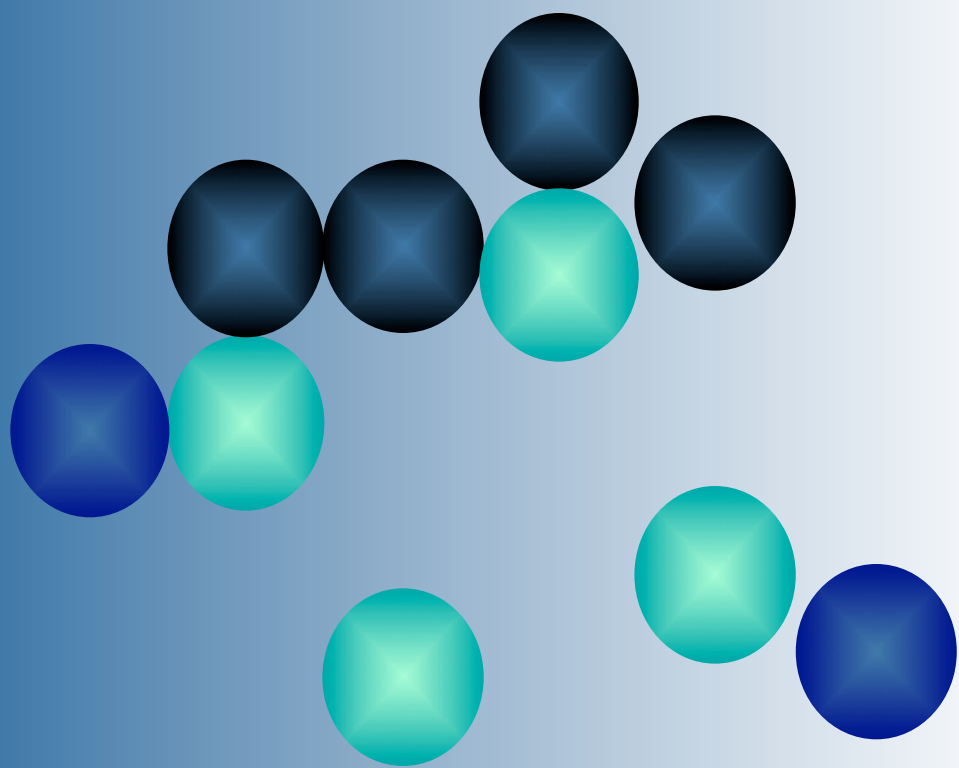
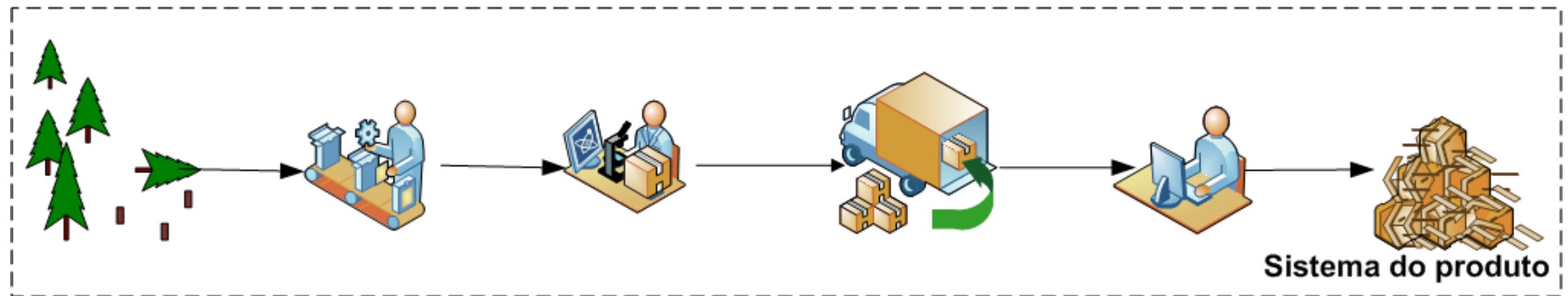




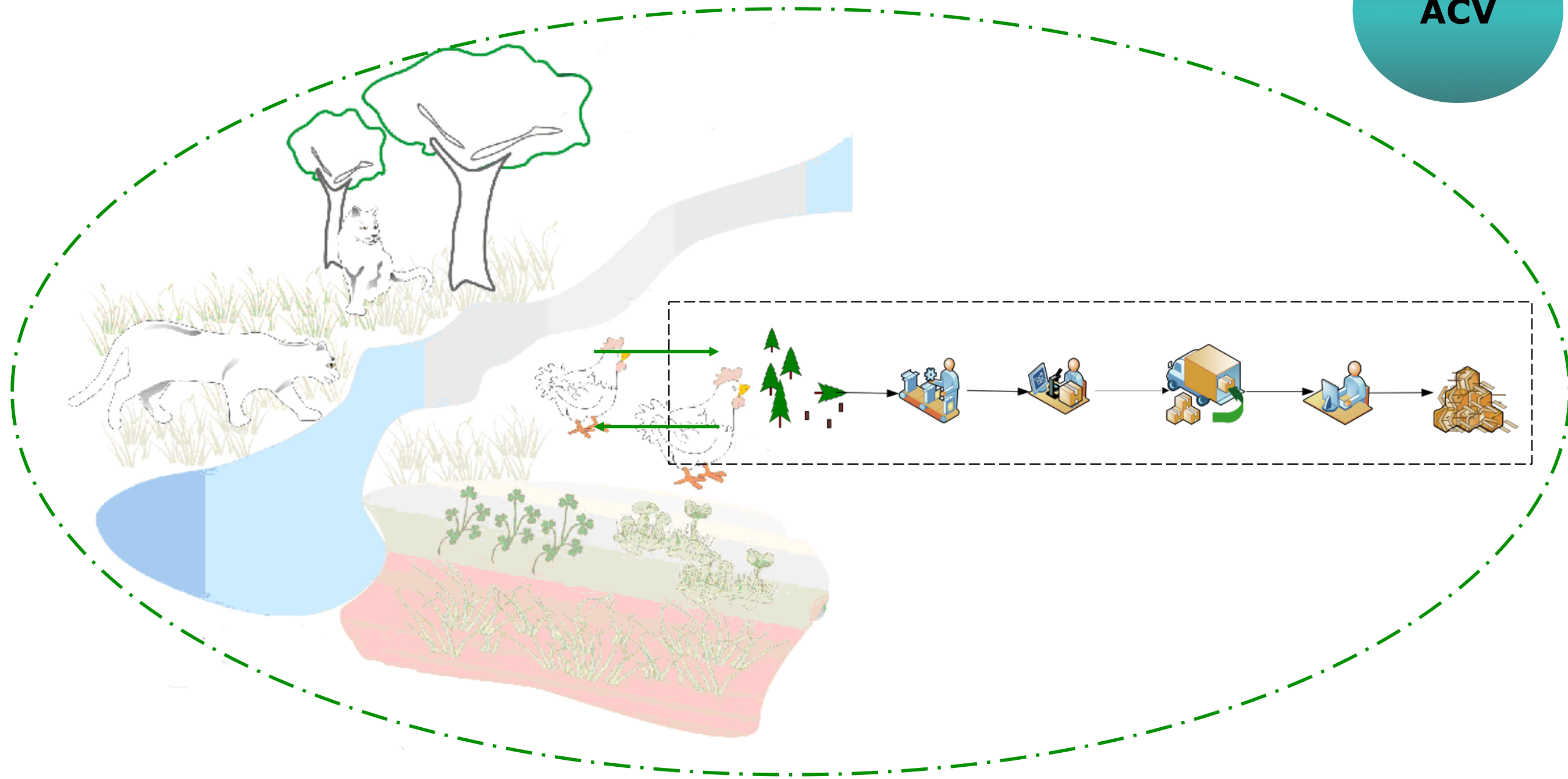
# Avaliação do Ciclo de Vida

# Ciclo de Vida de Produto

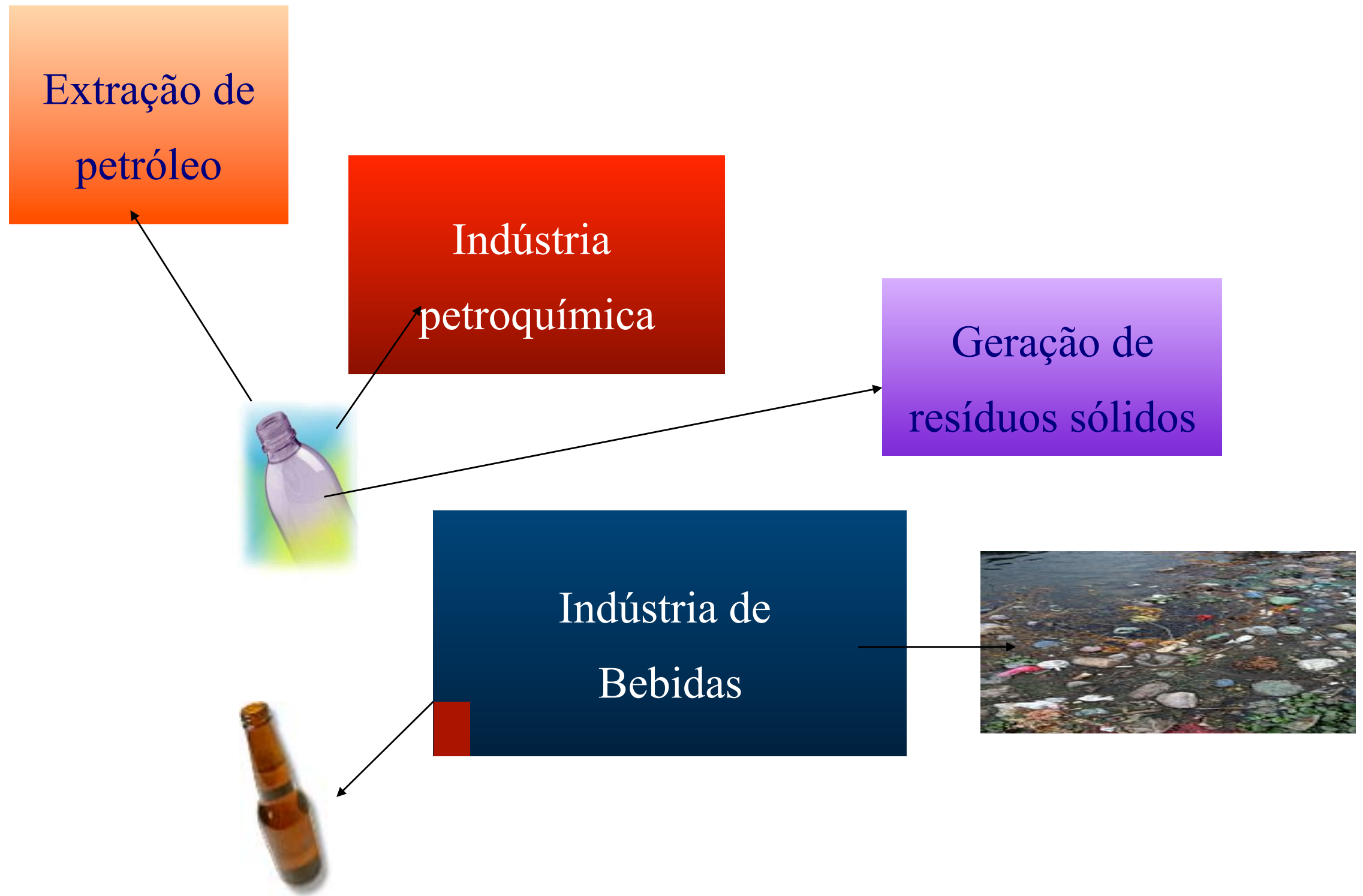


# Avaliação do Ciclo de Vida

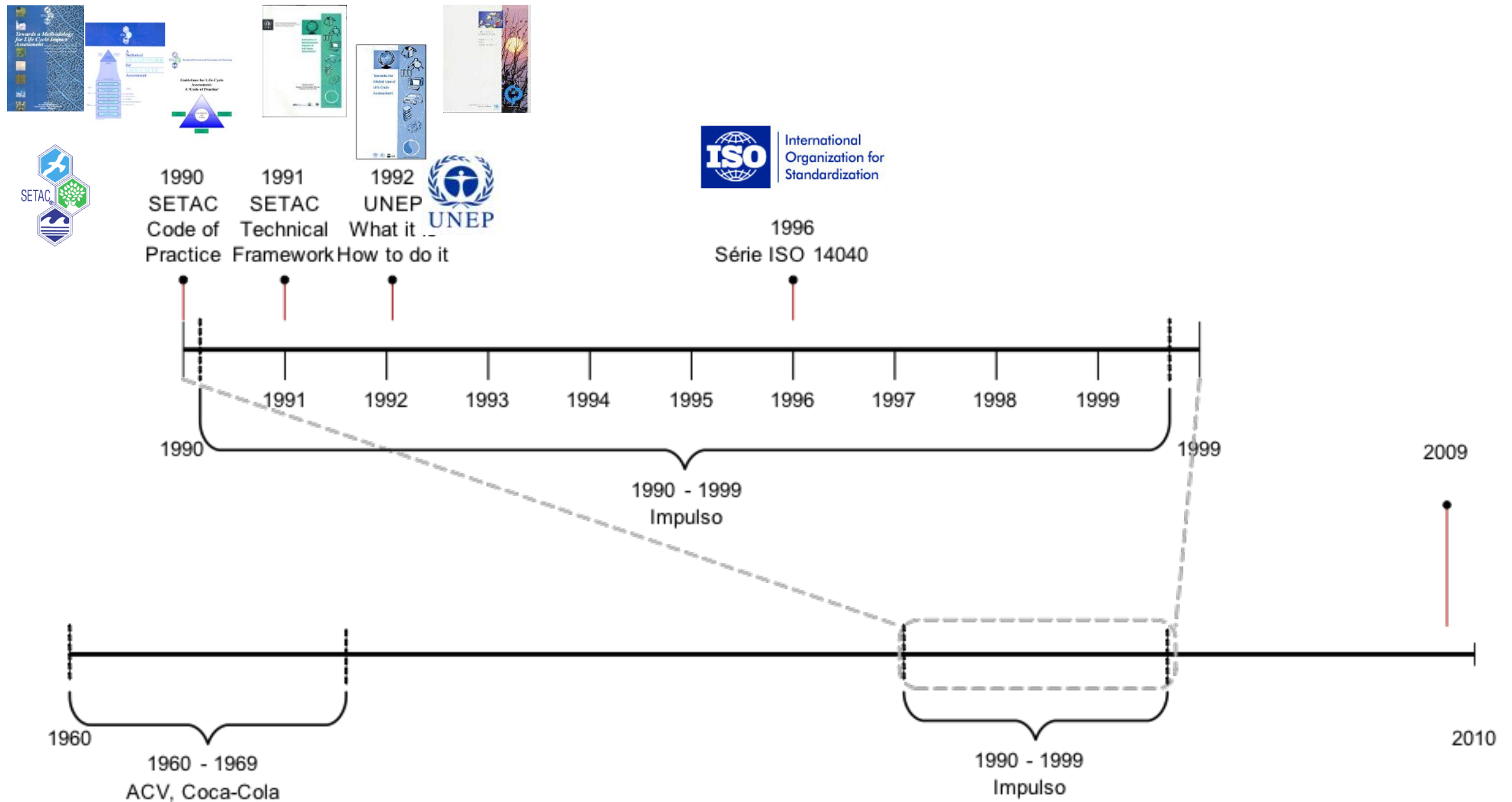
**ACV**



# Evitar transferência de poluição



# Histórico da ACV



# Normas

- 2006 (1996): ACV
  - ISO 14040
  - ISO 14044
- 2006: Rotulagem ambiental
  - ISO 14025, baseada na ISO 14040
- 2002: Projeto para o Meio Ambiente
  - ISO/TR 14062
- Pegada de Carbono, ISO/CD 14067
- Pegada hídrica, ISO/ 14046

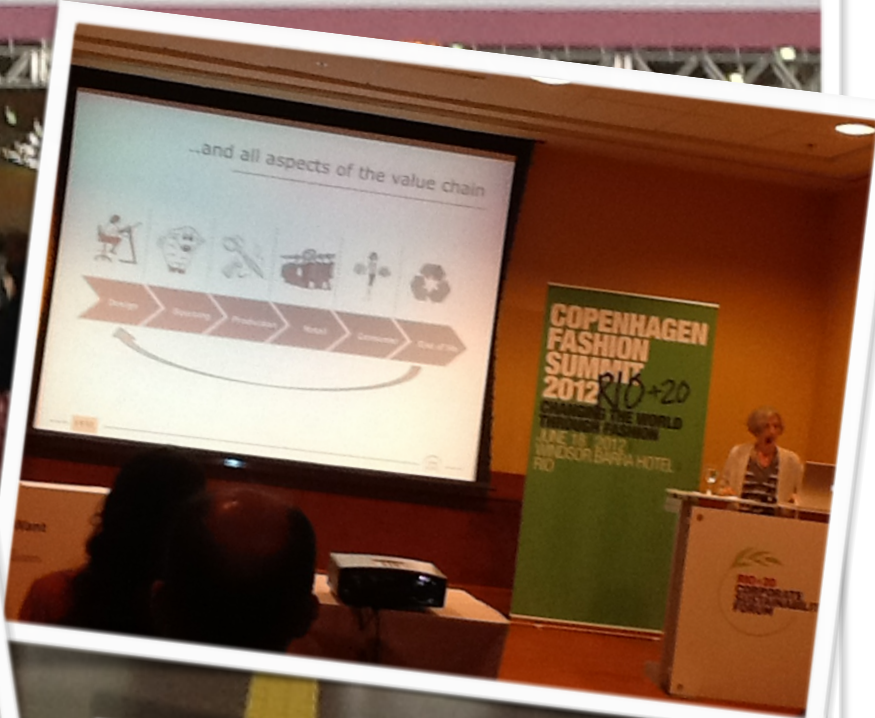
# Iniciativa do Ciclo de Vida da UNEP / SETAC



