

**ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BÁSICAS E  
AMBIENTAIS**

**LOB1211 - Poluição Ambiental II**

**Ciclos da água, carbono e nitrogênio**

**Prof. Dr. Robson da Silva Rocha**  
**robson.rocha@usp.br**



# Importância da água

**Porque a água é tão importante?**



- ✓ Alta capacidade de **absorver e reter calor**
- ✓ **É fundamental no metabolismo** dos seres vivos (dissolve compostos e reage para formar moléculas complexas)
- ✓ **Alta tensão superficial:** movimentação e retenção da água em pequenos poros
- ✓ **Solidificação:** molécula que se expande ao congelar

**Caso contrário:** gelo afundaria e congelaria reservatórios de água líquida de baixo para cima, modificaria drasticamente os ecossistemas (células vivas se romperiam com a contração da água congelada).



# Reservatórios globais

**Onde** se localiza, qual a **quantidade**, e o **tempo de residência** nos reservatórios da Biosfera?

Localização	Volume (km <sup>3</sup> água)	Porcentagem em relação ao total	Tempo de residência médio estimado
Oceanos	1.230.000.000	97,2%	Milhares de anos
Geleiras e calotas polares	28.600.000	2,15%	Dezenas de milhares (anos)
Água subterrânea	4.000.000	0,31%	Centenas/milhares de anos
Lagos (água doce)	123.000	0,009%	Dezenas de anos
Atmosfera	12.700	0,001 %	9 dias
Rios e cursos	1.200	0,0001%	2 semanas

Fonte: Botkin & Keller (2005)





# Impacto humano

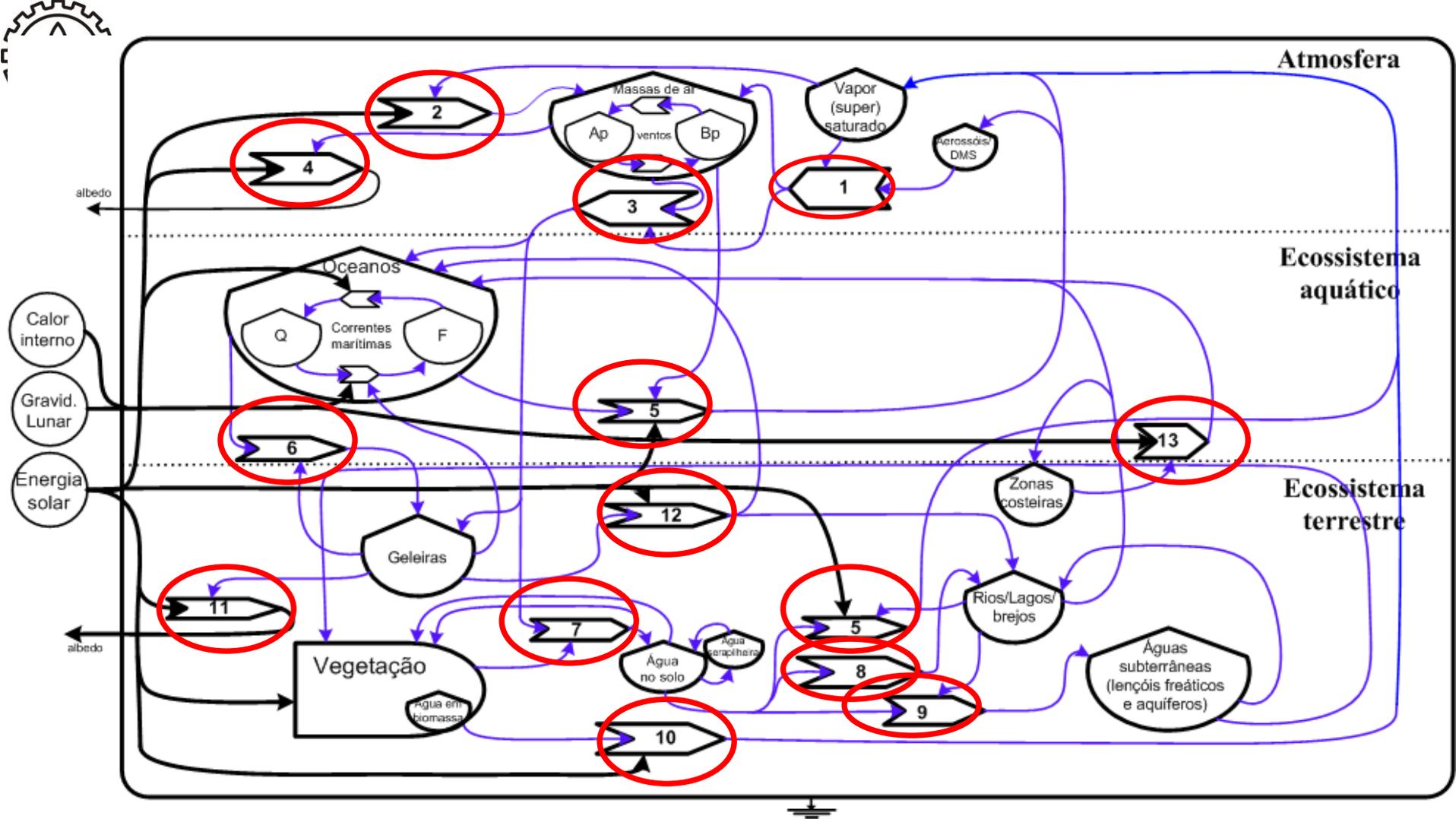


Como o ser humano afeta o Ciclo da Água?

- ✓ Avaliação das **atividades agrícolas**
- ✓ Usar a Análise Emergética: **Diagramas Sistêmicos**
  - 1 –antes** das interferências humanas
  - 2 –após** sistemas humanos
- ✓ Impacto Humano: diferença entre estas 2 etapas



# **Ciclo Hidrológico anterior aos impactos humanos**



**Processos naturais importantes:**

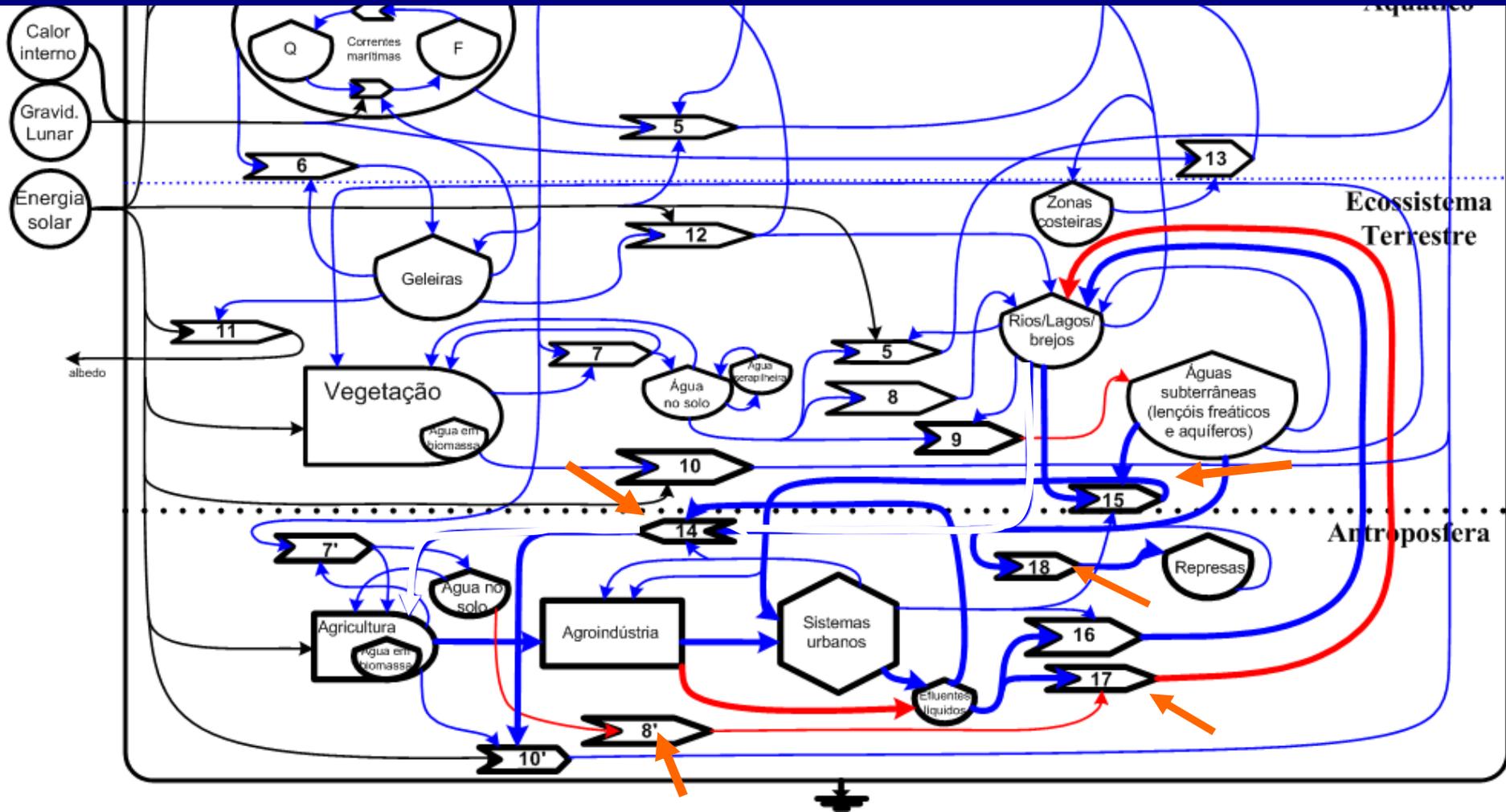
13 – Efeito das marés em zonas costeiras



# **Ciclo hidrológico após impactos humanos**

# Principais diferenças observadas:

## 18 – Confinamento de água de rios em reservatórios (represas e barragens)





# Impacto humano

✓ Impacto Humano: Principais Mudanças no Ciclo Global

1 - Aumento do **Runoff** (mudança de uso da terra)

2 – **Diminuição da disponibilidade** de água em rios e **aquíferos** devido ao consumo agrícola, industrial e doméstico

3 – **Poluição** da água de rios e **aquíferos** por efluentes agrícolas, industriais e domésticos

4 – **Confinamento** da água em represas e barragens



# Impacto humano

## 1 - Aumento do Runoff (escoamento superficial)



- ✓ Estradas rurais e florestais (Ferraz et al. 2007)
- ✓ Culturas agrícolas convencionais
  - Compactação do solo (máquinas de grande porte)
  - Perda da proteção da cobertura vegetal nativa



# Impacto humano nos SE



**Aumento no  
Escoamento  
superficial  
(Runoff)**





# Impacto humano nos SE

## 2 – **Uso não renovável** de água em rios e **aquíferos**

✓ Aumento do consumo na Agricultura

<b>Uso total (km<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>1970</b>	<b>1975</b>	<b>2000</b>
Doméstico	120	150	500
Indústria	510	630	1300
Agricultura	1900	2100	3400
<b>Total</b>	<b>2530</b>	<b>2880</b>	<b>5200</b>

Baseado em Tundisi (2003).

