

Introdução à Química Verde

Prof. Dr. Reinaldo Camino Bazito

*GPQA - Grupo de Pesquisa em Química Ambiental
Instituto de Química - USP*

www.gpqa.iq.usp.br

Tópicos:

- *Influência Humana sobre o Meio Ambiente;*
- *Desenvolvimento Sustentável;*
- *Química Verde: Definição e Histórico;*
- *O Brasil e a Química Verde;*
- *Os 12 Princípios da Química Verde;*

Tópicos:

- *Influência Humana sobre o Meio Ambiente;*
- *Desenvolvimento Sustentável;*
- *Química Verde: Definição e Histórico;*
- *O Brasil e a Química Verde;*
- *Os 12 Princípios da Química Verde;*

Influência Humana sobre o Meio Ambiente

O Meio Ambiente

Percepção da Influência Humana

Industrialização



**Efeitos sobre
habitat e saúde**



**Preocupação
Ambiental**



Poluição

Poluente: substância presente em concentrações maiores que as naturais como resultado da atividade humana, e que tem efeito negativo sobre o ambiente ou algo de valor no ambiente.

Contaminante: substância que resulta em desvio da composição normal do ambiente. Só será um poluente se causar efeito negativo.

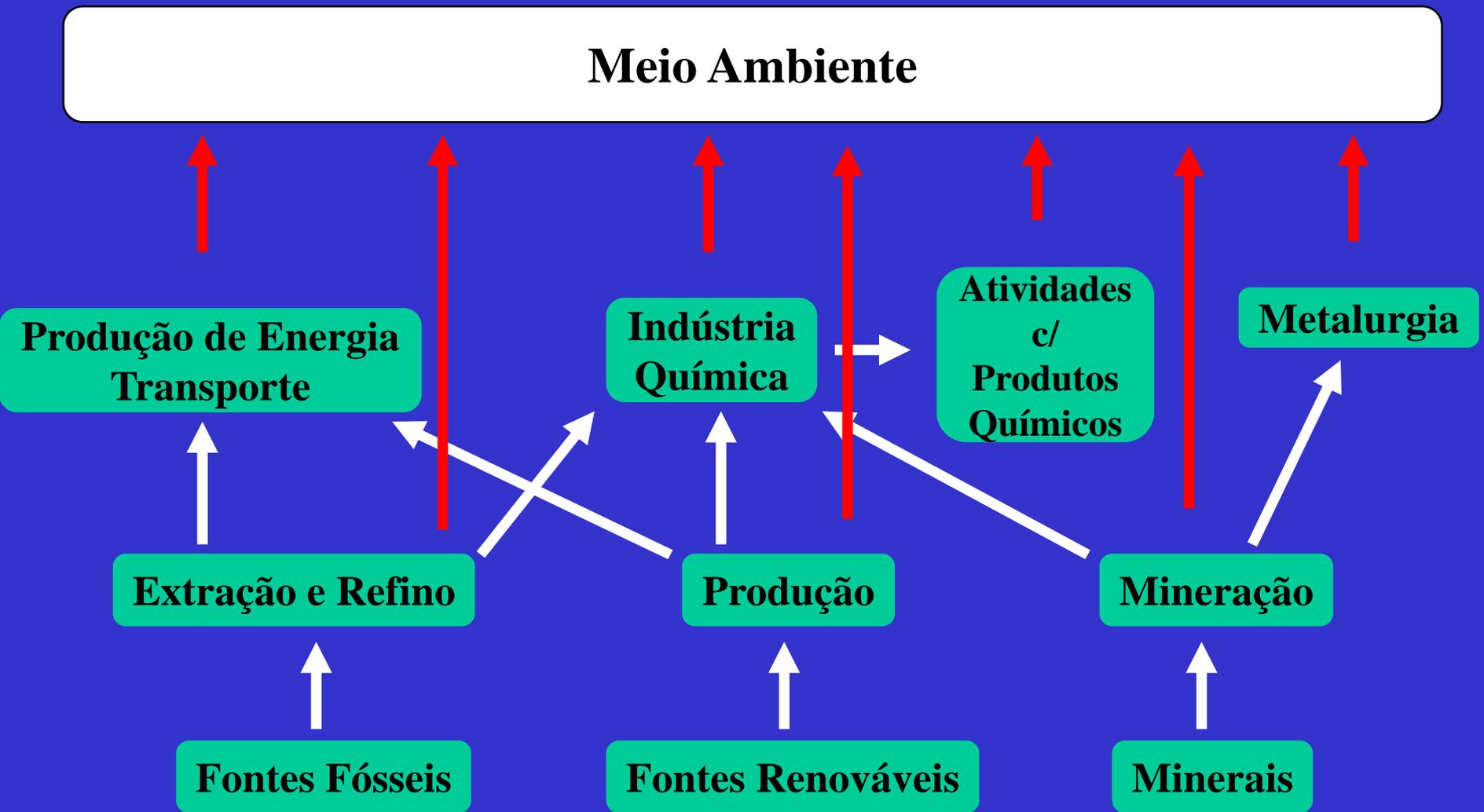
Poluente

Fonte: origem do poluente.

Receptor: objeto de atuação do poluente.

Dreno: mecanismo de deposição “permanente”.

Poluentes no Meio Ambiente



Química Ambiental



“Química do Meio Ambiente”:
observa, mede, entende e prevê

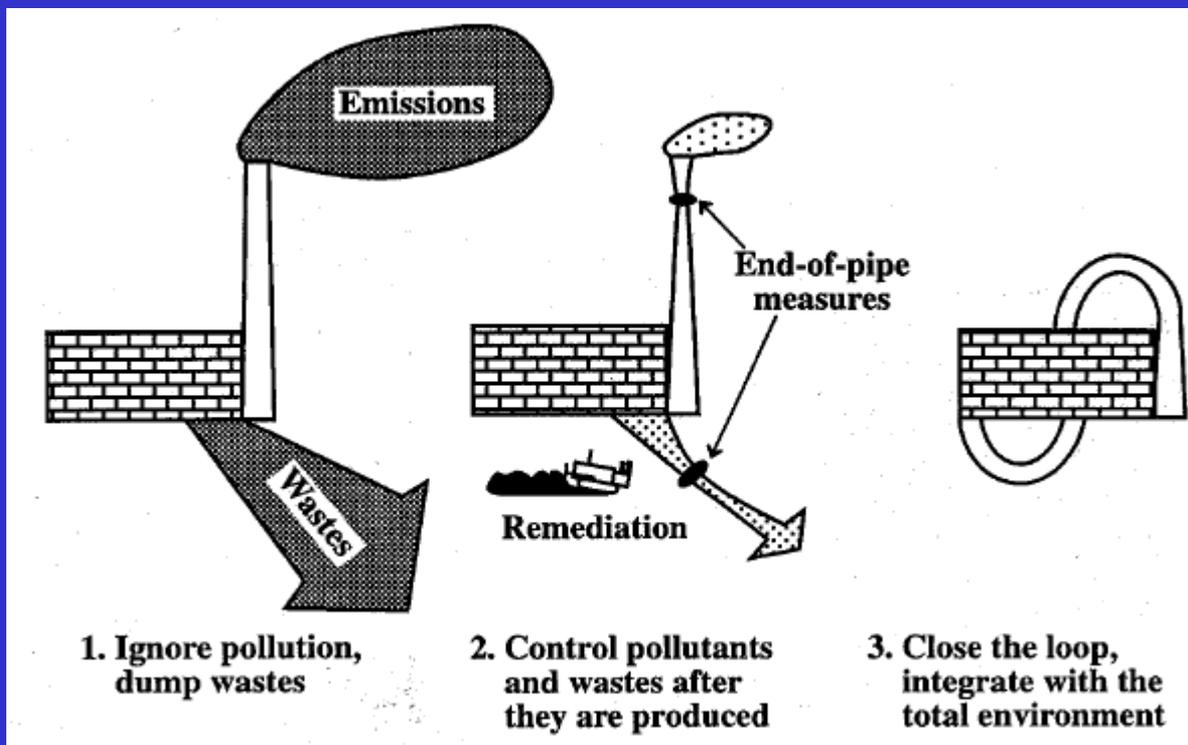
Problemas
Ambientais:
São Complexos!

Tópicos:

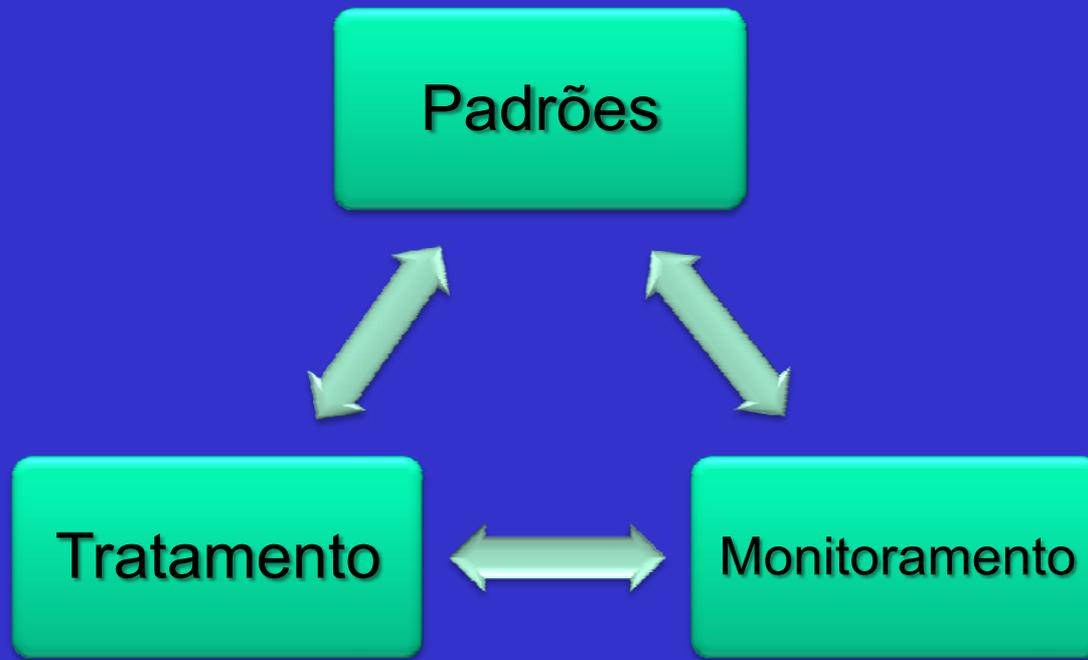
- *Influência Humana sobre o Meio Ambiente;*
- *Desenvolvimento Sustentável;*
- *Química Verde: Definição e Histórico;*
- *O Brasil e a Química Verde;*
- *Os 12 Princípios da Química Verde;*

Como lidar com a Poluição?