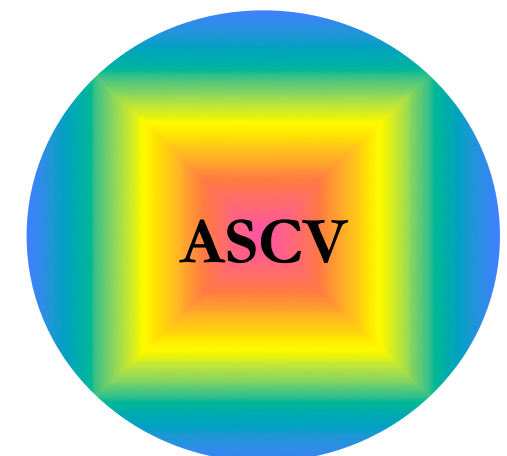
# Rio+20

## United Nations Conference on Sustainable Development

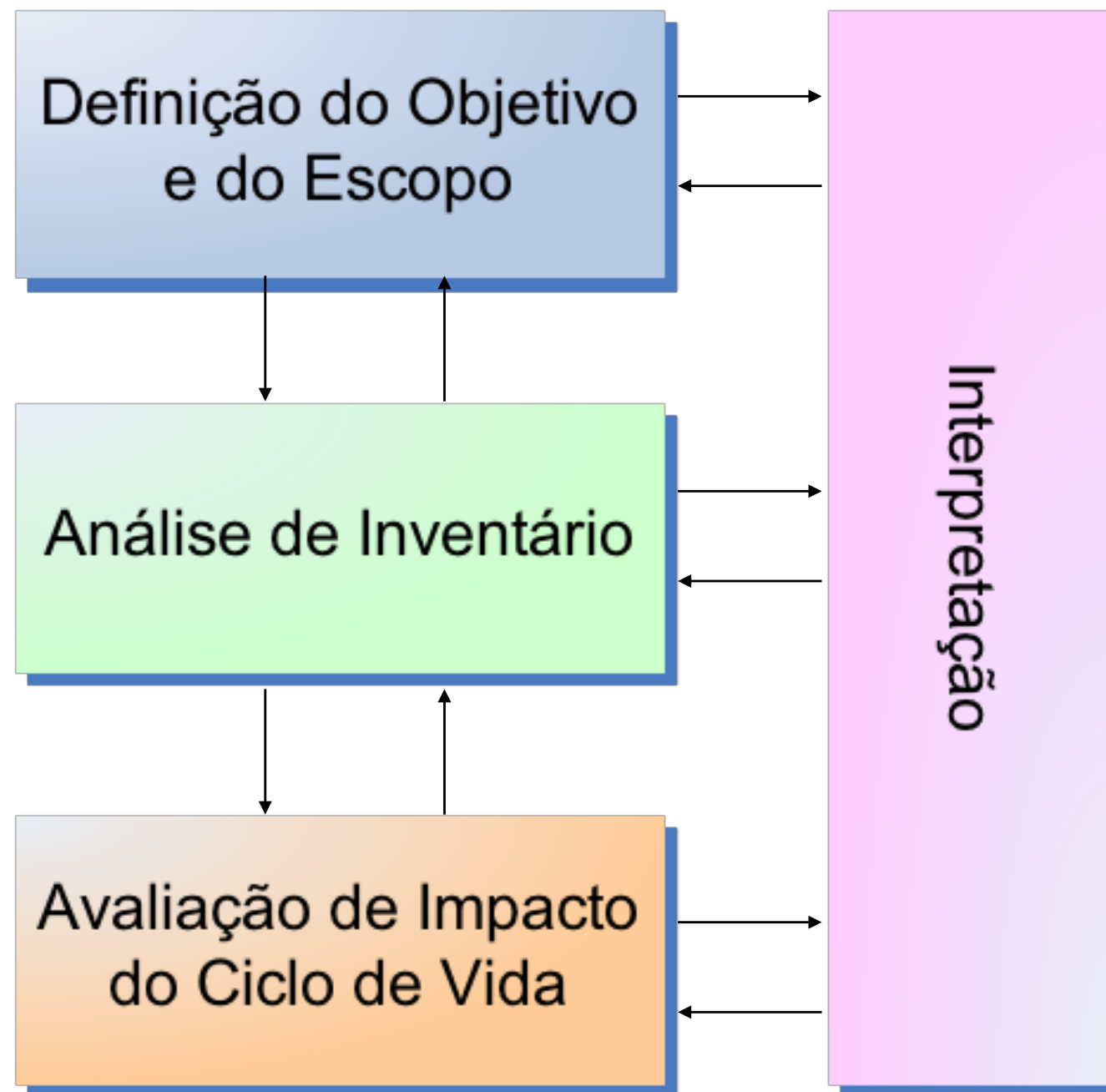
**SUSTAINABILITY ALONG  
THE LIFE CYCLE.**  
INNOVATE SOLUTIONS AND NEW TECHNOLOGIES TO  
ACHIEVE RESOURCE EFFICIENCY AND ZERO EMISSIONS.



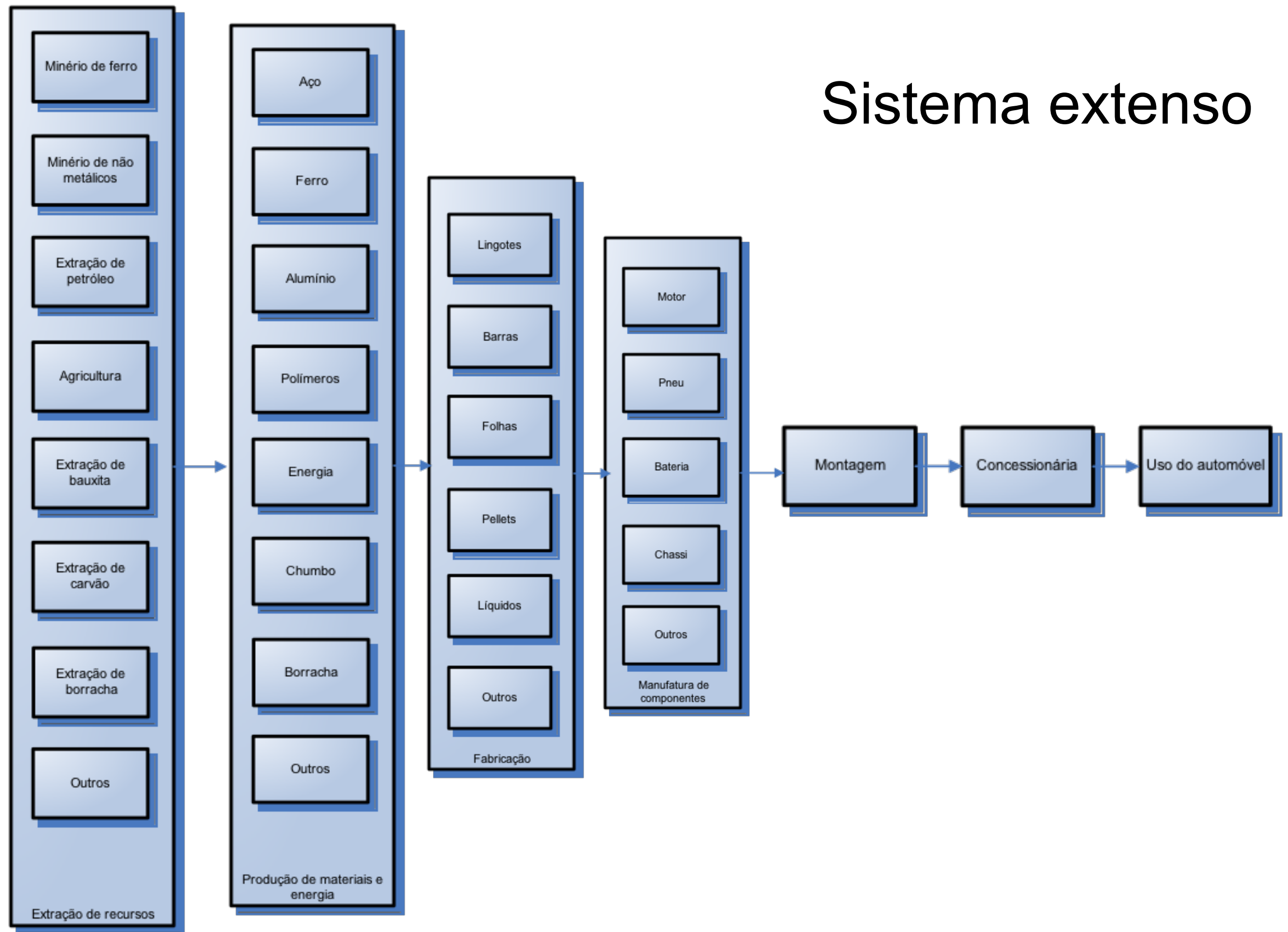
# Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV)



