

# Avaliação de Ciclo de Vida do Aproveitamento Hidroelétrico do Baixo Sabor

Paulo Trigo Ribeiro

Paulo Ribeiro  
Ana Lopes  
Paulo Ferrão (coordenação científica)

23 de Fevereiro de 2012

- A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)
- Metodologia seguida no estudo do AHBS
- Resultados preliminares
- Análise de sensibilidade e incerteza aos resultados obtidos
- Conclusões

# **A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)**

# A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)

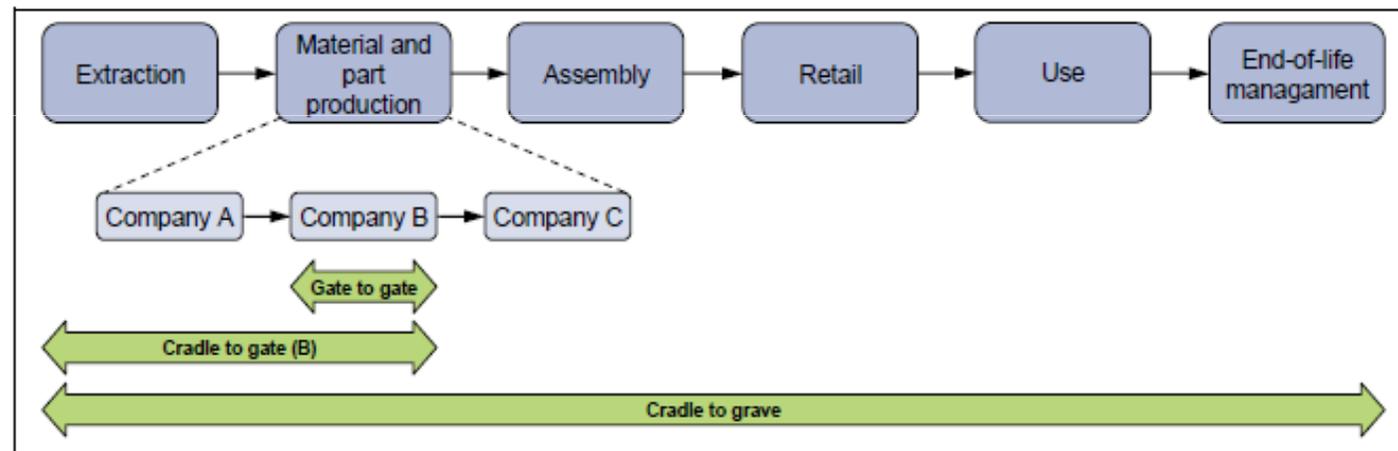
## Definição de Ciclo de Vida

*“Etapas consecutivas e interligadas de um sistema de produto, desde a obtenção de matérias-primas, ou sua produção a partir de recursos naturais, até ao destino final”*

## Definição de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

*“Compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactes ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”*

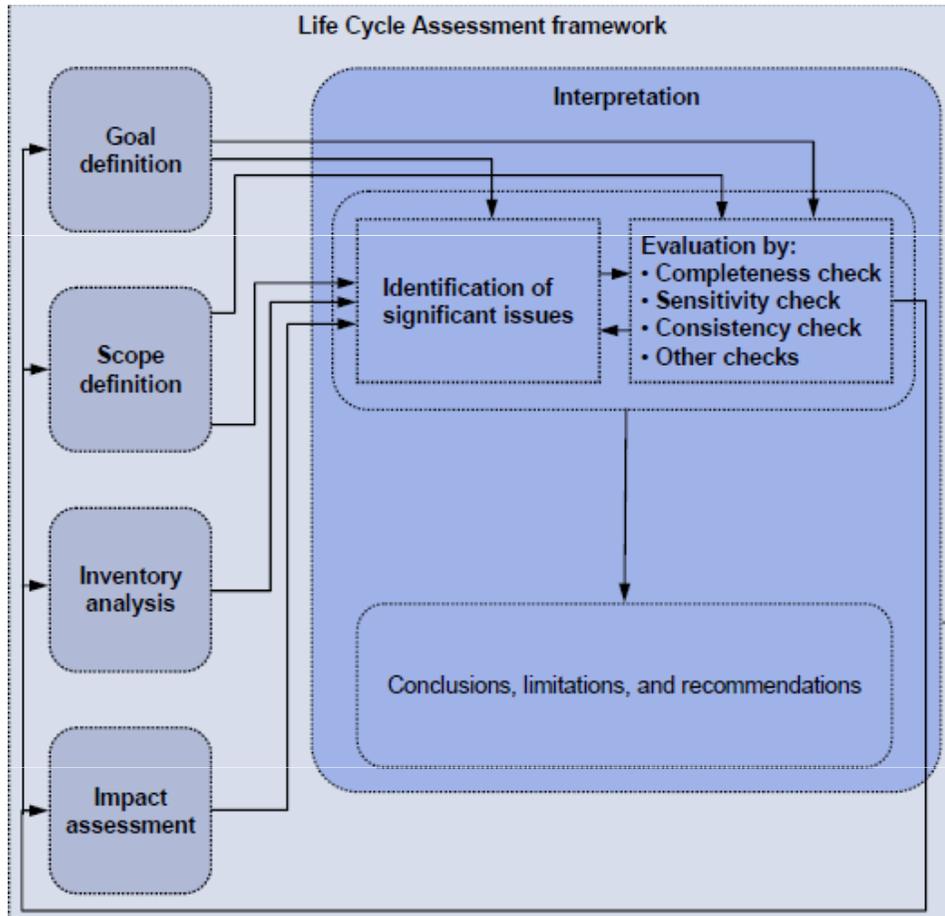
(norma NP EN ISO 14040:2008)



IES/JRC (2010). LCA Handbook

# Desenvolvimento da ACV

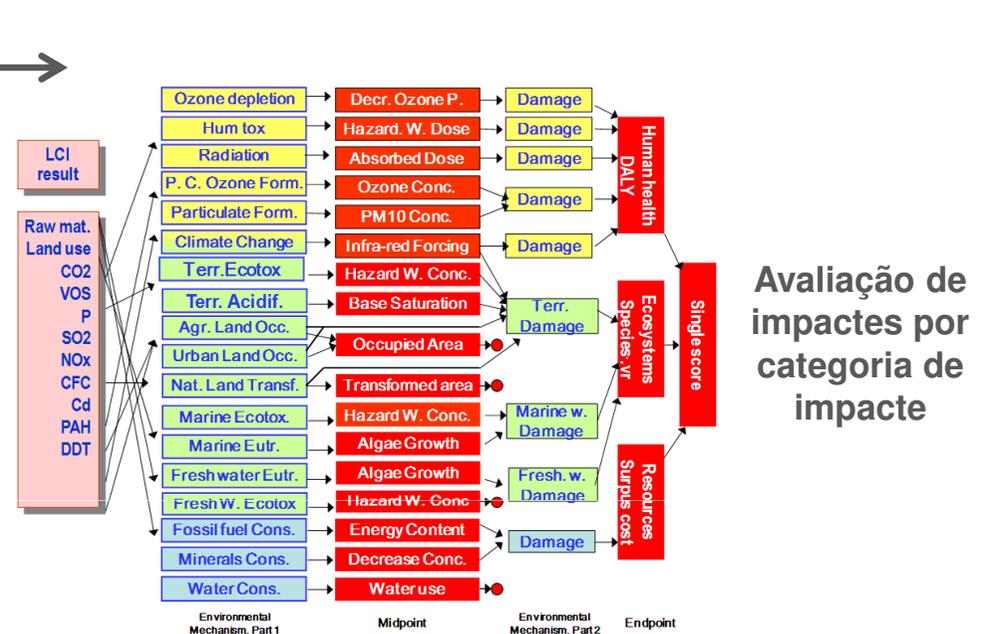
## Fases da ACV



IES/JRC (2010). LCA Handbook

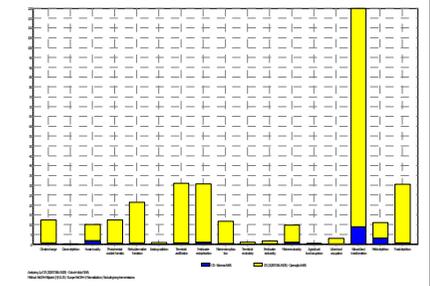
| Resources                     | Atmospheric emissions | Water emissions            |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Hydroelectric energy 594,0 MJ | CO2 748000,0 g        | Residual water 1,7 m3      |
| Natural gas (vol) 14,5 m3     | SOx 2690,0 g          | Cl 63900,0 g               |
| Uranium 4,8 g                 | NOx 2310,0 g          | Inorganic subst. 39500,0 g |
| Process water 1,0 m3          | VOC 1640,0 g          | Suspension solids 5030,0 g |
| Glass cullet 625,0 kg         | Dust 1300,0 g         | Sulphates 627,0 g          |
| Sand 253,0 kg                 | CO 787,0 g            | Oils 283,0 g               |
| Fuel oil 183,0 kg             | Metane 781,0 g        | VOC 74,0 g                 |
| Lime stone 110,0 kg           | HCl 67,9 g            | Metallic ions 59,3 g       |
| Rock salt 108,0 kg            | Pb 44,6 g             | NH4+ 29,3 g                |
| Calcium carbonate 80,5 kg     | Ammonia 38,2 g        | Ba 24,3 g                  |
| Coal 49,1 kg                  | HF 15,8 g             | Fe 23,6 g                  |
| Rock 35,5 kg                  | metals 4,2 g          | Al 20,3 g                  |
| Anthracite 13,0 kg            | CxHy aromatic 3,8 g   | N tot 9,9 g                |
|                               | N2O 2,0 g             | COD 9,6 g                  |
|                               | Benzene 1,9 g         | CxHy aromatics 7,8 g       |
|                               | Ni 0,4 g              | Nitrates 6,3 g             |