Poluentes: Diferentes Abordagens



Poluentes: Abordagem Tradicional



*Comando
e
Controle*

Legislação

**Química
Ambiental**

Comando e Controle

Custo Crescente

Necessidade de uma nova visão

Desenvolvimento Sustentável

Desenvolvimento Sustentável

*Supre as necessidades do presente
sem comprometer a habilidade das
gerações futuras de suprir
suas próprias necessidades*

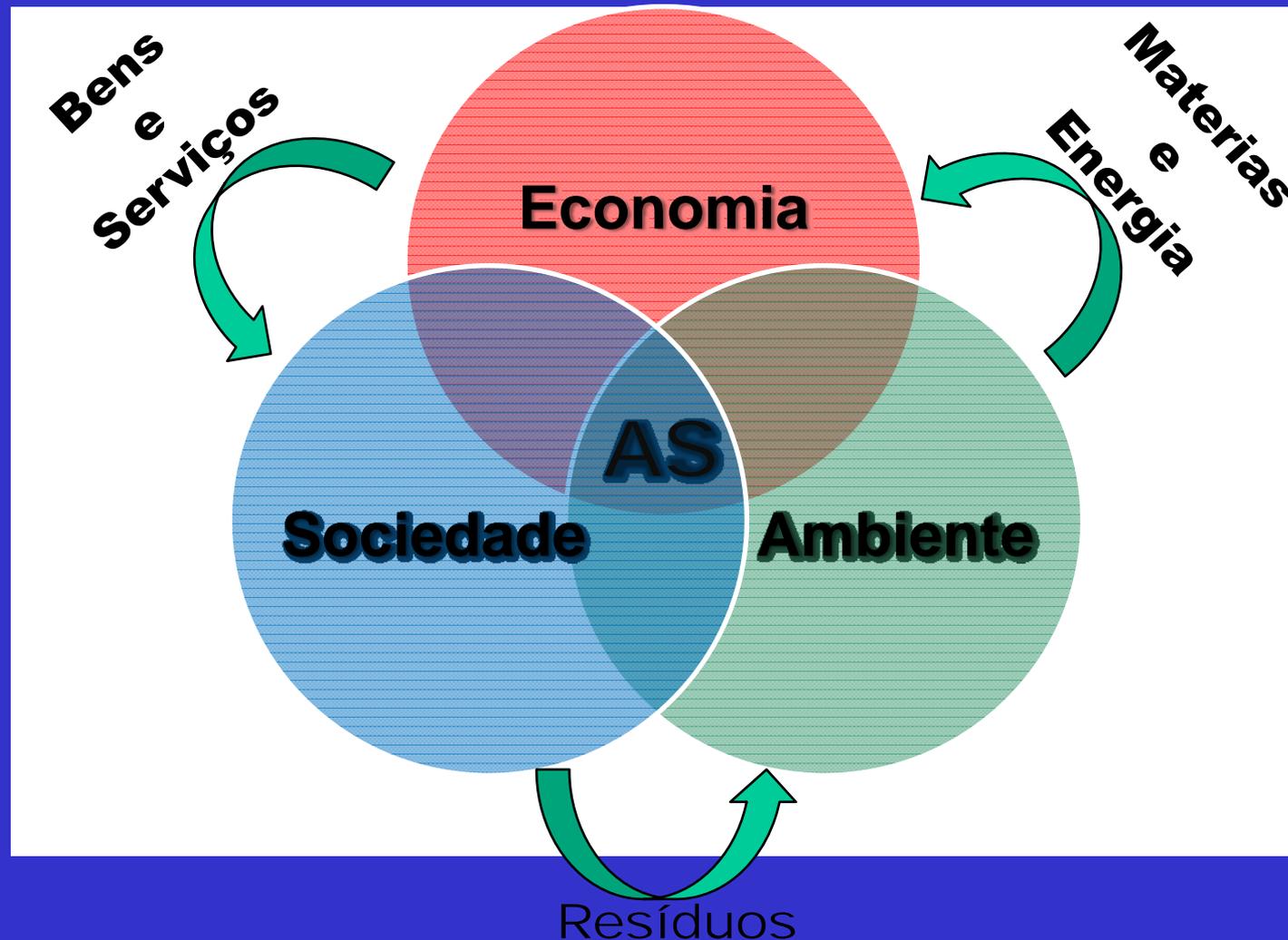
Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – ONU (1987)

Desenvolvimento Sustentável

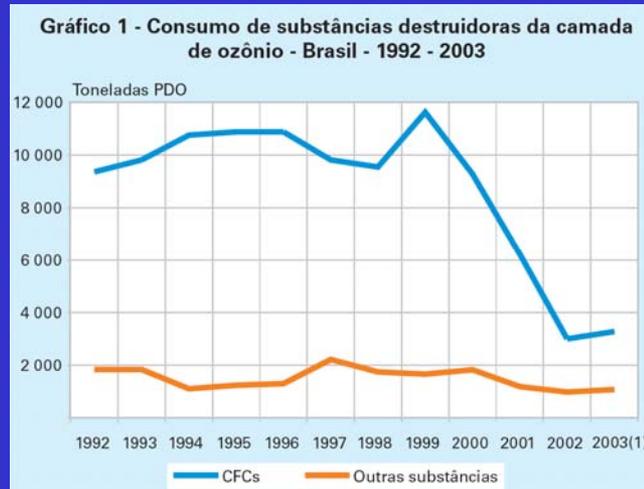
Como medir?

Indicadores de
Desenvolvimento Sustentável
(IDS)

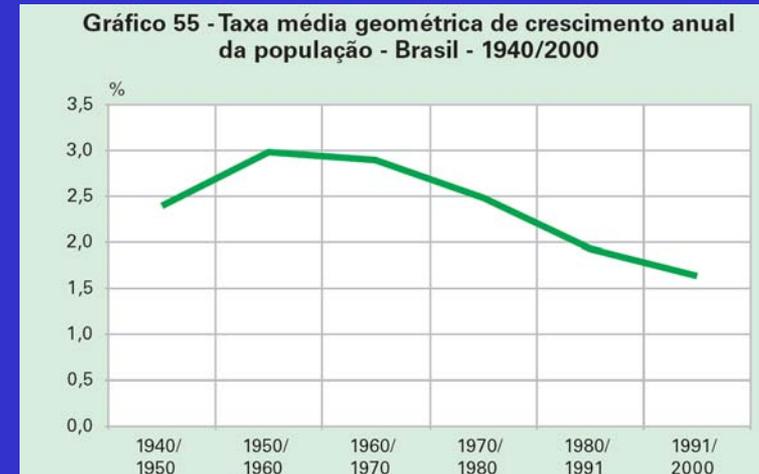
Desenvolvimento Sustentável



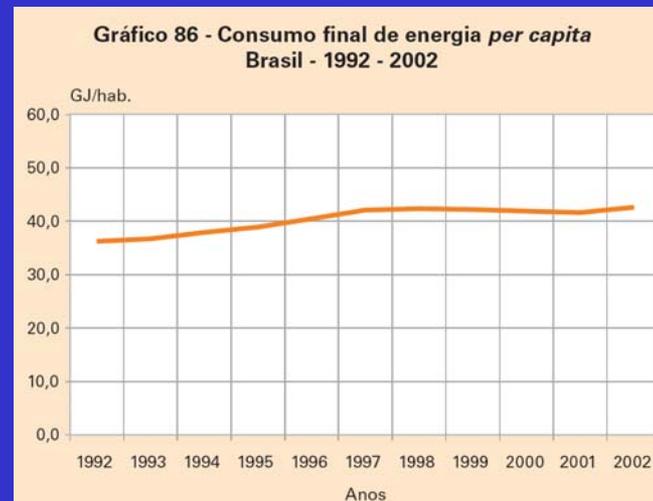
Indicadores de Desenvolvimento Sustentável



ambiental



social



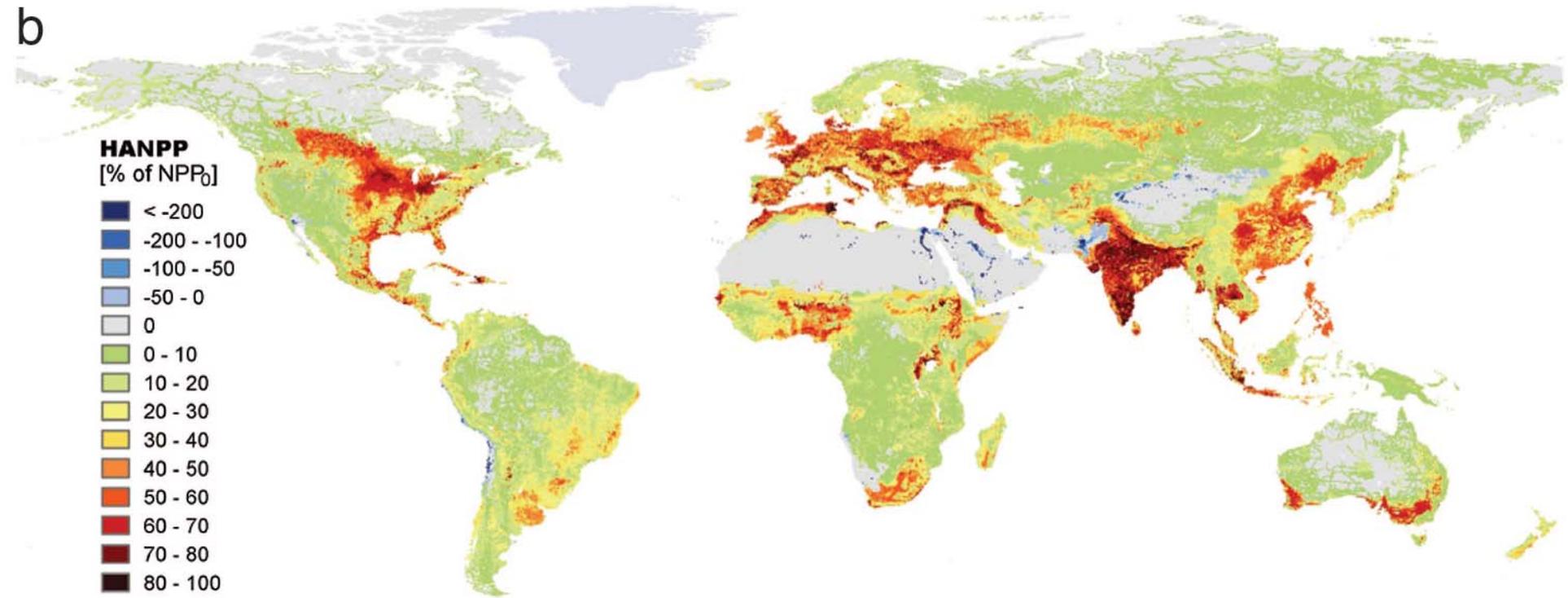
econômico

Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Brasil – IBGE (2004)

O desenvolvimento
pode ser sustentável?