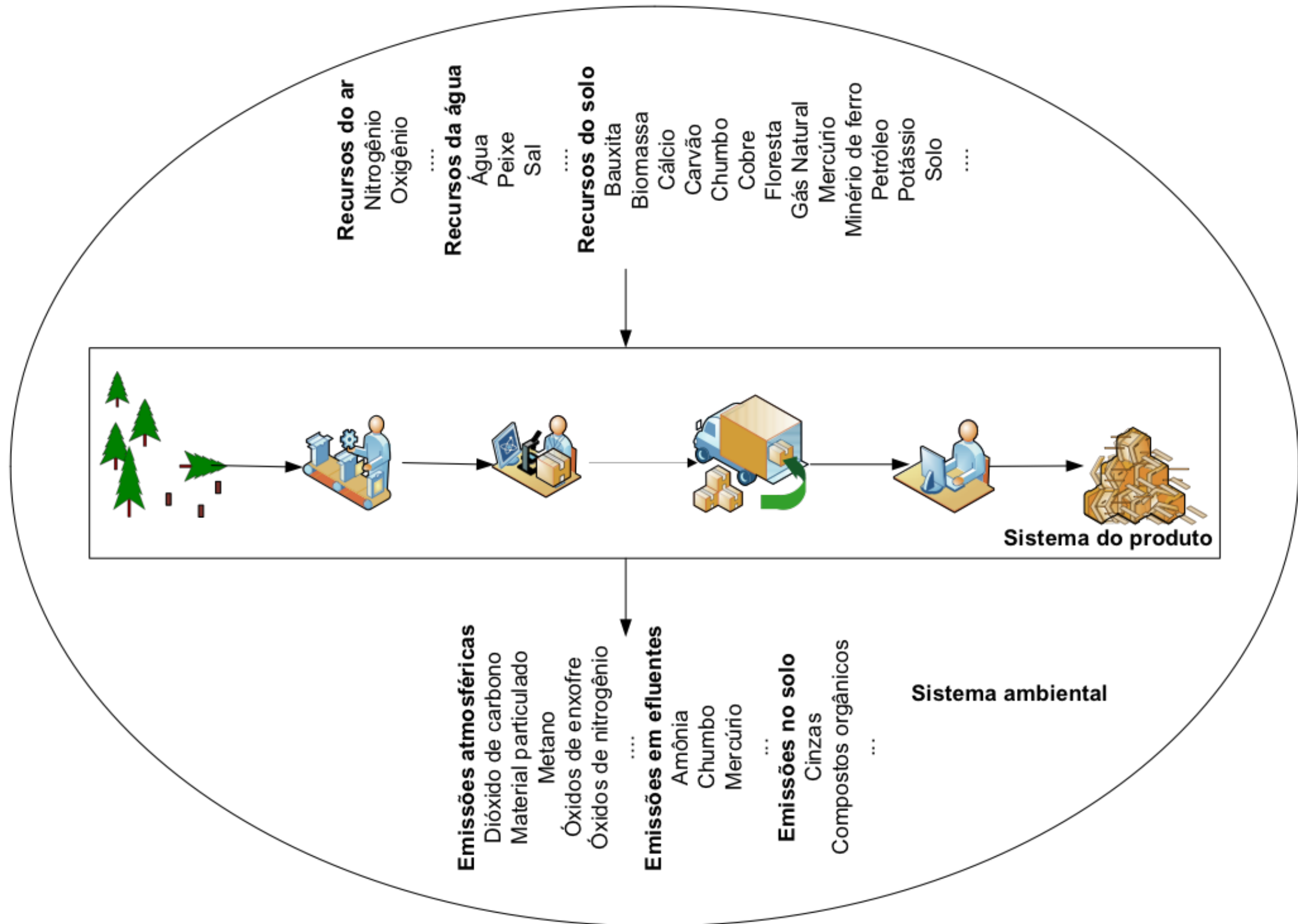
# Fases da ACV



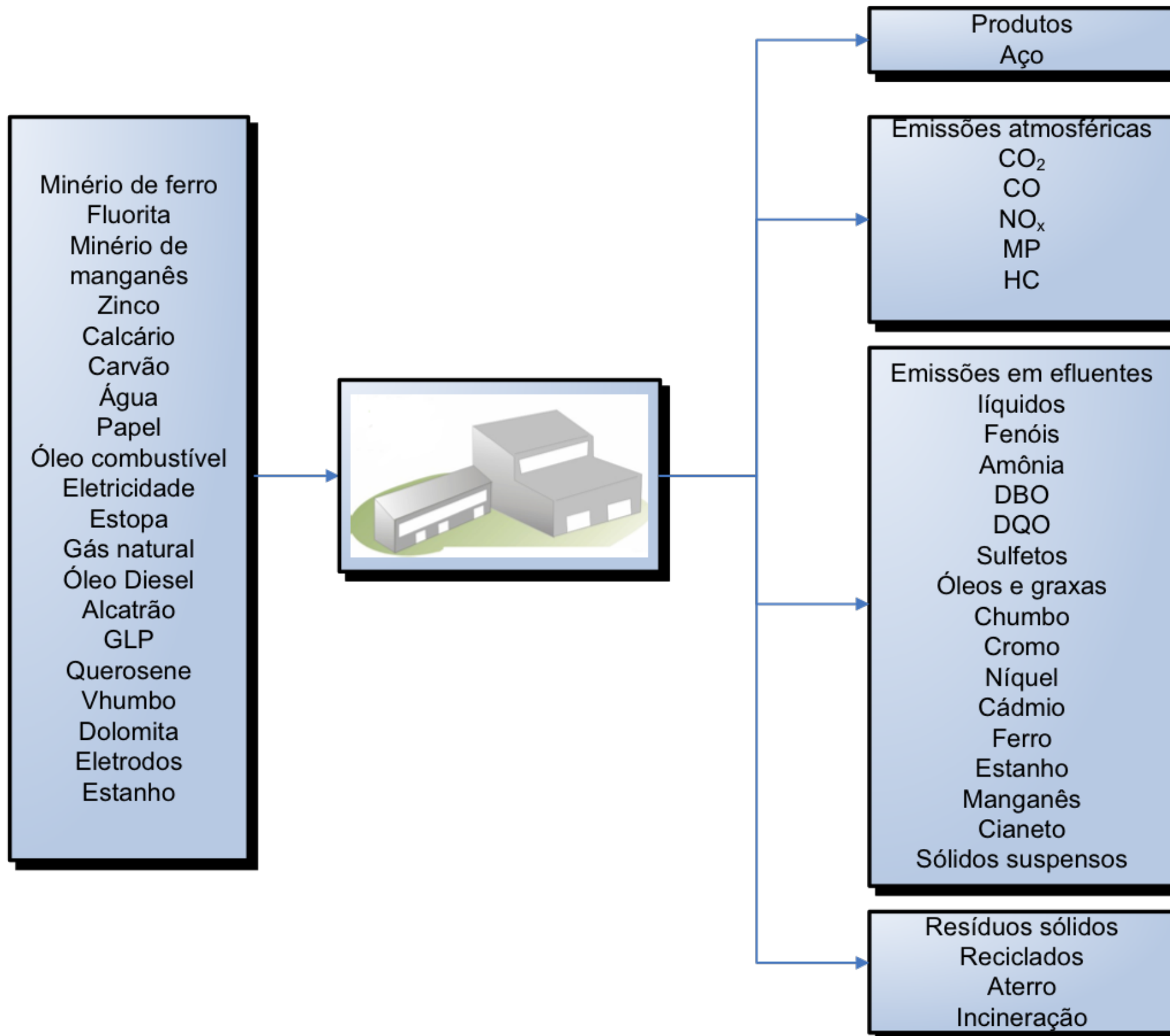
# Sistema extenso



# Inventário do Ciclo de Vida



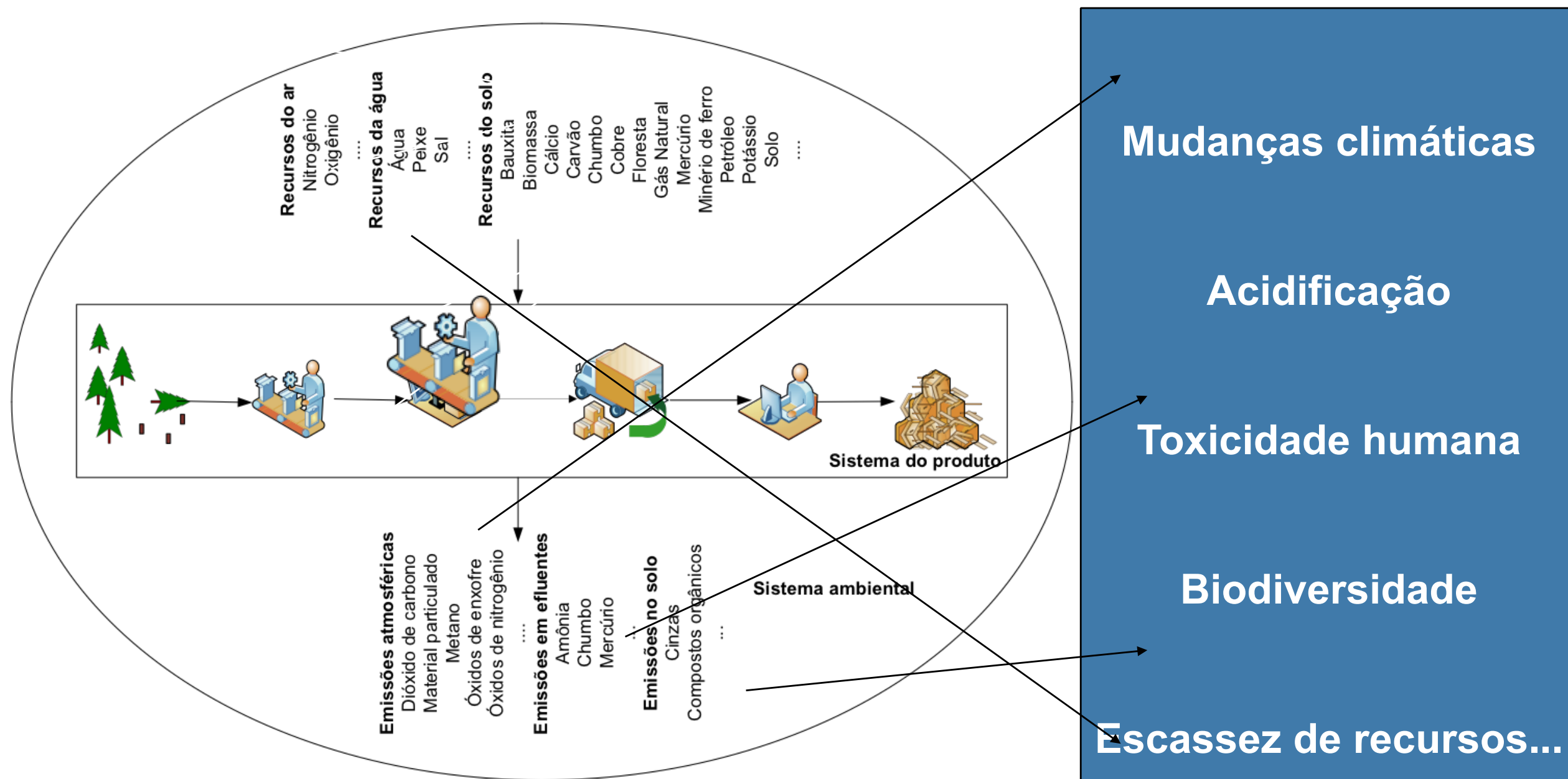
# Extensão da ACV



# AICV

## Fluxos

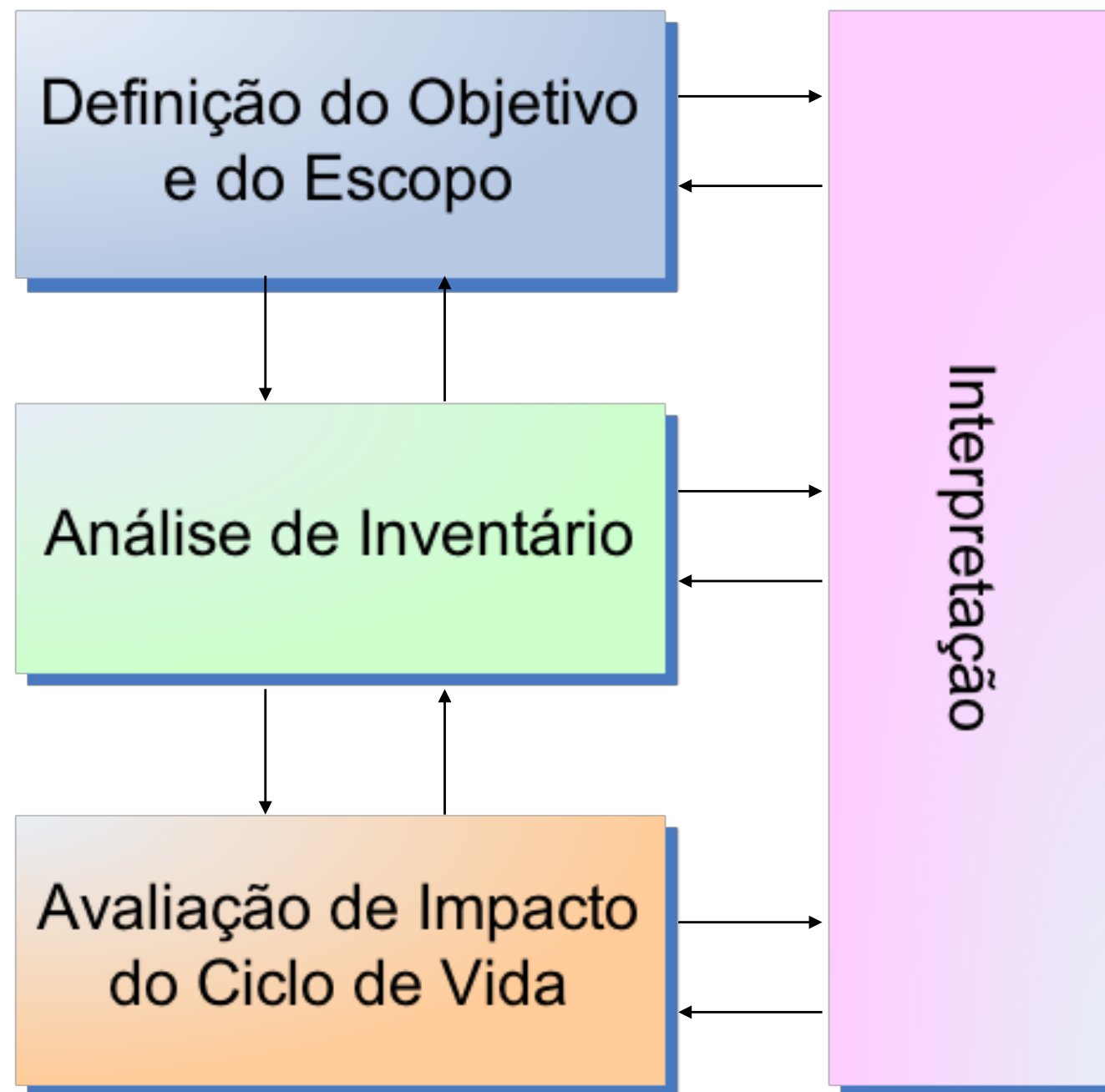
## Categorias de impacto



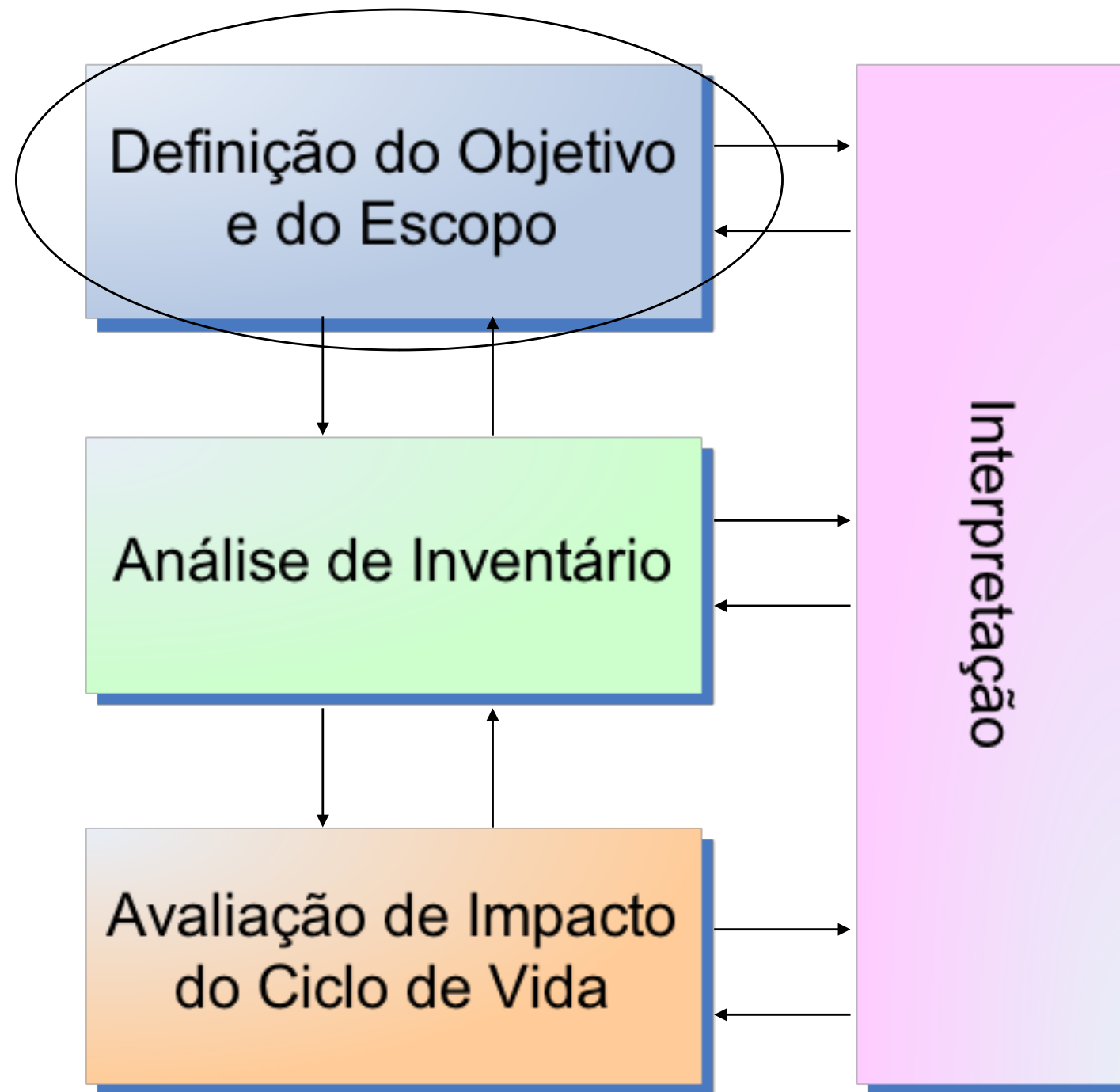
# Aplicações e Limitações da ACV

- Aplicações (ABNT, 2009)
  - Desenvolvimento e melhoria do produto
  - Planejamento estratégico
  - Elaboração de políticas públicas
  - *Marketing*
  - Outras
- Limitações
  - Critérios subjetivos
    - Solução: Relatório transparente
  - Limitação do conhecimento científico acerca dos impactos
  - Carência de método consolidado
  - Quantidade elevada de dados
    - Solução: desenvolvimento de banco de dados

# Fases da ACV



# Definição do Objetivo e Escopo



# Definição do Objetivo e do Escopo

## Definição de objetivo

**O objetivo deve conter  
(ABNT, 2009):**

### Exemplo

Aplicação pretendida

Identificar o processo que mais impacta ambientalmente no ciclo de vida do automóvel

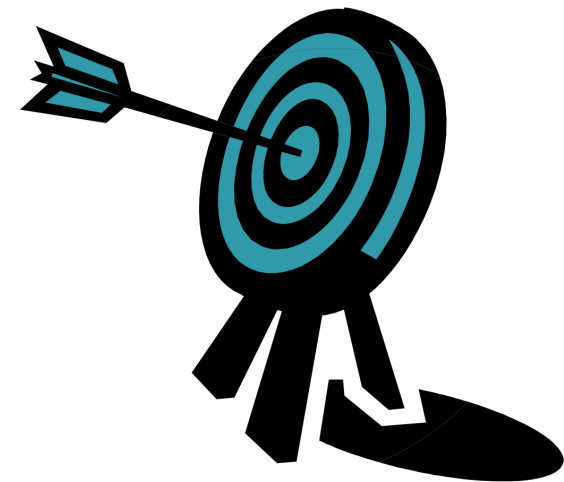
Razões para conduzir o estudo

Estabelecer políticas de gestão do ciclo de vida

Público-alvo (comunicação dos resultados)

Interno x público

a intenção de utilizar os resultados em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente



Função, unidade funcional  
e fluxo de referência

Sistema do produto e  
limites do sistema

Procedimentos de alocação

Categorias de impacto

Requisitos de dados

Suposições e limitações do  
estudo

Requisitos de qualidade de  
dados

Tipo de revisão crítica

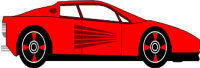
Tipo e formato do relatório

# Definição do Objetivo e do Escopo

## Definição do Escopo

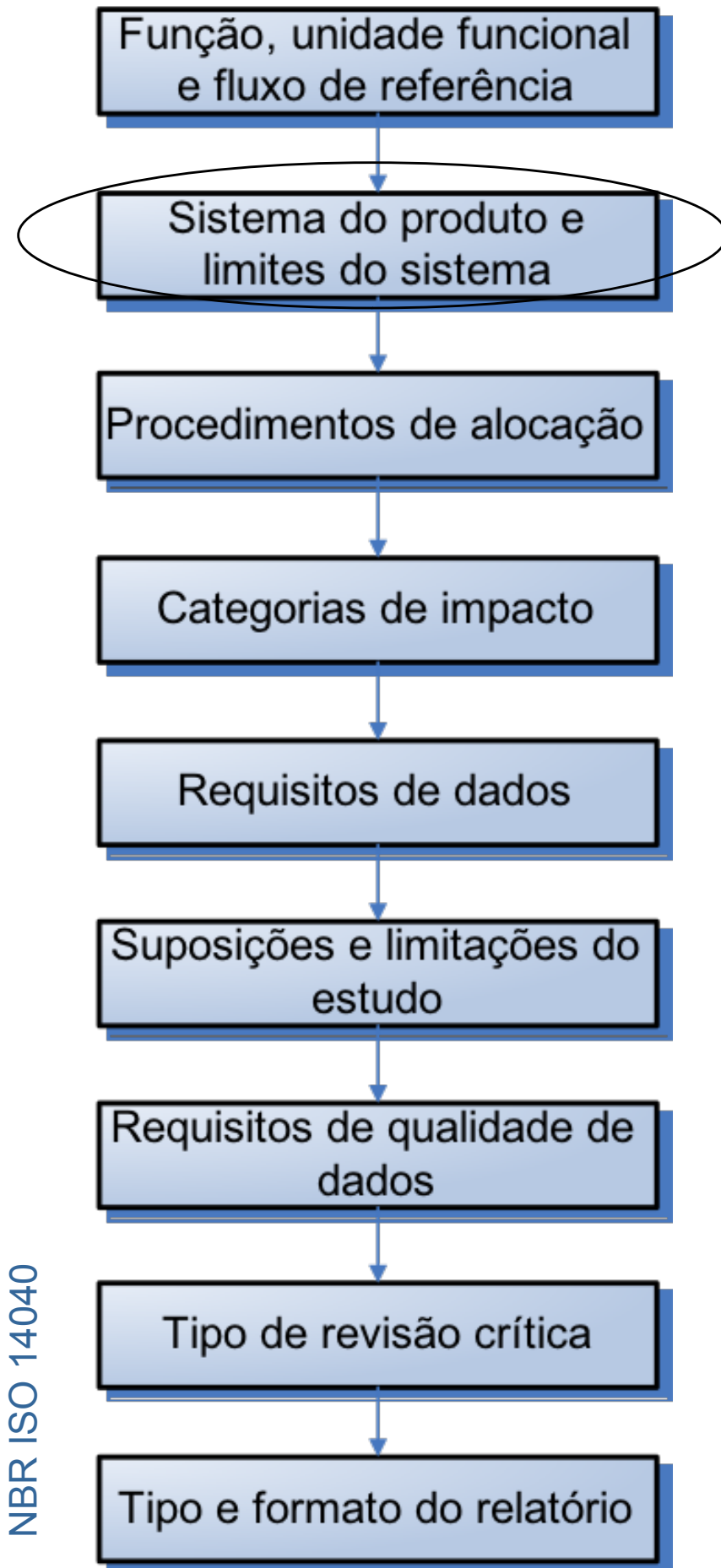
- Função: requisitos necessários para o produto, processo ou serviço
- Unidade Funcional: Quantificação das funções identificadas
- Fluxo de referência: quantidade de produto necessária para cumprir a unidade funcional
- Unidade de análise:
  - Unidade funcional (ciclo de vida)
  - Fluxo de referência (berço ao portão)

