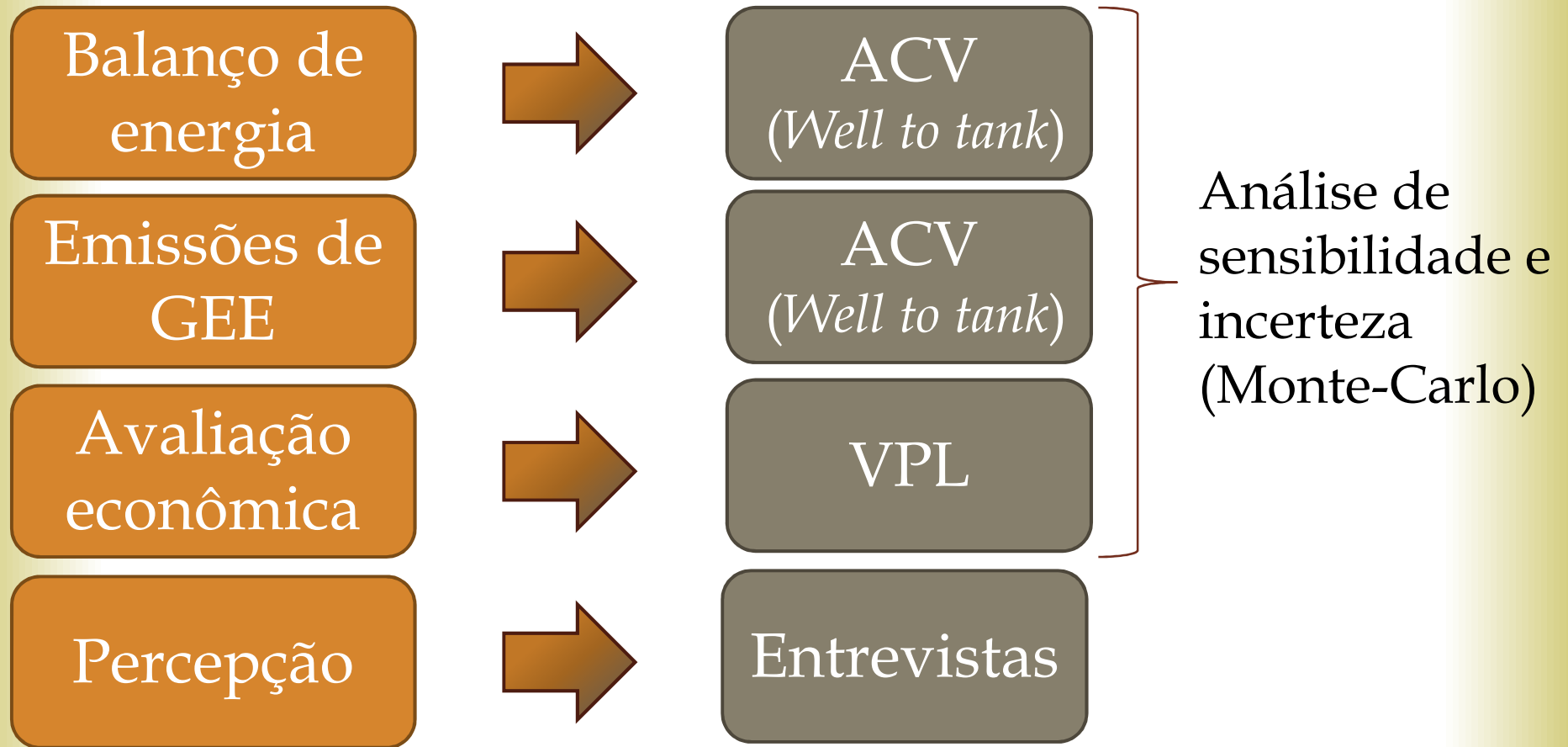
Sistemas integrados avaliados



- 1 Sistema integrado cana-soja
- 2 Sistema integrado cana-algas
- 3 Sistema integrado cana-palma

Unidade funcional:
1 MJ de etanol
hidratado

O que avaliamos e como?



Metodologia Geral



AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

⌘ Categorias de impacto ambiental:

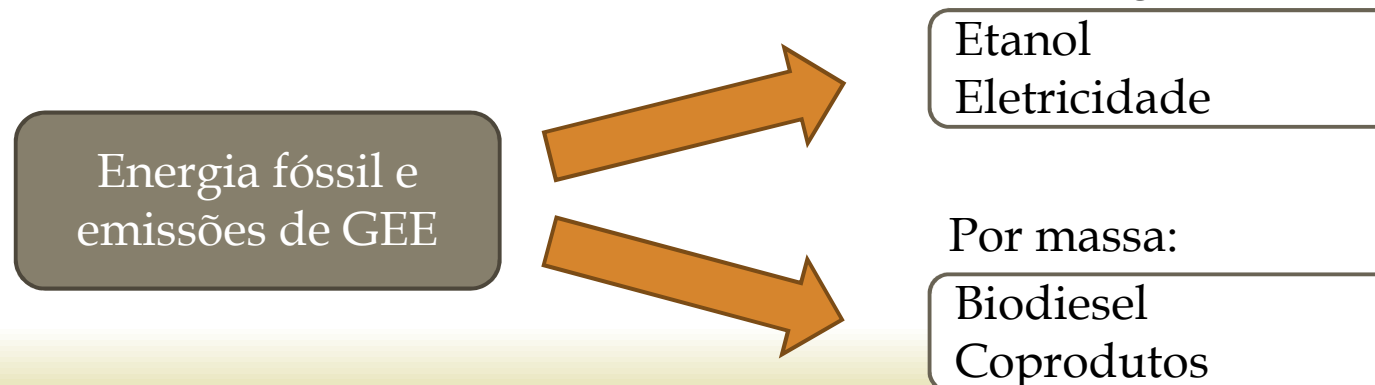
⌘ Consumo de energia fóssil

⌘ $\text{kJ}_{\text{fóssil}}/\text{MJ}_{\text{biocombustível}} \rightarrow$ Energia fóssil primária

⌘ Aquecimento global

⌘ Emissões de GEE $\rightarrow \text{gCO}_2\text{e}/\text{MJ}_{\text{biocombustível}}$ (GWP 100 \rightarrow IPCC)

⌘ Alocação:



Dados e Premissas



☞ Dados de entrada

- ☞ Usinas, fornecedores de matérias-primas e equipamentos
- ☞ Entrevistas com *stakeholders*
- ☞ Escopo espacial: São Paulo, Mato Grosso e Goiás.