Há limite para uso
dos recursos naturais?

HANPP = apropriação humana da produção primária líquida



HANPP global = 23,8% (em 2000!)

Recursos Naturais são Limitados!

- Reservas minerais;
- Área cultivável ;
- Água doce;
- Energia;
- Outros recursos ...

Não há desenvolvimento realmente sustentável!

Entretanto...

Podemos e devemos
reduzir o impacto!

Tópicos:

- *Influência Humana sobre o Meio Ambiente;*
- *Desenvolvimento Sustentável;*
- *Química Verde: Definição e Histórico;*
- *O Brasil e a Química Verde;*
- *Os 12 Princípios da Química Verde;*

Química Sustentável

Criação, manufatura e uso de produtos e processos químicos eficientes e efetivos, que sejam mais ambientalmente benignos.

Organização para Cooperação Econômica e *Desenvolvimento* – OECD (1998)

Química Sustentável:

Química Limpa

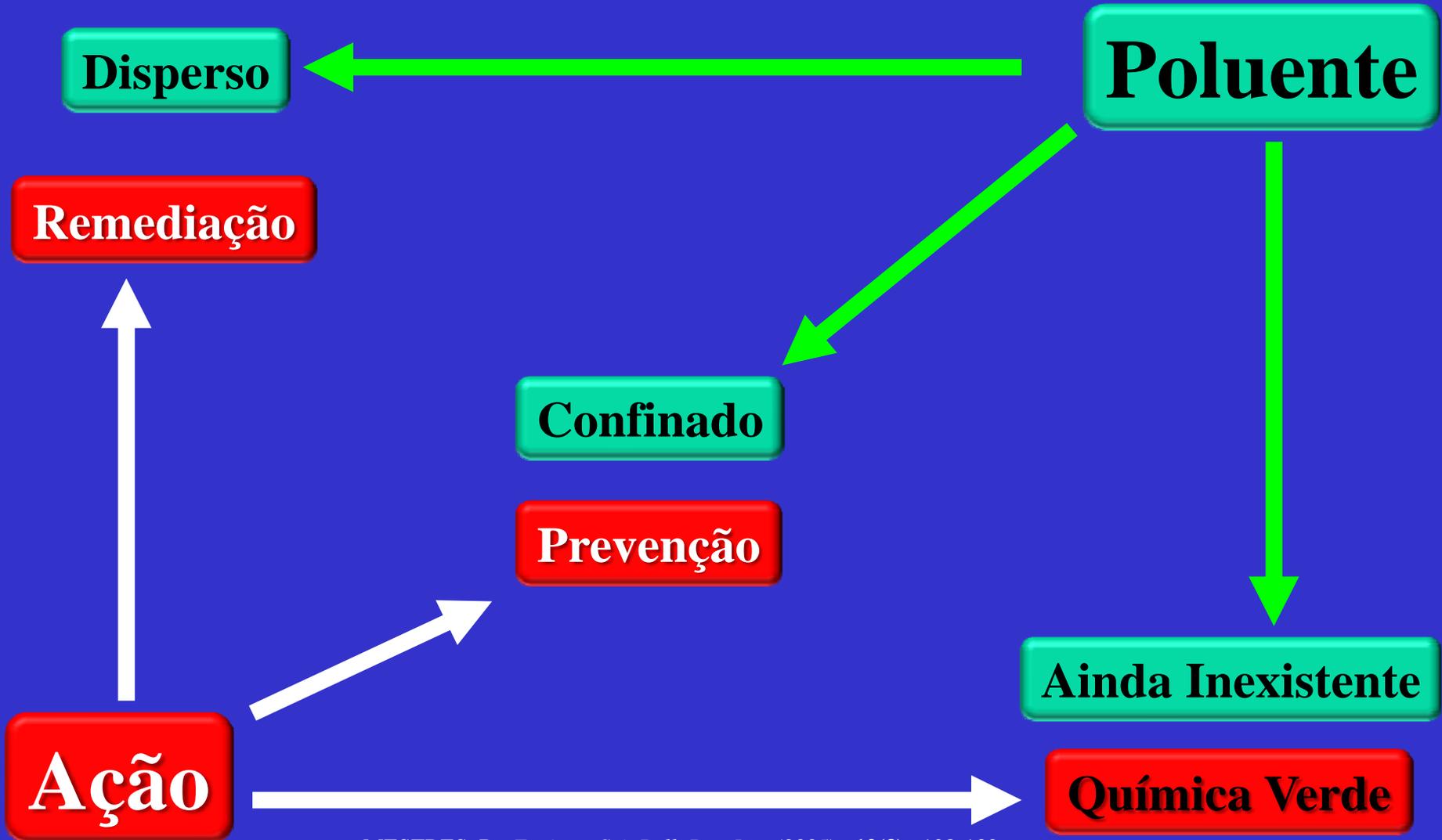
**Prevenção da Poluição
(P2)**

**Produção mais Limpa
(P+L)**

Química Ecoeficiente

Química Verde

Poluentes: Nova Abordagem



Química Verde

“A invenção, desenvolvimento e aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias perigosas”

Termo proposto na década de 90 por Paul Anastas
(US-EPA)

Um breve histórico da Química Verde

A década de 90 marcou a mudança:

Controle/Comando → Prevenção da Poluição

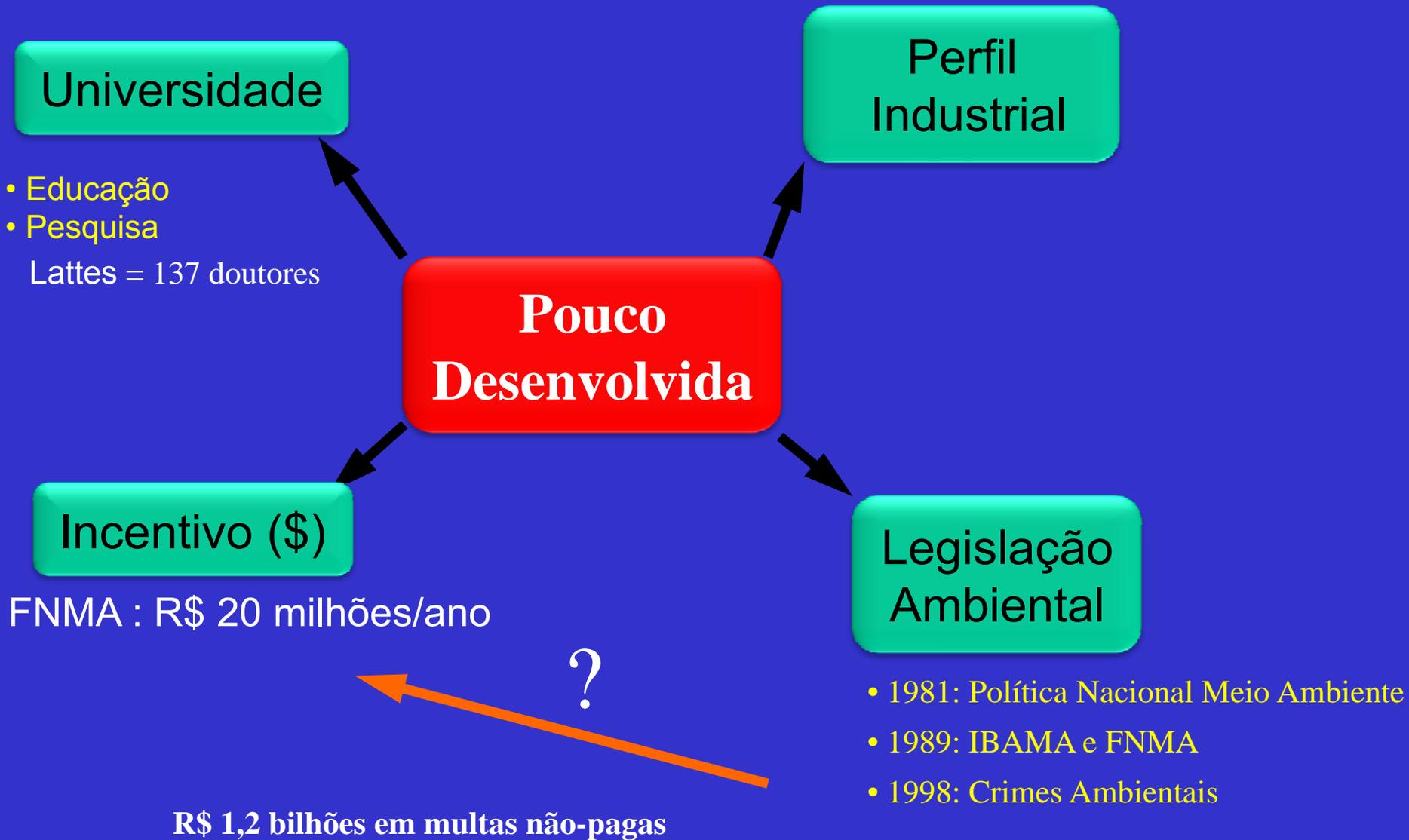
- EUA:
 - Pollution Prevention Act (1990);
 - U.S. Green Chemistry Program (1991)
- Europa e Ásia (década de 90):
 - Itália: INCA ;
 - Reino Unido: programas de pesquisa e ensino;
 - Japão: GSCN;
- Periódico *Green Chemistry* (RSC): 1999

Tópicos:

- *Influência Humana sobre o Meio Ambiente;*
- *Desenvolvimento Sustentável;*
- *Química Verde: Definição e Histórico;*
- *O Brasil e a Química Verde;*
- *Os 12 Princípios da Química Verde;*