# Definição do Objetivo e do Escopo: Função, Unidade Funcional e Fluxo de Referência

|                                                                                                                                                                       | Função                            | Unidade Funcional                                             | Fluxo de Referência    | Observações                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <br> | Embalar:<br>proteger<br>o produto | Engarrafar 6600 ml<br>de cerveja                              | 20 latas de cerveja    | Lata de cerveja de 330 ml                                          |
|                                                                                                                                                                       |                                   |                                                               | 10 garrafas de cerveja | Cada garrafa tem 660 ml.                                           |
|                                                                                     | Transportar                       | Transportar 80<br>pessoas, 20 km por<br>dia, durante 20 anos. | 80 automóveis          | Automóvel com média de<br>2 pessoas e de vida média<br>de 10 anos. |
|                                                                                     |                                   |                                                               | 8 ônibus               | Ônibus com média de 40<br>pessoas e de vida média<br>de 5 anos.    |

# Definição do Objetivo e do Escopo

## Definição do Escopo



- Sistema do produto
  - Conjunto de unidades de processos, conectados material e energeticamente, que realiza uma ou mais funções definidas

# Definição do Objetivo e do Escopo: Definição do sistema

Entradas e saídas na  
seqüência principal de  
fabricação / processamento

Distribuição ou transporte

Produção e uso de  
combustíveis, eletricidade  
e calor

Uso e manutenção de produtos

Disposição de resíduos

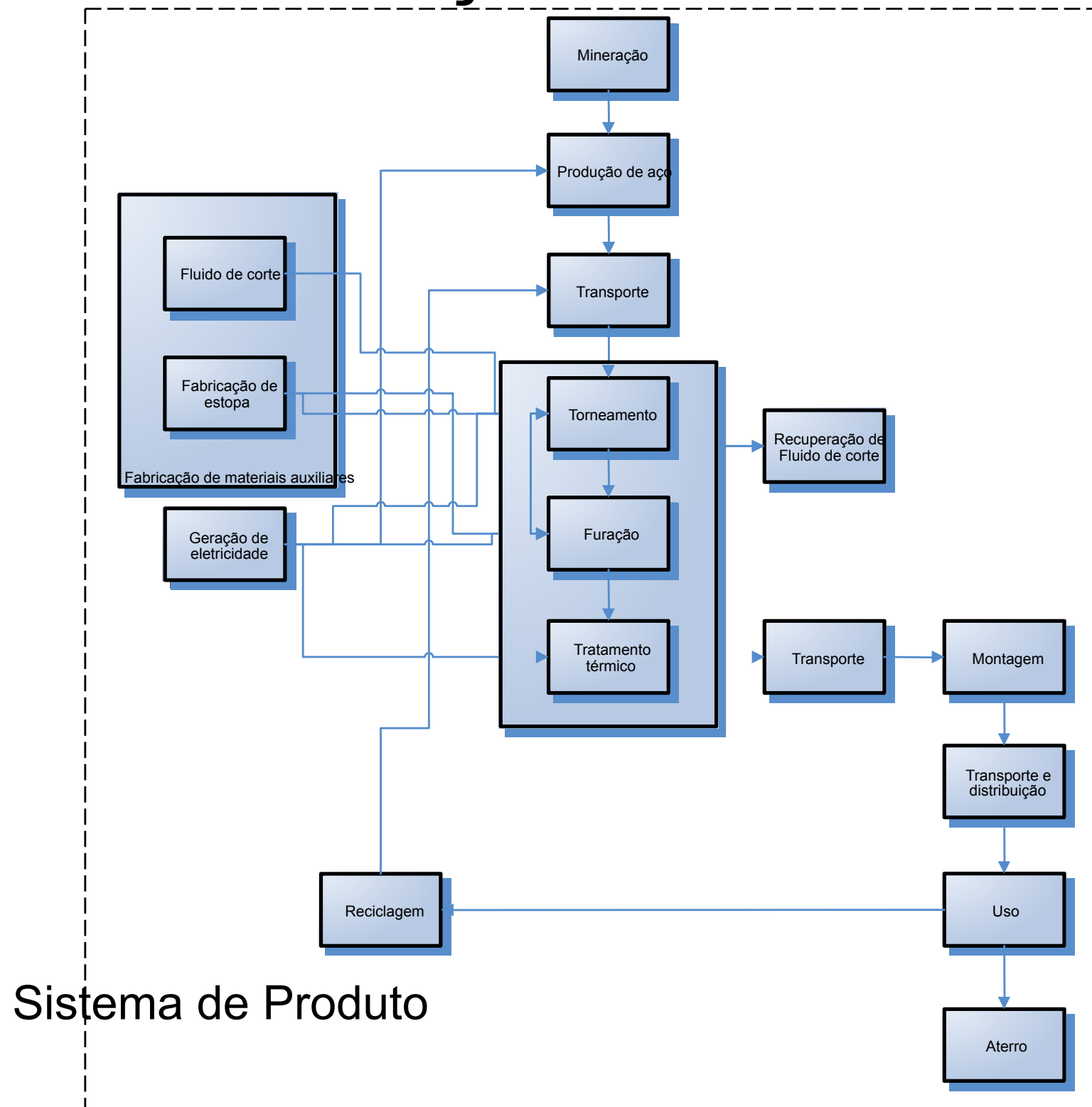
Recuperação de produtos usados

Fabricação de materiais auxiliares

Fabricação, manutenção  
e descomissionamento de  
equipamentos principais

Operações adicionais,  
tais como iluminação  
e aquecimento

Outras considerações  
relacionadas à avaliação  
de impacto (se existirem)

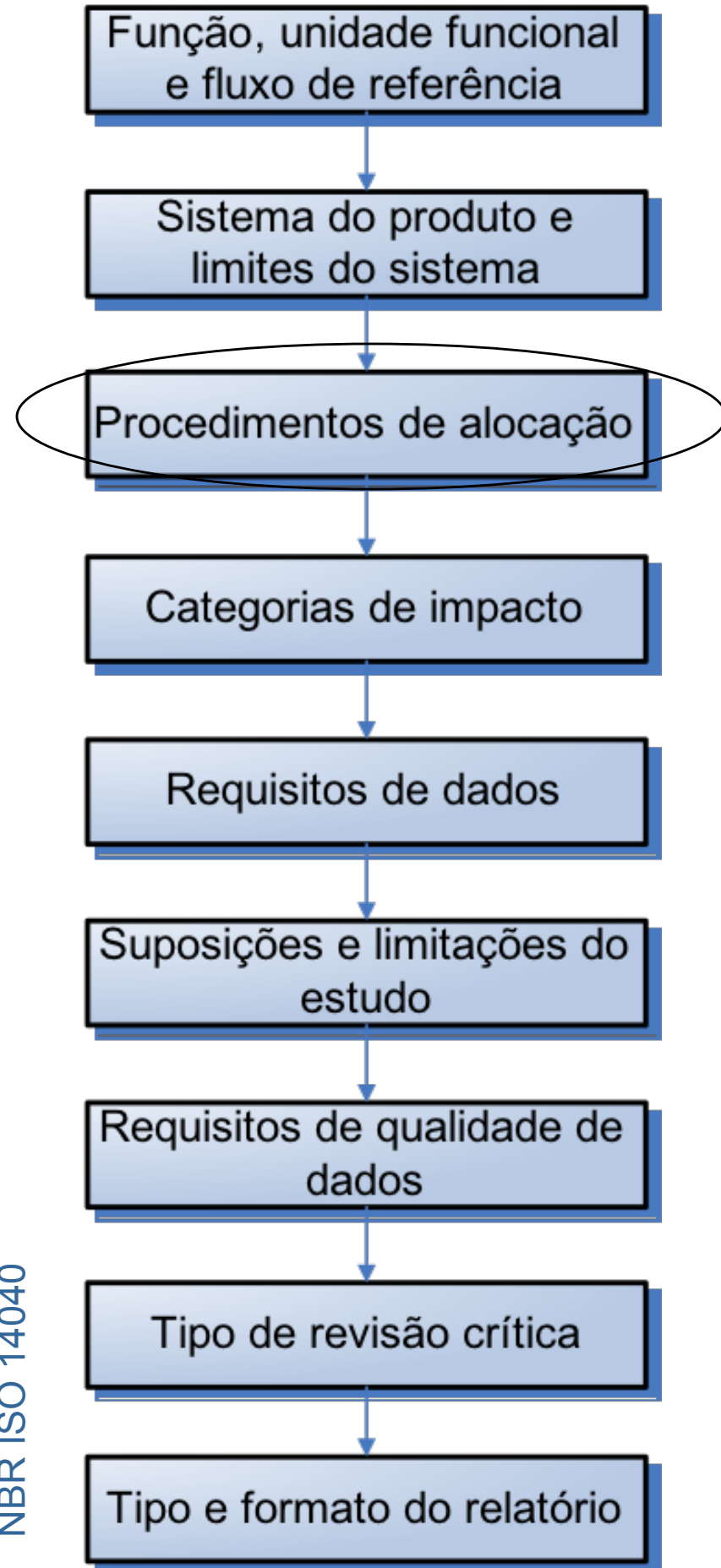


# Considerações acerca da definição do sistema de produto

- Extensão
- Inclusão de materiais e energia
- Critério de corte
  - Massa
  - Energia
  - Relevância ambiental

# Definição do Objetivo e do Escopo

## Definição do Escopo



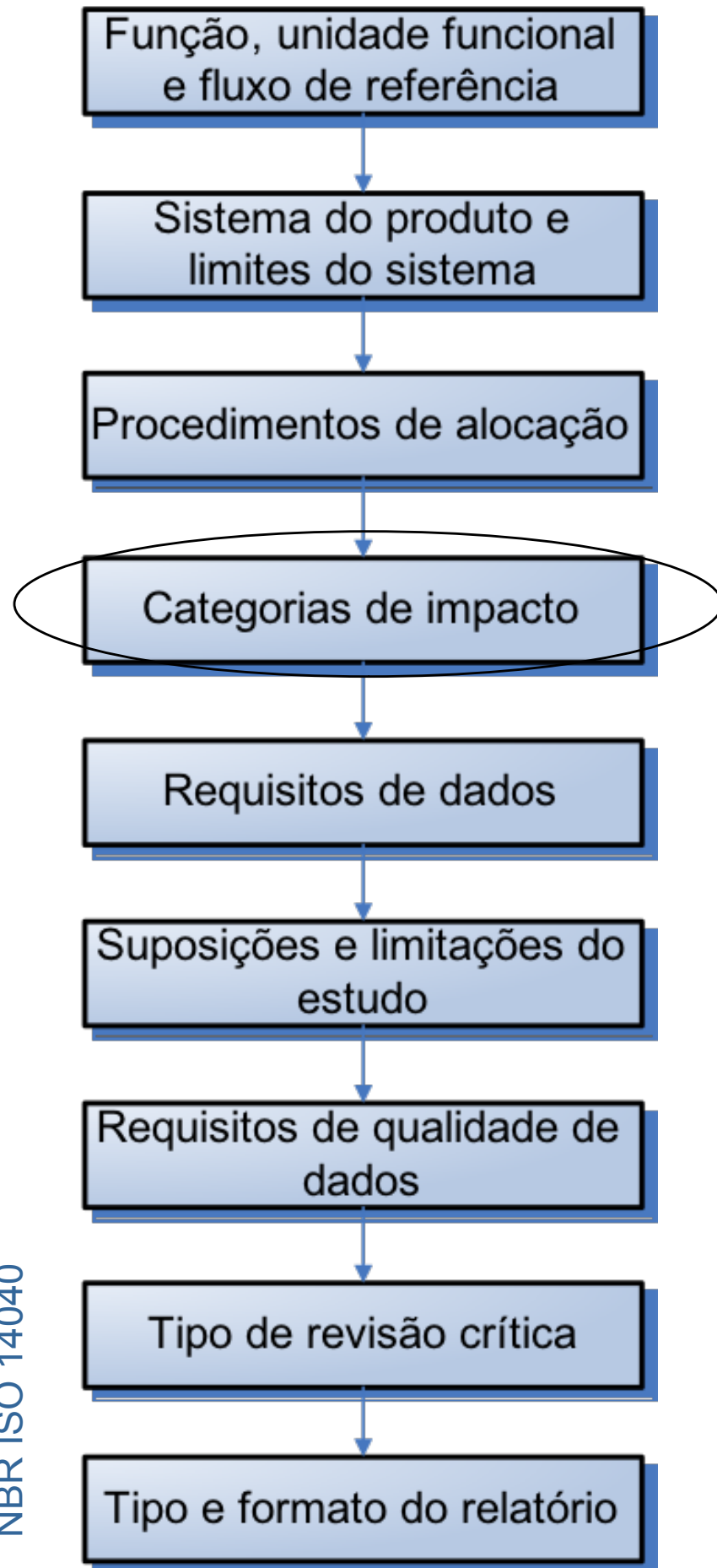
- Divisão da responsabilidade dos fluxos elementares para cada produto em processos multifuncionais
- ecoinvent:
- ACV consequential x ACV atribucional