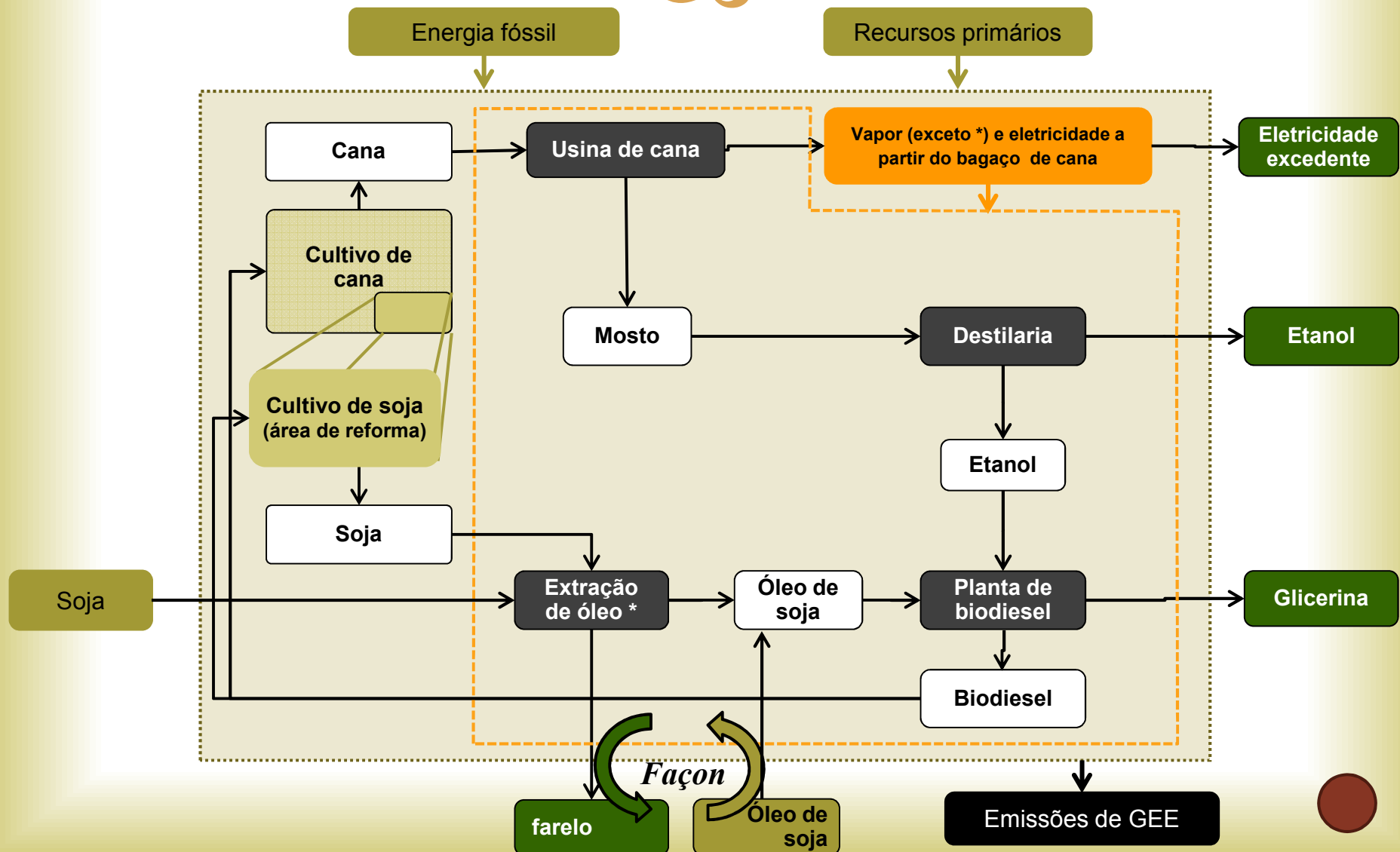
☞ Plantas

- ☞ Etanol: 4.000.000 t cana/ano.
- ☞ Biodiesel: 100.000 t biodiesel/ano.
- ☞ PBR: 35.500 t óleo/ano.