- Irrigação de culturas agrícolas
- Perfuração de poços e uso excessivo da água subterrânea





# Impacto humano nos SE

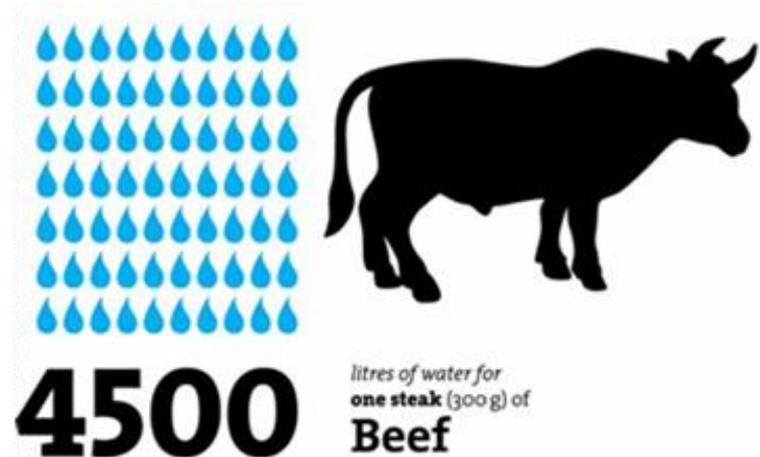
Um litro de leite



Uma garrafa vinho



Um bife de 300 g



Um pedaço queijo (500g)





# Impacto humano nos SE

## Serviços de suporte

- Formação de solo
- Ciclagem de nutrientes

Produção primária

## Serviços de Abastecimento

- Água doce
- Alimentos e Fibras

- Recursos Genéticos
- Combustível
- Recursos Ornamentais
- Produtos bioquímicos, medicamentos naturais e produtos farmacêuticos

## Serviços de Regulação

- Regulação climática
- Regulação da água
- Controle de doenças humanas

- Controle biológico
- Controle da erosão do solo
- Purificação da água e tratamento de resíduos
- Manutenção da qualidade do ar
- Proteção contra ondas e tempestades
- Polinização

## Serviços Culturais

- Valores Estéticos
- Valores Espirituais
- Valores Educacionais
- Valores de Herança cultural
- Recreação e Ecoturismo
- Relações sociais
- Sentido de pertencer a um lugar
- Inspiração
- Sistemas de informação

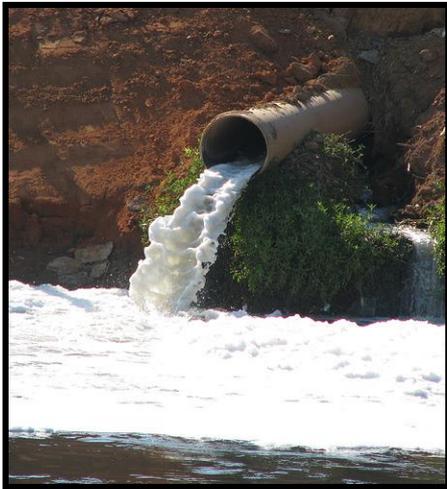


Uso “não-renovável”  
da água



# Impacto humano nos SE

3 – **Poluição** da água de rios e **aquíferos** por efluentes agrícolas, industriais e domésticos



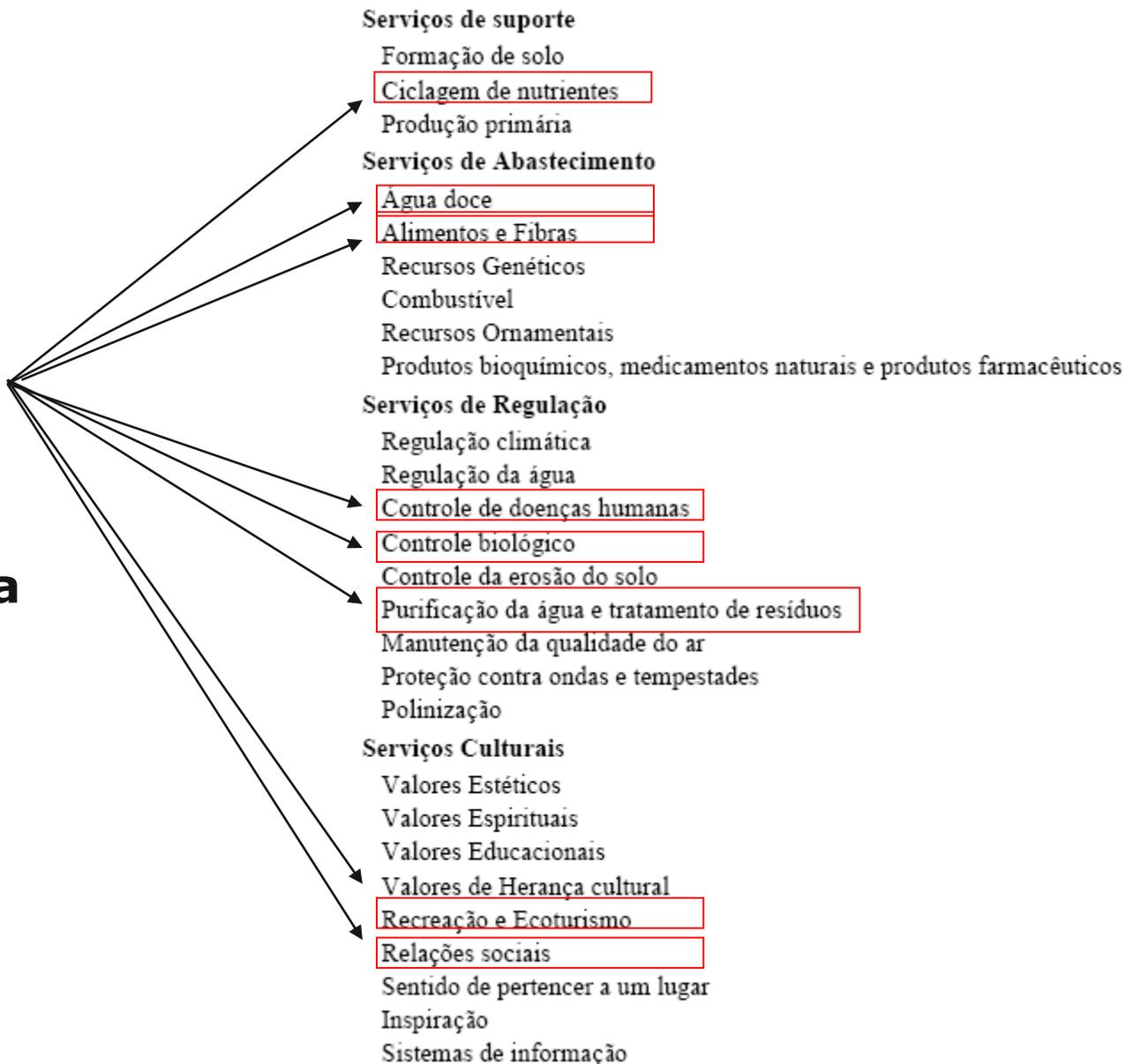
- ✓ Resíduos (fezes, urina) de humanos e de animais
- ✓ Uso de fertilizantes e agrotóxicos no campo
- ✓ Efluentes da agroindústria



# Impacto humano nos SE



## Poluição da água





# Impacto humano nos SE

## 4 – Confinamento da água

✓ Cerca de 50% da água que escoa em rios é interceptado



Uso urbano  
Billings (São Paulo)



Uso agrícola  
(Moçambique)

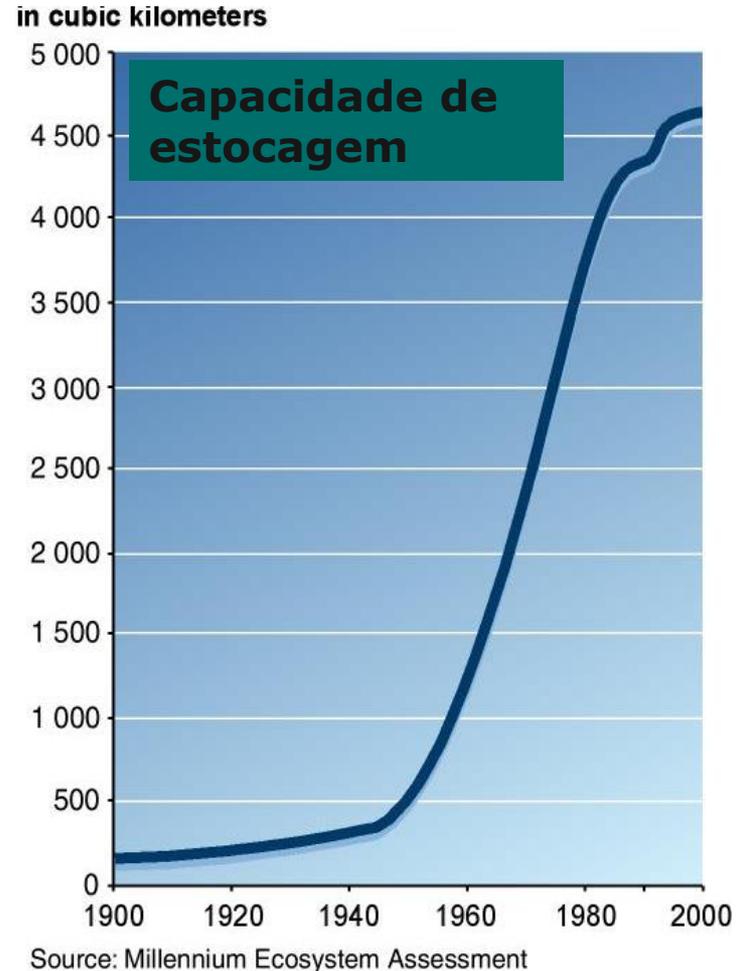
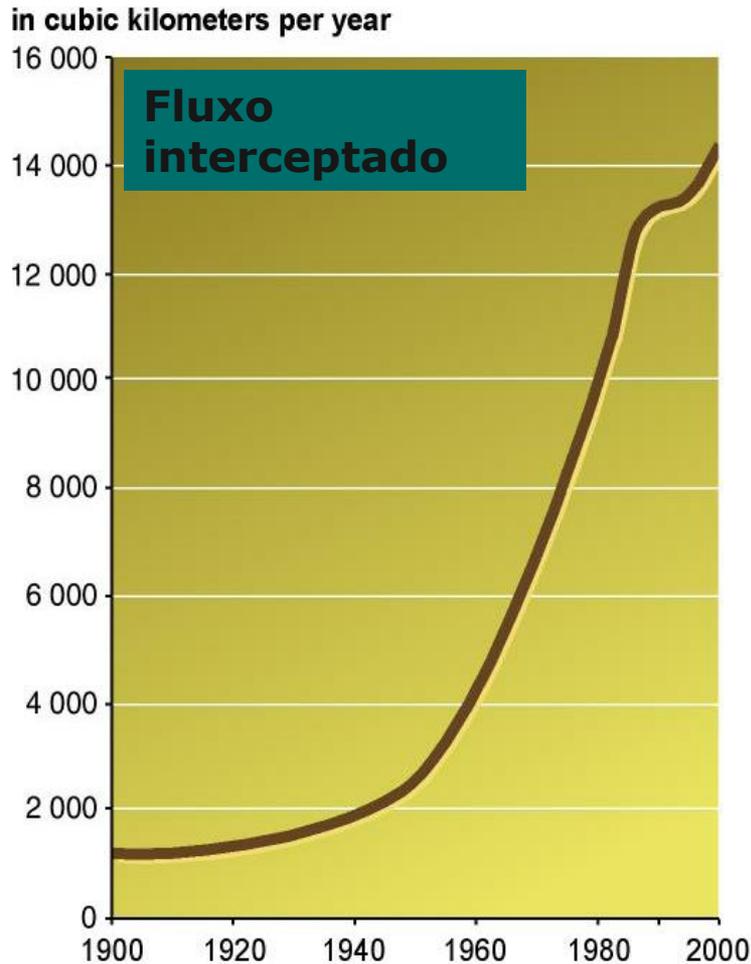