# Definição do Objetivo e do Escopo

## Definição do Escopo

Não há restrição no ecoinvent  
Pegada de Carbono

NBR ISO 14040

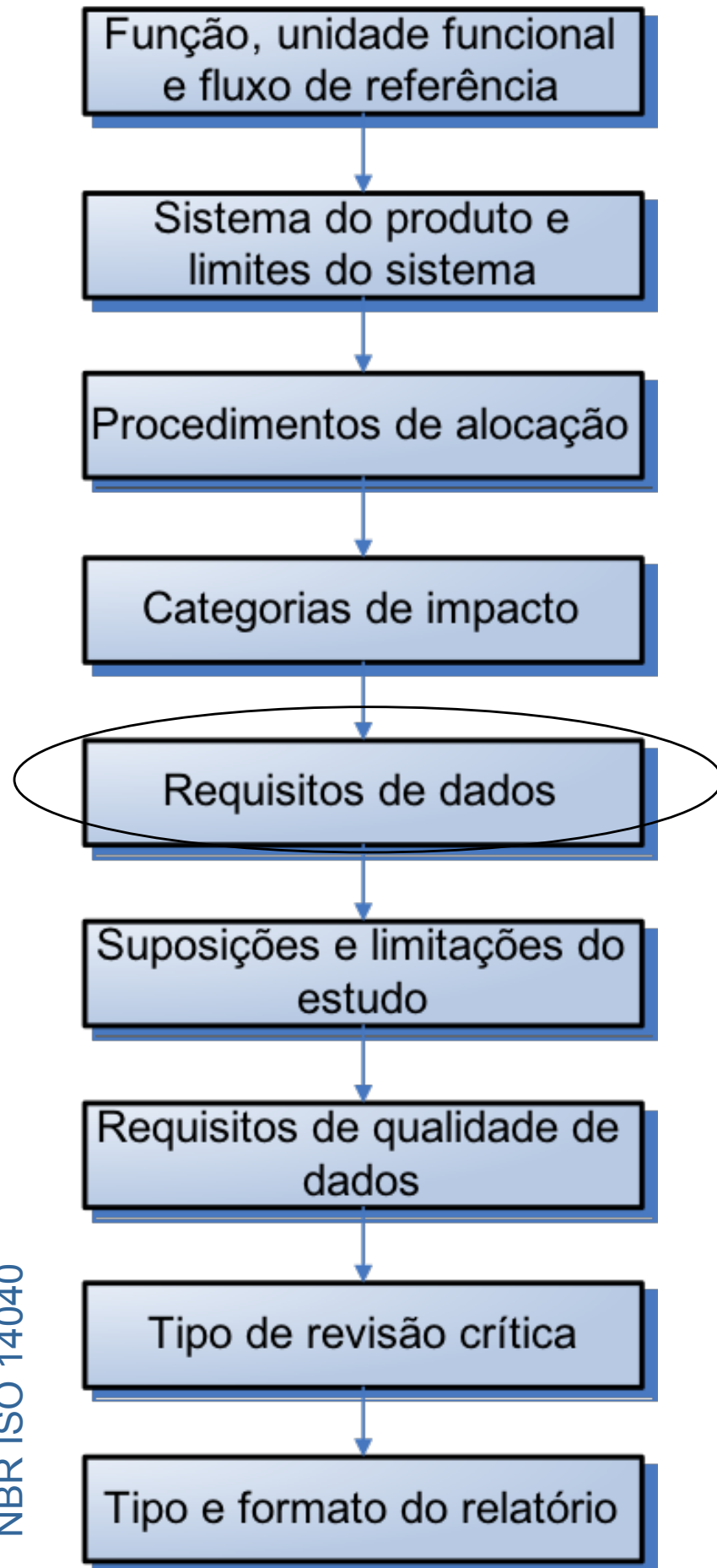


# Definição do Objetivo e do Escopo

## Definição do Escopo

Não há restrição no ecoinvent  
Pegada de Carbono

NBR ISO 14040

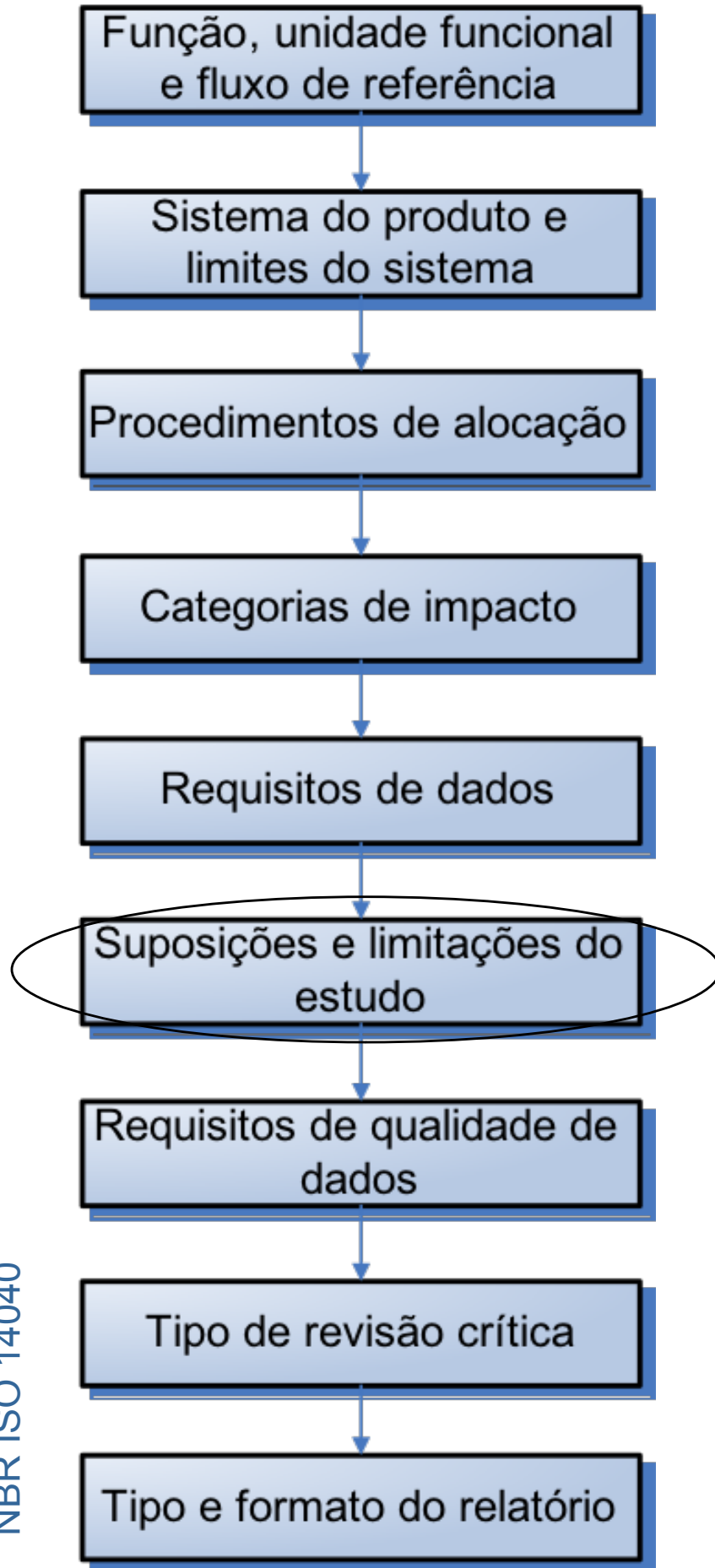


# Definição do Objetivo e do Escopo

## Definição do Escopo

Diversos

NBR ISO 14040

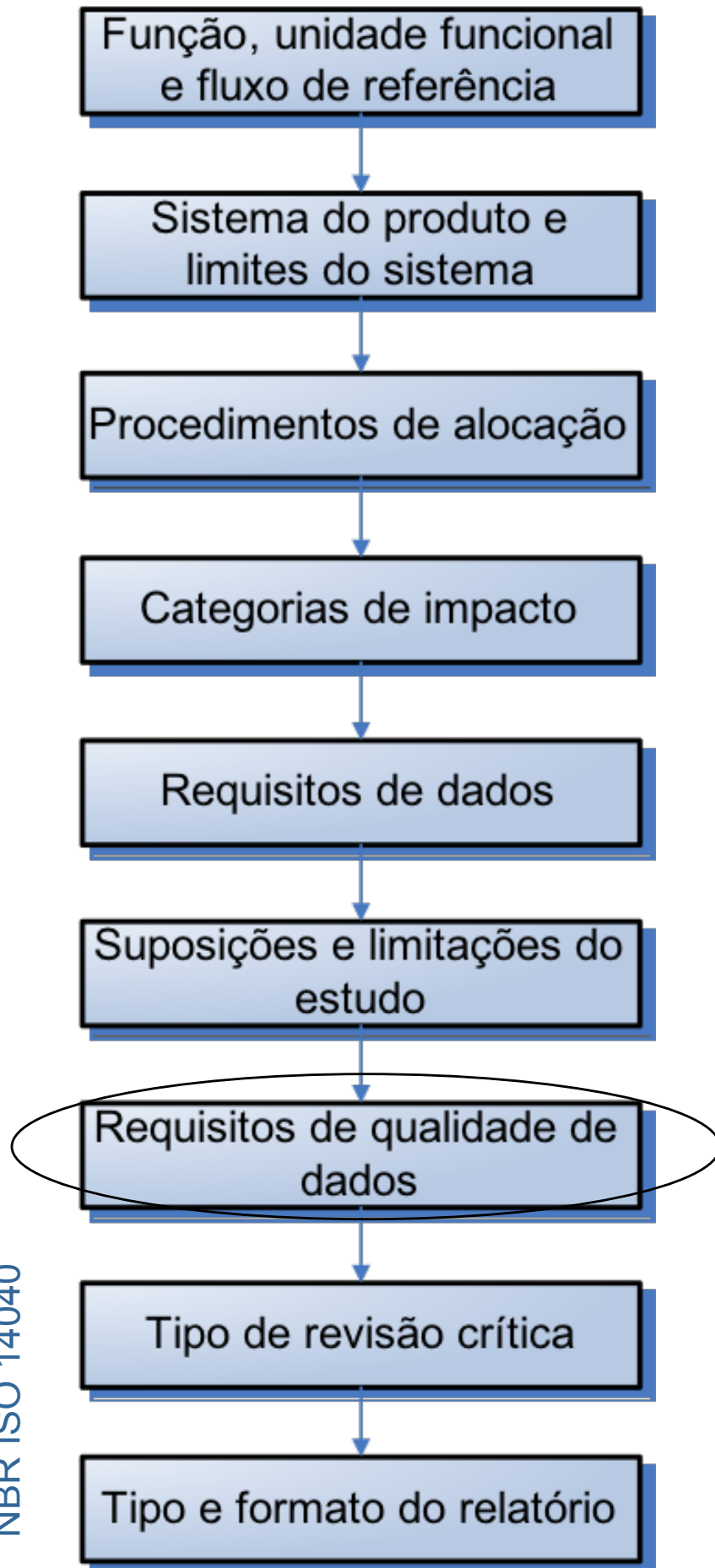


# Definição do Objetivo e do Escopo

## Definição do Escopo

### Matriz Pedigree

- Cobertura temporal
  - Período
- Cobertura geográfica
  - Paraná
- Cobertura tecnológica
  - Atual
  - Moderna
  - Ultrapassada
- Representatividade
- Método de obtenção dos dados
- Fontes



# Definição do Objetivo e do Escopo:

## Matriz pedigree: Qualidade da fonte dos dados

| Pontuação | Confiança                                                                                                 | Integralidade                                                                                                                                        | Correlação temporal                                | Correlação geográfica                                                                 | Correlação tecnológica                                                        |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | Dados verificados e baseados em medições                                                                  | Dados representativos de um número suficiente de empresas durante um período que permita eliminar flutuações                                         | Diferença máxima de 3 anos face ao ano de estudo   | Dados provenientes da área em estudo                                                  | Dados da empresa em estudo                                                    |
| 2         | Dados parcialmente verificados e baseados em hipóteses ou dados não verificados, mas baseados em medições | Dados representativos de um pequeno número de empresas, mas para os períodos adequados                                                               | Menos de 6 anos de diferença                       | Dados médios respeitantes a uma área maior do que a área em estudo, mas que a engloba | Dados relativos aos mesmos processos / materiais, mas de outras empresas      |
| 3         | Dados não verificados e parcialmente baseados em hipóteses                                                | Dados representativos de um número adequado de empresas, mas para períodos pequenos                                                                  | Diferença máxima de 10 anos                        | Dados de uma área com condições de produção semelhantes                               | Dados dos mesmos processos / materiais, mas diferente tecnologia              |
| 4         | Estimativas verificadas ou estimativas qualificadas (realizados por peritos)                              | Dados representativos, mas de um número pequeno de empresas e de períodos reduzidos, ou incompletos mas de um número adequado de empresas e períodos | Diferença máxima de 15 anos                        | Dados de uma área com condições de produção com algumas semelhanças                   | Dados relativos a processos / materiais semelhantes, mas tecnologia análoga   |
| 5         | Estimativas dos dados não qualificadas e não verificadas                                                  | Representatividade desconhecida, ou dados incompletos de um pequeno número de empresas e/ou de reduzidos períodos                                    | Idade dos dados desconhecida ou superior a 15 anos | Dados de área desconhecida, ou de área com condições de produção muito diferentes     | Dados relativos a processos / materiais semelhantes, mas tecnologia diferente |

# Definição do Objetivo e do Escopo: Matriz pedigree: Coeficientes do ecoinvent

|                | Pontuação |      |      |     |     |
|----------------|-----------|------|------|-----|-----|
| Critério       | 1         | 2    | 3    | 4   | 5   |
| U <sub>1</sub> | 1         | 1,05 | 1,1  | 1,2 | 1,5 |
| U <sub>2</sub> | 1         | 1,02 | 1,05 | 1,1 | 1,2 |
| U <sub>3</sub> | 1         | 1,03 | 1,1  | 1,2 | 1,5 |
| U <sub>4</sub> | 1         | 1,01 | 1,02 |     | 1,1 |
| U <sub>5</sub> | 1         |      | 1,2  | 1,5 | 2   |
| U <sub>6</sub> | 1         | 1,02 | 1,05 | 1,1 | 1,2 |

$$\sigma_g^2 = e^{\sqrt{\sum_{i=1}^6 [\ln(U_i)]^2 + [\ln(U_b)]^2}}$$

# Incertezas básicas - ecoinvent

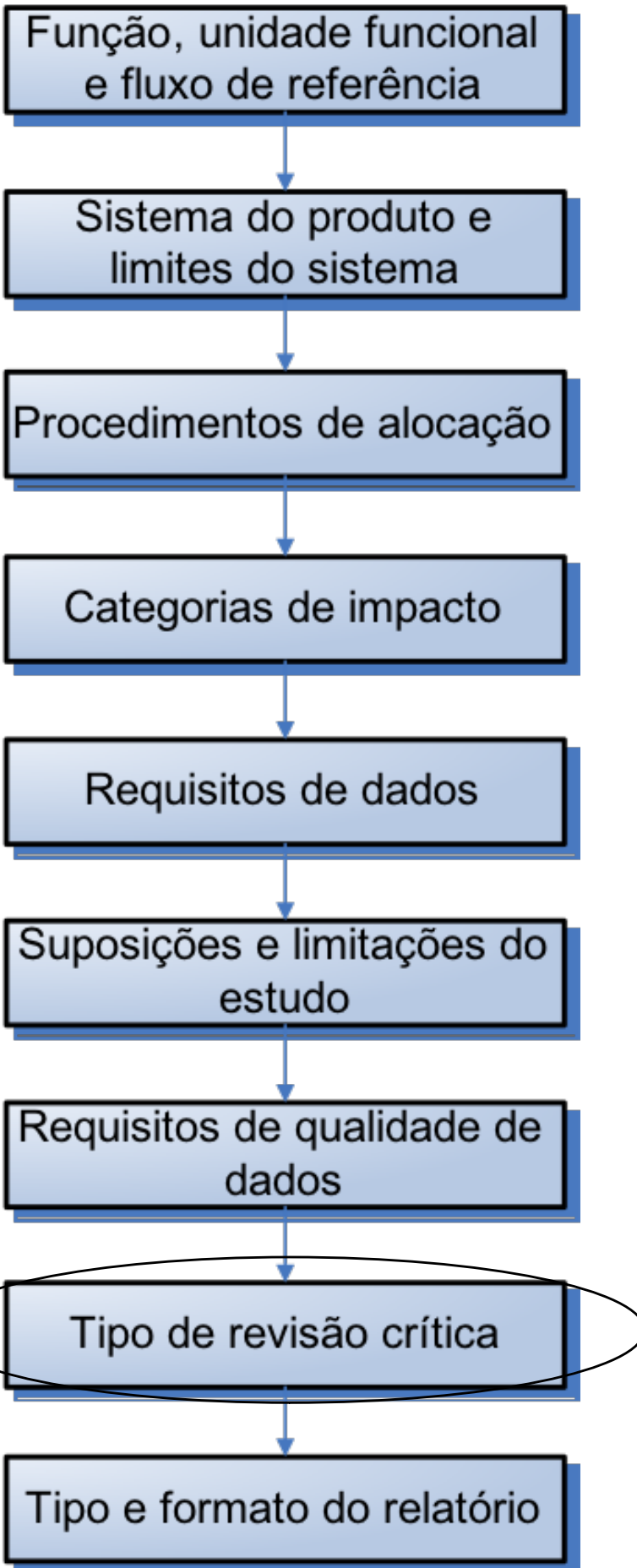
| Used data                                               |      |                |
|---------------------------------------------------------|------|----------------|
|                                                         | Code | basic<br>SDG*2 |
| <b>demand of:</b>                                       |      |                |
| thermal energy                                          | 1    | 1.05           |
| electricity                                             | 2    |                |
| semi-finished products                                  | 3    |                |
| working materials                                       | 4    |                |
| transport services                                      | 5    |                |
| waste treatment services                                | 6    |                |
| Land use, occupation                                    | 7    |                |
| Land use, transformation                                | 8    |                |
| Infrastructure                                          | 9    |                |
| <b>Resources:</b>                                       | 10   |                |
| primary energy carriers                                 | 11   | 1.05           |
| metals, salts,                                          | 12   | 1.05           |
| Waste heat to air, water and soil                       | 13   | 1.05           |
| <b>emission to air of:</b>                              |      |                |
| CO2                                                     | 14   | 1.05           |
| SO2                                                     | 15   | 1.05           |
| From combustion: NOx, NMVOC total, methane, N2O and NH3 | 16   | 1.50           |
| From combustion: CO                                     | 17   | 5.00           |
| From combustion: individual hydrocarbons, TSM           | 18   | 1.50           |
| From combustion: PM10                                   | 19   | 2.00           |
| From combustion: PM2.5                                  | 20   | 3.00           |
| From combustion: polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) | 21   | 3.00           |
| From combustion: heavy metals                           | 22   | 5.00           |
| Process emissions: individual VOCs                      | 23   | 2.00           |
| Process emissions: CO2                                  | 24   | 1.05           |
| Process emissions: TSM                                  | 25   | 1.50           |
| Process emissions: PM10                                 | 26   | 2.00           |
| Process emissions: PM2.5                                | 27   | 3.00           |
| From agriculture: CH4, NH3                              | 28   | 1.20           |
| From agriculture: N2O, NOx                              | 29   | 1.40           |
| Radionuclides (e.g. Radon)                              | 30   | 3.00           |
| Process emissions: other inorganic emissions            | 31   | 1.50           |
| <b>emission to water of:</b>                            |      |                |
| BOD, COD, DOC, TOC                                      | 32   | 1.50           |
| inorganic compounds (NH4, PO4, NO3, Cl, Na etc.)        | 33   | 1.50           |
| individual hydrocarbons, PAH                            | 34   | 3.00           |
| heavy metals                                            | 35   | 5.00           |
| From agriculture: NO3, PO4                              | 36   | 1.50           |
| From agriculture: heavy metals                          | 37   | 1.80           |
| From agriculture: pesticides                            | 38   | 1.50           |
| Radionuclides                                           | 39   | 3.00           |
| <b>emission to soil of:</b>                             | 40   |                |
| oil, hydrocarbon total                                  | 41   | 1.50           |
| pesticides                                              | 42   | 1.20           |
| heavy metals                                            | 43   | 1.50           |
| Radionuclides                                           | 44   | 3.00           |
| <b>Output of products</b>                               | 45   | 1              |