## Inventário dos processos unitários



Recipe (2008)

## Análise e interpretação dos resultados



# ACV a empreendimentos hidroeléctricos

- Estudos abrangentes e detalhados de ACV a aproveitamentos hidroeléctricos não são muito abundantes
- As centrais hidroeléctricas apresentam uma configuração própria que resulta em processos e fases do ciclo de vida que podem ser bastante distintas dos existentes em outros casos de estudo
  - Fio de água/reservatório
  - Existência ou não de bombagem
- Para além dos estudos de ACV abrangentes, existe ainda literatura científica que trata de aspectos específicos numa lógica de ciclo de vida
  - Emissões de GEE
  - Uso do solo
- Não contabiliza impactes directos na biodiversidade do local, pelo que é um complemento e não um substituto do processo de AIA

# **Metodologia seguida no estudo do AHBS**

# Principais aspectos metodológicos: Objectivos e Âmbito

- **Objectivos do estudo**

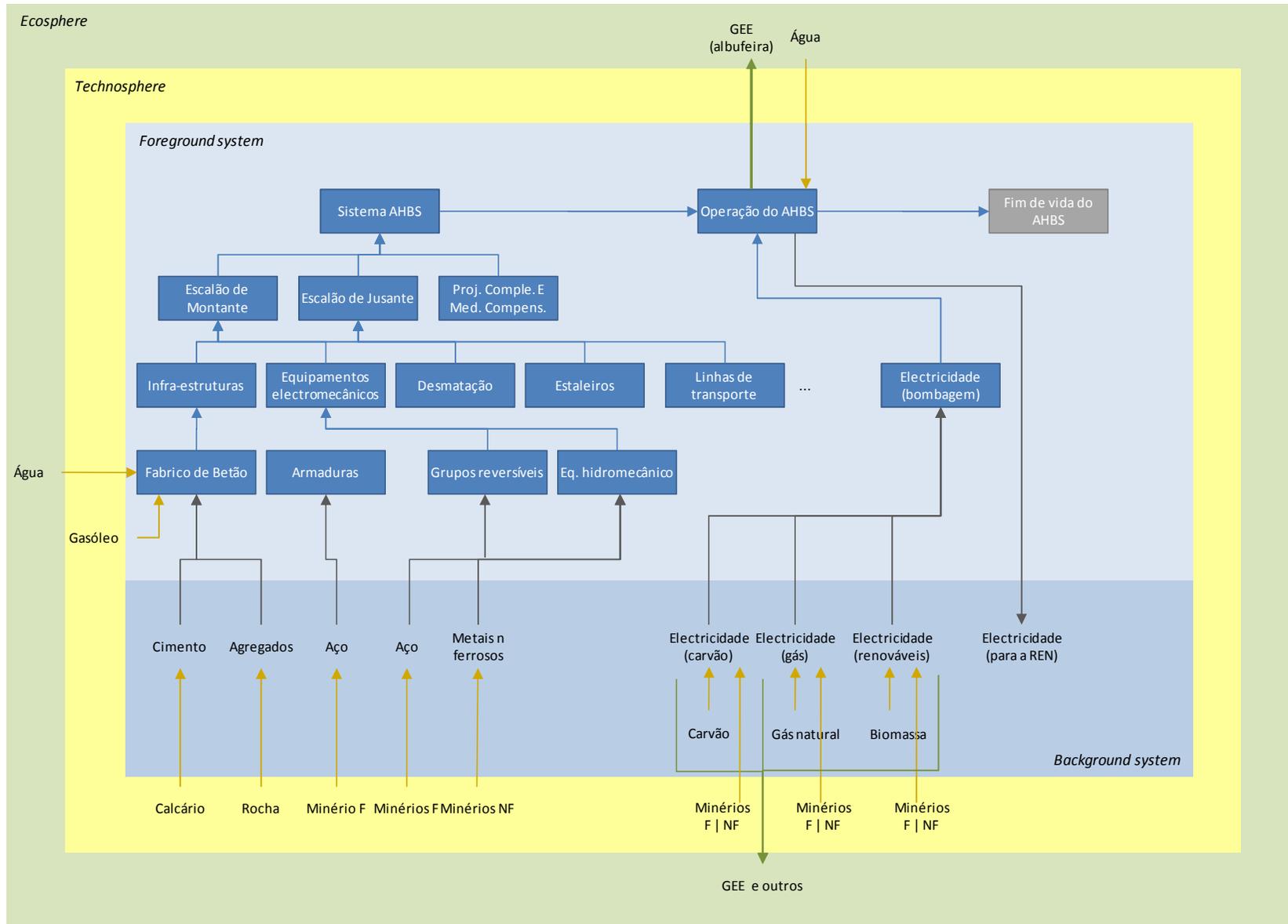
- Produzir informação sobre o desempenho ambiental do AHBS
- Avaliar comparativamente o desempenho ambiental do AHBS com outras soluções alternativas de produção de energia eléctrica, no quadro do Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

## Desempenho ambiental (Balanço): Benefícios vs. Impactes gerados

- Considerou-se apenas da função de produção de energia hidroeléctrica do AHBS
- Não se avaliou o acréscimo de produção nas barragens a jusante do Douro
- **Unidade funcional do estudo:**
  - 1 GWh de energia eléctrica injectada na Rede Eléctrica Nacional (REN) em alta tensão