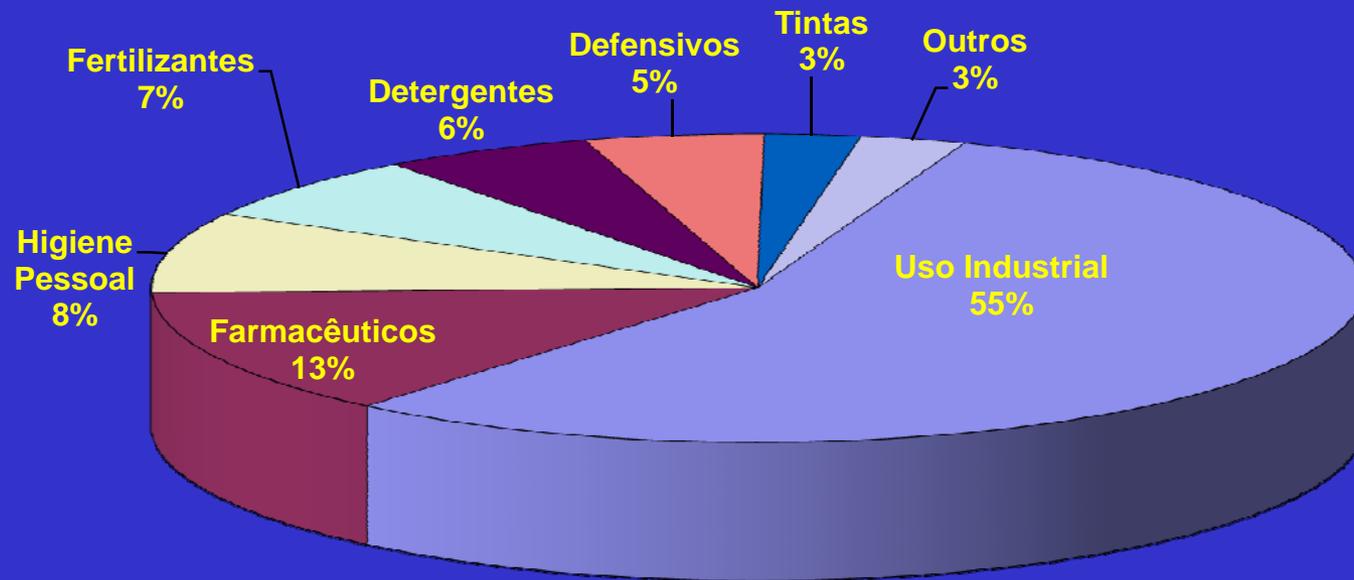
A Química Verde no Brasil

Química Verde no Brasil



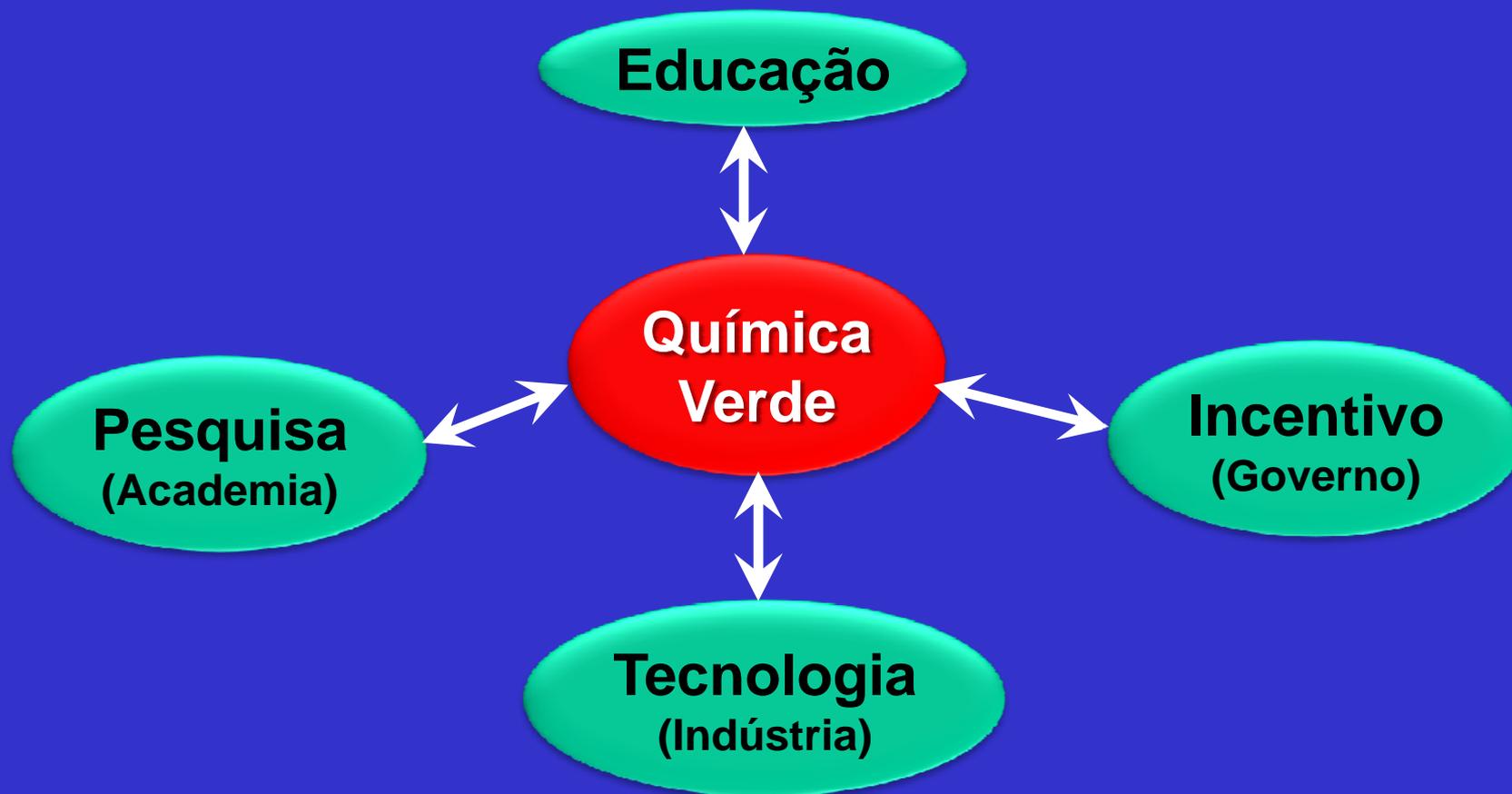
Perfil da Indústria Química Brasileira

Faturamento Bruto



ABIQUIM (2006)

Como desenvolver a Química Verde?



Educação

Mudança no modo de pensar

**Química
Verde**



**“Filosofia”
Novo modo de pensar**

Desafios:

- Divulgação/Ensino
- Aceitação
- **Aplicação!**

Divulgação e Ensino

- escolas de verão, minicursos, etc;
- cursos regulares na graduação e pós-graduação;
- permeação nas demais disciplinas (lab);
- ensino médio/fundamental

Aceitação e Aplicação

- atividades de pesquisa;
- empresas (via aluno egresso);
- pesquisa específica na área.

O Químico e o Meio Ambiente:

Visão Tradicional (comando/controle)

- Química Analítica;
- Físico-Química;
- Noções C. Ambientais

Visão Verde (prevenção poluição)

- Química Orgânica
- Química Inorgânica;
- Ciência dos Materiais
- Ciências Ambientais
- Tecnologia

No Instituto de Química da USP (São Paulo, SP)

- Curso de Graduação de Bacharelado em Química Ambiental;
- Disciplina regular na graduação e na pós-graduação;
- Escola de Verão;
- Pesquisa na área;
- Mudanças (lentas) nas disciplinas.

Bacharelado em Química Ambiental

IQ-USP

- 1ª turma em 2007 (2º Semestre);
- Bacharel em Química;
- Conhecimentos em Meio Ambiente (Visão Verde);
- Tecnologia (currículo novo).

Escola de Verão em Química Verde

“Visão geral da Química Verde e sua importância na solução de problemas ambientais”

- Aberta a alunos de todo o Brasil;
- Cursos de Química e afins;
- Sem limitação de semestre;
- Gratuito, proporcionando alimentação e alojamento