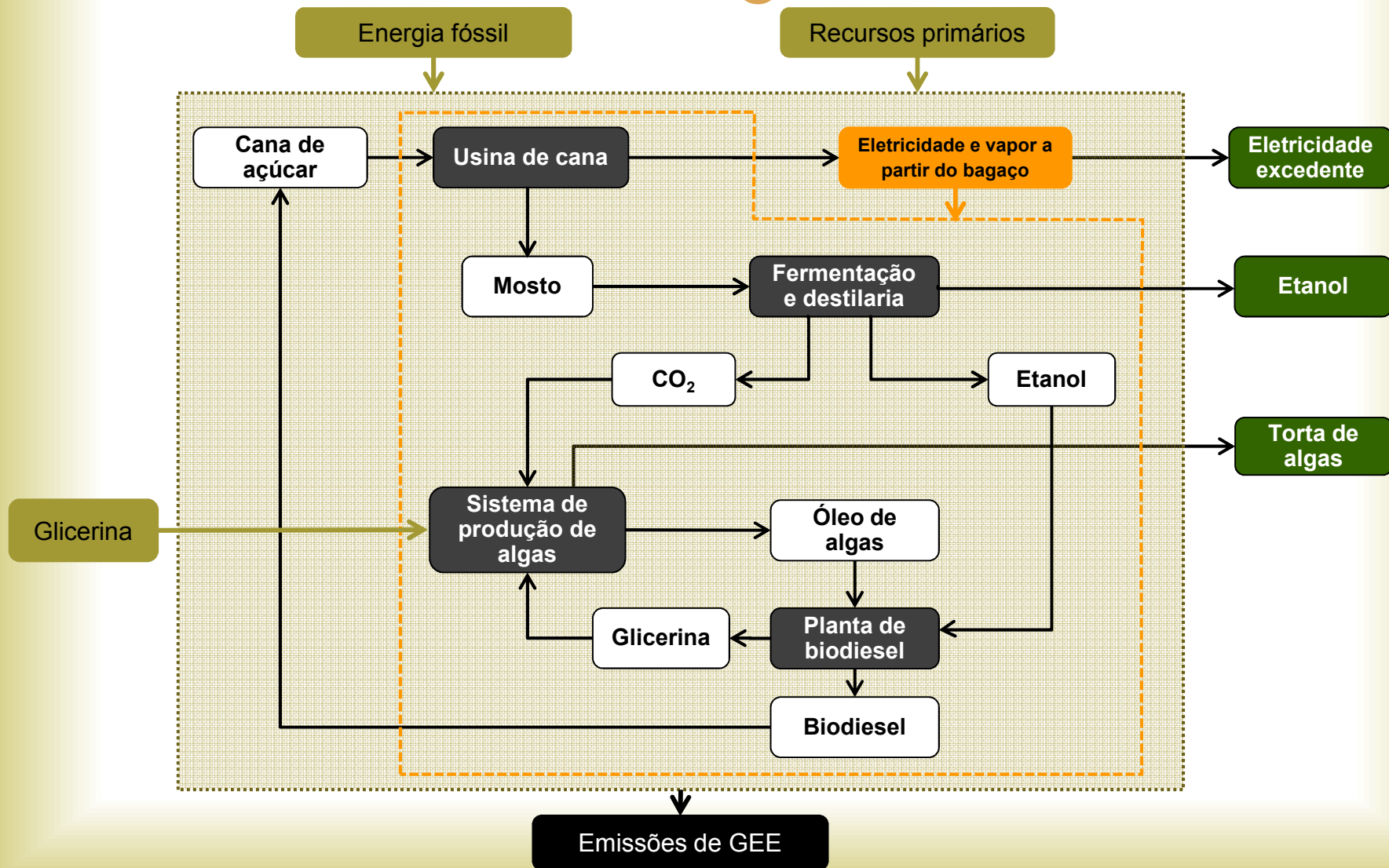
Apresentação dos sistemas integrados



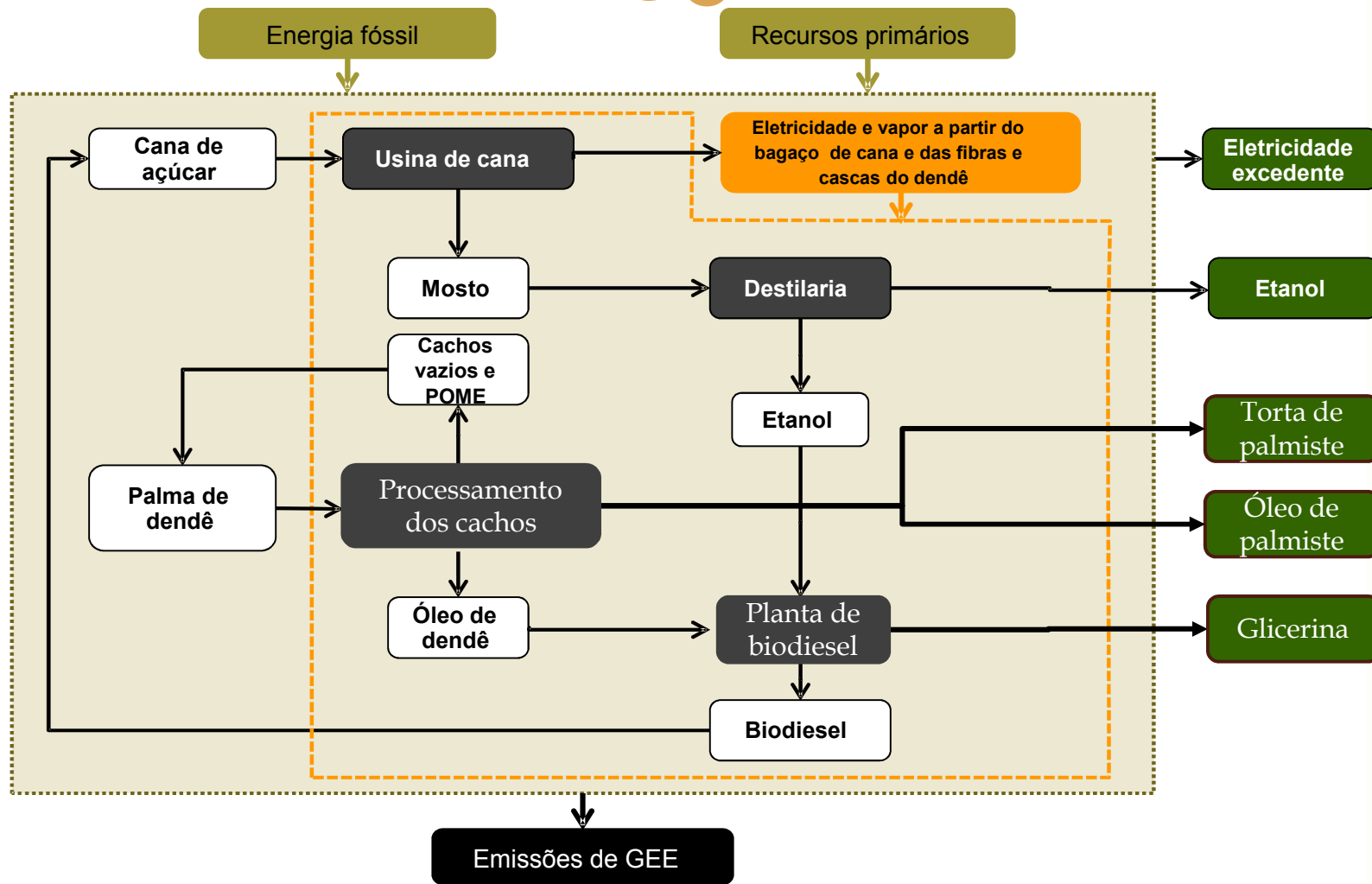
Produção Integrada Cana-Soja