# Principais aspectos metodológicos: Objectivos e Âmbito

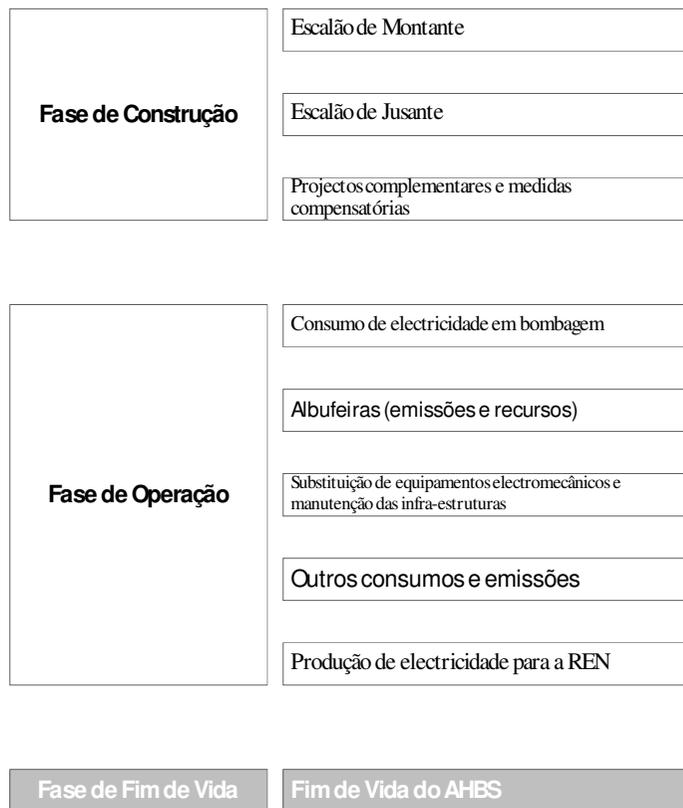
## Fronteiras do sistema



# Principais aspectos metodológicos: Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

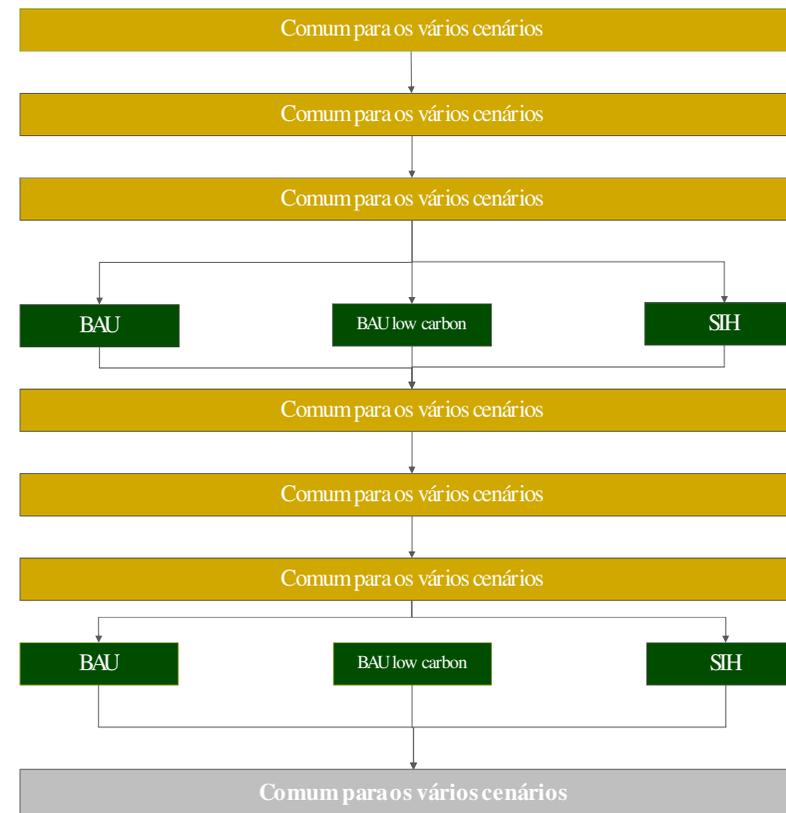
- **Horizonte de vida do projecto:  
75 anos**

- Fase de construção: 2008 – 2014
- Fase de operação: 2014 – 2089



- **Produção de energia hidroeléctrica do AHBS**

- Água do rio Sabor
- Água bombada previamente de jusante



# Principais aspectos metodológicos: Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV) e Interpretação

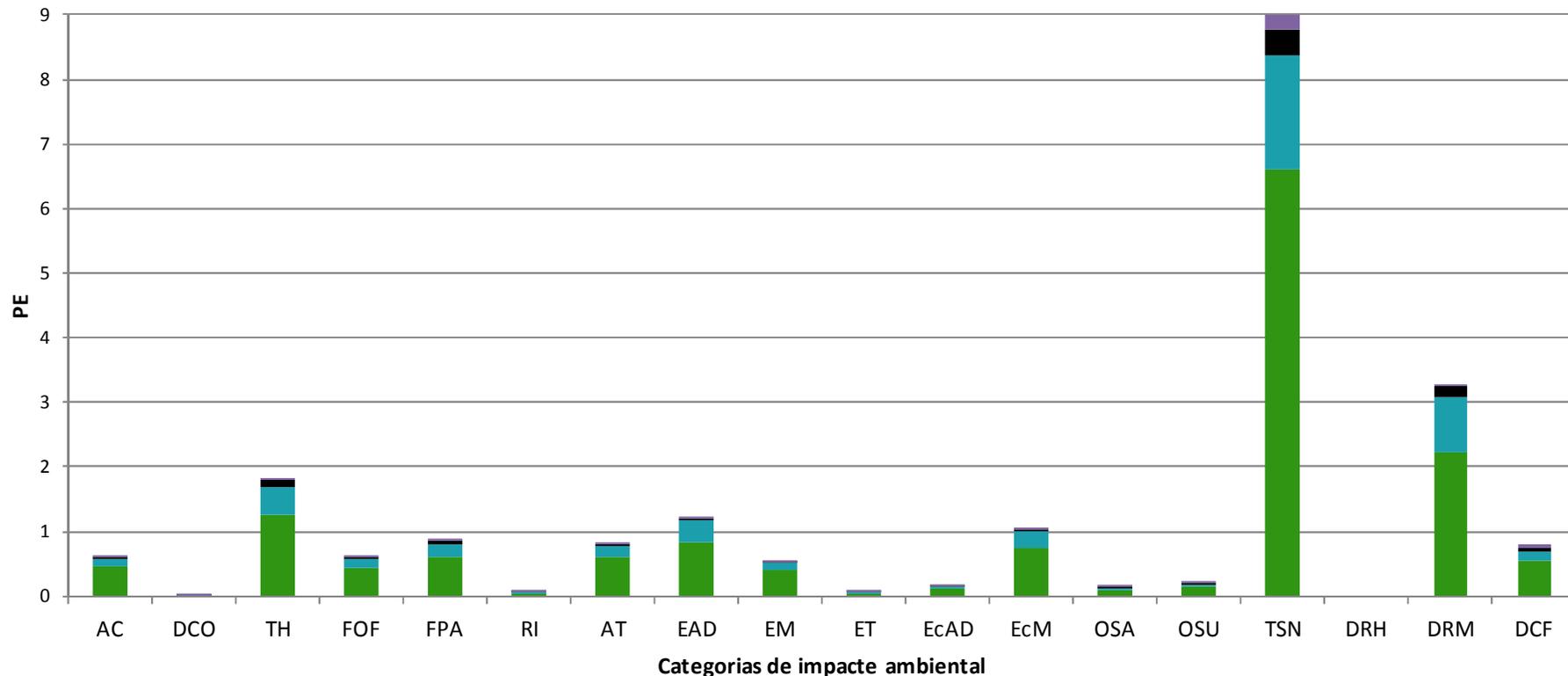
- **Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV)**
  - **Métodos de avaliação:**
    - ReCiPe Midpoint (H), v. 1.05
    - Cumulative Energy Demand, v.1.08
    - Ecological Footprint, v.1.01
  - **Impactes e benefícios considerados:**
    - Directos e indirectos
    - Inclusão dos bens de capital
    - Exclusão das emissões de longo prazo
  - **Consideraram-se os resultados de caracterização e normalização**
    - Normalização: modelo ReCiPE, emissões de um cidadão médio europeu com base no ano 2000 (PE - pessoa equivalente)
- **Interpretação dos resultados**
  - Identificação das questões significativas
  - Análise de coerência da modelação realizada
  - Análise de sensibilidade (diferentes pressupostos: e.g. cenários energéticos de consumo e produção de energia)
  - Análise de incerteza associada aos dados e pressupostos utilizados

**Resultados preliminares: AICV**  
(ainda a serem sujeitos ao processo de revisão crítica)

# Impactes do AHBS: Fase de construção

Escalão de montante é o principal responsável pelos impactes gerados nesta fase

Exemplo cenário BAU, por GWh (valores normalizados)



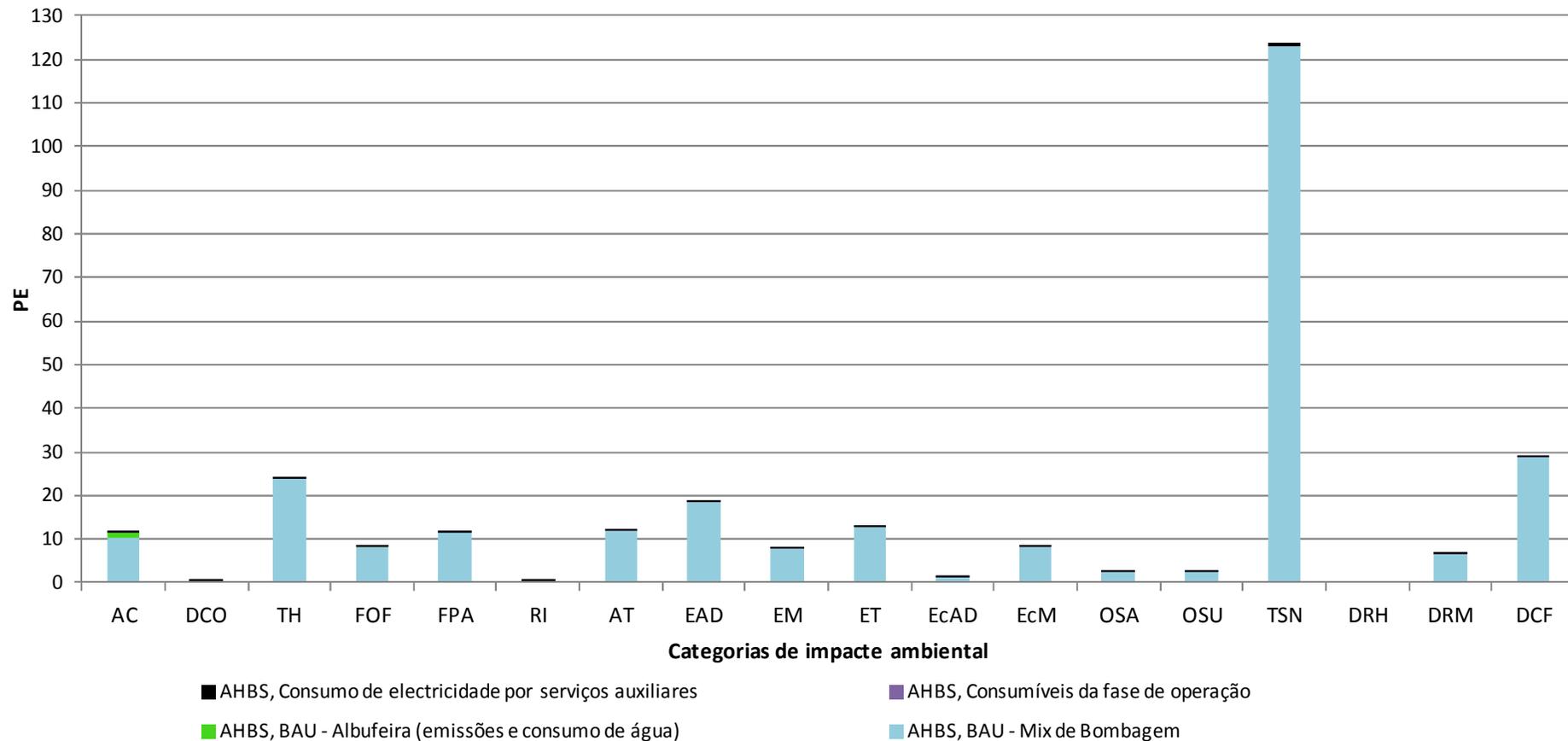
■ Consumos associados aos estaleiros    
 ■ Projectos complementares e medidas comp.    
 ■ Escalão de Jusante (EJ)    
 ■ Escalão de Montante (EM)