I Escola de Verão em Química Verde – IQ-USP - 2007



Indústria

Iniciativas no Brasil - Indústria



Rede Brasileira de
Produção mais Limpa



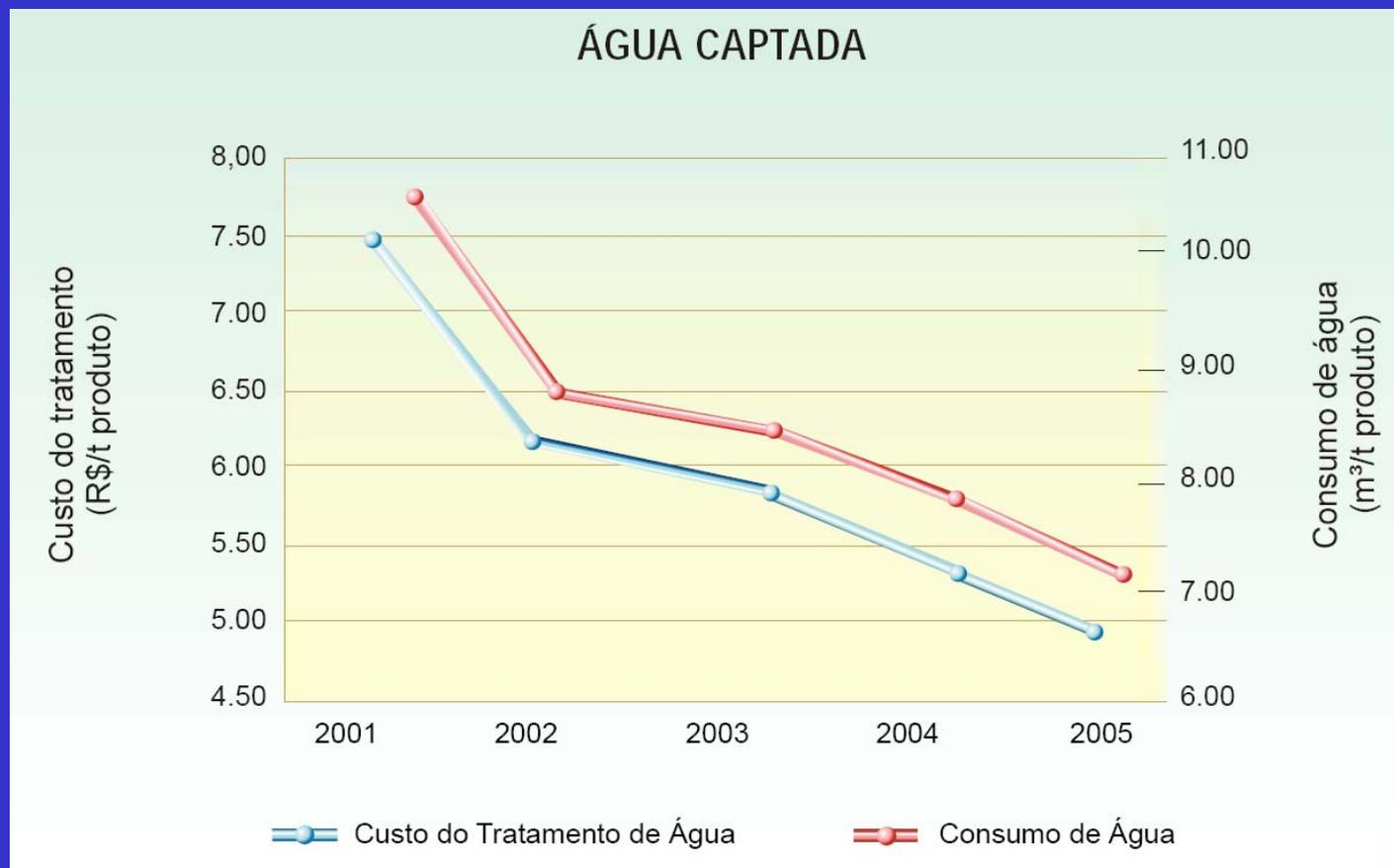
ABIQ

Atuação Responsável

**Teclim – Rede de Tecnologias
Limpas**



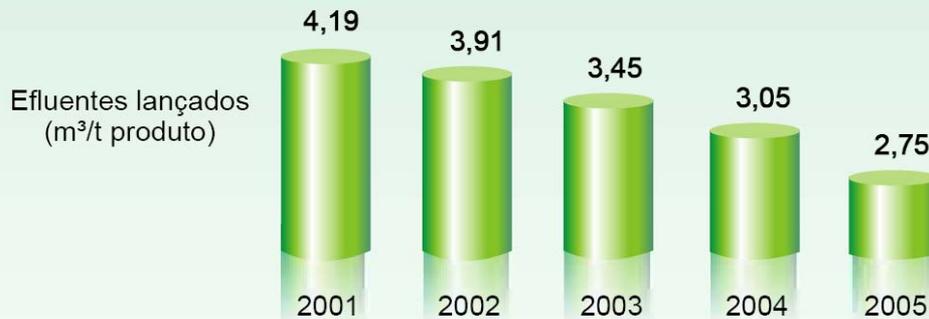
Uso Racional de Água



ABIQUIM (2006)

Redução Efluentes

VOLUME DE EFLUENTES LANÇADOS



GERAÇÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS E NÃO-PERIGOSOS



EMIÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO



ABIQUIM (2006)

Energia



ABIQUIM (2006)

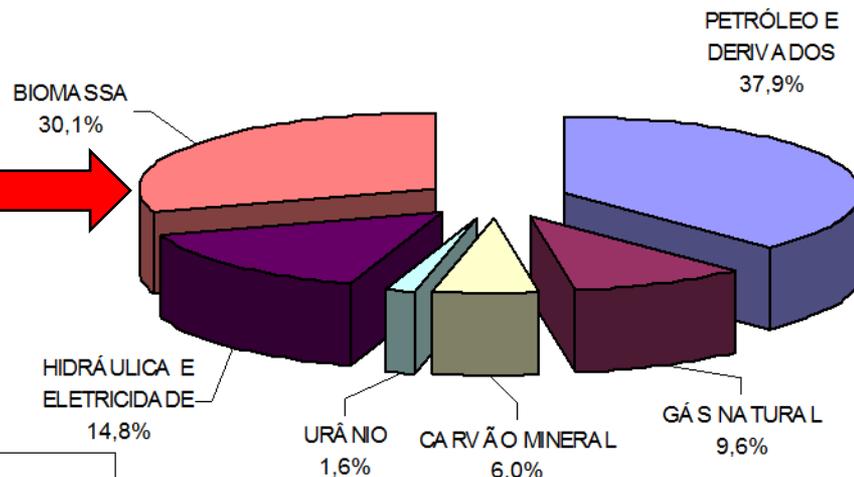
Energia

Brasil

OFERTA INTERNA DE ENERGIA - 2006 BRASIL

225,7 10⁶ tep

Inclui carvão vegetal!



Renováveis – 44,9%
Não-renováveis – 55,1%

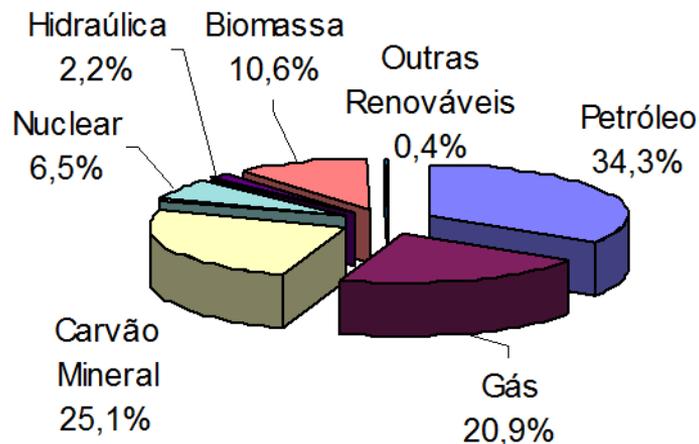
BEM - MME (2006)

Mundial

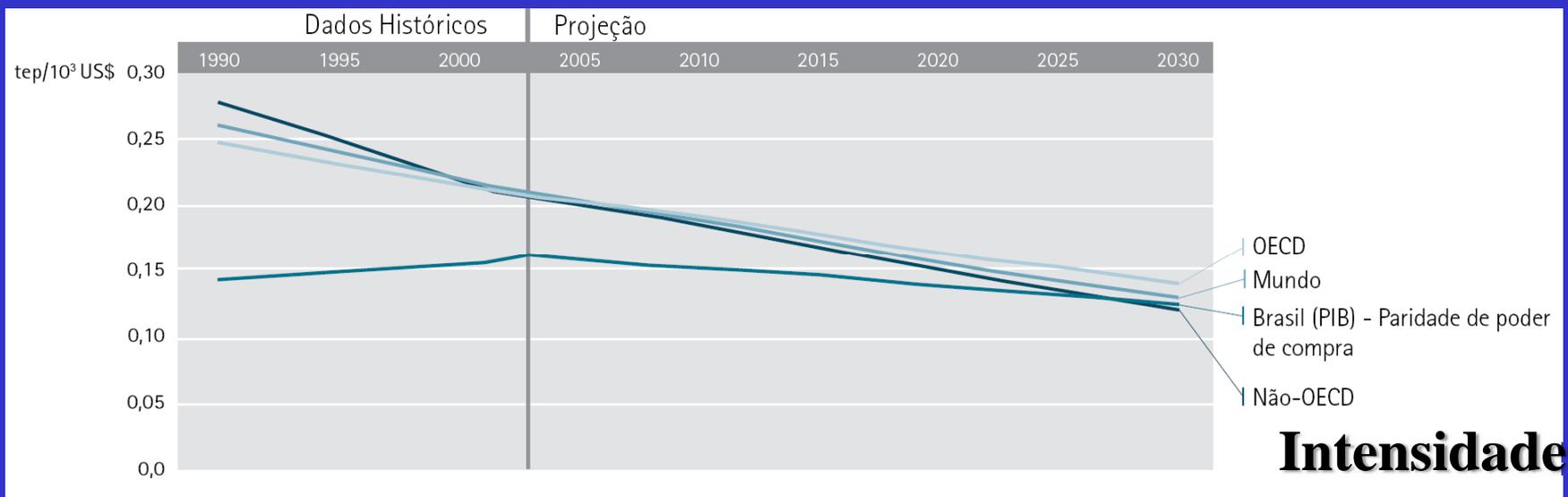
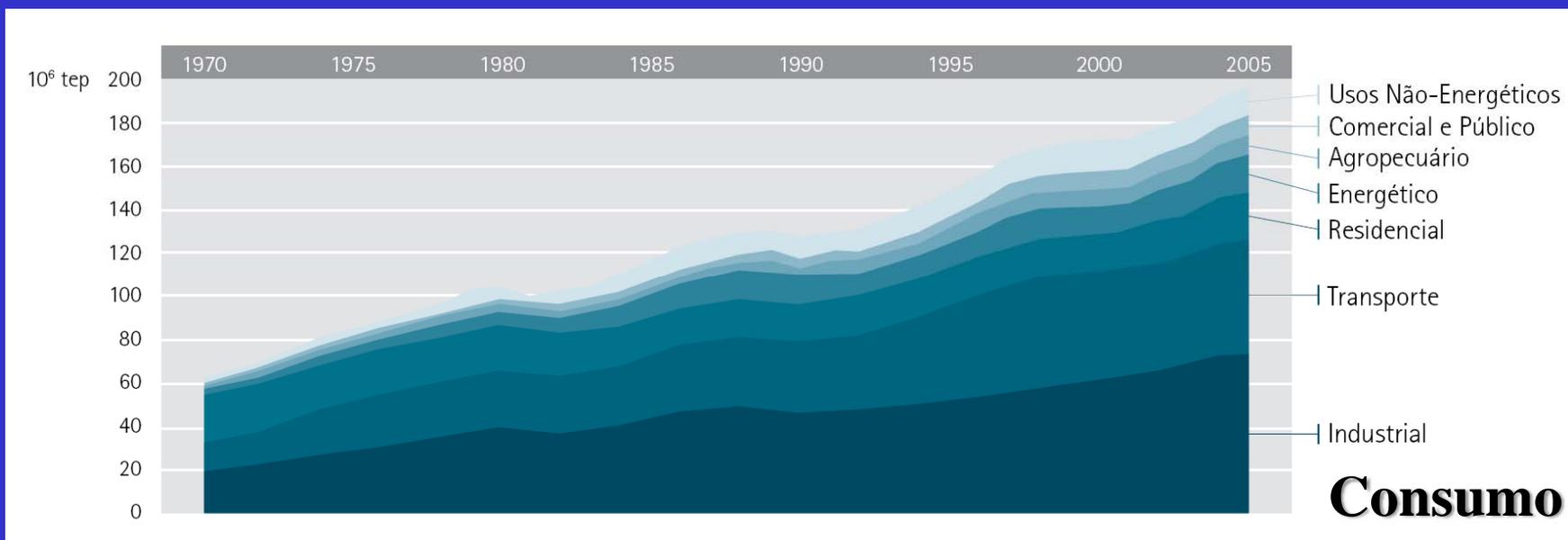
2004

11.059 10⁶ tep

Renováveis 13,2 %
Não-renováveis 86,8 %



Energia



Academia

Iniciativas no Brasil - Academia

137 doutores no Lattes

Diversos grupos em universidades e centros de pesquisa, atuando em:

- Catálise e Biocatálise;
- Solventes Alternativos;
- Materiais Renováveis;
- Processos;
- Análise de ciclo de vida.