Produção Integrada Cana-Algas



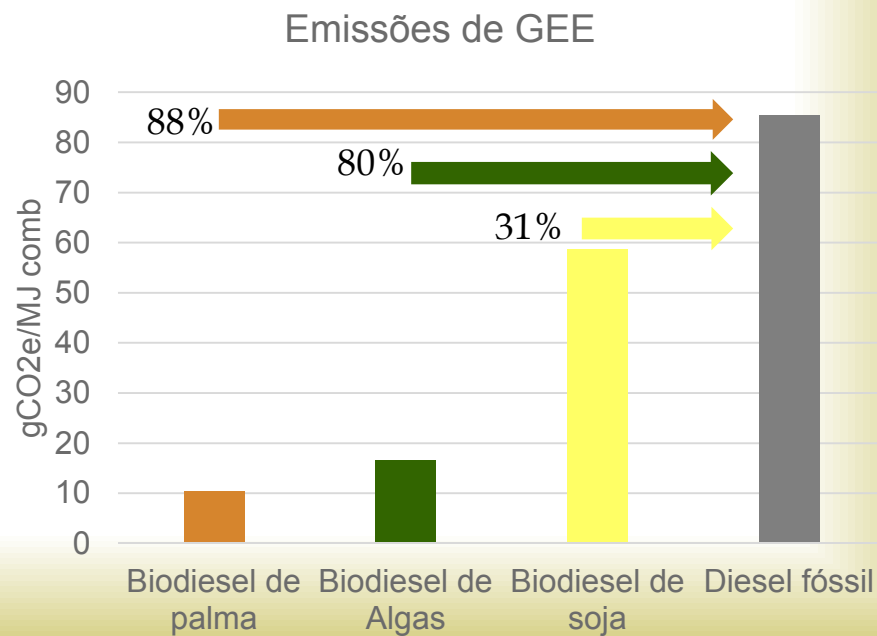
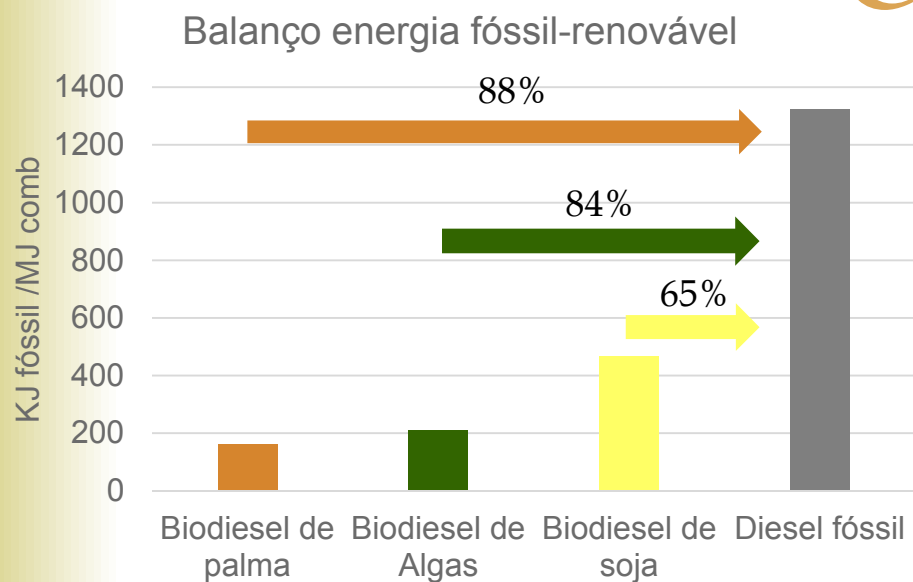
Produção Integrada Cana-Palma