Método: ReCiPe Midpoint (H) V1.05 / Europe ReCiPe H / Normalização / Excluindo emissões de longo prazo

# Impactes do AHBS: Fase de operação

Predomínio dos impactes indirectos derivados do consumo de electricidade em bombagem (e.g. emissões de GEE pelo consumo de carvão e gás natural, transformação e ocupação do uso do solo pela extracção de combustíveis, etc.)

Exemplo cenário BAU, por GWh (valores normalizados)



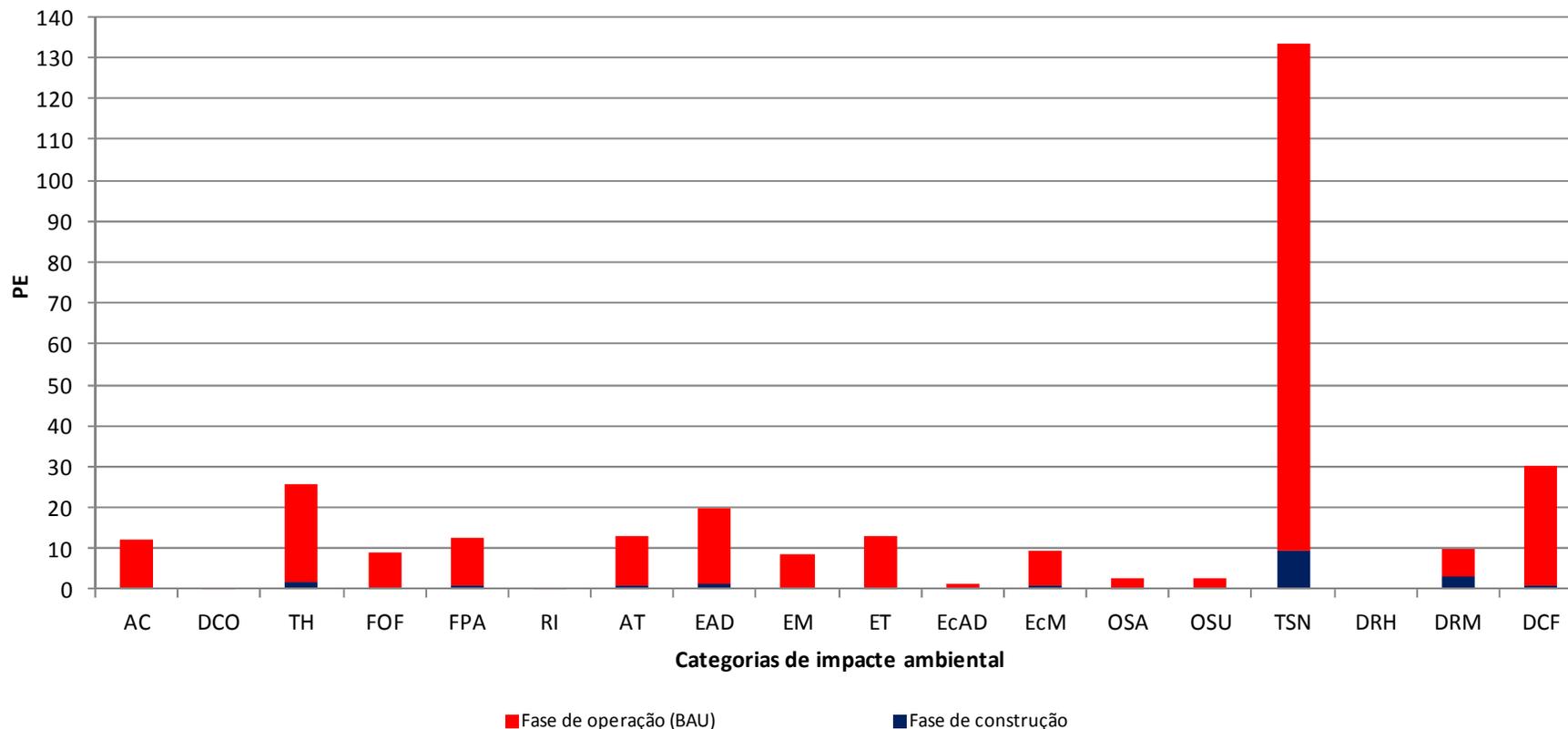
Método: ReCiPe Midpoint (H) V1.05 / Europe ReCiPe H / Normalização / Excluindo emissões de longo prazo

**AC** - Alterações climáticas ; **DCO** - Depleção da camada de ozono ; **TH** - Toxicidade humana ; **FOF** - Formação de oxidantes fotoquímicos ; **FPA** - Formação de partículas atmosféricas ;  
**RI** - Radiação ionizante ; **AT** - Acidificação terrestre ; **EAD** - Eutrofização de águas doces ; **EM** - Eutrofização marinha ; **ET** - Ecotoxicidade terrestre ; **EAD** - Ecotoxicidade de águas doces ;  
**EM** - Ecotoxicidade marinha ; **OSA** - Ocupação de solos agrícolas ; **OSU** - Ocupação de solos urbanos ; **TSN** - Transformação de solos naturais ; **DRH** - Depleção de recursos hídricos ;  
**DRM** - Depleção de recursos metálicos ; **DCF** - Depleção de combustíveis fósseis

# Impactes do AHBS: resumo do contributo das diferentes fases

Analisando as fases de construção e operação em conjunto, verifica-se que fase de operação é dominante

Exemplo cenário BAU, por GWh (valores normalizados)



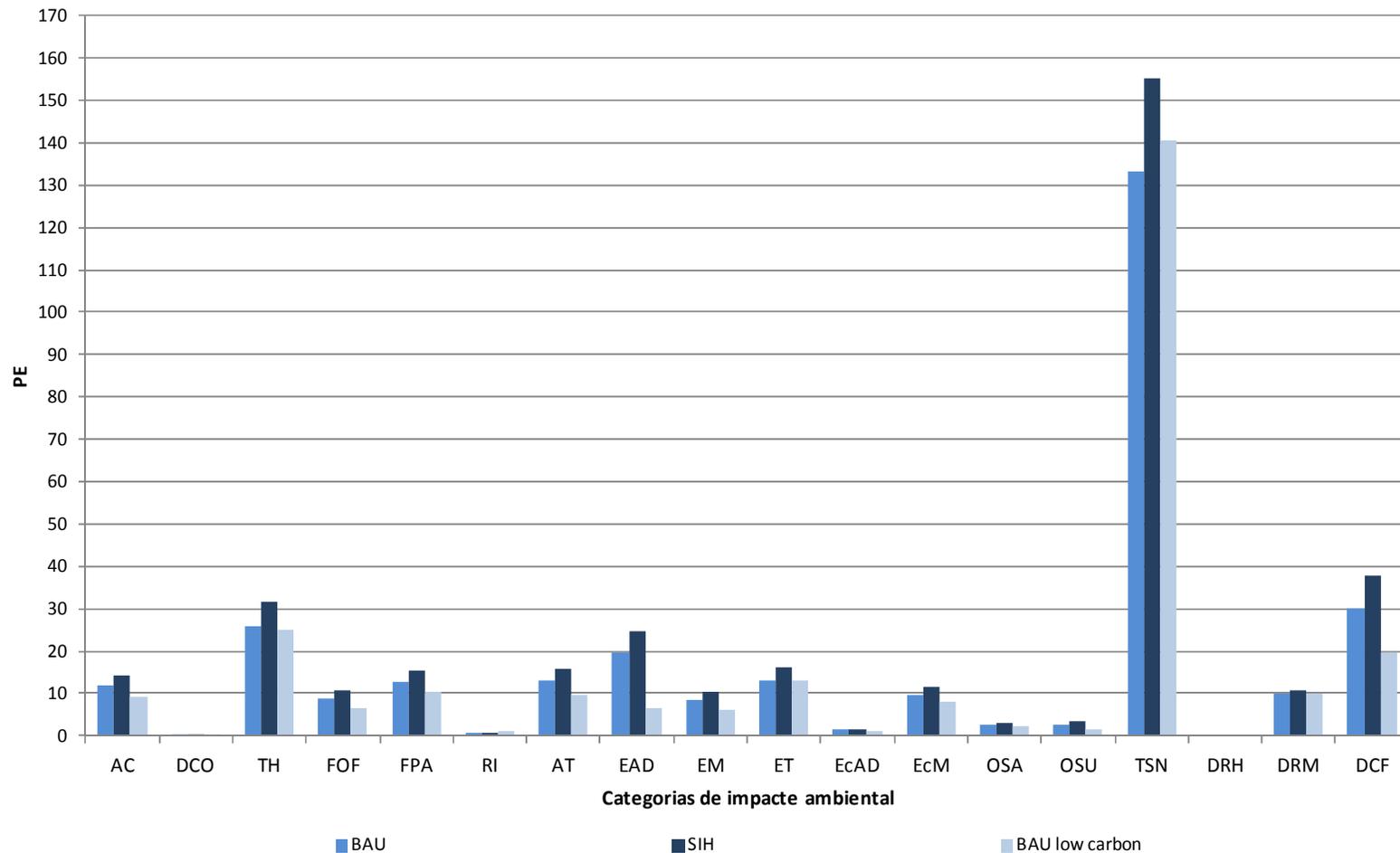
Método: ReCiPe Midpoint (H) V1.05 / Europe ReCiPe H / Normalização / Excluindo emissões de longo prazo