Tópicos:

- *Influência Humana sobre o Meio Ambiente;*
- *Desenvolvimento Sustentável;*
- *Química Verde: Definição e Histórico;*
- *O Brasil e a Química Verde;*
- *Os 12 Princípios da Química Verde;*

O que é a Química Verde?

Como empregá-la?

Onde posso aprendê-la?

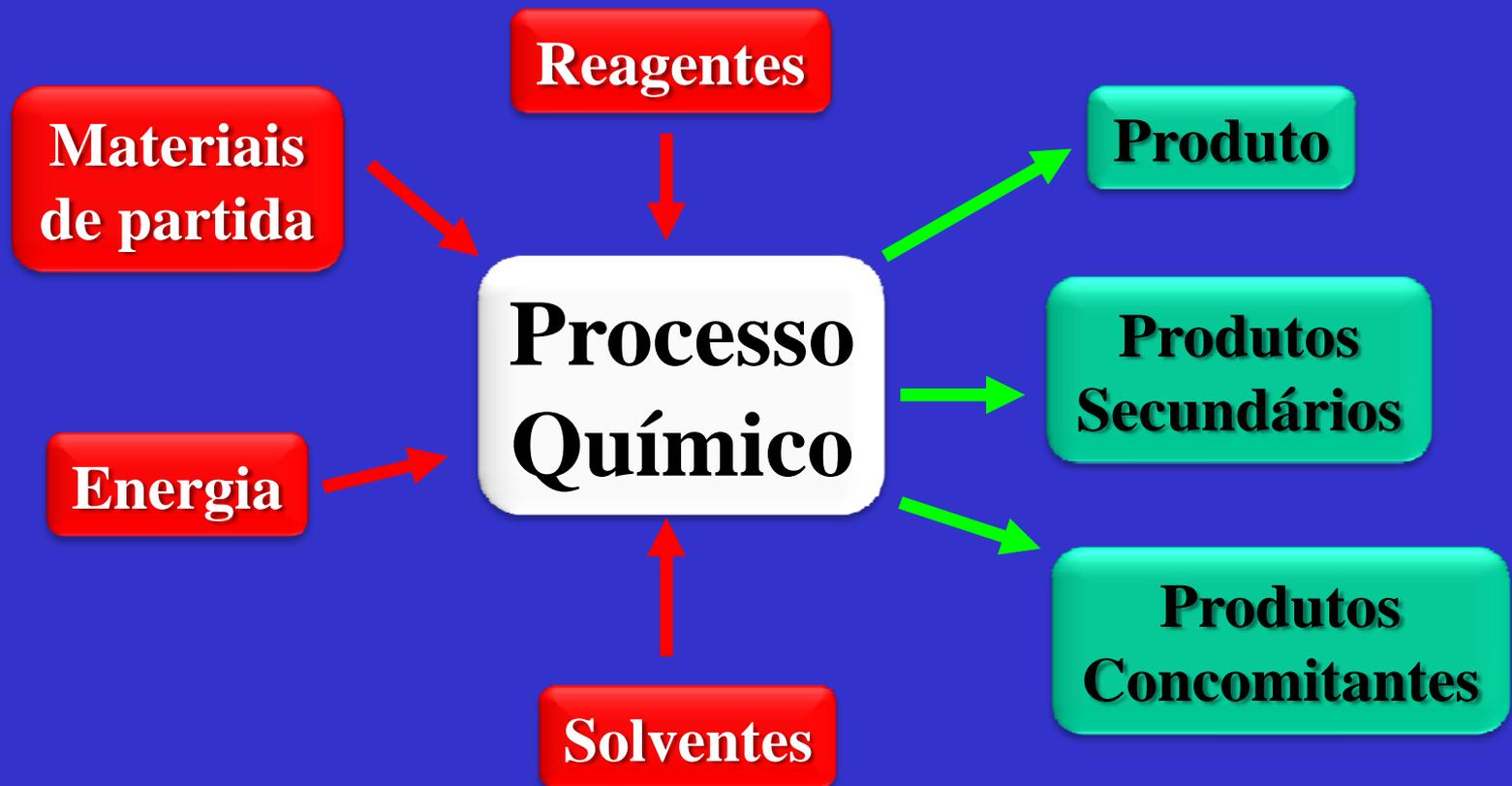
Química Verde



“Química para o Meio Ambiente”:

busca a melhoria constante

Processos Químicos



12 Princípios da Química Verde

(Paul Anastas – U.S. EPA)

Linhas gerais de atuação sobre um processo ou produto para torná-lo menos impactante ao meio ambiente.

Os 12 Princípios da Química Verde:

Princípio 1:

Prevenção da formação de dejetos
(no lugar de seu tratamento)

1. Prevenção da formação de dejetos:

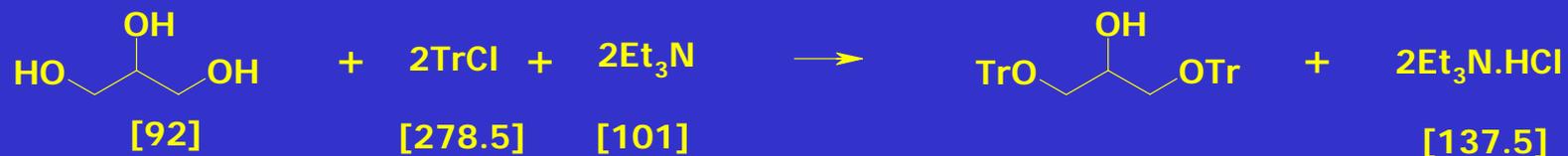
Como quantificar?

Fator E = Quantidade Resíduo (kg)/Produto (kg)

	Produção	Fator E
Commodities	10^4 - 10^6	<1 - 5
Química fina	10^2 - 10^4	5 - >50
Indústria Farmacêutica	10 - 10^3	25 - >100

1. Prevenção da formação de dejetos:

2-metoxipropano-1,3-diol a partir do glicerol



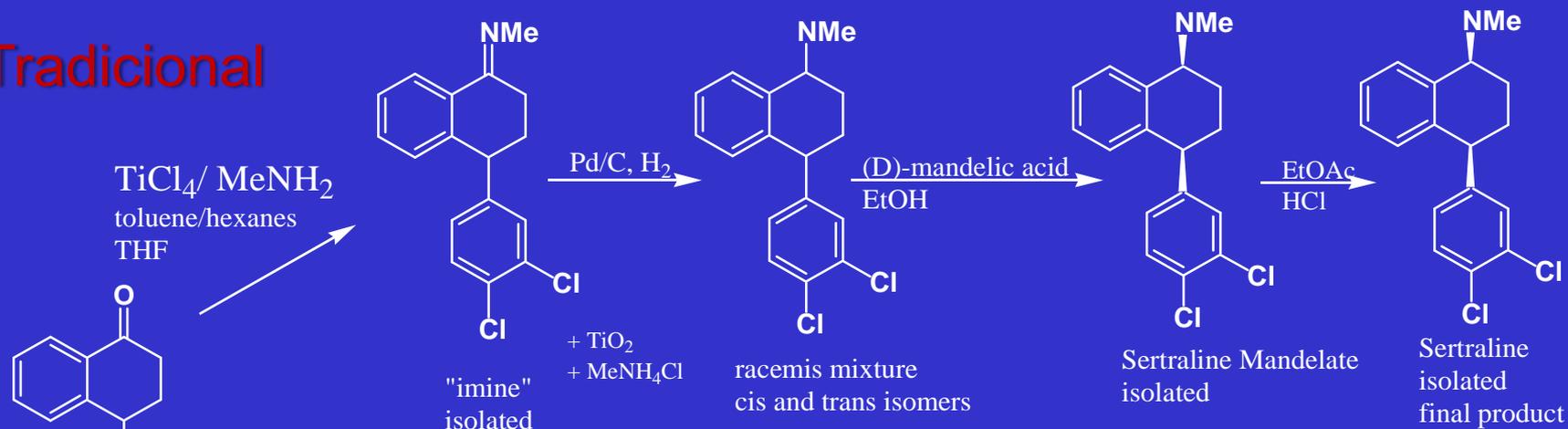
Somente pela estequiometria das reações:

1 kg glicerol produz 1,15 kg 2-metil-éter e 12,04 kg de resíduos!

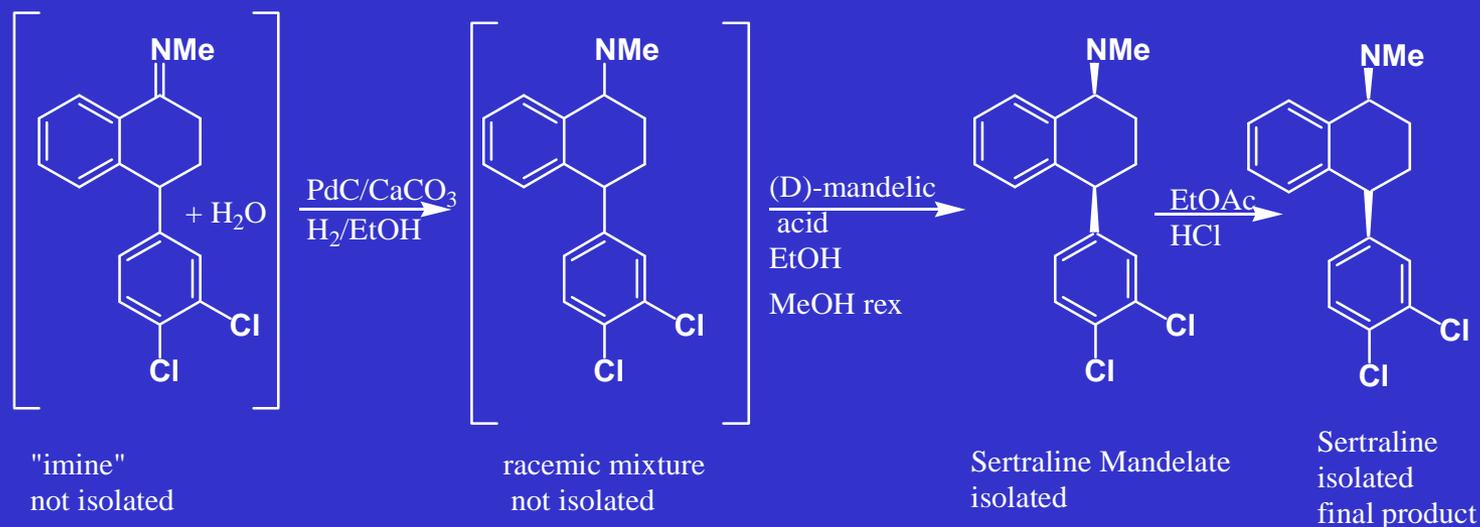
University of York, GCN (www.chemsoc.org/gcn)