Hidroeletricidade  
(Usina Itaipu)



# Impacto humano nos SE

## Confinamento Global da água (MEA, 2005)

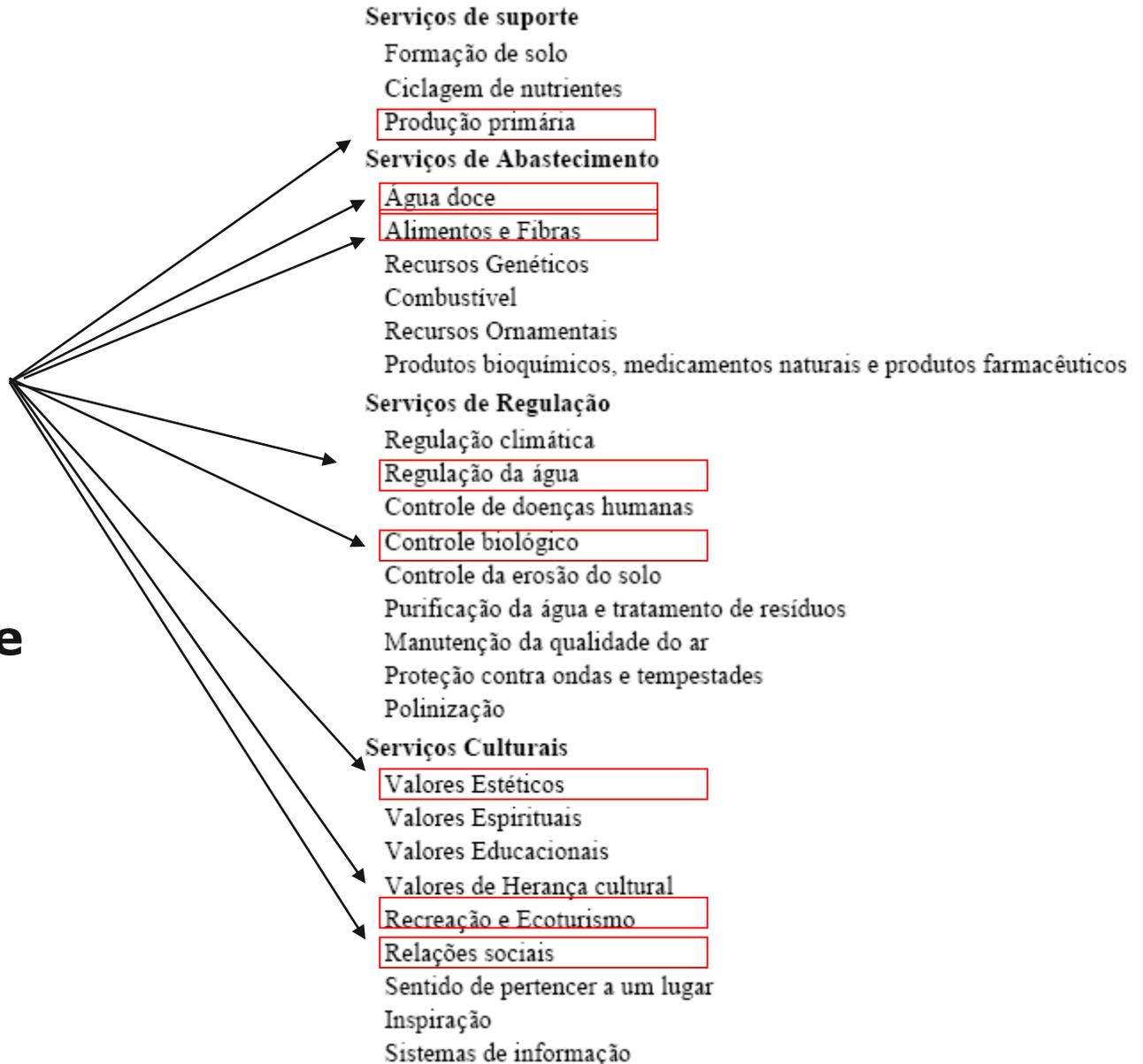




# Impacto humano nos SE



**Confinamento de água**





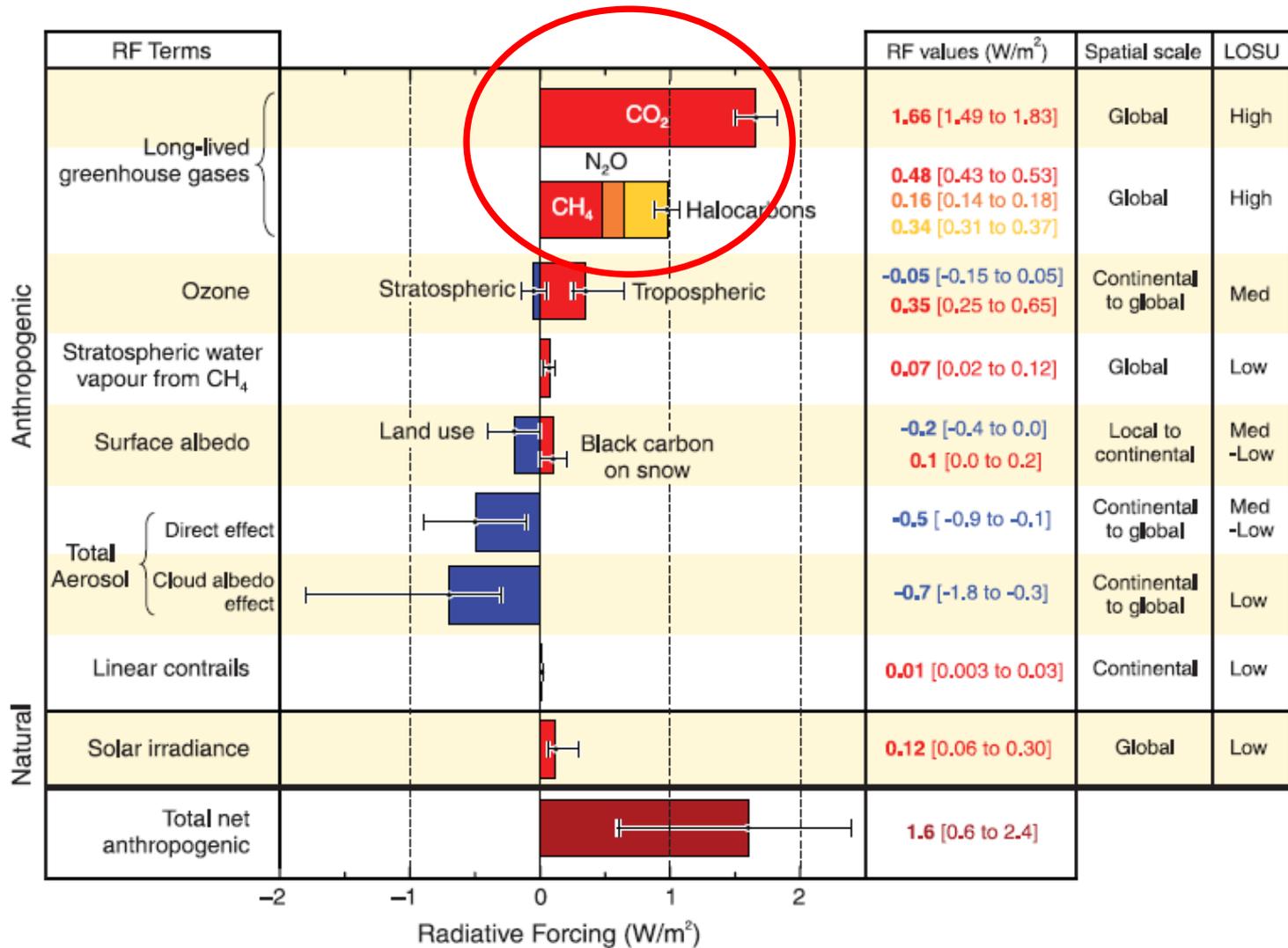
# Ciclo do carbono





# Importância do carbono

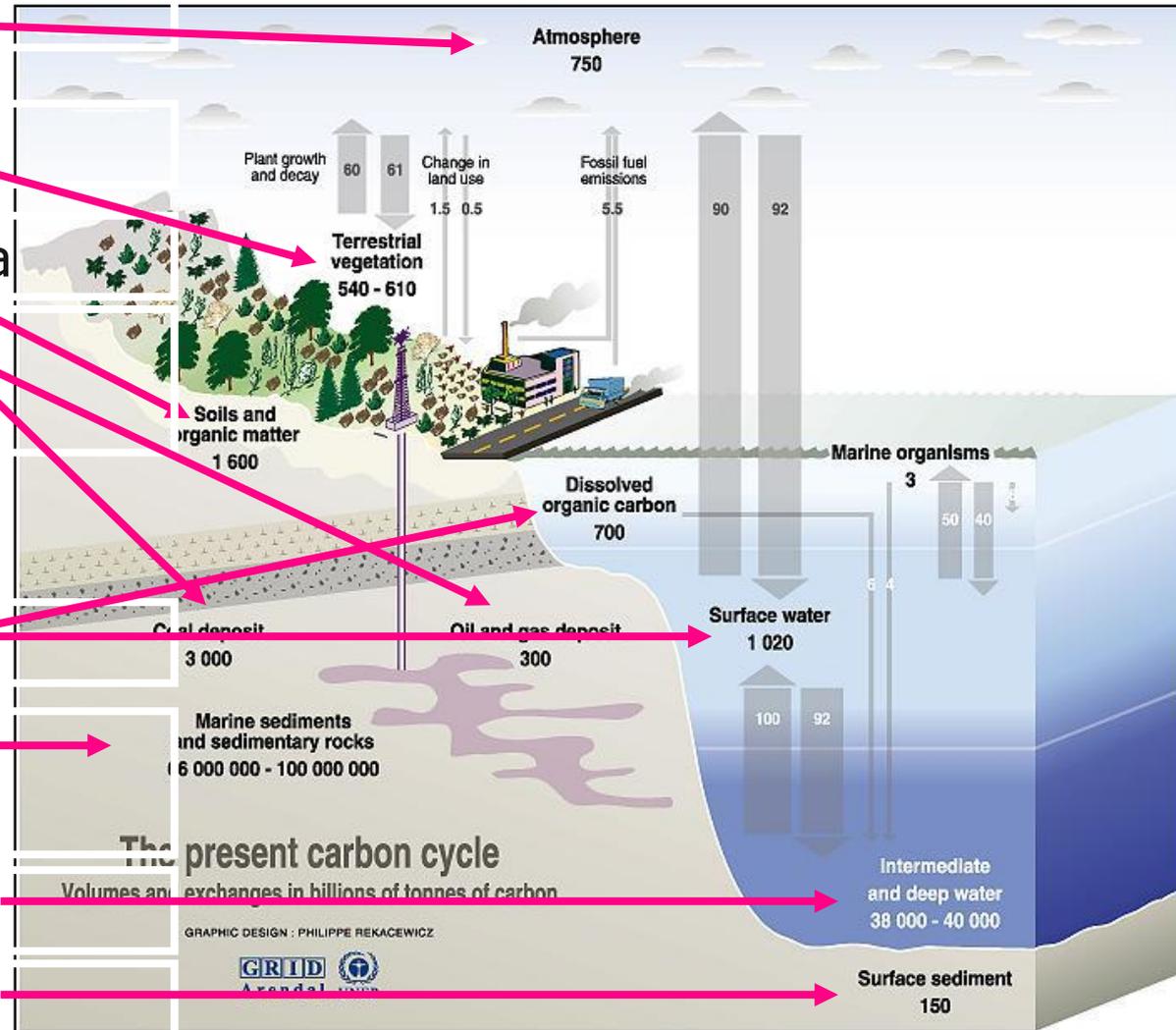
✓ Forçamento radiativo (IPCC, 2007)





# Estoque de carbono (Gt)

- Atmosfera
- Vegetação terrestre
- Solos e matéria orgânica
- Carvão, petróleo e gás natural
- C orgânico dissolvido
- Sedimentos Marinhos, Rochas Sedimentares
- Água oceânica profunda
- Sedimento superficial