AC - Alterações climáticas ; DCO - Depleção da camada de ozono ; TH - Toxicidade humana ; FOF - Formação de oxidantes fotoquímicos ; FPA - Formação de partículas atmosféricas ; RI - Radiação ionizante ; AT - Acidificação terrestre ; EAD - Eutrofização de águas doces ; EM - Eutrofização marinha ; ET - Ecotoxicidade terrestre ; EAD - Ecotoxicidade de águas doces ; EM - Ecotoxicidade marinha ; OSA - Ocupação de solos agrícolas ; OSU - Ocupação de solos urbanos ; TSN - Transformação de solos naturais ; DRH - Depleção de recursos hídricos ; DRM - Depleção de recursos metálicos ; DCF - Depleção de combustíveis fósseis

# Impactes do AHBS: Comparação dos cenários energéticos

Os impactes variam ligeiramente consoante os cenários energéticos considerados, reflectindo o consumo de energia em bombagem e a sua proveniência

Impactes segundo os 3 cenários energéticos de referência, por GWh (valores normalizados)

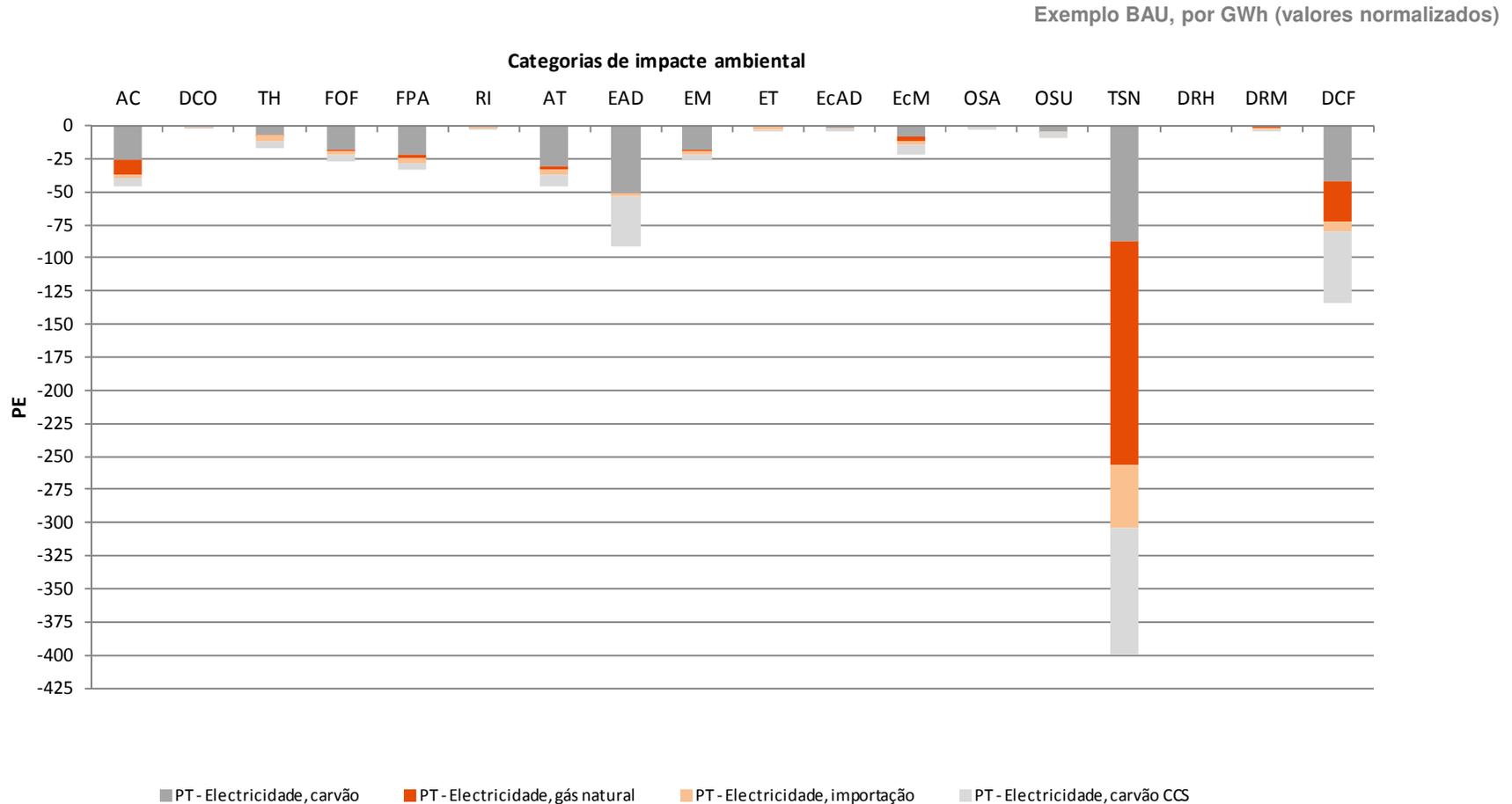


Método: ReCiPe Midpoint (H) V1.05 / Europe ReCiPe H / Normalização / Excluindo emissões de longo prazo

AC - Alterações climáticas ; DCO - Depleção da camada de ozono ; TH - Toxicidade humana ; FOF - Formação de oxidantes fotoquímicos ; FPA - Formação de partículas atmosféricas ; RI - Radiação ionizante ; AT - Acidificação terrestre ; EAD - Eutrofização de águas doces ; EM - Eutrofização marinha ; ET - Ecotoxicidade terrestre ; EAD - Ecotoxicidade de águas doces ; EM - Ecotoxicidade marinha ; OSA - Ocupação de solos agrícolas ; OSU - Ocupação de solos urbanos ; TSN - Transformação de solos naturais ; DRH - Depleção de recursos hídricos ; DRM - Depleção de recursos metálicos ; DCF - Depleção de combustíveis fósseis

# Benefícios do AHBS: Substituição da produção de electricidade

Os benefícios gerados pelo AHBS advém sobretudo da produção de electricidade evitada proveniente do carvão e do gás natural