Resultados



Comparativo: diesel vs biodiesel



Balanço de Energia



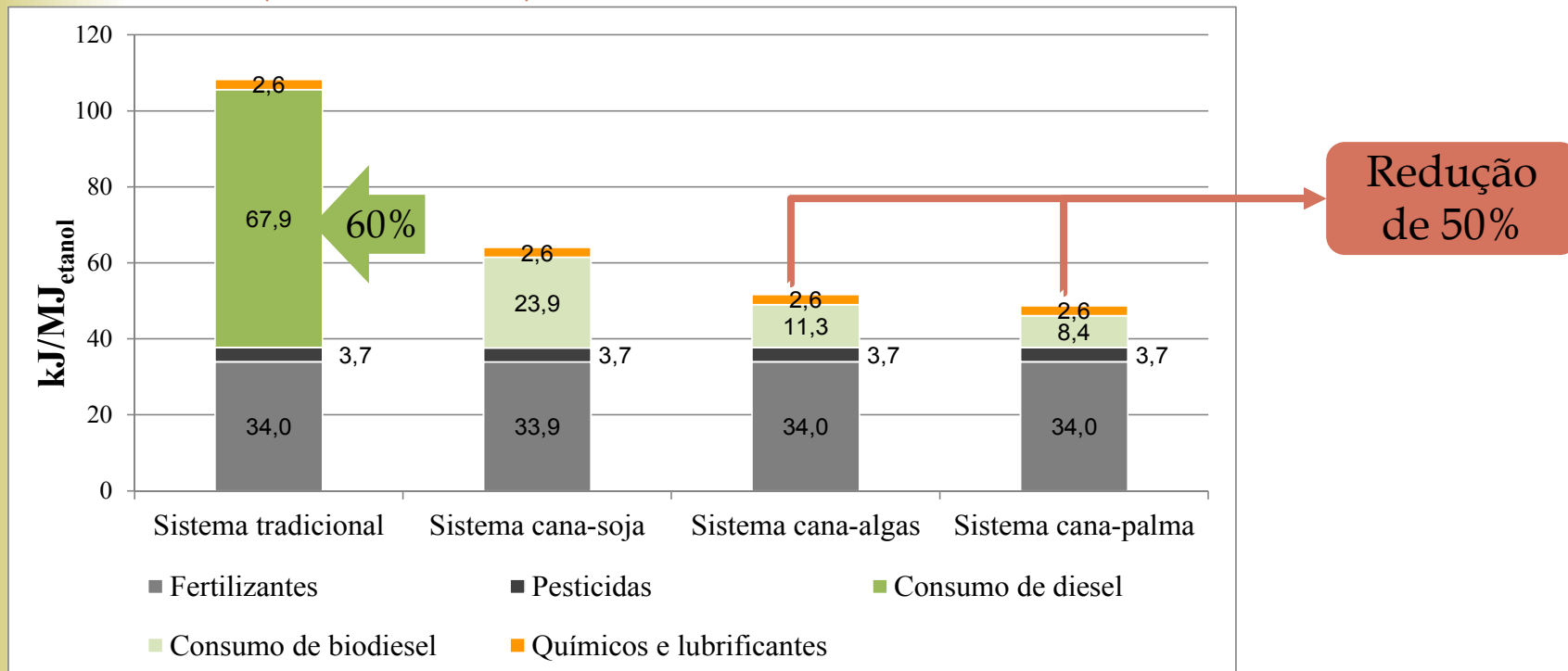
Razão renovável-fóssil

9,2

15,6

18,7

20,3

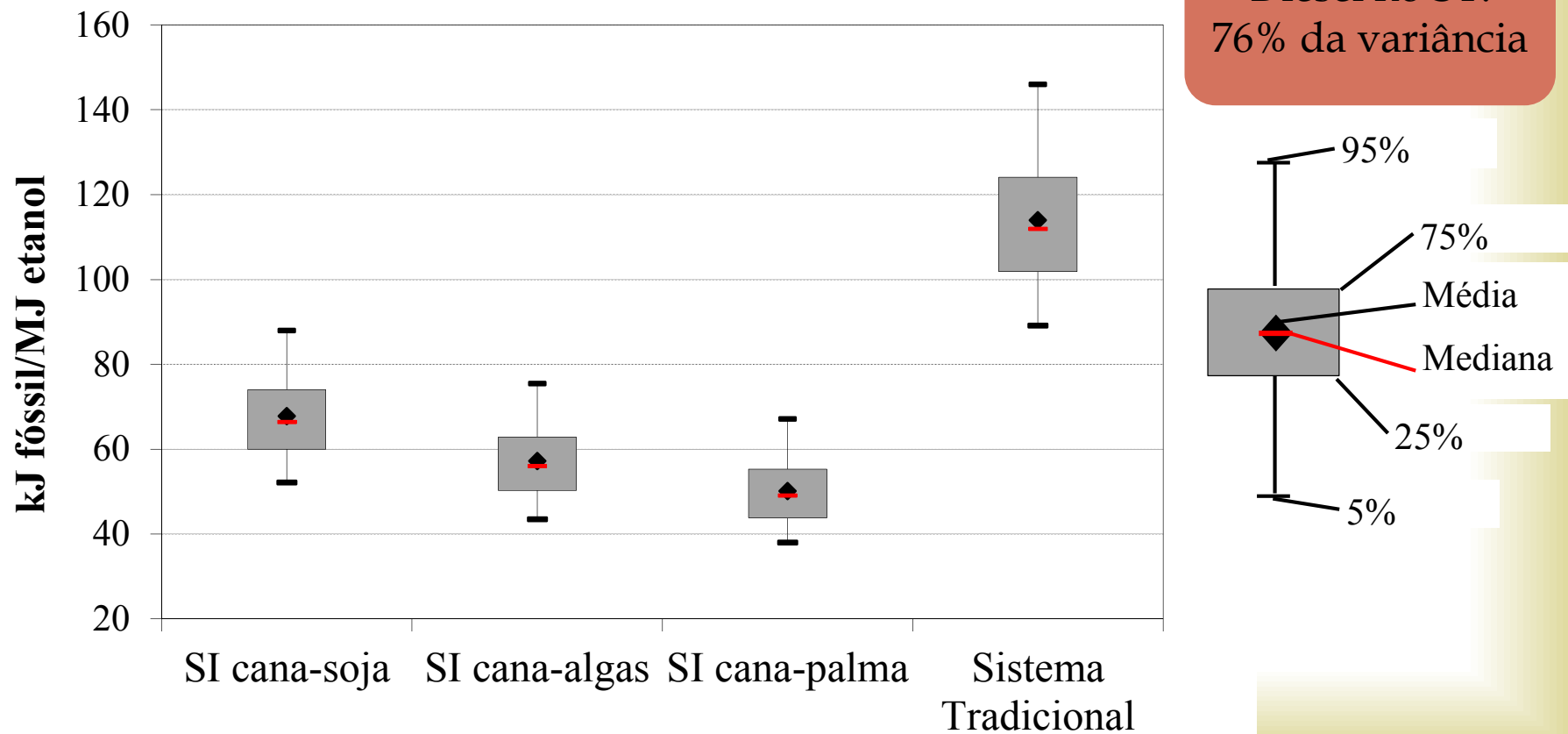


* Gasolina: 1150 kJ/MJ (Cavalett et al., 2012; Chagas et al., 2012).