# Definição do Objetivo e do Escopo

## Definição do Escopo

Processo de revisão

NBR ISO 14040

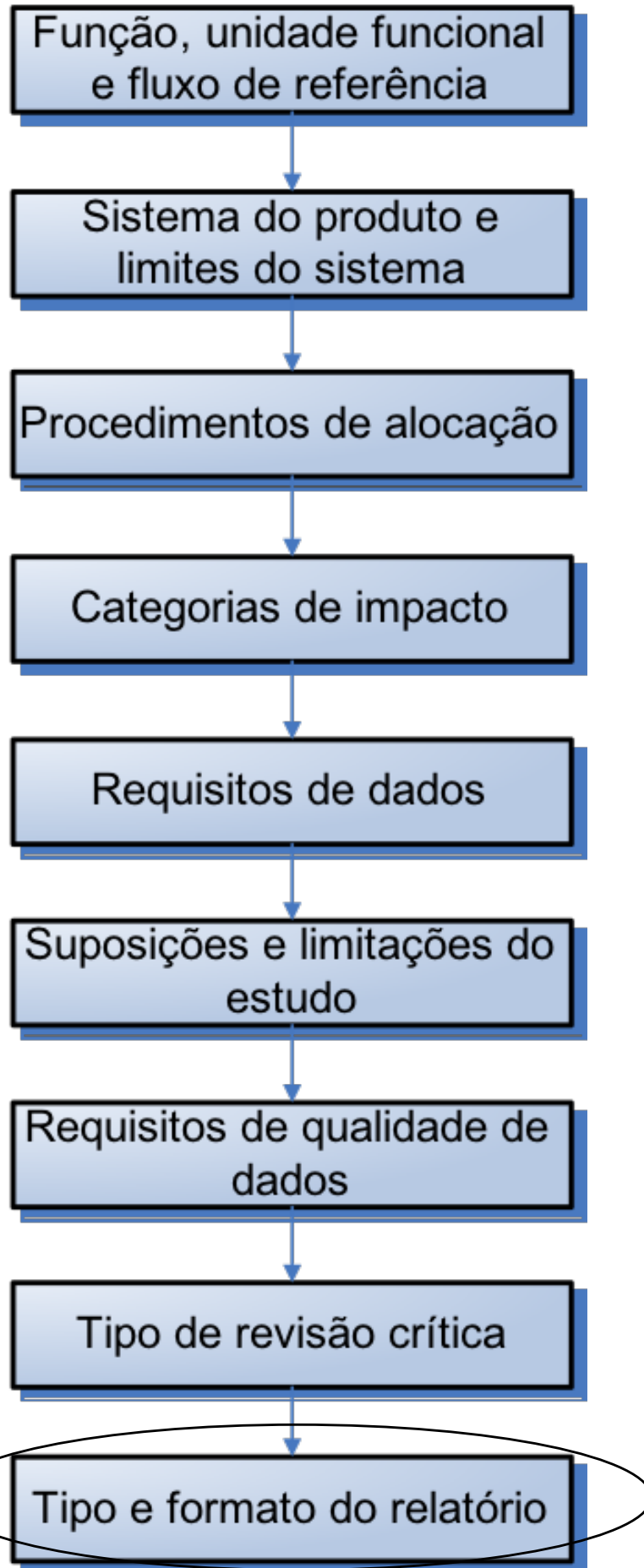


# Definição do Objetivo e do Escopo

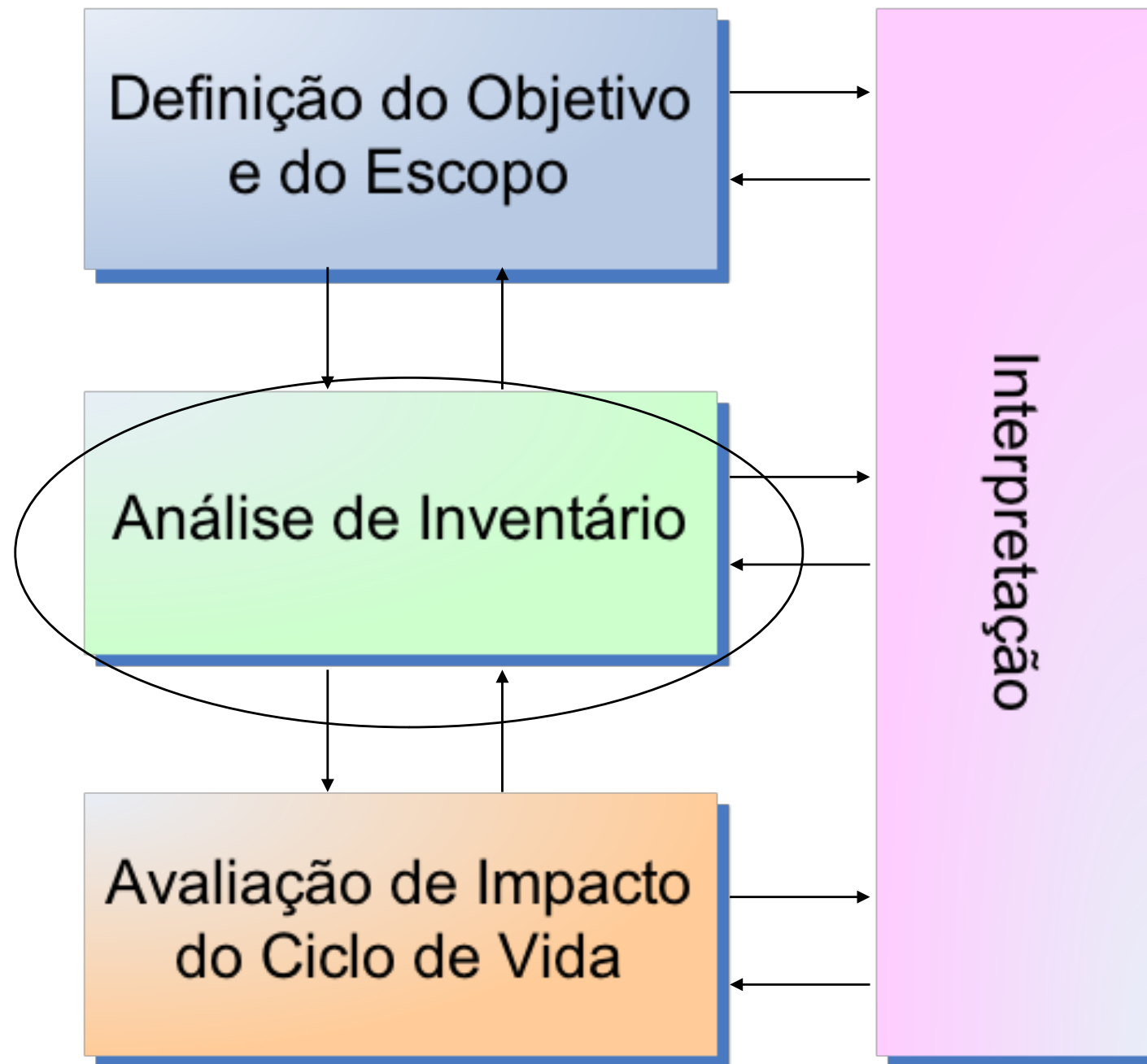
## Definição do Escopo

EcoEditor

NBR ISO 14040



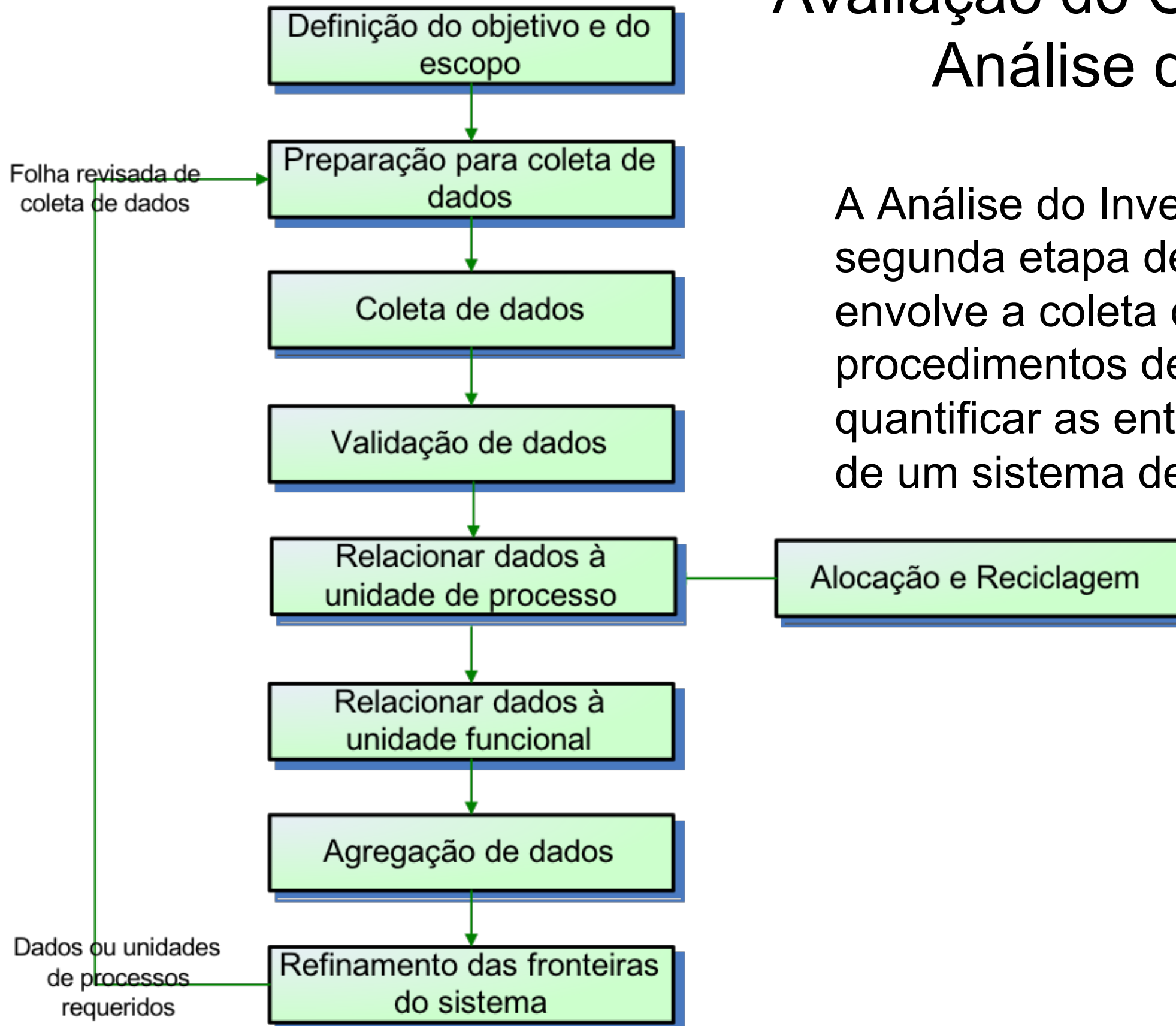
# Análise de Inventário



# Avaliação do Ciclo de Vida

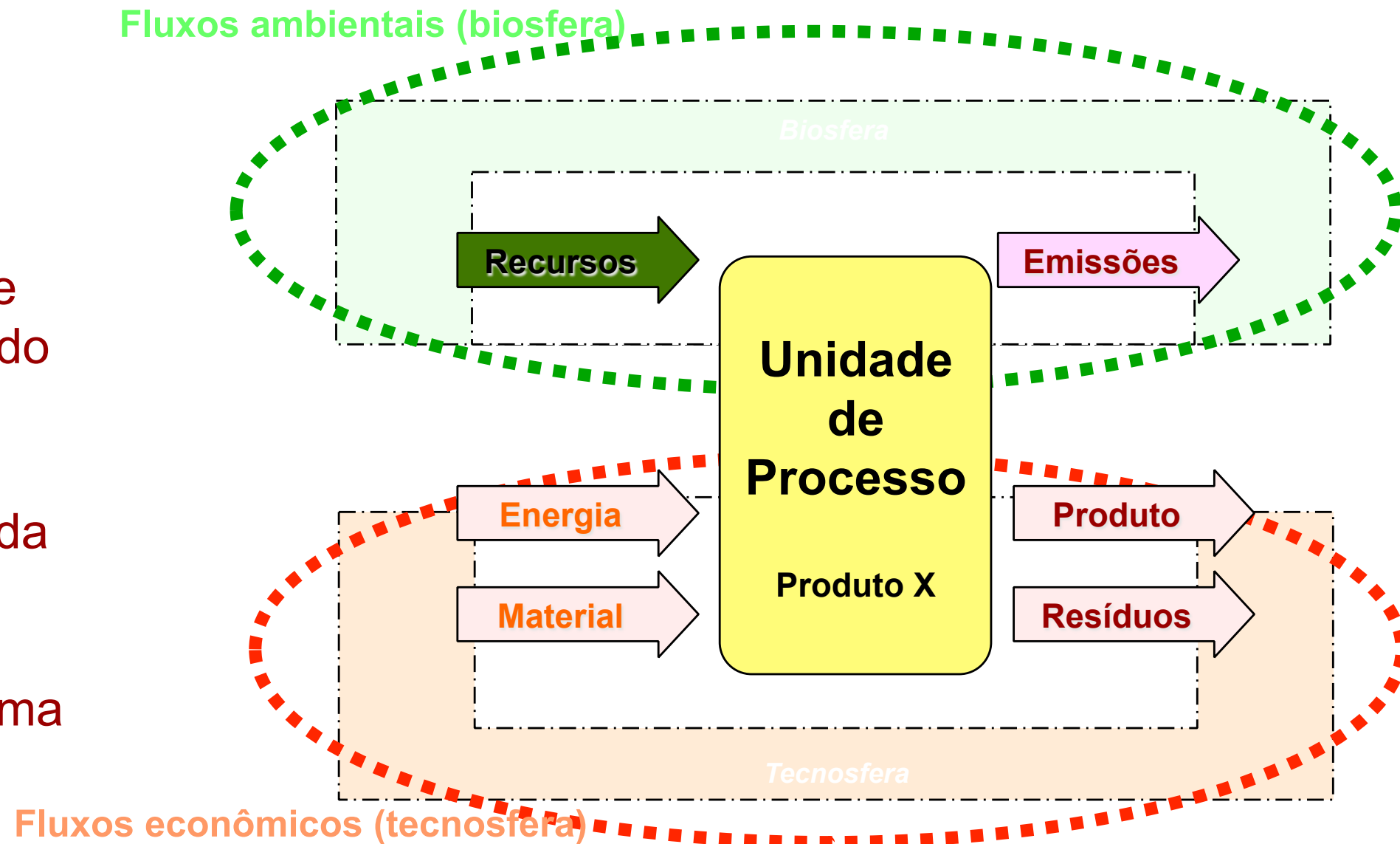
## Análise do Inventário

A Análise do Inventário é a segunda etapa de uma ACV, que envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas de um sistema de produto.