Sources: Center for climatic research, Institute for environmental studies, university of Wisconsin at Madison; Okanagan university college in Canada, Department of geography; World Watch, November-December 1998; Climate change 1995, The science of climate change, contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge press university, 1996.



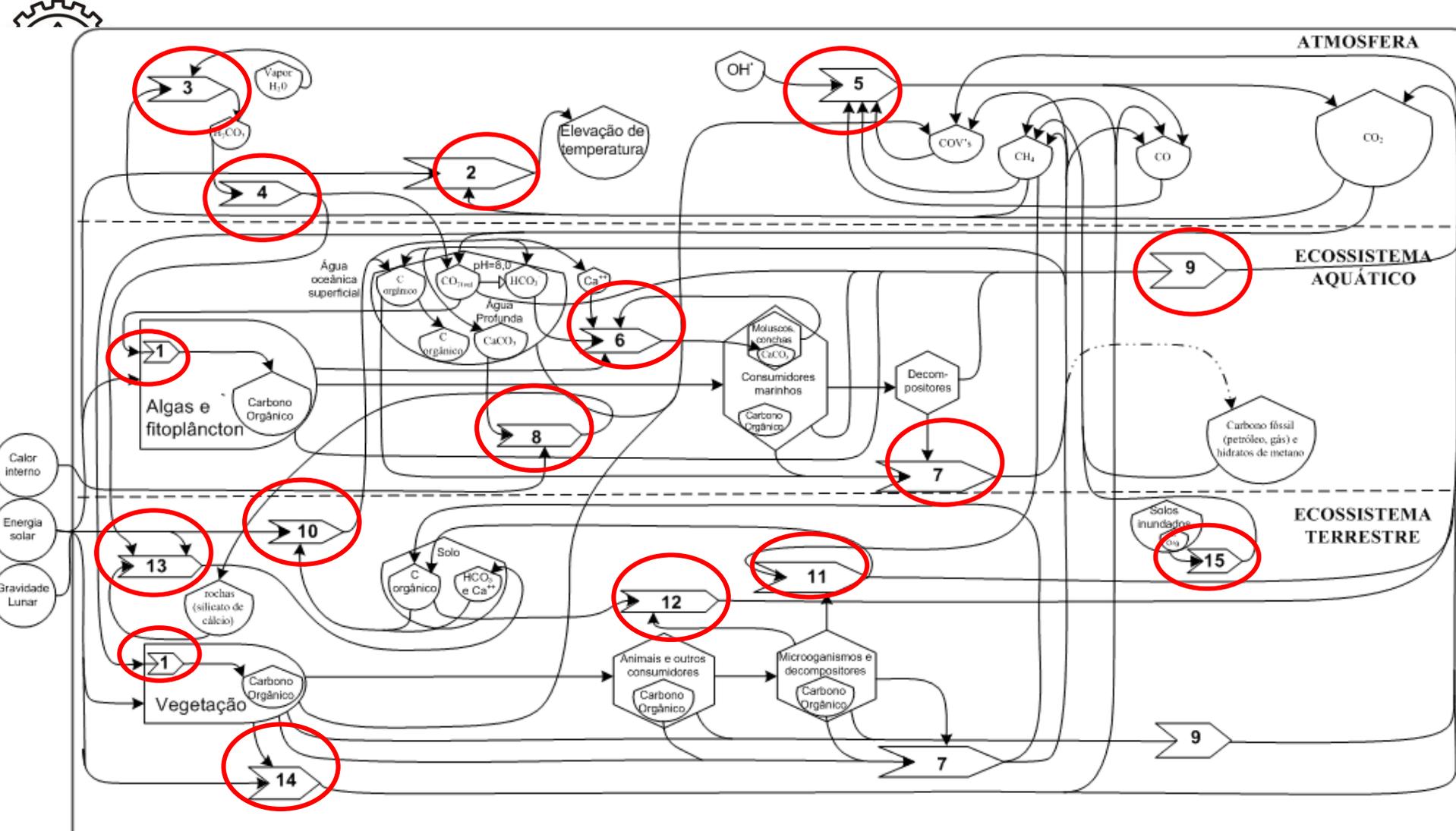
# Impacto humano



## Como o ser humano afeta o Ciclo do Carbono?

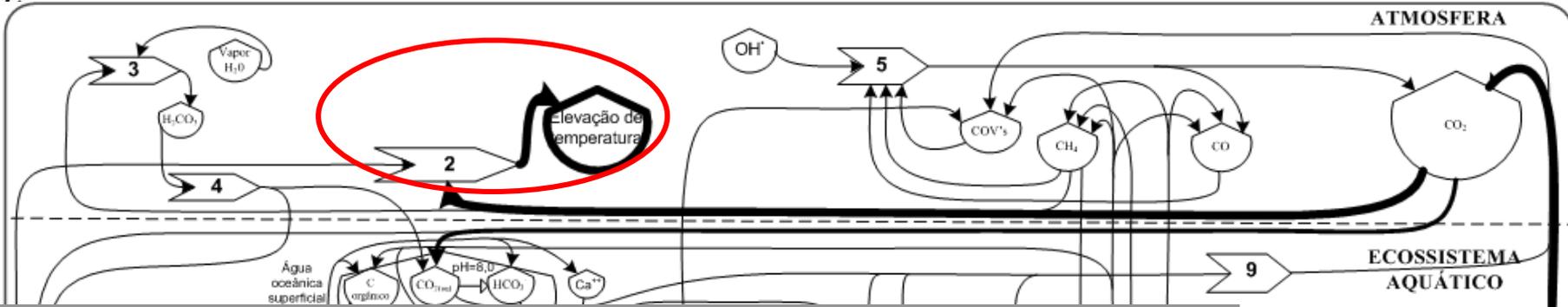
- ✓ Eliminação de estoques
- ✓ Mudança de uso da terra
- ✓ Consumo de fósseis





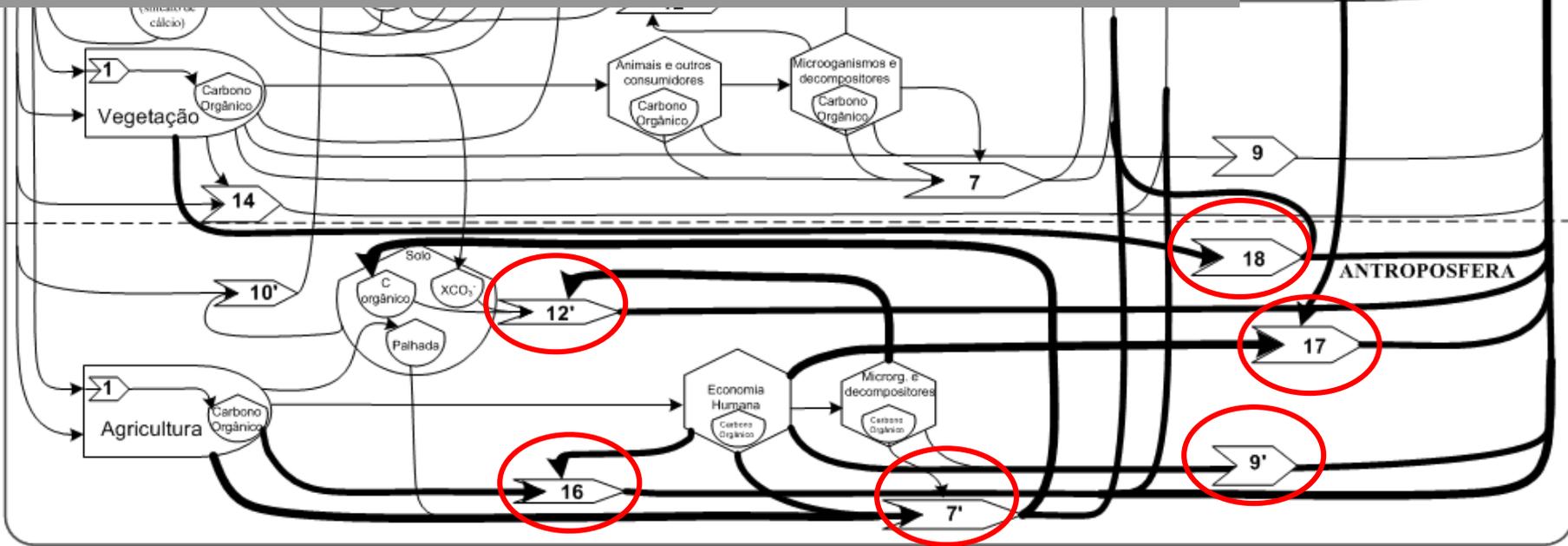
Processos importantes:

15- Emissão de  $\text{CH}_4$  em solos inundados (anaeróbicos)