Balanço de energia: Monte-Carlo



Análise de Incerteza – Monte-Carlo

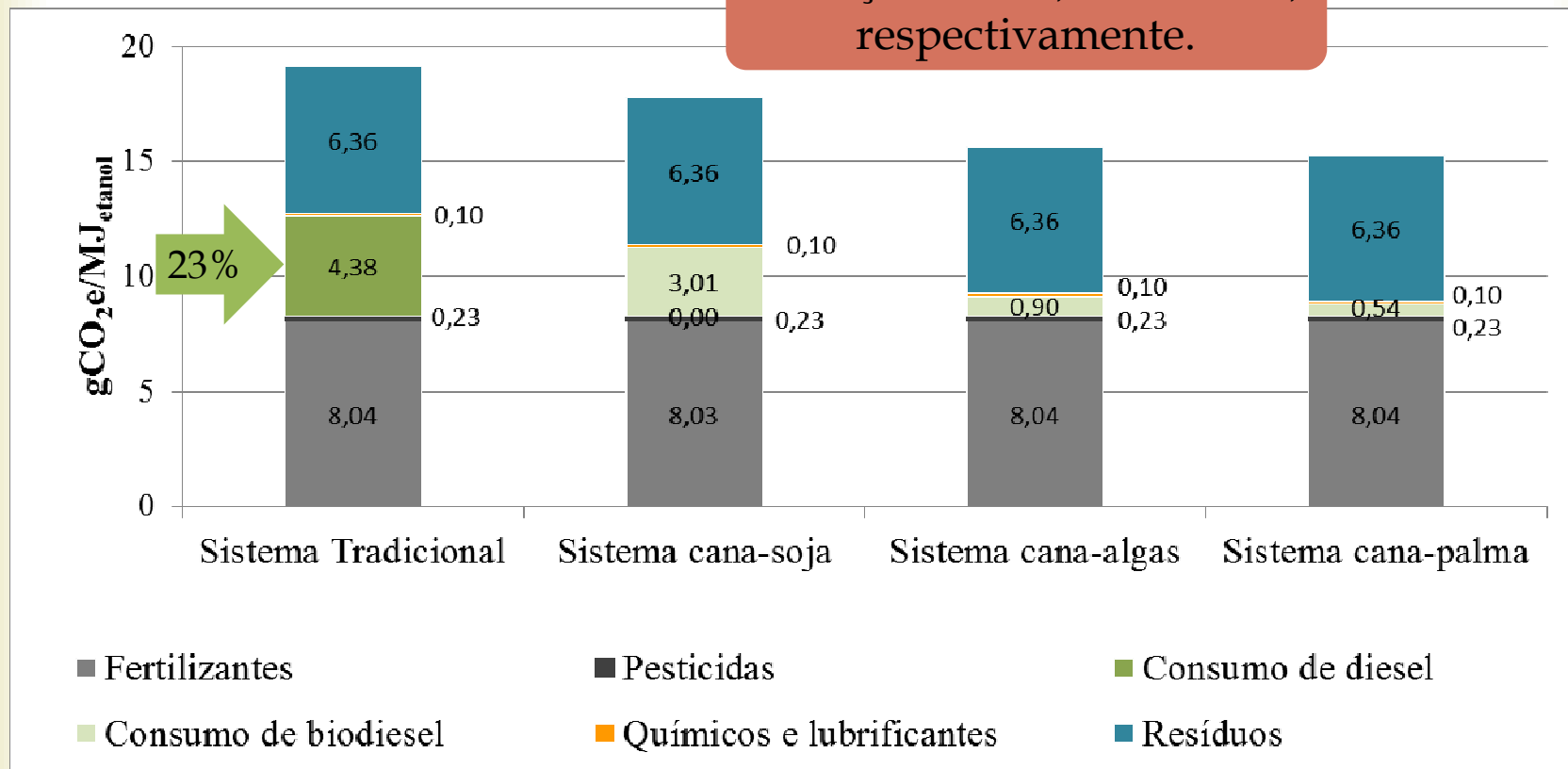


Diesel no ST:
76% da variância

Emissões de GEE



Redução de 7%, 15% e 19%,
respectivamente.

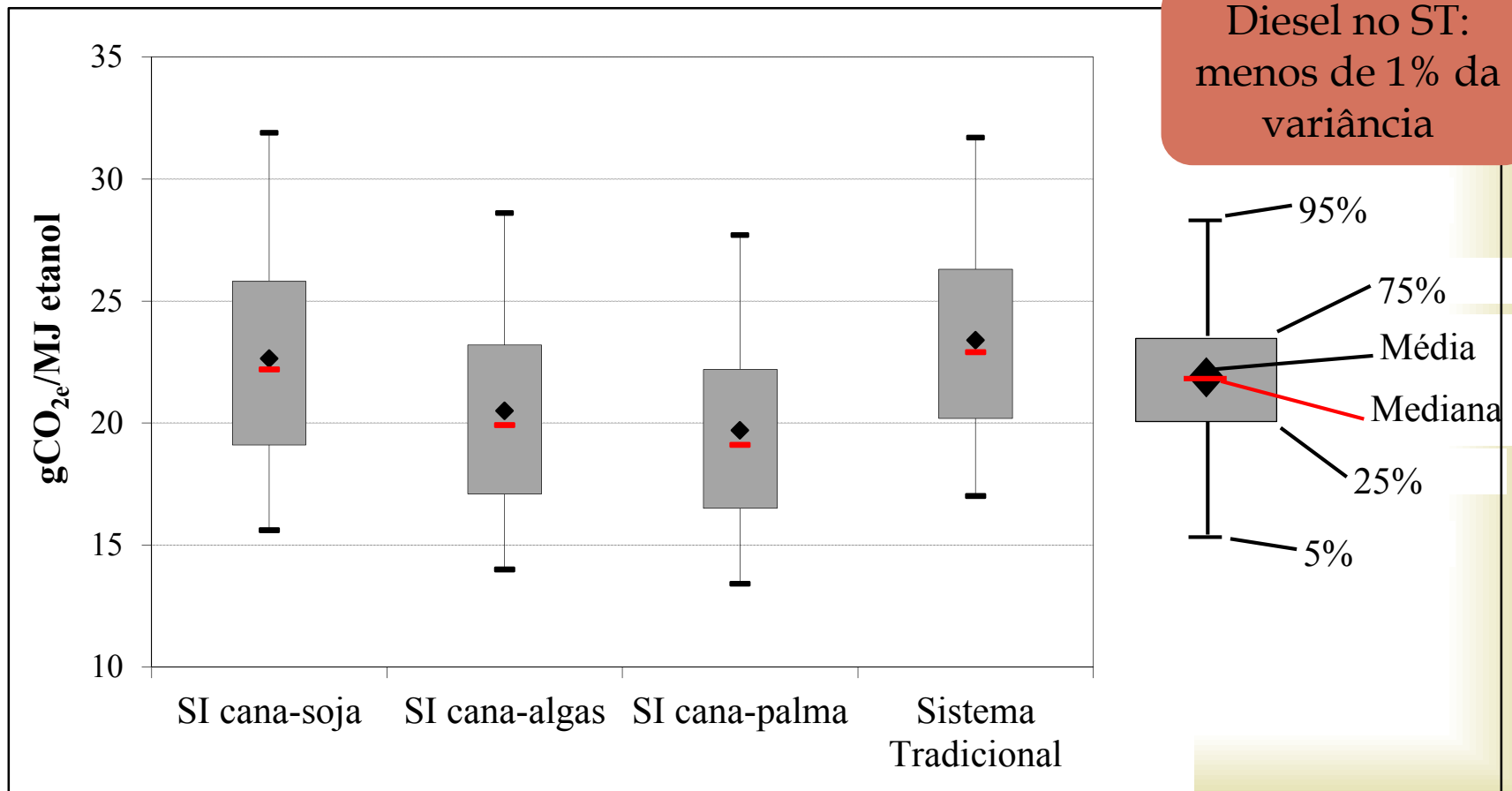


* Gasolina: 84 gCO₂e/MJ (Cavalett et al., 2012; Chagas et al., 2012).