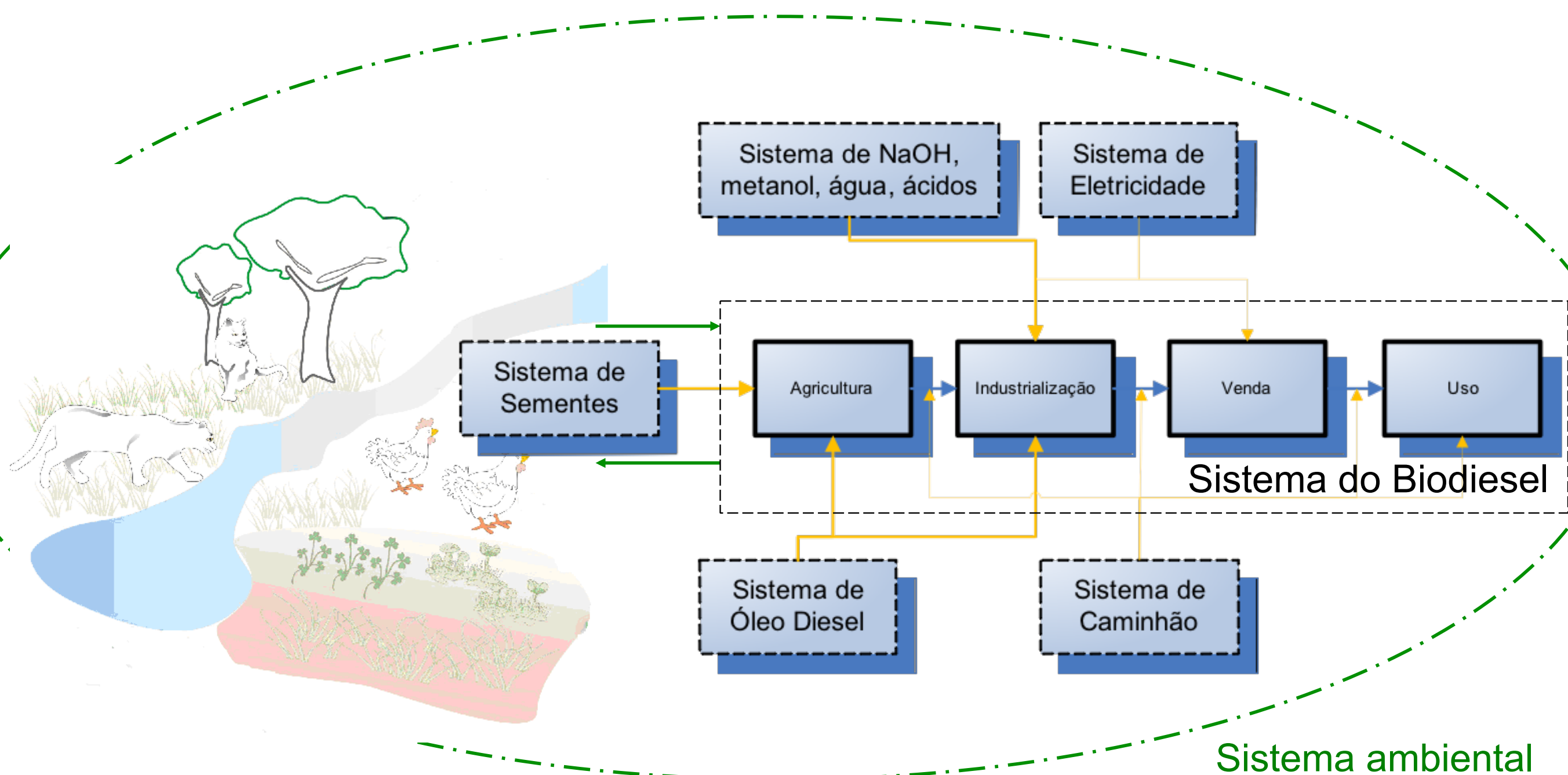


# Coleta de dados

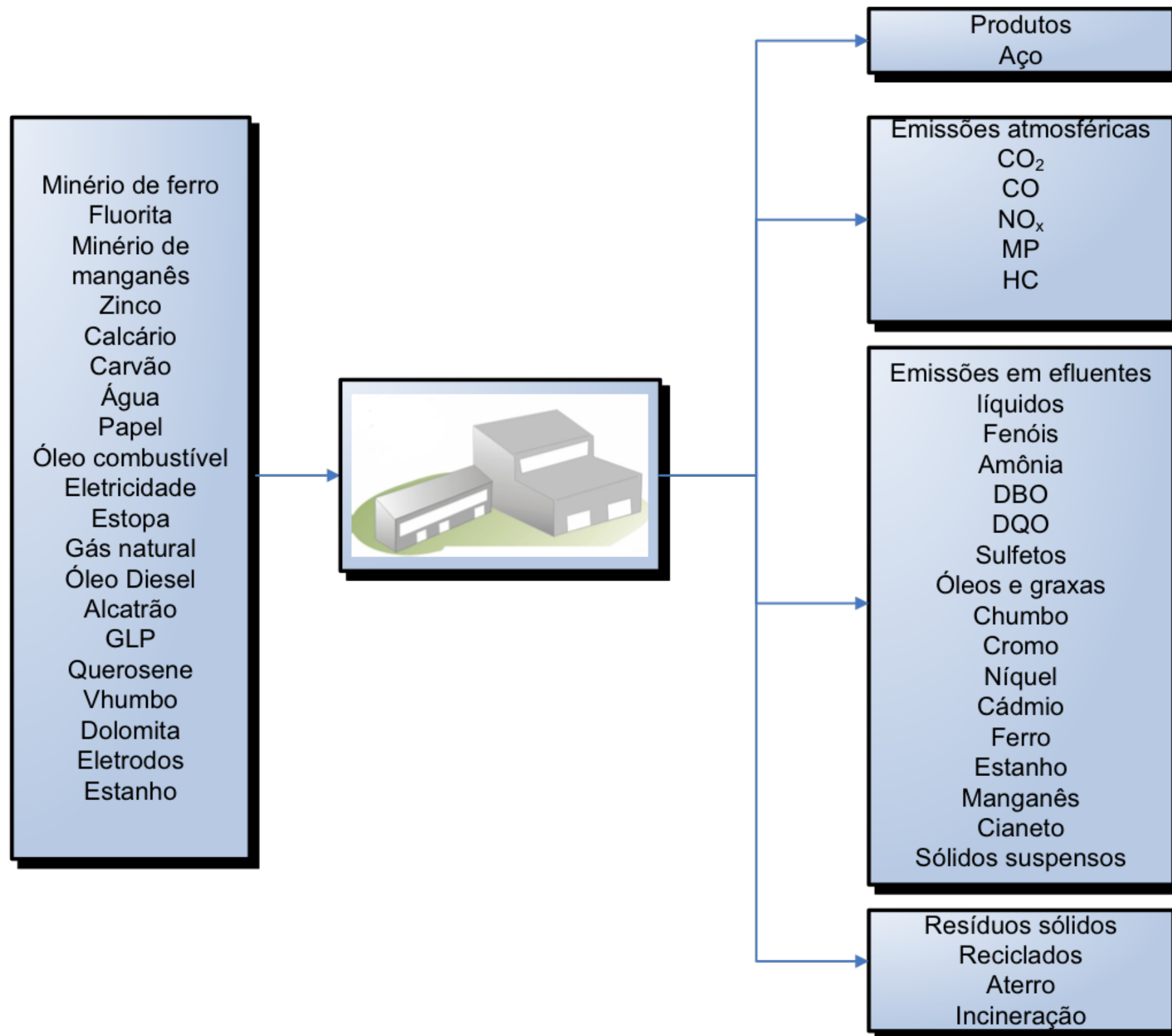
- Fluxos elementares: não sofrem transformação prévia por interferência humana
- Fluxos intermediários: fluxos que ocorrem entre processos elementares do sistema de produto sob estudo
- Fluxos de produto: entrada ou saída de produtos provenientes de ou com destino a um outro sistema de produto



# Sistema do produto e limites do sistema



# Coleta de dados das entradas e saídas em cada etapa do ciclo de vida



# Resultados do inventário

## Inventário do Ciclo de Vida de A

### Emissões atmosféricas

1000 kg CO<sub>2</sub>

10 kg CH<sub>4</sub>

0 kg de N<sub>2</sub>O

5 kg NO<sub>2</sub>

10 kg SO<sub>2</sub>

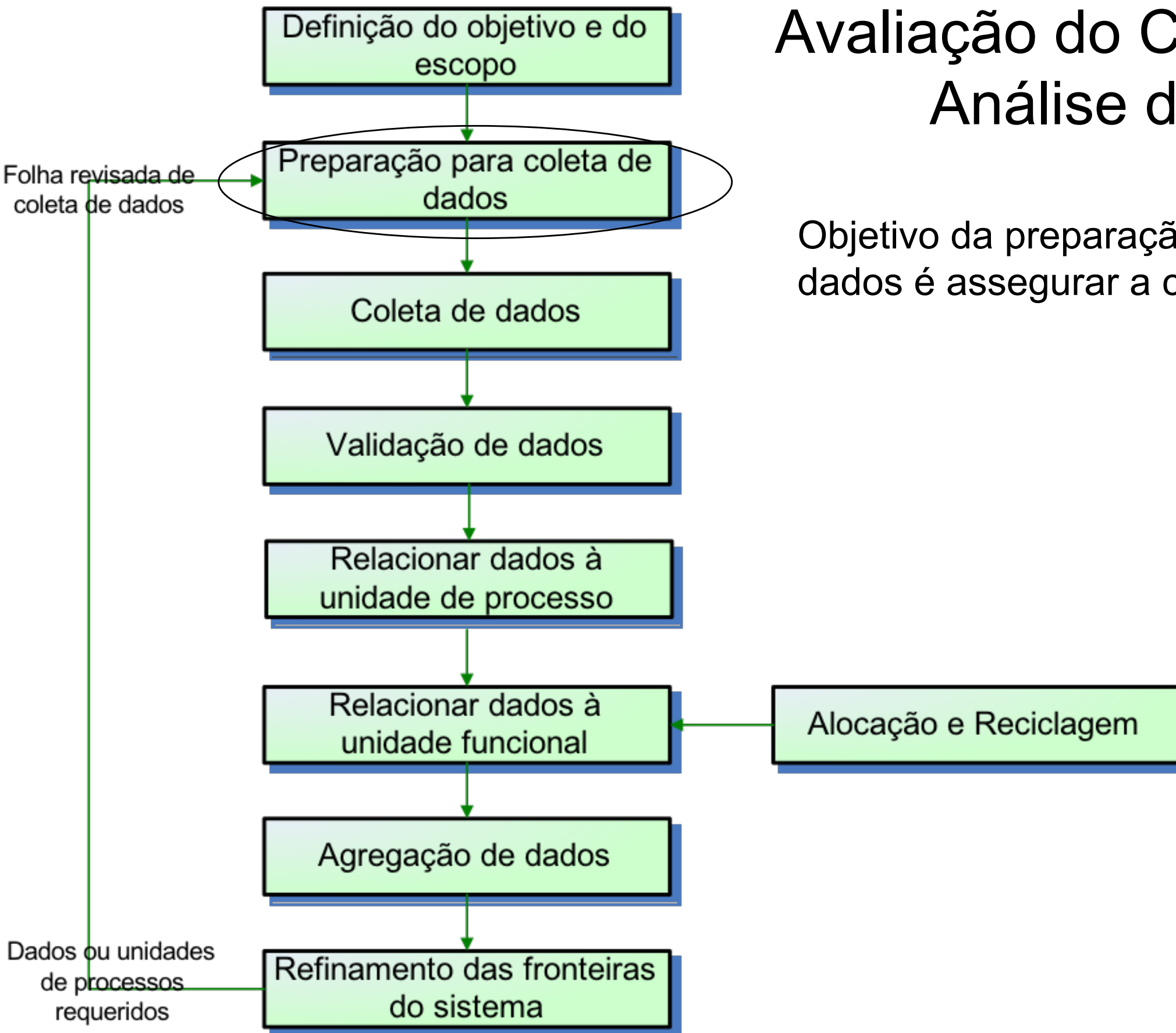
0 kg de PO<sub>4</sub>

10<sup>-6</sup> Dioxine

**TOTAL**

# Avaliação do Ciclo de Vida Análise do Inventário

Objetivo da preparação para coleta de dados é assegurar a consistência



# Análise de Inventário

## Preparação para a Coleta de Dados

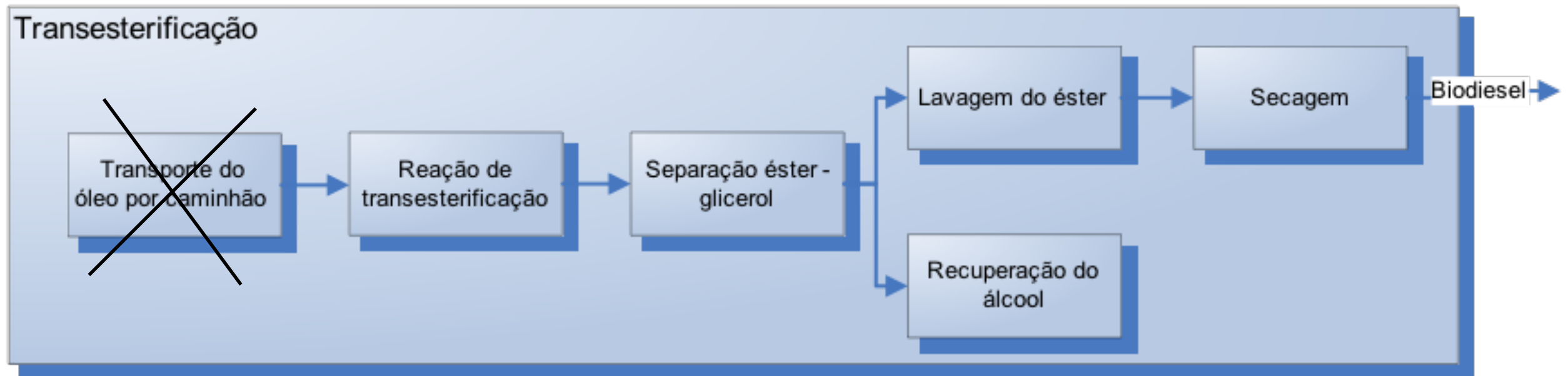
- Recomendações da ISO 14044:
  - **Desenho de fluxogramas de processo que delineiem todas as unidades de processos**
  - Descrição das unidades de processos com os dados categorizados
  - Lista com unidade de medidas
  - Descrição da técnica de coleta de dados e de cálculo
  - Fornecimento de instruções para documentação de casos especiais, irregularidades ou outros



# Análise de Inventário

## Preparação para a Coleta de Dados

### Desenho de fluxogramas de processo que delineiem todos os subprocessos



# Análise de Inventário

## Preparação para a Coleta de Dados

- Recomendações da ISO 14044:
  - Desenho de fluxogramas de processo que delineiem todas as unidades de processos
  - **Descrição das unidades de processos com os dados categorizados**
  - **Lista com unidade de medidas**
  - **Descrição da técnica de coleta de dados e de cálculo**
  - **Fornecimento de instruções para documentação de casos especiais, irregularidades ou outros**



# Definição do Objetivo e do Escopo:

## Matriz pedigree: Qualidade da fonte dos dados

| Pontuação | Correlação temporal                                |
|-----------|----------------------------------------------------|
| 1         | Diferença máxima de 3 anos face ao ano de estudo   |
| 2         | Menos de 6 anos de diferença                       |
| 3         | Diferença máxima de 10 anos                        |
| 4         | Diferença máxima de 15 anos                        |
| 5         | Idade dos dados desconhecida ou superior a 15 anos |

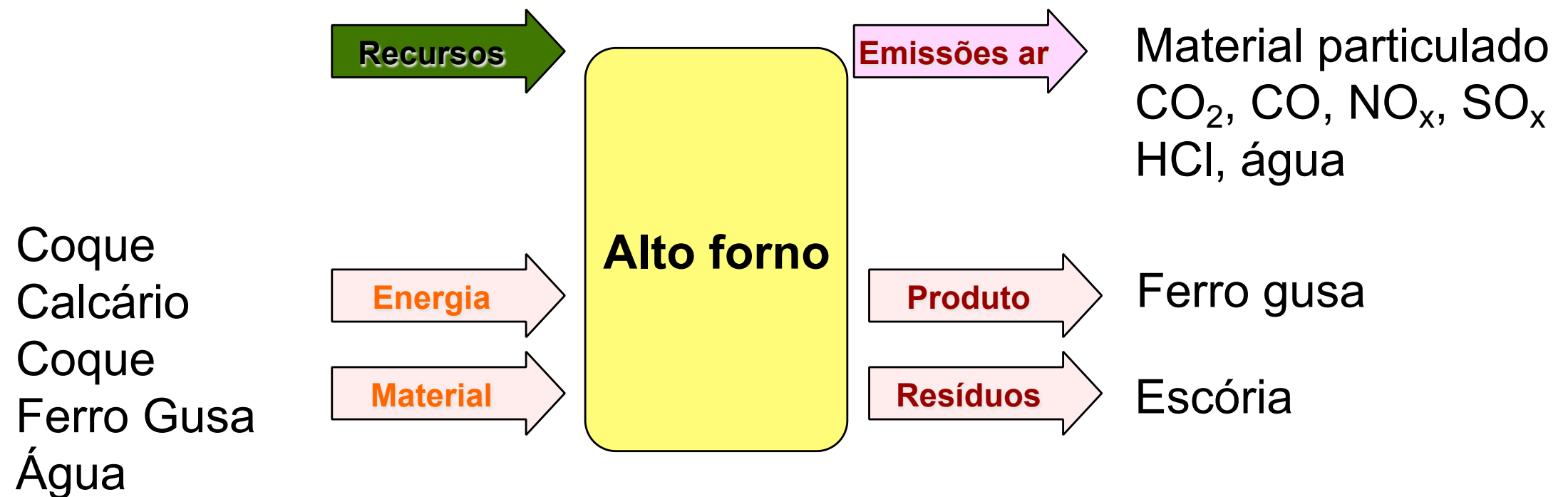
- Exemplo:

- Inventário do aço brasileiro
- Requisito inicial – 2004
- Dado mais recente existente para as emissões em efluentes líquidos, água doce: 1996
- Pontuação da Matriz Pedigree: 3

# Descrição da unidade de processo

## Redução do minério de ferro em altos fornos

- No alto forno o minério de ferro é reduzido pela ação do coque e calcário, formando ferro gusa, escória e emitindo poluentes atmosféricos.



# Descrição da unidade de processo

## Exemplo de lista com unidades de medidas

Responsável:  
 Processo: Transesterificação  
 Produto: Biodiesel de soja  
 Quantidade de produto: 1 t

|                      | Unidade | Quantidade <sup>1</sup> | Distribuição <sup>2</sup> | Desvio padrão <sup>3</sup> | Tamanho da amostra | Forma de obtenção dos dados <sup>4</sup> | Fonte <sup>5</sup> | Ano | Período | Região | Tecnologia | Representatividade | Observações |
|----------------------|---------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------|------------------------------------------|--------------------|-----|---------|--------|------------|--------------------|-------------|
| <b>Entradas</b>      |         |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| Matéria prima        |         |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| Óleo de soja         | kg      |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| Hidróxido de sódio   | kg      |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| Metanol              | kg      |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| Materiais auxiliares |         |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| Água da rede         | litros  |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| Energia              |         |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| Eleticidade da rede  | kWh     |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| Diesel               | kg      |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| <b>Saídas</b>        |         |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| Produtos             |         |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| Biodiesel            | kg      |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| Glicerina            | kg      |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| Emissão atmosféricas |         |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| CO <sub>2</sub>      | kg      |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| NO <sub>2</sub>      | g       |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| SO <sub>2</sub>      | g       |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |
| CH <sub>4</sub>      | g       |                         |                           |                            |                    |                                          |                    |     |         |        |            |                    |             |

<sup>1</sup> Média dos valores para a produção de 1 tonelada de biodiesel

<sup>2</sup> Distribuição dos valores: normal, lognormal, triangular, uniforme, etc.