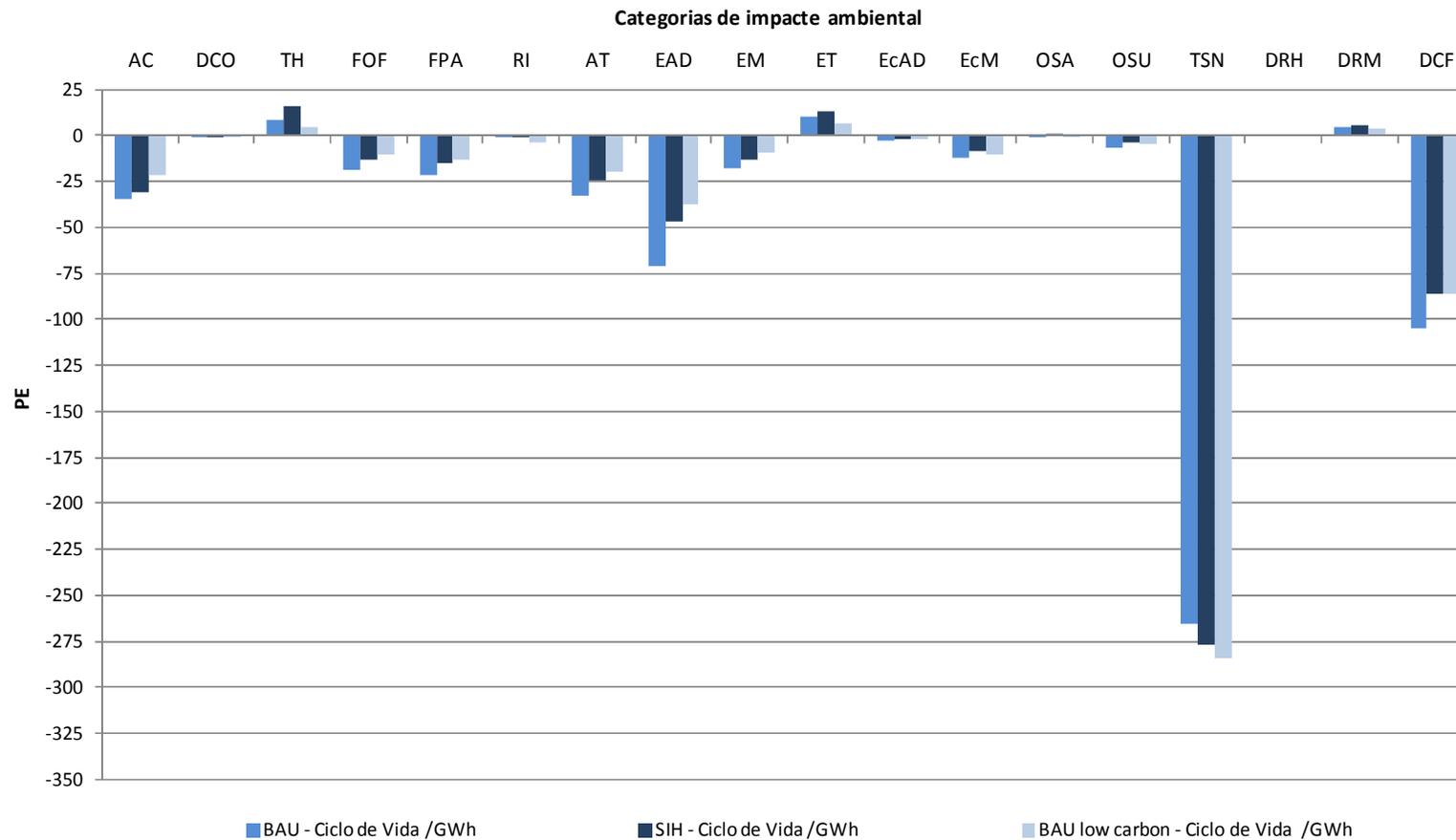
Método: ReCiPe Midpoint (H) V1.05 / Europe ReCiPe H / Normalização/ Excluindo emissões de longo prazo

AC - Alterações climáticas ; DCO - Depleção da camada de ozono ; TH - Toxicidade humana ; FOF - Formação de oxidantes fotoquímicos ; FPA - Formação de partículas atmosféricas ; RI - Radiação ionizante ; AT - Acidificação terrestre ; EAD - Eutrofização de águas doces ; EM - Eutrofização marinha ; ET - Ecotoxicidade terrestre ; EAD - Ecotoxicidade de águas doces ; EM - Ecotoxicidade marinha ; OSA - Ocupação de solos agrícolas ; OSU - Ocupação de solos urbanos ; TSN - Transformação de solos naturais ; DRH - Depleção de recursos hídricos ; DRM - Depleção de recursos metálicos ; DCF - Depleção de combustíveis fósseis

# Balanço do AHBS: Impactes vs. Benefícios

Comparando os impactes e os benefícios, verifica-se que na maior parte das categorias de impacte ambiental o AHBS apresenta um balanço positivo (impactes evitados)

Balanço segundo os 3 cenários energéticos de referência, por GWh (valores normalizados)



Método: ReCiPe Midpoint (H) V1.05 / Europe ReCiPe H / Normalização / Excluindo emissões de longo prazo

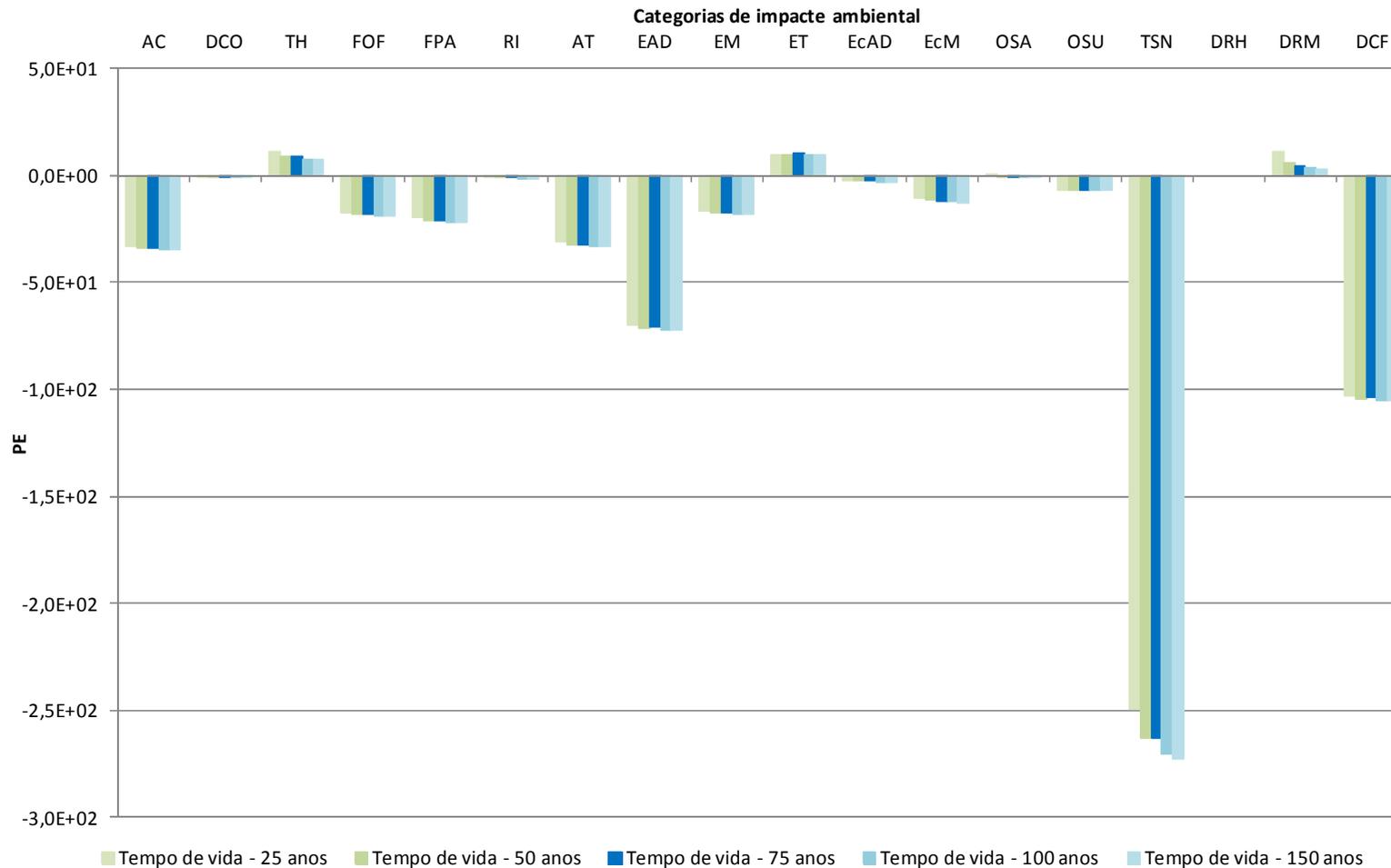
AC - Alterações climáticas ; DCO - Depleção da camada de ozono ; TH - Toxicidade humana ; FOF - Formação de oxidantes fotoquímicos ; FPA - Formação de partículas atmosféricas ; RI - Radiação ionizante ; AT - Acidificação terrestre ; EAD - Eutrofização de águas doces ; EM - Eutrofização marinha ; ET - Ecotoxicidade terrestre ; EAD - Ecotoxicidade de águas doces ; EM - Ecotoxicidade marinha ; OSA - Ocupação de solos agrícolas ; OSU - Ocupação de solos urbanos ; TSN - Transformação de solos naturais ; DRH - Depleção de recursos hídricos ; DRM - Depleção de recursos metálicos ; DCF - Depleção de combustíveis fósseis

# **Análise de sensibilidade e incerteza aos resultados obtidos**

# Análise de diferentes tempos de vida do AHBS

O tempo de vida do AHBS tem uma reduzida influência no balanço ambiental do AHBS (dado que o aspecto que predomina é o consumo de electricidade em bombagem e a produção de electricidade obtida fruto desse consumo)