Emissões de GEE



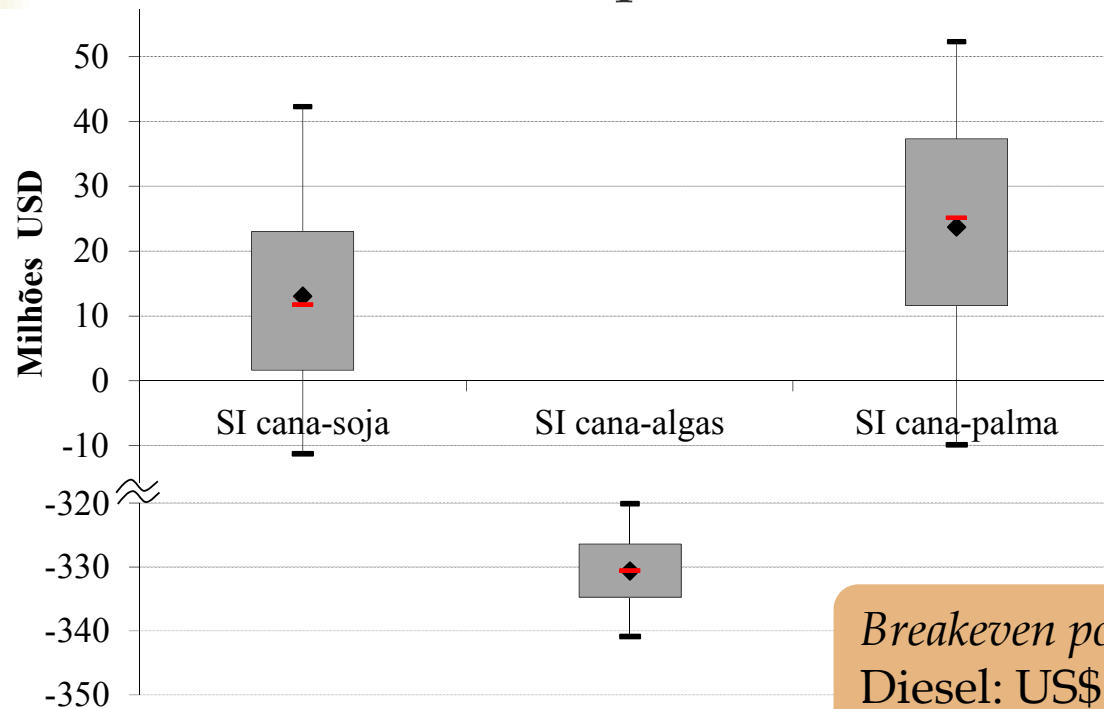
Análise de Incerteza - Monte-Carlo



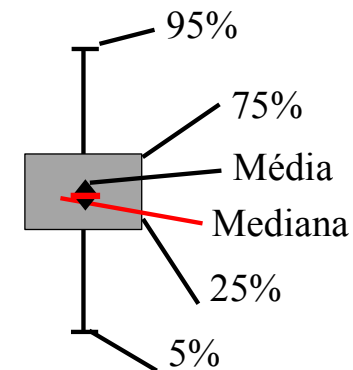
Avaliação Econômica



Valor Presente Líquido



Payback simples:
Cana-palma: 9 anos
Cana-soja: 5 anos



Breakeven point cana-algas:
Diesel: US\$ 5,60/L

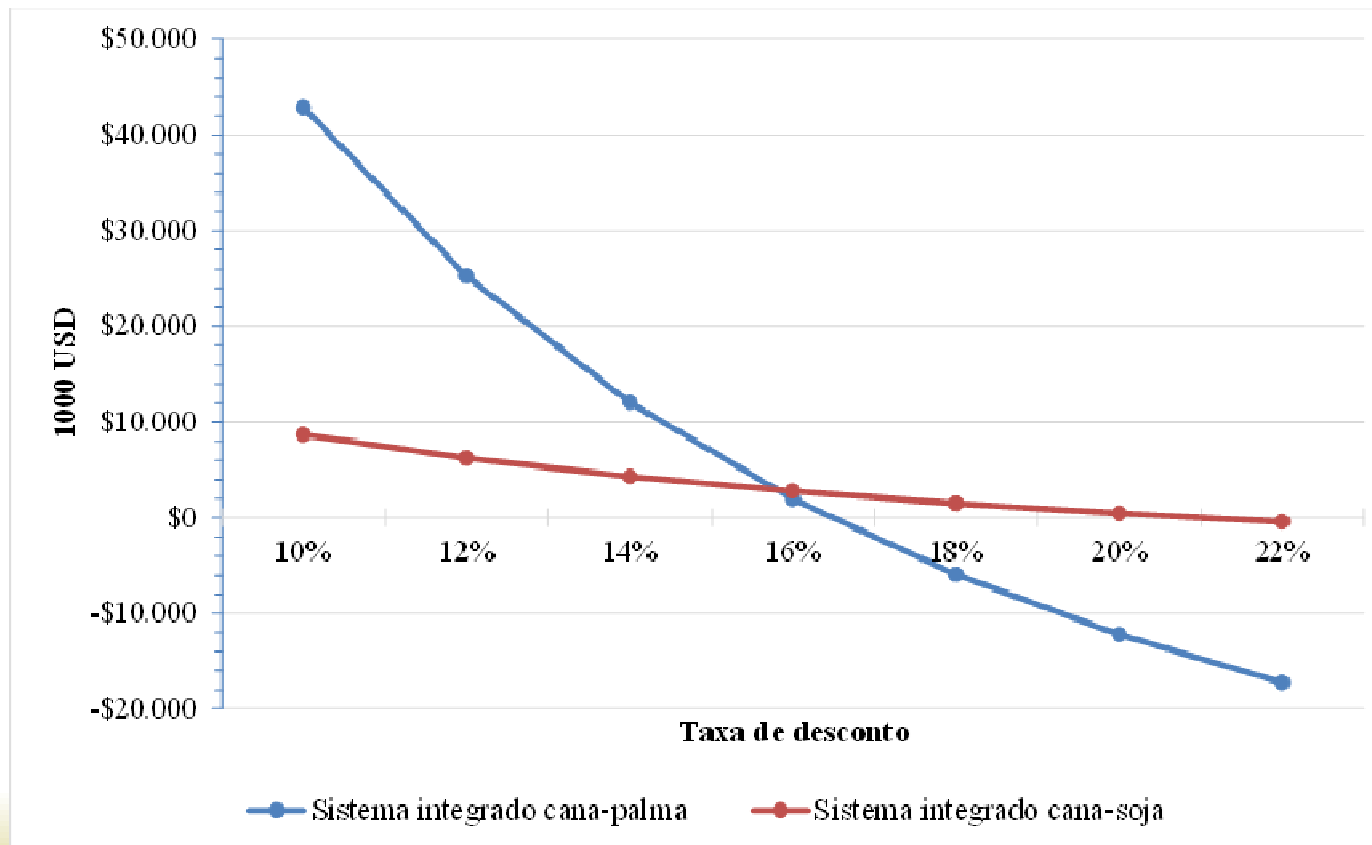
- Fatores que mais afetam os resultados:
 - Cana-palma: produtividade de cachos, preço do diesel, conteúdo de óleo.
 - Cana-soja: preços do grão de soja, da torta e do diesel.
 - Cana-algas: preço do diesel e equipamentos.