# Processos modificados:

2 – Aumento do forçamento radiativo (e da temperatura atmosférica)





# Impacto humano

✓ Impacto Humano: Mudanças no Ciclo Global do carbono

1 – Mudança de uso da terra e decomposição da matéria orgânica do solo (emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>)

2 – Consumo de combustíveis fósseis e decomposição de resíduos da economia humana (emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>)



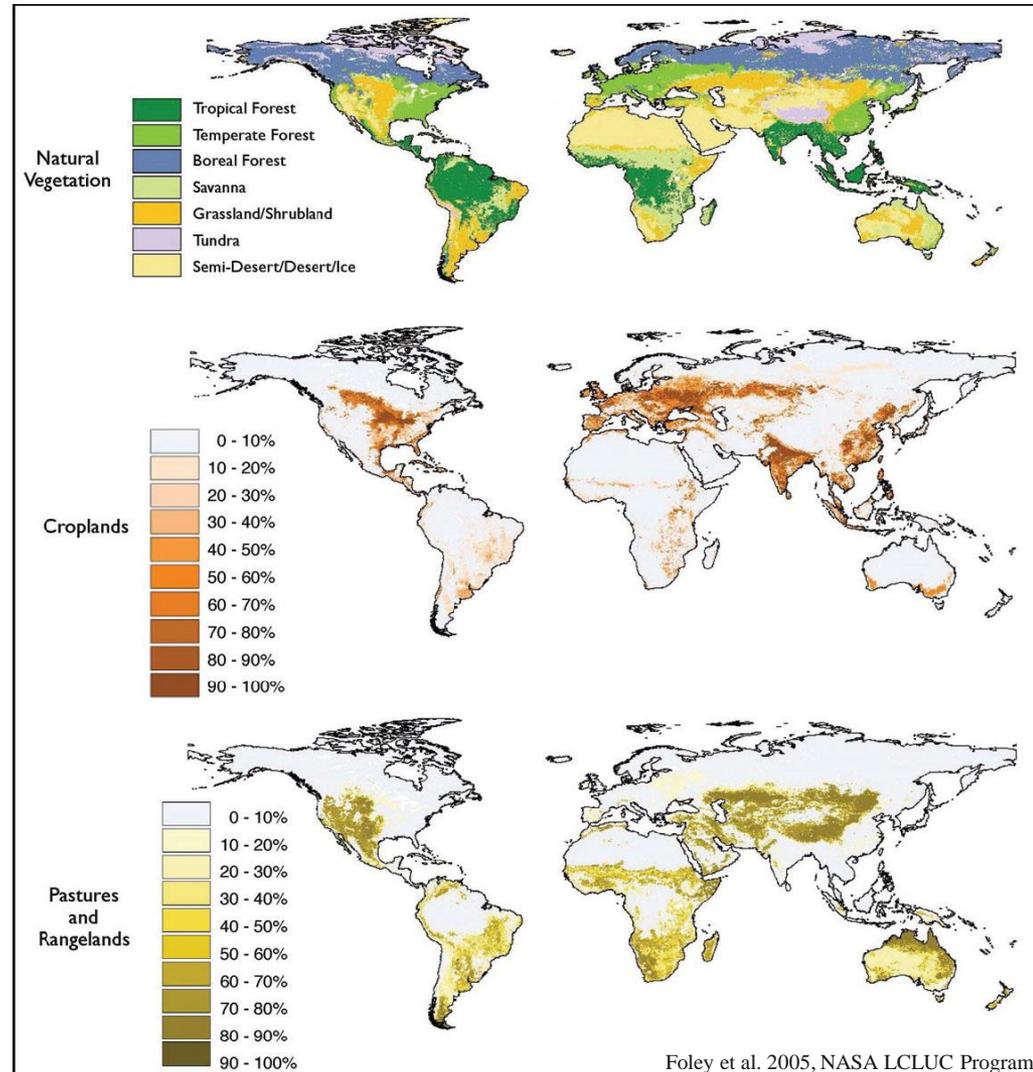
**Principal implicação: elevação da temperatura média global**



# Impacto humano

## 1 – Mudança de uso da terra e perda da MO do solo.

✓ Eliminação do carbono da vegetação para implantação de pastagens, plantações e sistemas urbanos

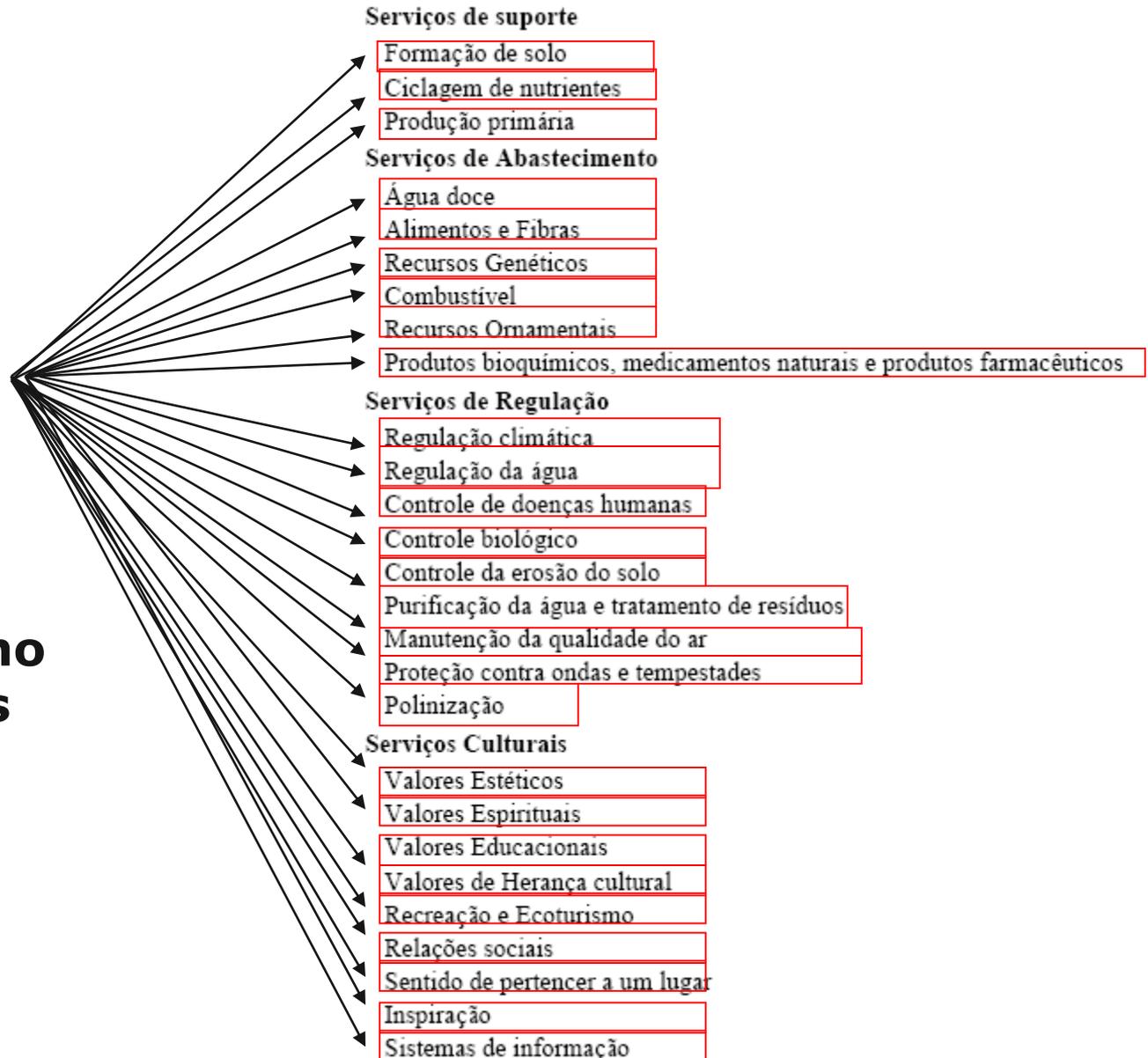




# Impacto humano



**Eliminação do  
estoque de carbono  
em ecossistemas  
terrestres**

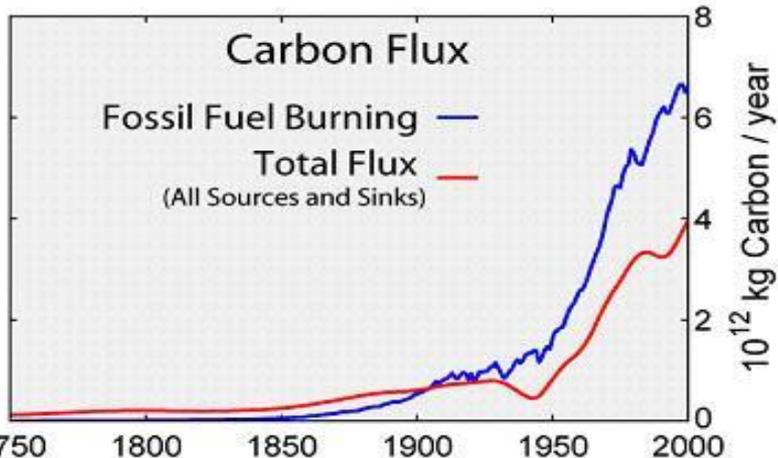
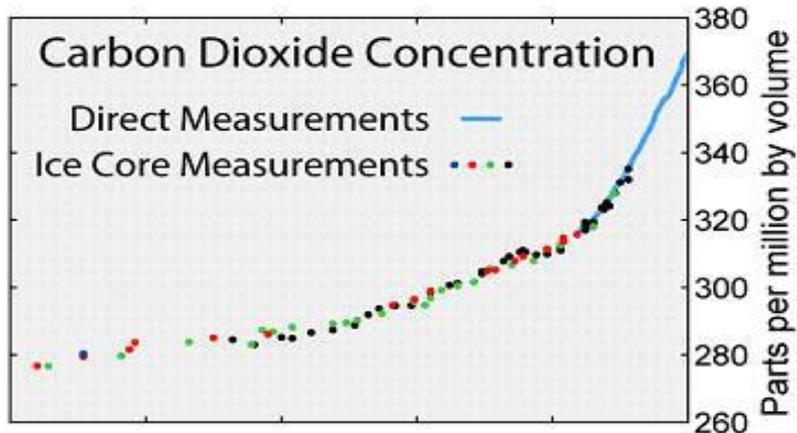




# Impacto humano

## 2 – Queima de carbono fóssil

- ✓ Liberação de estoques fósseis de carbono



Fonte: [www.sunkingsolarpv.com](http://www.sunkingsolarpv.com)



Fonte: [www.danscartoons.com](http://www.danscartoons.com)