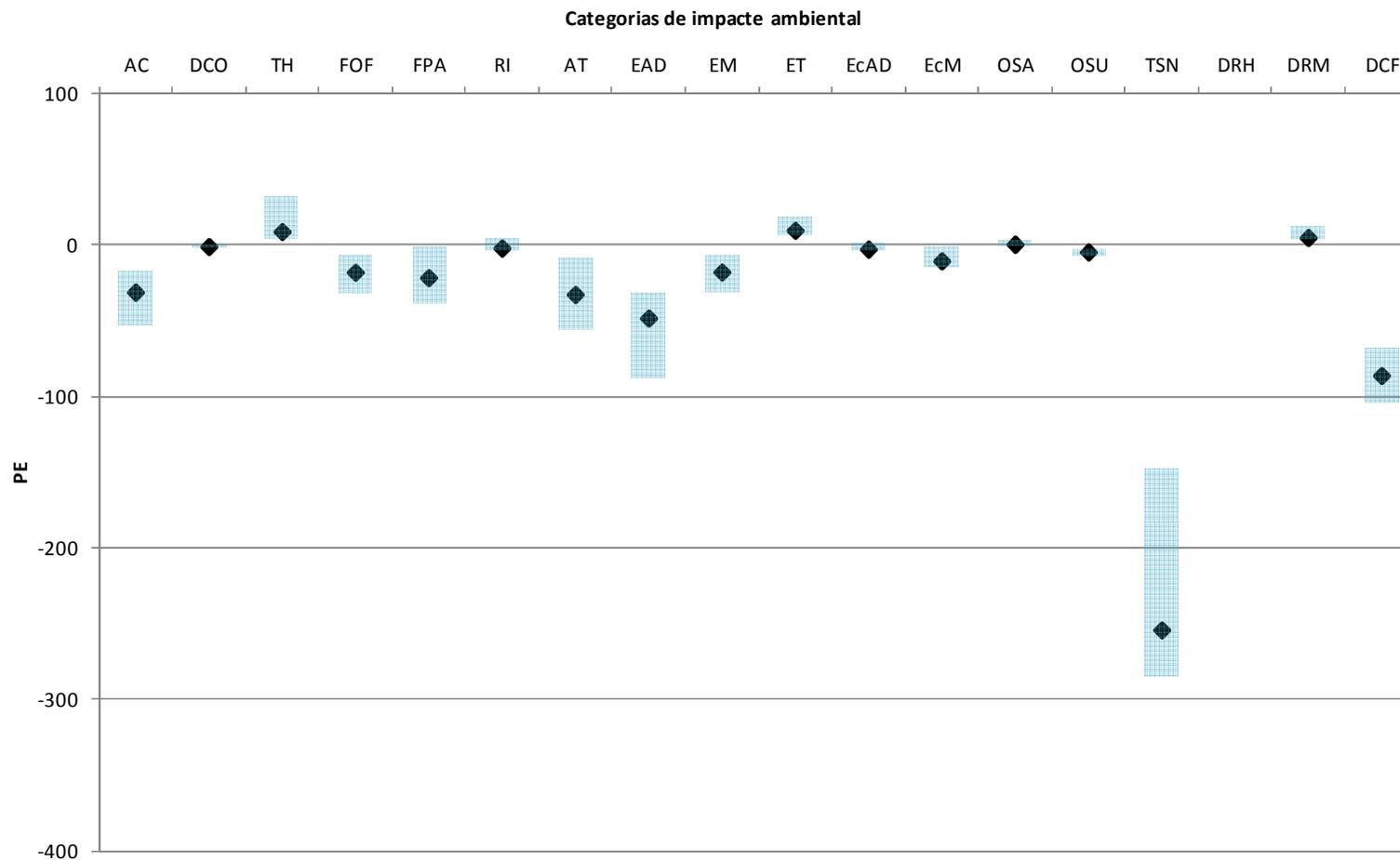
Exemplo cenário BAU, por GWh (valores normalizados)



# Análise de diferentes cenários energéticos

Considerando diferentes cenários de exploração (e.g. consumo e produção de bombagem, existência ou não de carvão com CCS, diferentes níveis de emissão de metano pelas albufeiras, etc.), o padrão de resultados não se altera significativamente

Análise integrada de diferentes pressupostos e cenários, por GWh - dispersão de resultados, valores normalizados

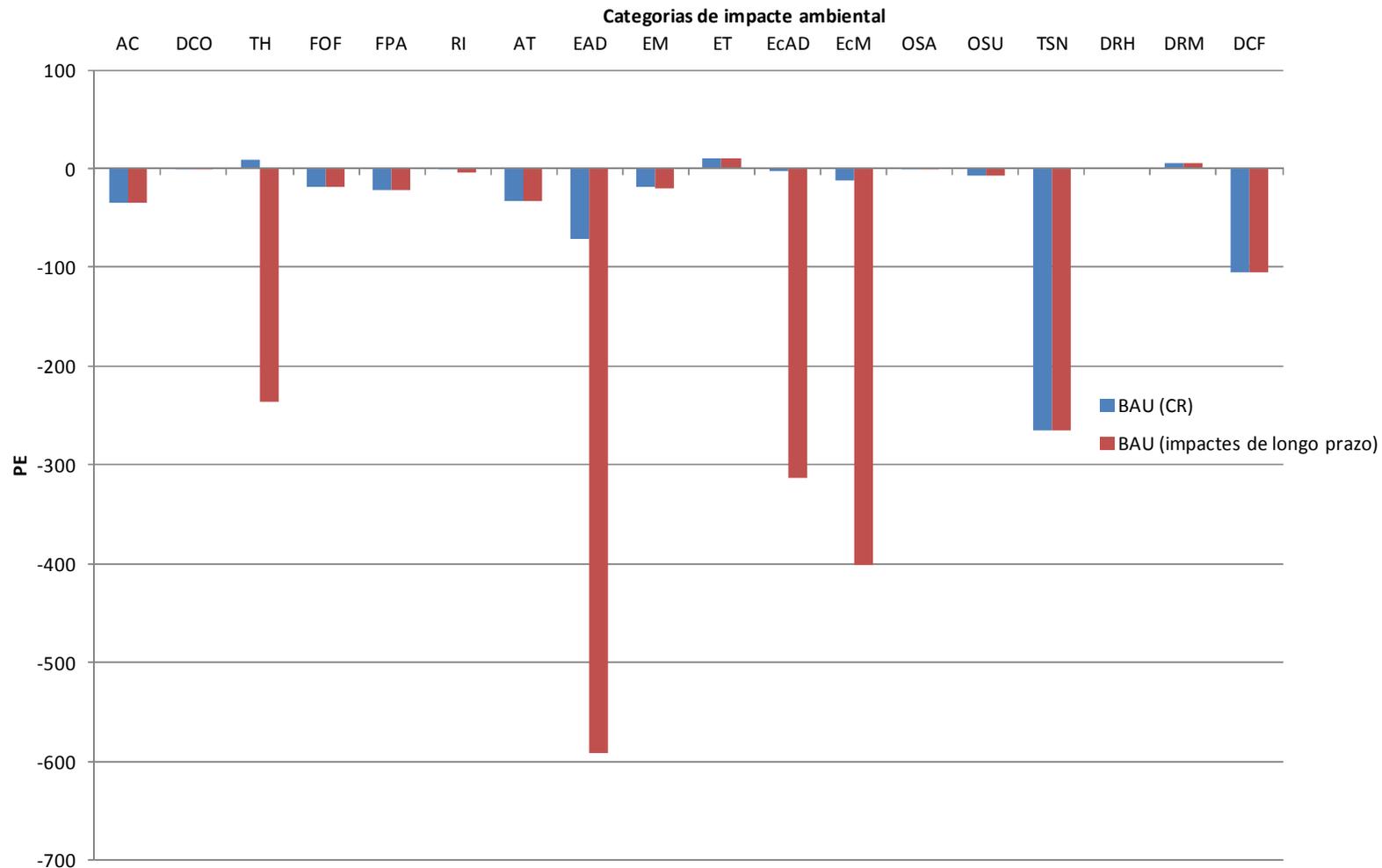


AC - Alterações climáticas ; DCO - Depleção da camada de ozono ; TH - Toxicidade humana ; FOF - Formação de oxidantes fotoquímicos ; FPA - Formação de partículas atmosféricas ; RI - Radiação ionizante ; AT - Acidificação terrestre ; EAD - Eutrofização de águas doces ; EM - Eutrofização marinha ; ET - Ecotoxicidade terrestre ; EAD - Ecotoxicidade de águas doces ; EM - Ecotoxicidade marinha ; OSA - Ocupação de solos agrícolas ; OSU - Ocupação de solos urbanos ; TSN - Transformação de solos naturais ; DRH - Depleção de recursos hídricos ; DRM - Depleção de recursos metálicos ; DCF - Depleção de combustíveis fósseis