Avaliação Econômica



∞ Valor Presente Líquido

∞ Sistemas cana-palma → elevado investimento inicial



Análise de percepção



Percepção dos entrevistados: principais resultados

☞ Localização

- ☞ *Cana-soja*: culturas já consolidadas na mesma região → MT e GO.
- ☞ *Cana-algas*: sem limitações edafoclimáticas.
- ☞ *Cana-palma*: Cultivo de palma em regiões de cana ainda em fase experimental.

☞ Produtividade

- ☞ Algas e palma possuem maior potencial de produtividade.

☞ Uso da terra

- ☞ *Cana-soja*: melhor uso da terra para pequena escala → 26000 ha
- ☞ *Cana-algas*: não há limitação.
- ☞ *Cana-palma*: cultivo em áreas com declividade > 12% → 3000 ha

Percepção dos entrevistados: principais resultados

❧ Perspectiva de implantação

- ❧ *Cana-soja*: curto prazo.
- ❧ *Cana-palma*: médio prazo.
- ❧ *Cana-algas*: longo prazo.

❧ Geração de emprego

- ❧ *Cana-soja*: baixa.
- ❧ *Cana-palma*: elevada (se enquadra no PNPB).
- ❧ *Cana-algas*: mínima.

❧ Escala

- ❧ Plantas de biodiesel apenas para demanda interna → inviável.
- ❧ Palma no Cerrado → incerto.
- ❧ Algas em larga escala → incerto.

Percepção dos entrevistados: principais resultados

☞ Mercado

☞ **Oportunidades:** agregar valor e desenvolver novos mercados para coprodutos.

☞ Rota ética

☞ Ainda há limitações tecnológicas e econômicas.

☞ Evita problemas logísticos com importação do metanol, principalmente MT e GO (tóxico, controlado pela PF e constantes oscilações do preço).

Principais conclusões



- ❧ A produção integrada melhora o perfil ambiental do ciclo de vida do etanol.
 - ❧ Maiores benefícios: sistemas cana-algas e cana-palma.
 - ❧ Melhorias no manejo dos resíduos e fertilizantes poderiam ser mais eficazes para a redução de GEE.
- ❧ *Não há viabilidade econômica para o sistema cana-algas.*
- ❧ Ambos sistemas *cana-palma* e *cana-soja* demonstram *viabilidade econômica*.

Principais conclusões



GARGALOS:

- Custos de oportunidade inviabilizam a implantação e operação.
- Falta de incentivos; desinteresse do governo.
- Barreiras institucionais e legais → fabricantes de motor, ANP.

PANORAMA ATUAL:

- Dependência externa por diesel e metanol (80% usam metanol (Rathmann et al., 2012)).
- O consumo de diesel aumentará 37% até 2023, em relação a 2014 [PDE, 2014] → 6,5 milhões ha de soja.
- Problemas logísticos no transporte de diesel, metanol e biodiesel.
- Capacidade ociosa do setor de biodiesel é em torno de 50%.

Principais conclusões



- ❧ Cenários que afetariam os resultados:
 - ❧ O preço do farelo de soja dobrou entre 2011 (ano de referência) e 2013.
 - ❧ Novos ajustes no preço do diesel.
 - ❧ Alternativas para aplicação dos coprodutos → agregar valor (ex.: palma).
 - ❧ Produção de biomateriais e etanol de segunda geração
 - ❧ Tecnologias de biorrefinaria hoje estudadas ainda não são tecnicamente maduras.

Comentários Finais



- ❧ Cada sistema possui suas características específicas:
 - ❧ Oportunidades de mercado → coprodutos
 - ❧ Questões logísticas → Matéria-prima
 - ❧ Disponibilidade de insumos
 - ❧ Algas → Desenvolvimento tecnológico vs uso da terra.
 - ❧ Soja → know-how agrícola e industrial, mercado bem desenvolvido para farelo, integração já ocorre vs baixa produtividade.
 - ❧ Dendê → cadeia diversificada, coprodutos de potencial, alta produtividade vs desenvolvimento agrícola e uso da terra.

Agradecimentos



UNICAMP



Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico



Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol



Obrigada! 

Sugestões de trabalhos futuros



- ❧ Avaliar outras categorias de impacto ambiental.
- ❧ Identificar fatores de emissão de N_2O do manejo do solo para a realidade brasileira.
- ❧ Estudar possíveis otimizações de processo para a integração industrial, uso de maquinários e mão de obra → técnica (inclusive exergética) e econômica.
- ❧ Avaliar outras rotas de produção de algas.
- ❧ Uso de CO_2 da combustão vs da fermentação → Avaliar a viabilidade técnica e econômica.
- ❧ Avaliar os aspectos sociais dos sistemas integrados.
- ❧ Prospecção de produtos de maior valor agregado
- ❧ Explorar a avaliação econômica para a enésima planta.