1. Prevenção da formação de dejetos:

Tradicional



Verde



Os 12 Princípios da Química Verde:

Princípio 2:

Economia de átomos

(incorporação no produto final)

2. Economia de átomos:

Fração de átomos incorporados ao produto final

$$\% \text{ Economia Atômica} = \frac{\text{MM átomos usados}}{\text{FM de todos os reagentes}}$$

2. Economia de átomos:

Eficiência Atômica:



Carbono - 100%

Hidrogênio - $7/9 \times 100 = 77,8\%$

Oxigênio - $0/1 \times 100 = 0\%$

Nitrogênio - 100%

Eficiência em Massa (base 1 mol):



Produto = $(6 \text{ C}) (12) + (7 \text{ H}) \times (1) + (0 \text{ O}) \times 16 + (1 \text{ N}) \times (14) = 93\text{g}$

Reagentes = $(6 \text{ C}) (12) + (9 \text{ H}) \times (1) + (1 \text{ O}) \times 16 + (1 \text{ N}) \times (14) = 111\text{g}$

Eficiência de massa = $93/111 \times 100 = 83.8\%$

2. Economia de átomos:

Ineficientes

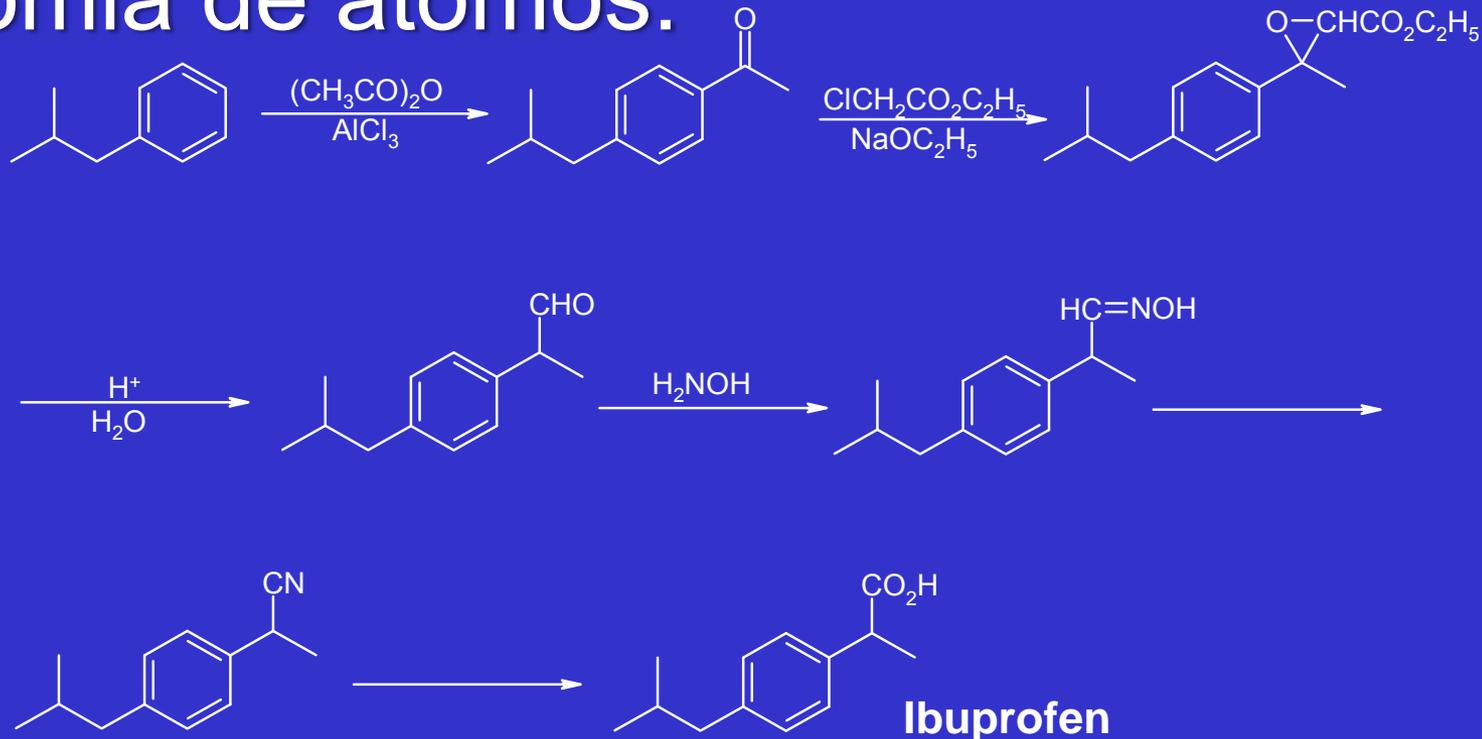
- Eliminação;
- Substituição;
- Grignard;
- Wittig, etc

Eficientes

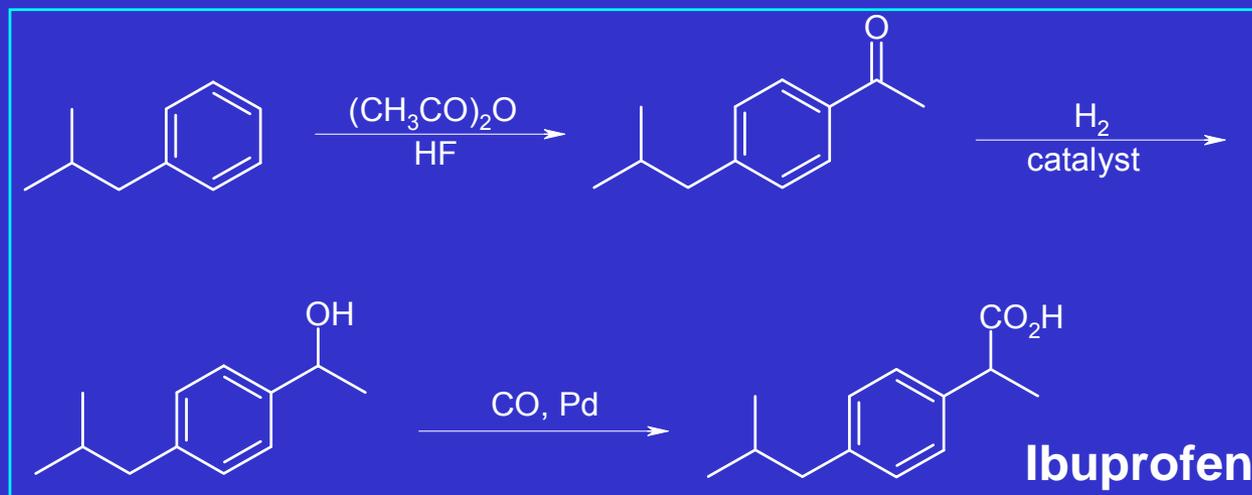
- Adição (incluindo Diels-Alder);
- Rearranjos;

2. Economía de átomos:

Tradicional
40%

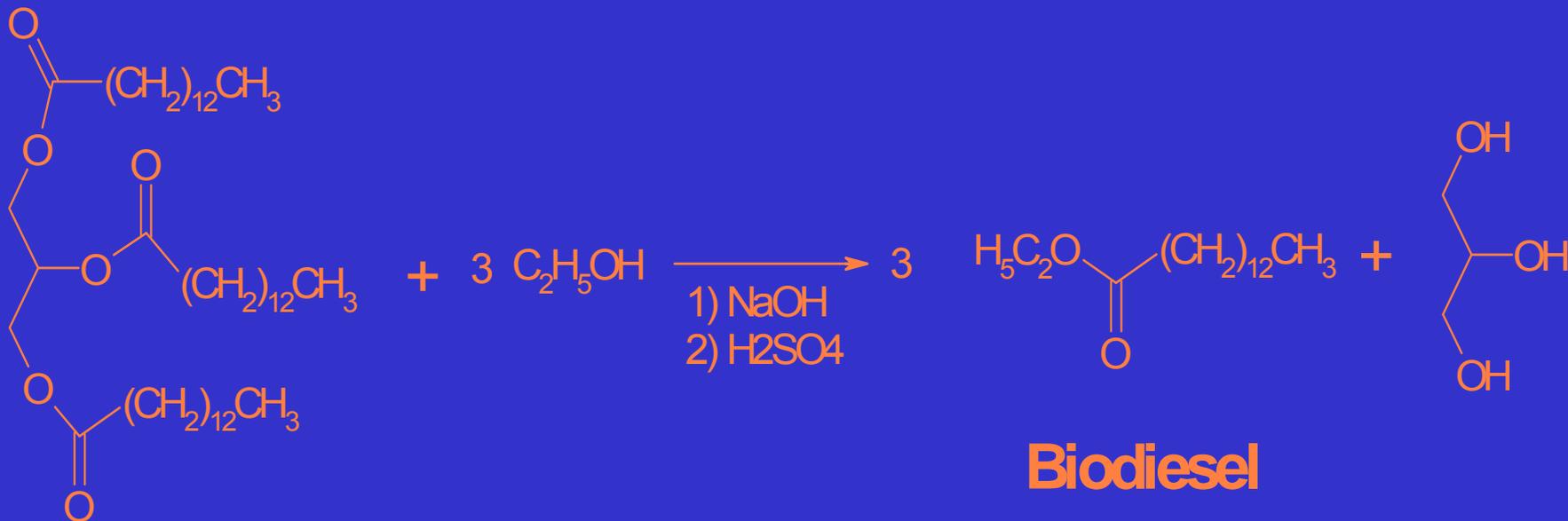


Verde
99%



2. Economia de átomos:

Calcule a eficiência atômica



Óleo Vegetal

Biodiesel

Os 12 Princípios da Química Verde:

Princípio 3:

Redução da toxicidade

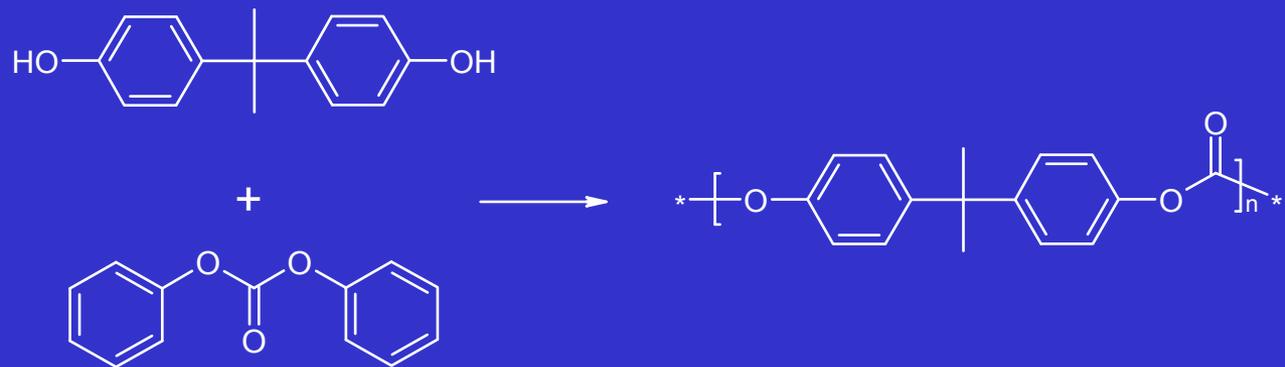
(de reagentes e produtos usados nas sínteses)

3. Redução de Toxicidade:

Policarbonato Tradicional



Policarbonato Verde (sem fosgênio)



Os 12 Princípios da Química Verde:

Princípio 4:

Desenvolver produtos seguros
(e eficientes)

Os 12 Princípios da Química Verde:

Princípio 5:

Eliminar ou tornar seguros
solventes e outros auxiliares de reação

5. Solventes Alternativos:

- Sem solvente;
- Água;
- CO₂ supercrítico.

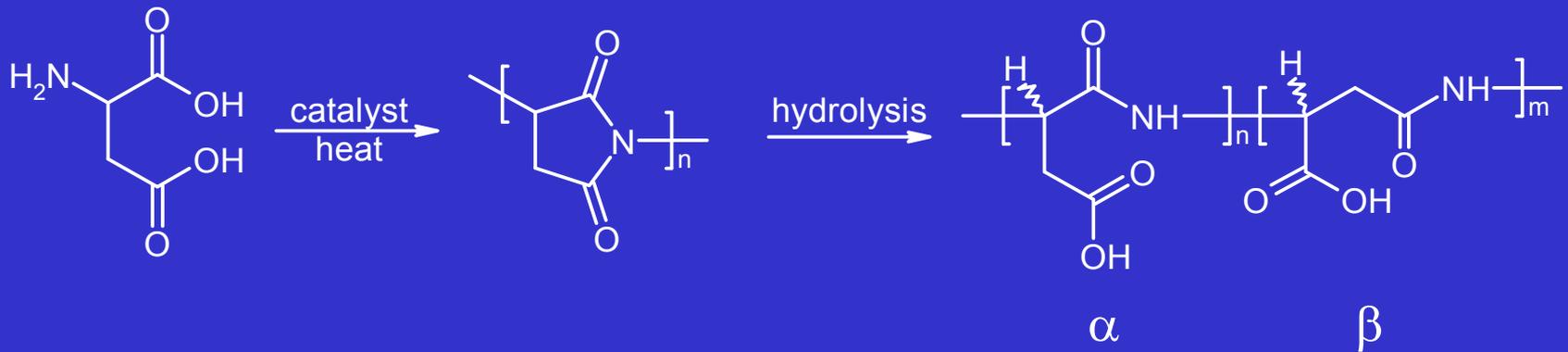
Os 12 Princípios da Química Verde:

Princípio 6:

Minimizar/Otimizar o uso de energia
(T e P ambientes, etc)

6. Minimizar energia:

Ácido poliaspártico



Os 12 Princípios da Química Verde:

Princípio 7:

Usar fontes renováveis de matéria-prima

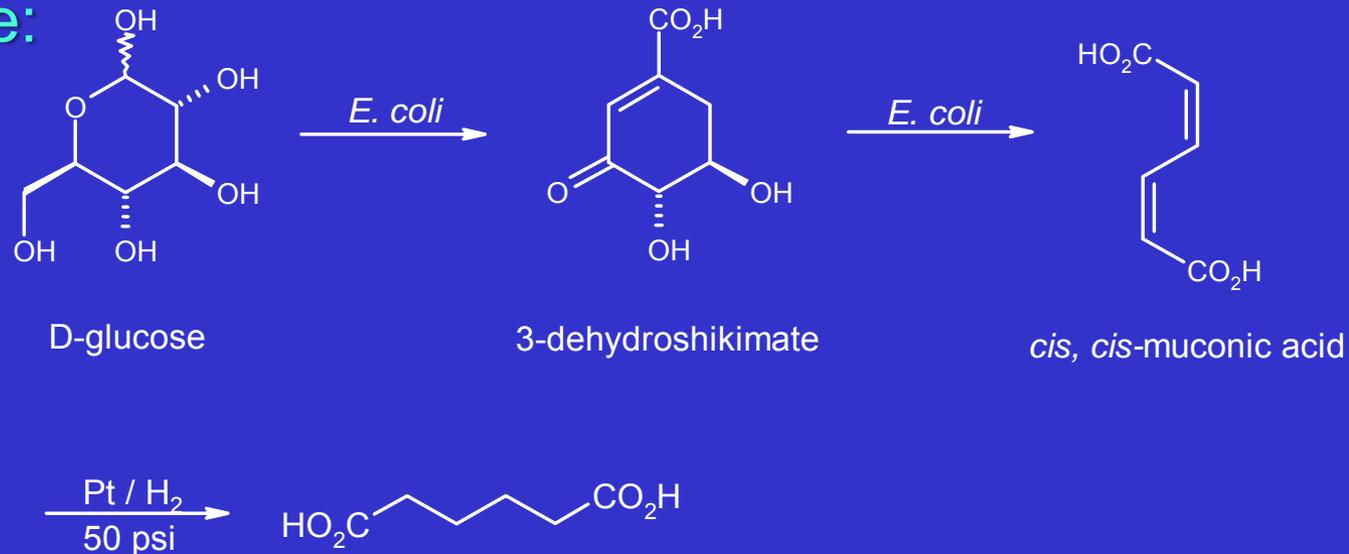
7. Fontes Renováveis:



Ác. Adípico
Tradicional



Ácido Adípico Verde:

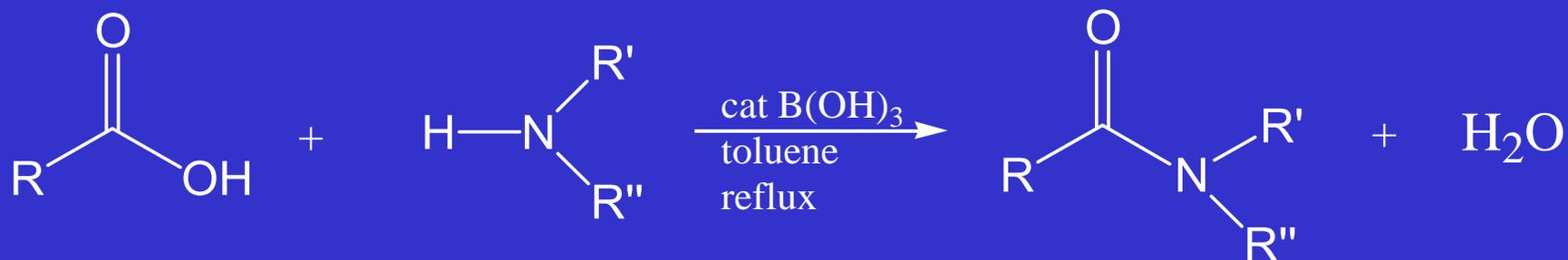


Os 12 Princípios da Química Verde:

Princípio 8:

Evitar derivados desnecessários
(grupos protetores, etc)

8. Evitar Derivatização:



Os 12 Princípios da Química Verde:

Princípio 9:

Catálise

(catalisadores são melhores que “reagentes”)

9. Catálise:



Monsanto

Os 12 Princípios da Química Verde:

Princípio 10:

Desenvolver produtos degradáveis, mas ainda eficientes no prazo certo

Princípio 11:

Monitoramento e controle em tempo real (para evitar geração de poluentes);

Os 12 Princípios da Química Verde:

Princípio 12:

Desenvolver processos intrinsecamente seguros
(minimizando o risco de incêndio, vazamentos, etc).

Risco:

Periculosidade vs. Exposição

Os 12 Princípios da Engenharia Verde:

The 12 Principles of Green Engineering

- Principle 1:** Designers need to strive to ensure that all material and energy inputs and outputs are as inherently nonhazardous as possible.
- Principle 2:** It is better to prevent waste than to treat or clean up waste after it is formed.
- Principle 3:** Separation and purification operations should be designed to minimize energy consumption and materials use.
- Principle 4:** Products, processes, and systems should be designed to maximize mass, energy, space, and time efficiency.
- Principle 5:** Products, processes, and systems should be “output pulled” rather than “input pushed” through the use of energy and materials.
- Principle 6:** Embedded entropy and complexity must be viewed as an investment when making design choices on recycle, reuse, or beneficial disposition.

Os 12 Princípios da Engenharia Verde:

Principle 7: Targeted durability, not immortality, should be a design goal.

Principle 8: Design for unnecessary capacity or capability (e.g., “one size fits all”) solutions should be considered a design flaw.

Principle 9: Material diversity in multicomponent products should be minimized to promote disassembly and value retention.

Principle 10: Design of products, processes, and systems must include integration and interconnectivity with available energy and materials flows.

Principle 11: Products, processes, and systems should be designed for performance in a commercial “afterlife”.

Principle 12: Material and energy inputs should be renewable rather than depleting.

Onde aprender e/ou trabalhar com a Química Verde

- Área de pesquisa que te agradar;
- Ensino;
- Empresas.

*Muito obrigado
por sua
paciência e atenção!*