# Impacto humano



**Consumo de combustíveis fósseis**

## Serviços de suporte

Formação de solo

Ciclagem de nutrientes

Produção primária

## Serviços de Abastecimento

Água doce

Alimentos e Fibras

Recursos Genéticos

Combustível

Recursos Ornamentais

Produtos bioquímicos, medicamentos naturais e produtos farmacêuticos

## Serviços de Regulação

Regulação climática

Regulação da água

Controle de doenças humanas

Controle biológico

Controle da erosão do solo

Purificação da água e tratamento de resíduos

Manutenção da qualidade do ar

Proteção contra ondas e tempestades

Polinização

## Serviços Culturais

Valores Estéticos

Valores Espirituais

Valores Educacionais

Valores de Herança cultural

Recreação e Ecoturismo

Relações sociais

Sentido de pertencer a um lugar

Inspiração

Sistemas de informação

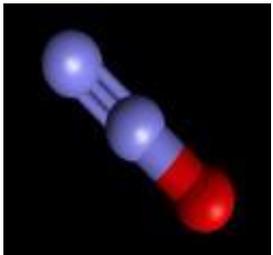
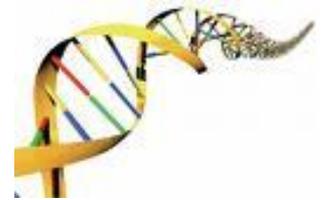


# Ciclo do nitrogênio



# Importância do nitrogênio

- ✓  $N_2$ : 76% da composição da atmosfera
- ✓ Compostos de nitrogênio: fundamentais para a vida (aminoácidos, proteínas em geral: tecidos musculares, hormônios, DNA, etc.)
- ✓ N: Macro-nutriente essencial para os seres vivos
- ✓ Aquecimento global: ênfase ao ciclo do carbono ( $CO_2$  e  $CH_4$ )



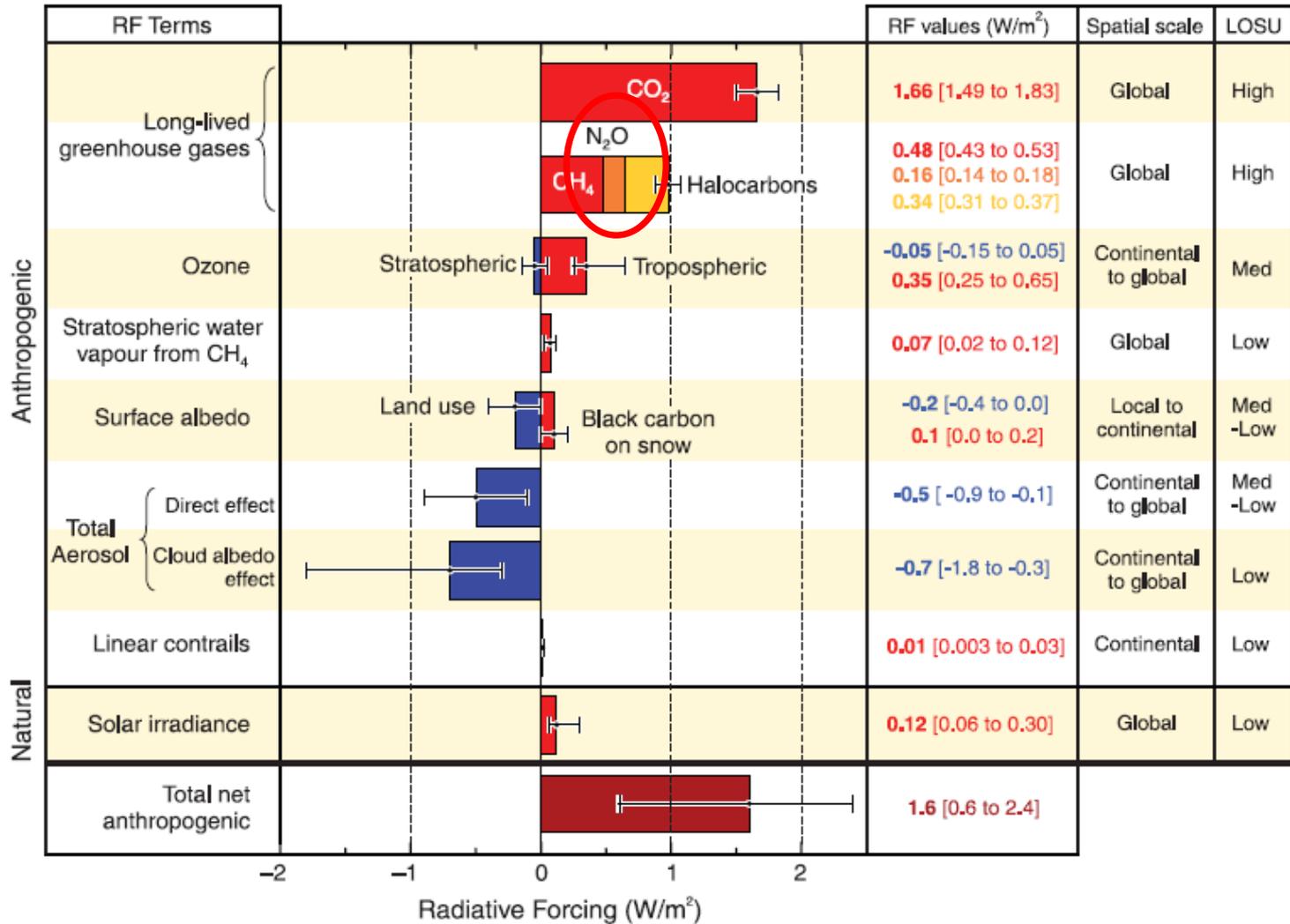
- ✓  $N_2O$ : óxido nitroso : gás de efeito estufa (molécula com 296 vezes P.A.G do  $CO_2$ )

- ✓ Contaminação da água, eutrofização, chuva ácida, formação de ozônio na troposfera (fertilizantes humanos).



# Importância do nitrogênio

✓ Forçamento radiativo (IPCC, 2007)





# Estoques de nitrogênio

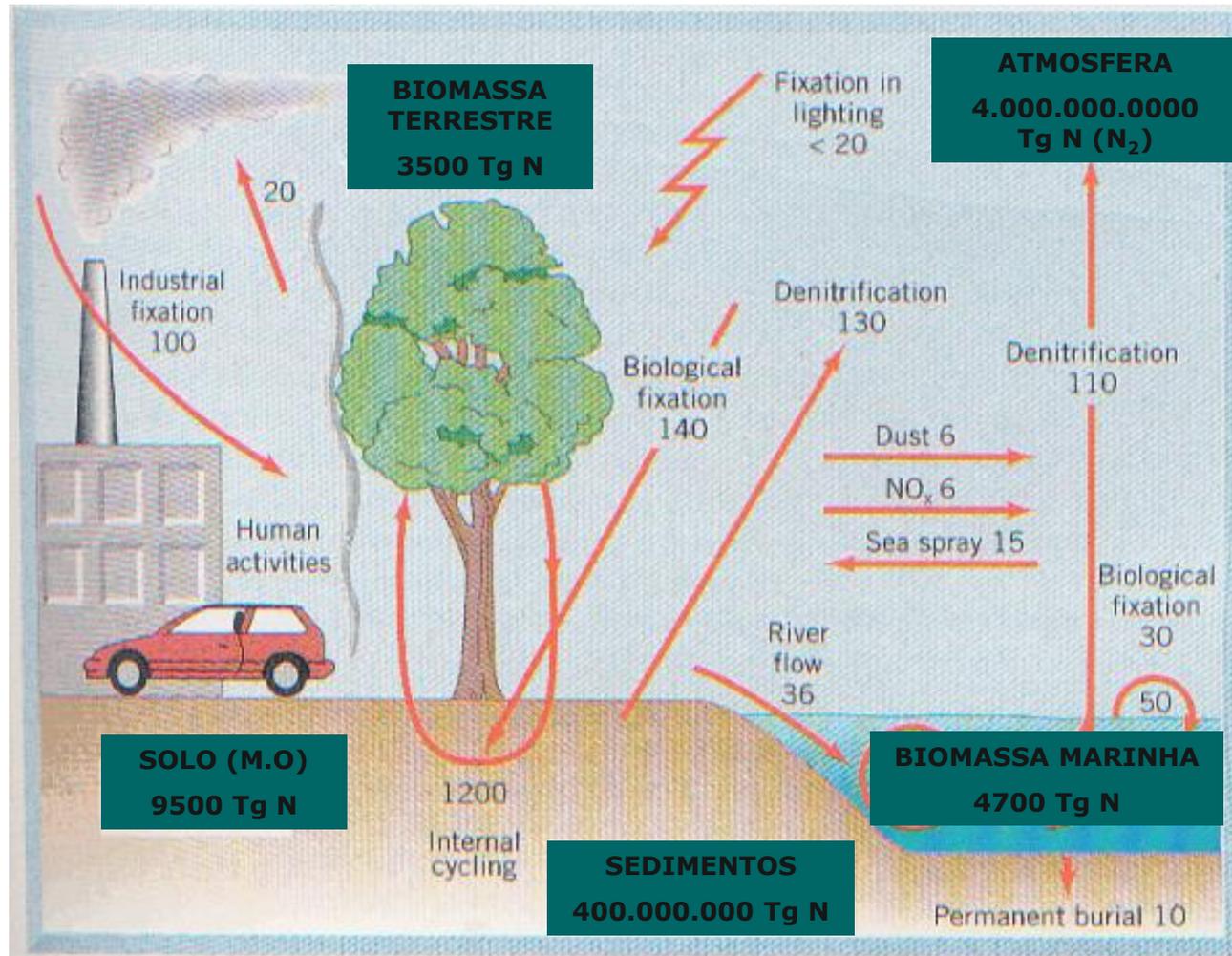


Imagem: Botkin e Keller (1995); Fluxos: Reeburgh (1997)