# Análise do efeito da consideração das emissões de longo prazo

Considerando os impactos a longo prazo (> 100 anos), o desempenho ambiental do AHBS torna-se mais favorável nas categorias mais influenciadas por este aspecto metodológico

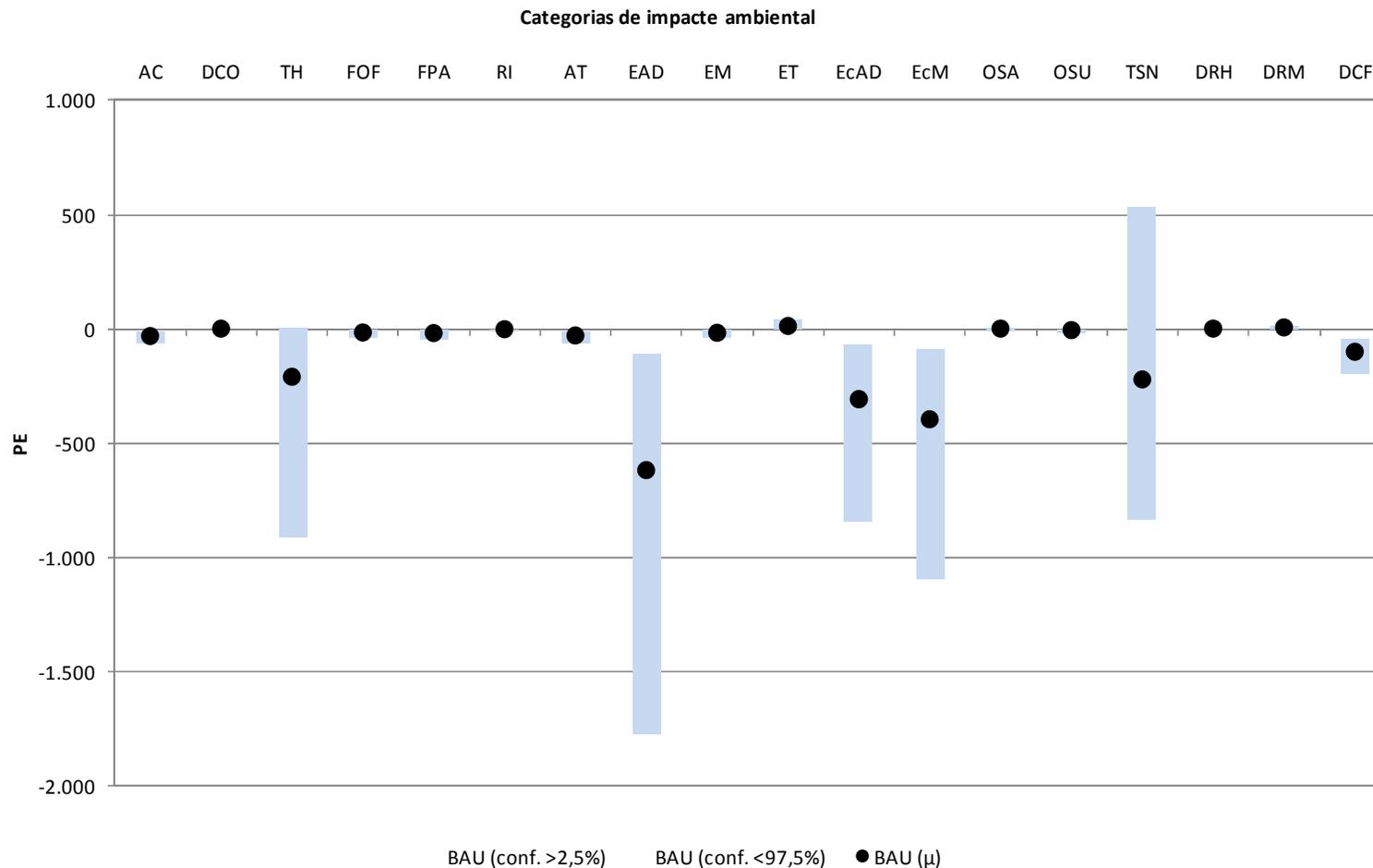
Exemplo BAU, por GWh (valores normalizados)



# Análise de incerteza associada aos dados e pressupostos utilizados na modelação

A margem de erro associada aos dados e pressupostos utilizados, para um intervalo de confiança de 95%, não altera significativamente o padrão dos resultados obtidos nos cenários de referência

Exemplo cenário BAU, por GWh (valores normalizados)



AC - Alterações climáticas ; DCO - Depleção da camada de ozono ; TH - Toxicidade humana ; FOF - Formação de oxidantes fotoquímicos ; FPA - Formação de partículas atmosféricas ; RI - Radiação ionizante ; AT - Acidificação terrestre ; EAD - Eutrofização de águas doces ; EM - Eutrofização marinha ; ET - Ecotoxicidade terrestre ; EAD - Ecotoxicidade de águas doces ; EM - Ecotoxicidade marinha ; OSA - Ocupação de solos agrícolas ; OSU - Ocupação de solos urbanos ; TSN - Transformação de solos naturais ; DRH - Depleção de recursos hídricos ; DRM - Depleção de recursos metálicos ; DCF - Depleção de combustíveis fósseis

# Conclusões

# Apenas considerando os Impactes do AHBS

- **Principal fase do ciclo de vida:**
  - Fase de operação (sobretudo devido aos impactes indirectos devidos ao consumo de electricidade em bombagem)
- **Categorias de impacte relevantes, considerando resultados da normalização:**
  - A transformação de solos naturais
  - A depleção de combustíveis fósseis
  - A eutrofização de águas doces
  - A toxicidade humana
  - As alterações climáticas;
  - Sendo que a importância relativa das categorias varia com os cenários energéticos e com a consideração ou não das emissões de longo prazo
- **Processos/substâncias relevantes associados aos impactes:**
  - Fase de operação - Carvão e o gás natural utilizados para produção da electricidade que é consumida em bombagem
  - Fase de construção – Betão (cimento) e aço consumidos na construção de infra-estruturas e equipamentos do AHBS

# Considerando os Benefícios e o Balanço do AHBS

- Os benefícios do AHBS provêm da produção de electricidade durante a fase de operação e que é injectada na rede eléctrica nacional, evitando-se a sua produção por fontes alternativas
- Na quase totalidade das categorias de impacte, os benefícios são superiores aos impactes gerados, pelo que o seu balanço é positivo
- Exemplos de resultados obtidos:
  - Energia primária não renovável:
    - Por GWh - redução entre 7,3 TJ /GWh e 6,0 TJ/GWh
    - No CV – redução entre 222.391 TJ e 183.636 TJ
  - Emissões de GEE
    - Por GWh - redução entre 386 t CO<sub>2</sub>eq/GWh e 245 t CO<sub>2</sub>eq/GWh
    - No CV – redução entre 12.630 kt CO<sub>2</sub>eq e 7.462 kt CO<sub>2</sub>eq
    - O tempo de recuperação das emissões de GEE geradas na fase de construção do AHBS é relativamente curto, no final do primeiro quinquénio o balanço de carbono do AHBS será já positivo

# Principais limitações do estudo

- Desfasamento entre a data de elaboração do estudo e o período de construção e operação do empreendimento
- Elevado tempo de vida do empreendimento
- Impactes não considerados:
  - Infra-estrutura de transporte de energia do escalão de jusante
  - Necessidades de reinvestimento das infra-estruturas e seu fim de vida
  - Resíduos gerados nas fases de construção e operação, excepto desmatação e resíduos de escavação
- Incerteza metodológica associada aos modelos de avaliação considerados (inerente a qualquer ACV)

Tendo em conta os resultados da análise e controlo de sensibilidade e análise de incerteza, as limitações do estudo não colocaram em causa os seus principais resultados

- **Reforço das capacidades em ACV da EDP:**
  - A EDP poderá beneficiar na produção e consolidação de uma base de dados interna sobre processos energéticos para apoio ao processo de decisão, tendo por base a grande quantidade de informação ambiental que dispõe
- **Apoio ao processo de decisão e avaliação de novos projectos :**
  - A utilização da ACV deve constituir-se como uma das ferramenta para avaliação do desenvolvimento/adaptação de aproveitamentos de produção e distribuição de energia
  - A ACV deve ser utilizada como complemento ao processo de AIA de novos aproveitamentos/equipamentos ou de reformulações de existentes

# MUITO OBRIGADO!

## Paulo Trigo Ribeiro

**3 Drivers – Engenharia, Inovação e Ambiente, Lda**

Av. 5 de Outubro, n.º 124, 4.º piso,

1050-061 Lisboa, Portugal

• Mobile: (+351) 916 038 852 • E-mail: [pribeiro@3drivers.pt](mailto:pribeiro@3drivers.pt)

• Tel: (+351) 216 026 334 • Fax: (+351) 309 817 274

[www.3drivers.pt](http://www.3drivers.pt)