# Impacto humano



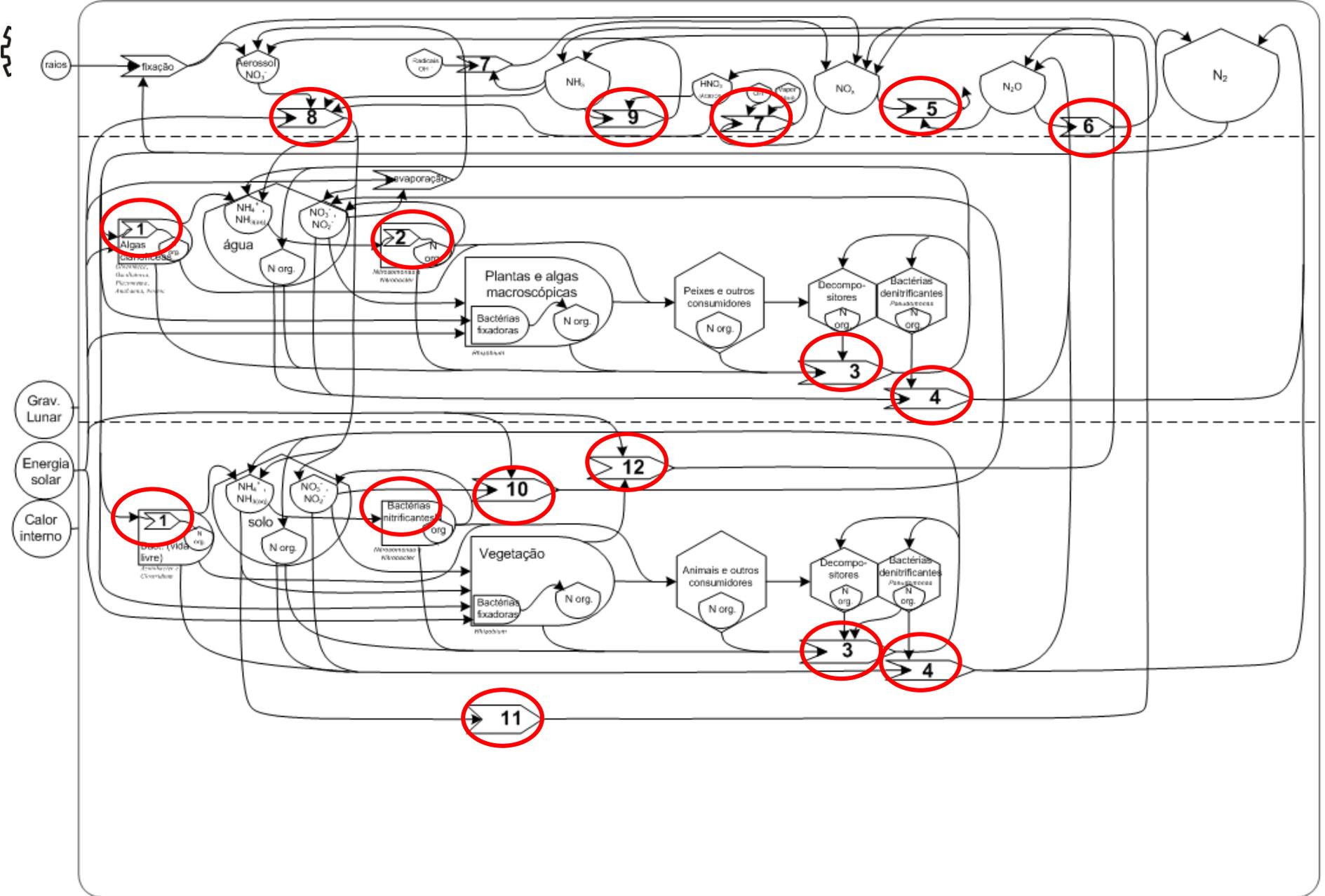
## Como o ser humano afeta o Ciclo do Nitrogênio?



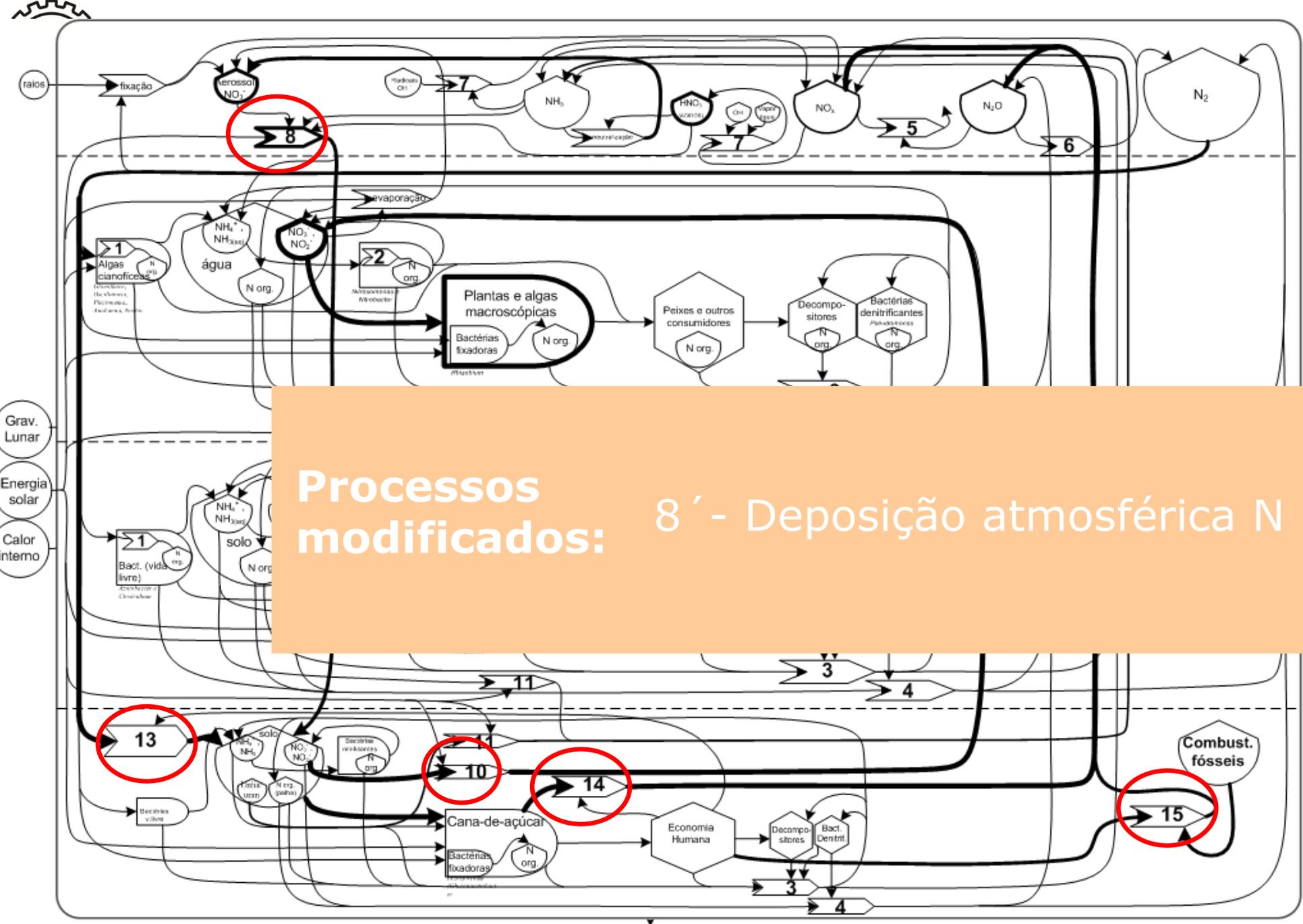
- ✓ Fixação Industrial de nitrogênio (uso de fertilizantes)



- ✓ Queima de matéria-orgânica



Processos : 12- Incêndios naturais



**Processos modificados:** 8' - Deposição atmosférica N

13

10

14

15



# Impacto humano

✓ Impacto Humano: Mudanças no Ciclo do Nitrogênio

1 – Fertilização artificial

2 – Queima de biomassa e combustíveis fósseis



**Principal implicação: contaminação da água e do solo, elevação da temperatura média global**



# Impacto humano

## 1 – Fixação industrial de nitrogênio

- Fritz **Haber**: vencedor do premio Nobel de química em 1918. Síntese da amônia (NH<sub>3</sub>) a partir de hidrogênio (H<sub>2</sub>) e nitrogênio (N<sub>2</sub>).
- Carl **Bosch**: vencedor do prêmio Nobel da química em 1931: escala industrial na síntese de amônia.

### Processo Haber-Bosch



Catalisadores, temperatura e pressão elevadas



- **Uso alemão em explosivos da I e II Guerra Mundial**



# Impacto humano

**Humanos:** adição de mais 175 Tg de N (duplicaram o Nitrogênio reativo!)

**70%**



**30%**

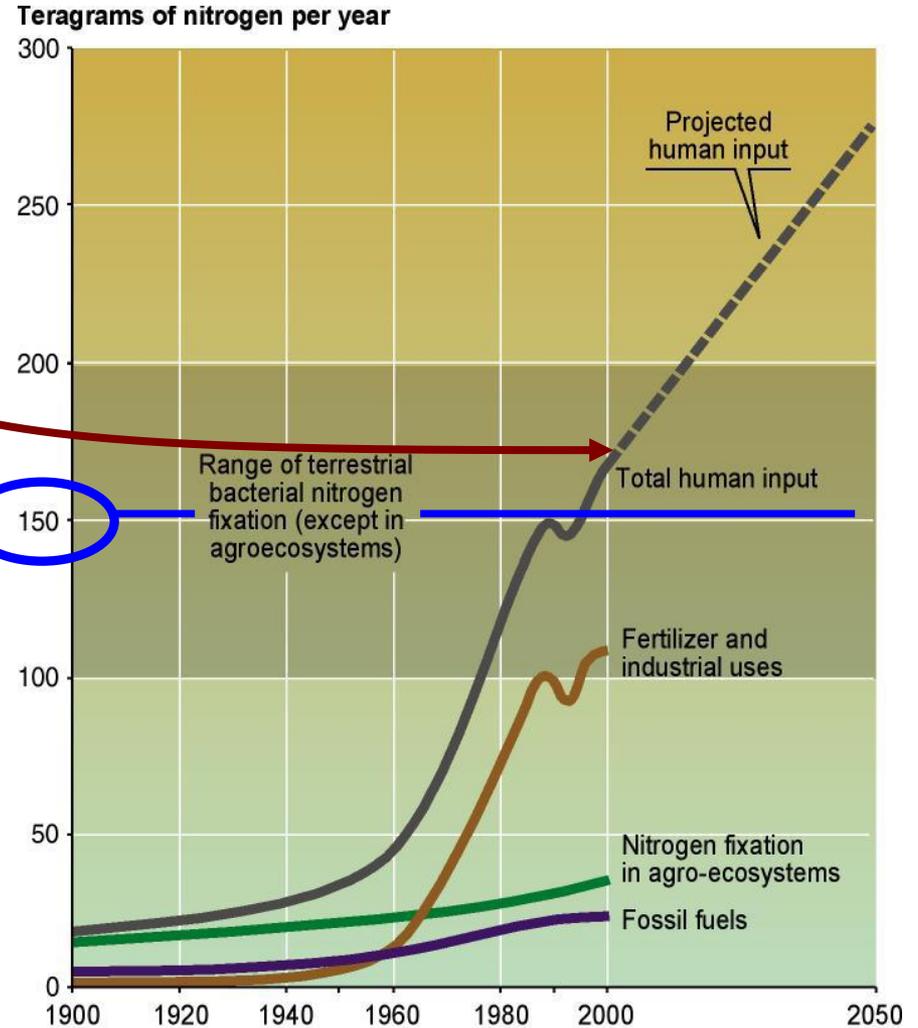
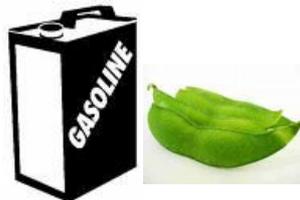


Figure 1.4 - reactive nitrogen on earth by human activities



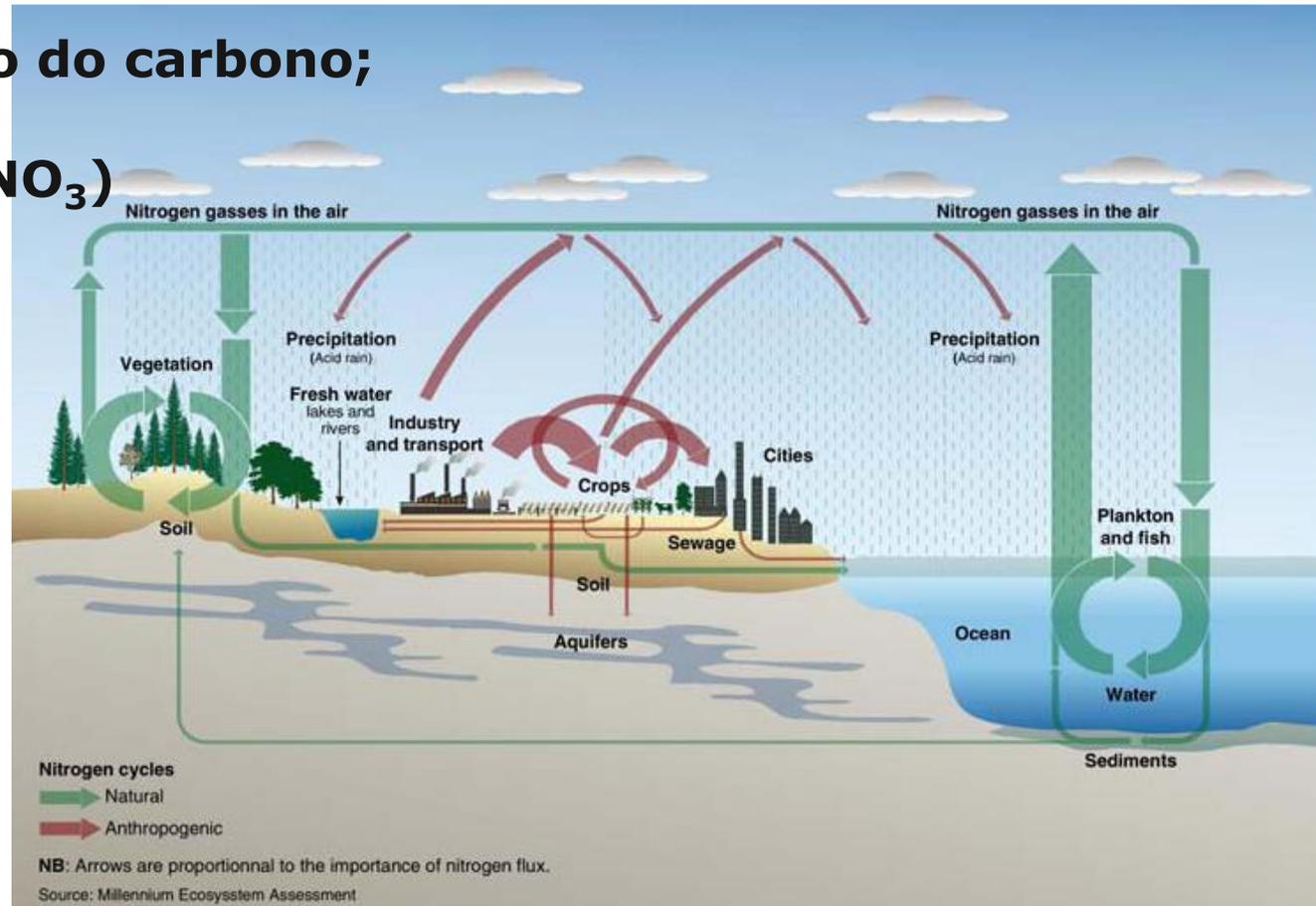
# Impacto humano

## 1 – Fixação industrial de nitrogênio

- Contaminação da água (mudança de composição e pH, afetando os recifes em escala global);

- Impacto no ciclo do carbono;

- Chuva ácida ( $\text{HNO}_3$ )





# Impacto humano

## 1 – Fixação industrial de nitrogênio

Runoff N

Lixiviação N

- Contaminação da água subterrânea com nitratos
- Eutrofização (proliferação de bactérias que consomem o oxigênio) – morte do ecossistema aquático

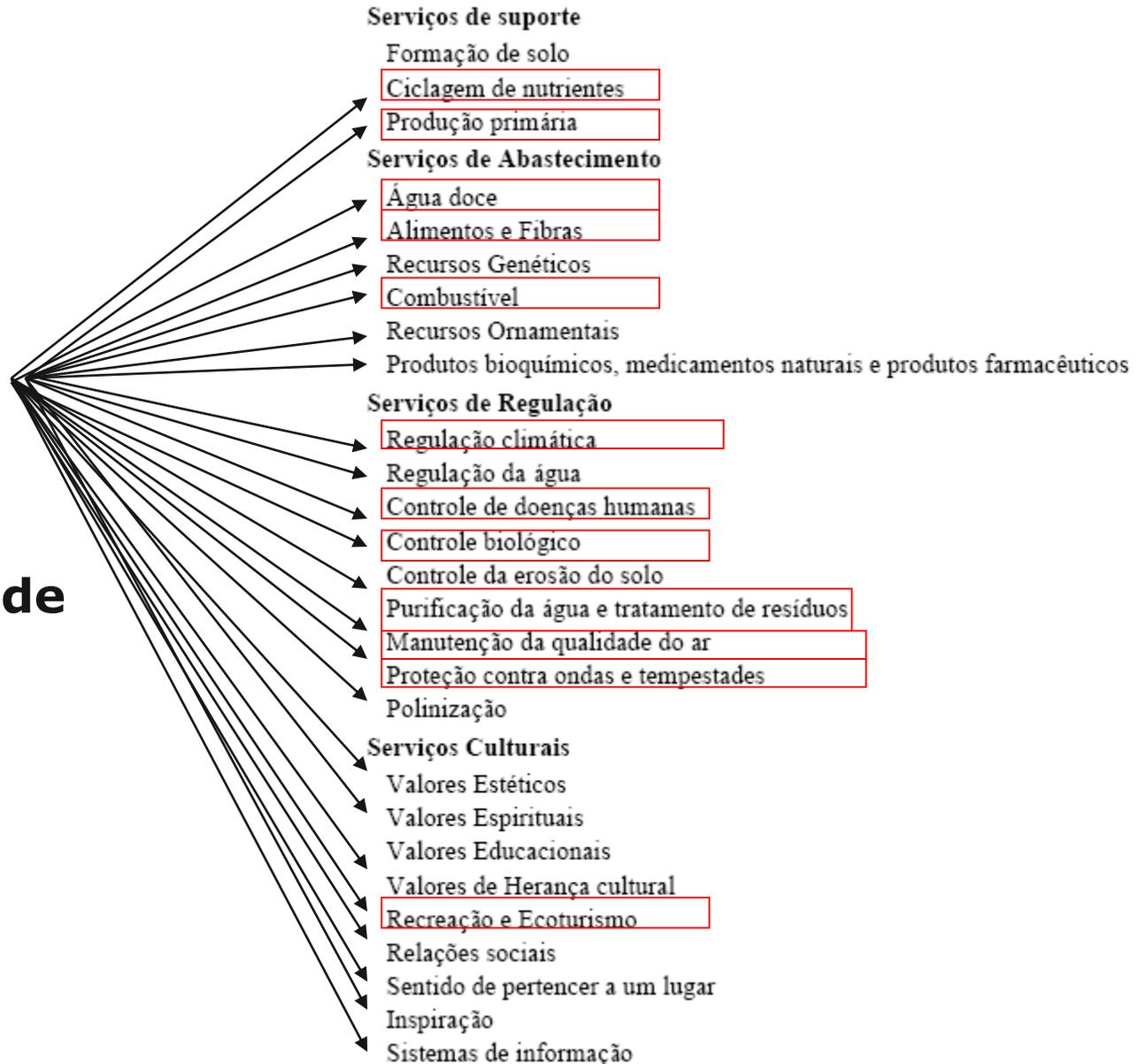




# Impacto humano



## Fixação Industrial de nitrogênio

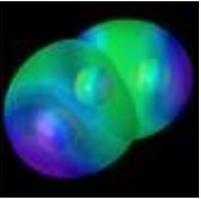




# Impacto humano

## 2 – Queima de biomassa e combustível fóssil

Emissão NOx (queima)



- NOx: gases tóxicos ao ser humano
- Formação de chuva ácida:  $\text{NO}_2 + \text{OH}^\bullet \rightarrow \text{HNO}_3$



- Formação de ozônio ( $\text{O}_3$ ) em baixas altitudes:
  - $\text{NO}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}^\bullet$       onde  $h\nu$  = radiação solar
  - $\text{O}^\bullet + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}$       onde  $\text{M}$  = ar
  - $[\text{COV's/NO}_x] \rightarrow$  maior  $[\text{NO}_x] \rightarrow$  maior  $[\text{O}_3]$   
onde COV's: compostos orgânicos voláteis

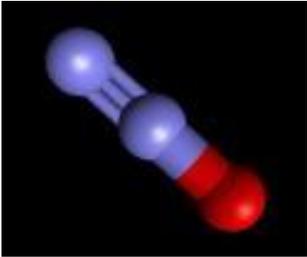
- Ozônio ( $\text{O}_3$ ) degrada a qualidade do ar em centros urbanos e pode prejudicar o crescimento de culturas agrícolas na zona rural.



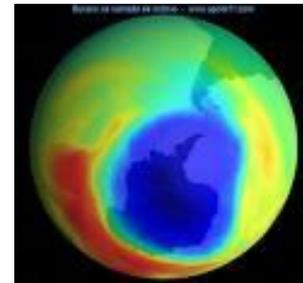
# Impacto humano

## 2 – Queima de biomassa e combustível fóssil

### Denitrificação ( $N_2O$ )



- Óxido nitroso: molécula de efeito estufa 296 VEZES mais potente que o  $CO_2$
- Terceiro gás em contribuição para o Efeito Estufa
- Tempo de residência médio na atmosfera: 120 anos
- Atinge as elevadas altitudes da Estratosfera ( $\sim 50$  km)
- Contribui para a destruição da camada de ozônio





# Impacto humano



**Queima de nitrogênio  
em biomassa e  
combustíveis fósseis**

## Serviços de suporte

Formação de solo

Ciclagem de nutrientes

Produção primária

## Serviços de Abastecimento

Água doce

Alimentos e Fibras

Recursos Genéticos

Combustível

Recursos Ornamentais

Produtos bioquímicos, medicamentos naturais e produtos farmacêuticos

## Serviços de Regulação

Regulação climática

Regulação da água

Controle de doenças humanas

Controle biológico

Controle da erosão do solo

Purificação da água e tratamento de resíduos

Manutenção da qualidade do ar

Proteção contra ondas e tempestades

Polinização

## Serviços Culturais

Valores Estéticos

Valores Espirituais

Valores Educacionais

Valores de Herança cultural

Recreação e Ecoturismo

Relações sociais

Sentido de pertencer a um lugar

Inspiração

Sistemas de informação