<sup>3</sup> Desvio padrão dos valores

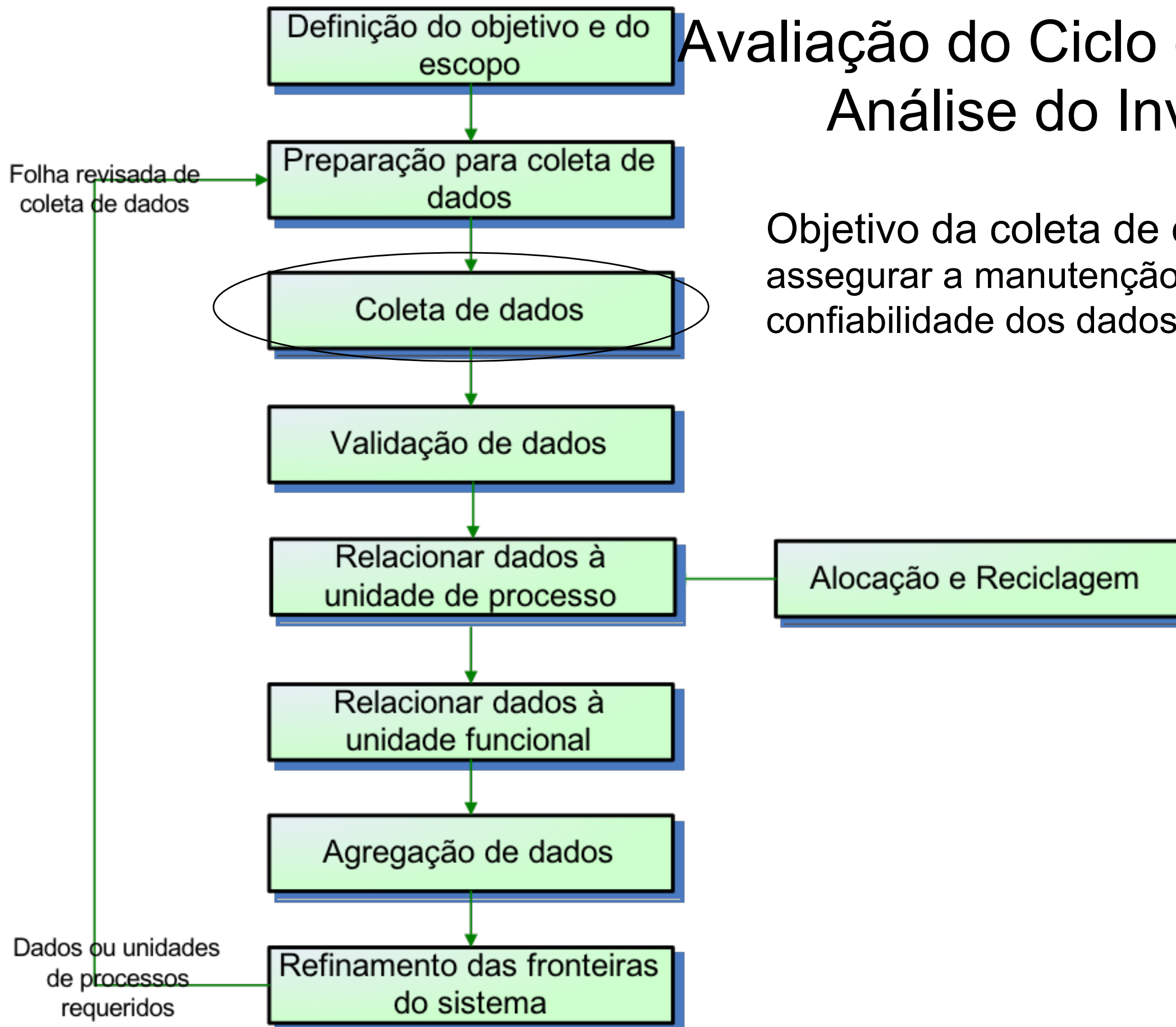
<sup>4</sup> Método de obtenção de dados (medido, calculado, estimado)

<sup>5</sup> Fonte dos dados

<sup>6</sup> Informar qual a fonte energética (hídrica, Diesel, solar, etc.)

# Avaliação do Ciclo de Vida Análise do Inventário

Objetivo da coleta de dados é assegurar a manutenção da confiabilidade dos dados



# Análise de Inventário

## Coleta de Dados

- Evite a duplicação ou falhas de contagem:
  - Descreva cada processo
  - Descreva qualitativamente e quantitativamente cada entrada e saída
  - Documente os procedimentos de alocação
  - Referencie a fonte dos dados
  - Inclua informações sobre a qualidade dos dados



# Análise de Inventário

## Coleta de Dados

- Evite a duplicação ou falhas de contagem:
  - **Descreva cada processo**
  - Descreva qualitativamente e quantitativamente cada entrada e saída
  - Documente os procedimentos de alocação
  - Referencie a fonte dos dados
  - Inclua informações sobre a qualidade dos dados



# Análise de Inventário

## Coleta de Dados

- Evite a duplicação ou falhas de contagem:
  - Descreva cada processo
  - **Descreva qualitativamente e quantitativamente cada entrada e saída**
  - Documente os procedimentos de alocação
  - **Referencie a fonte dos dados**
  - **Inclua informações sobre a qualidade dos dados**



# Descrição das entradas e saídas

## Redução do minério de ferro em altos fornos

| Fluxos                        | Fonte de dados | Qualidade de dados |         |                  |                    |         |            |            |
|-------------------------------|----------------|--------------------|---------|------------------|--------------------|---------|------------|------------|
|                               |                | Ano                | Período | Método de coleta | Representatividade | Amostra | Tecnologia | Completeza |
| Minério de ferro              |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| Calcário                      |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| Carvão mineral                |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| Carvão vegetal                |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| Carvão mineral                |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| Carvão vegetal                |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| Elettricidade                 |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| Água                          |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| Água                          |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| Material particulado          |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| Amônia                        |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| CO <sub>2</sub>               |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| CO                            |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| NO <sub>x</sub>               |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| HC                            |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| SO <sub>x</sub>               |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| MnO                           |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| SiO <sub>2</sub>              |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| Água                          |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| HCN                           |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| HCl                           |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| Resíduos Sólidos              |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |
| Resíduos Sólidos              |                |                    |         |                  |                    |         |            |            |

# Análise de Inventário: Folhas de Coleta de Dados

|              |                         |         |        |
|--------------|-------------------------|---------|--------|
| Responsável: | Fulano de tal           |         |        |
| Empresa:     | Bio Diesel S/A          |         |        |
| Cargo:       | Engenheiro de processos |         |        |
| Endereço:    |                         |         |        |
| Cidade:      |                         | Estado: | Paraná |
| Telefone:    | ( )                     | Email:  |        |

Responda, para a produção de **2005**:

1) Qual a tecnologia utilizada na produção de biodiesel de soja?

2) Qual a produção de biodiesel de soja? 10000 toneladas

3) Qual a produção de glicerina? 2000 toneladas

4) Qual foi o consumo total e o método utilizado para obtenção de 1 t de biodiesel de soja:

|                    | CONSUMO |         |               |              |         | MÉTODO DE OBTENÇÃO    |
|--------------------|---------|---------|---------------|--------------|---------|-----------------------|
|                    | Média   | Unidade | Desvio padrão | Distribuição | Amostra |                       |
| Óleo de soja       | 1100    | kg      | -             | -            | 12      | Nota fiscal           |
| Hidróxido de sódio | 60      | kg      | -             | -            | 12      | Nota fiscal           |
| Metanol            | 160     | kg      | -             | -            | 12      | Nota fiscal           |
| Água               | 210     | l       | -             | -            | 12      | Conta de água         |
| Eletricidade       | 360     | MJ      | -             | -            | 12      | Conta de eletricidade |
| Diesel             | 15      | kg      | -             | -            | 48      | Nota fiscal           |

5) De quanto foi a emissão na combustão do Diesel:

|                 | CONSUMO |         |               |              |         | MÉTODO DE OBTENÇÃO |
|-----------------|---------|---------|---------------|--------------|---------|--------------------|
|                 | Média   | Unidade | Desvio padrão | Distribuição | Amostra |                    |
| CO <sub>2</sub> | -       | kg      | -             | -            | -       | Não há controle    |
| NO <sub>2</sub> | -       | kg      | -             | -            | -       | Não há controle    |
| SO <sub>2</sub> | -       | kg      | -             | -            | -       | Não há controle    |
| CH <sub>4</sub> | -       | kg      | -             | -            | -       | Não há controle    |

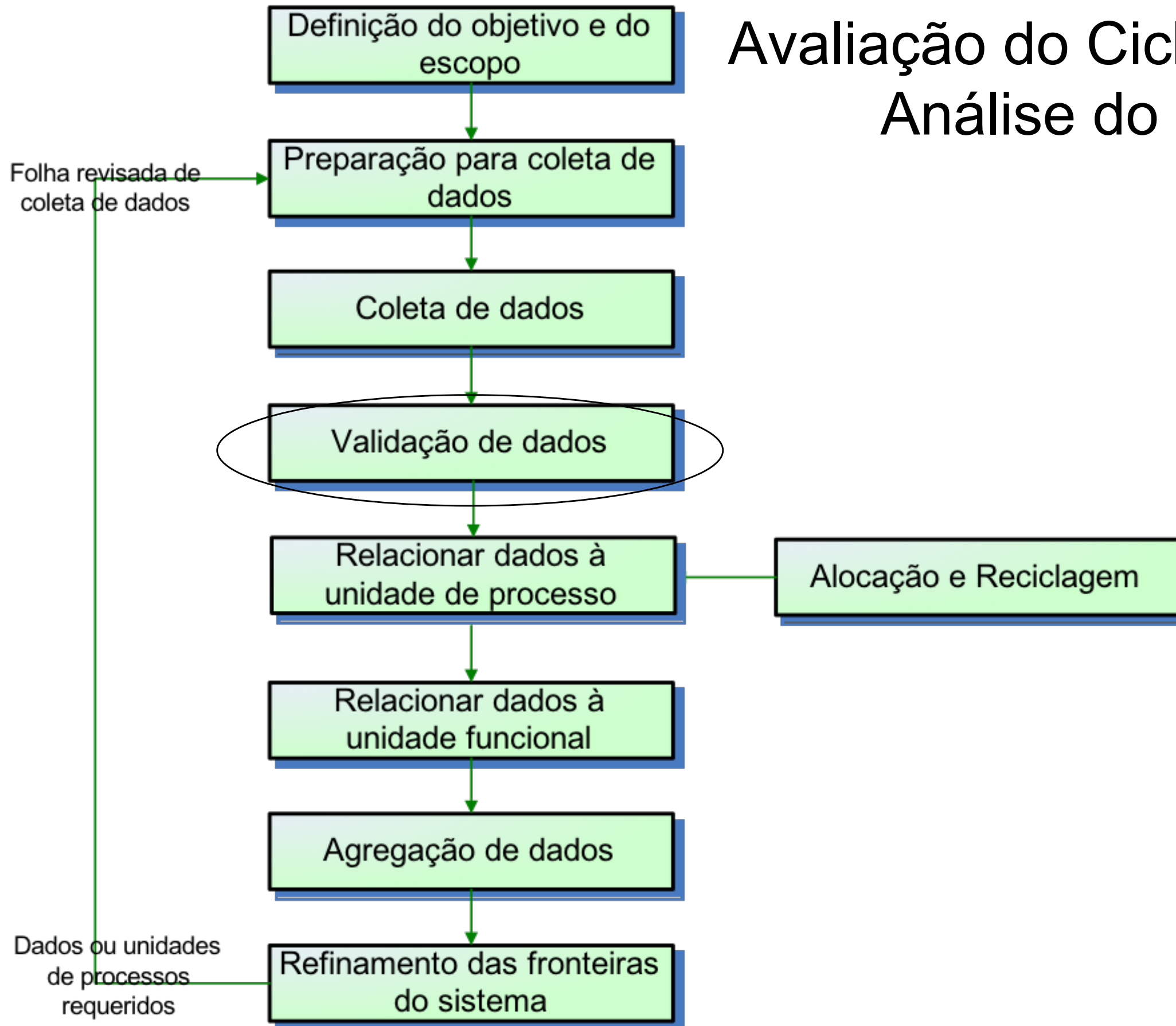
# Análise de Inventário

- Procedimentos a adotar no caso de ausência de dados:
  - Incluir um valor diferente de zero, com justificativa
  - Incluir um valor igual a zero, com justificativa
  - Incluir um valor calculado com base em tecnologias similares
- Documentar dados ausentes.



# Avaliação do Ciclo de Vida

## Análise do Inventário



# Análise de Inventário

## Validação de Dados

- Por exemplo:
  - Balanço de massa  $\sum m_e = \sum m_s$
  - Balanço de energia  $\sum e_e = \sum e_s$
  - Análises comparativas de fatores de emissão



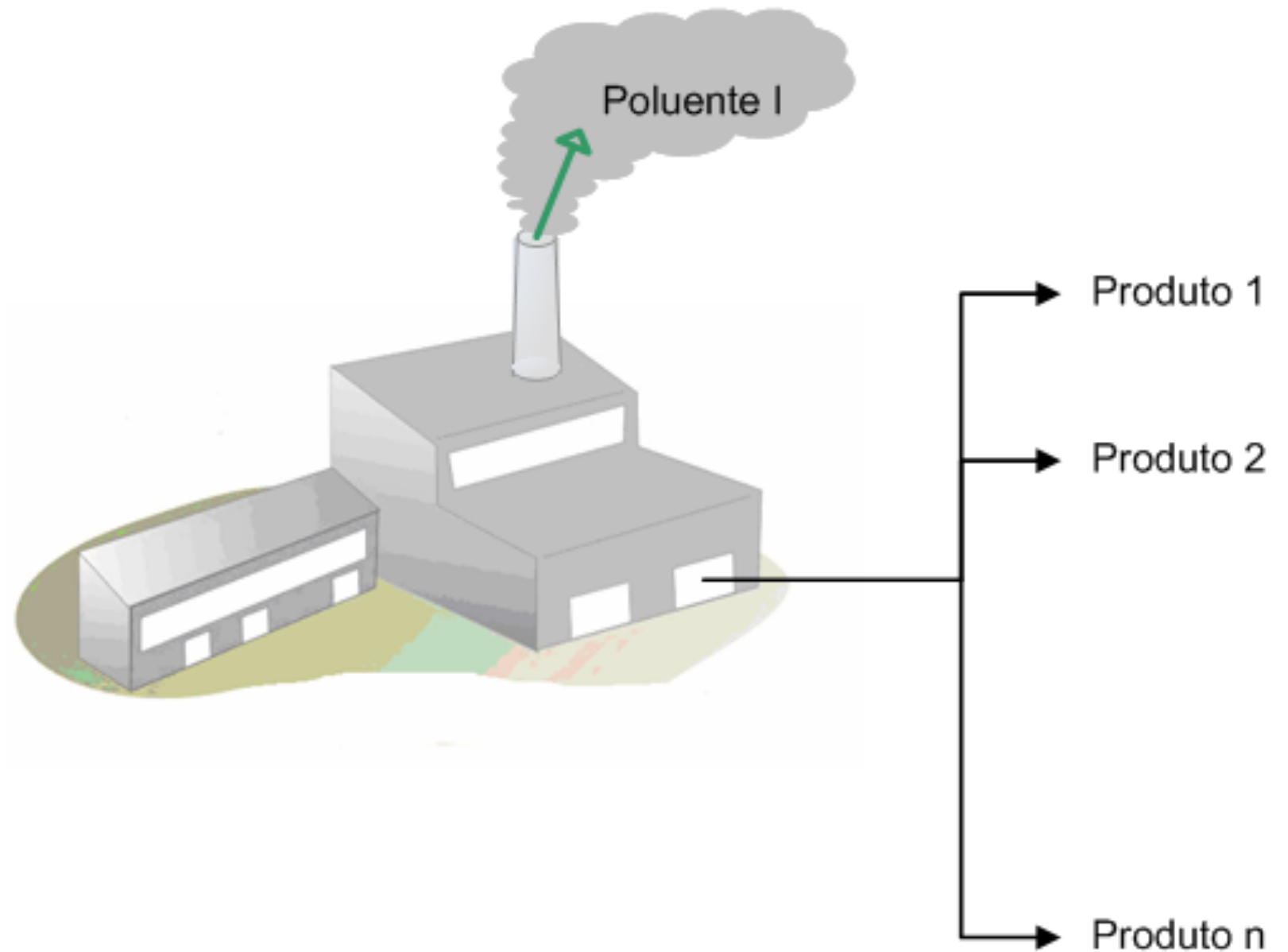
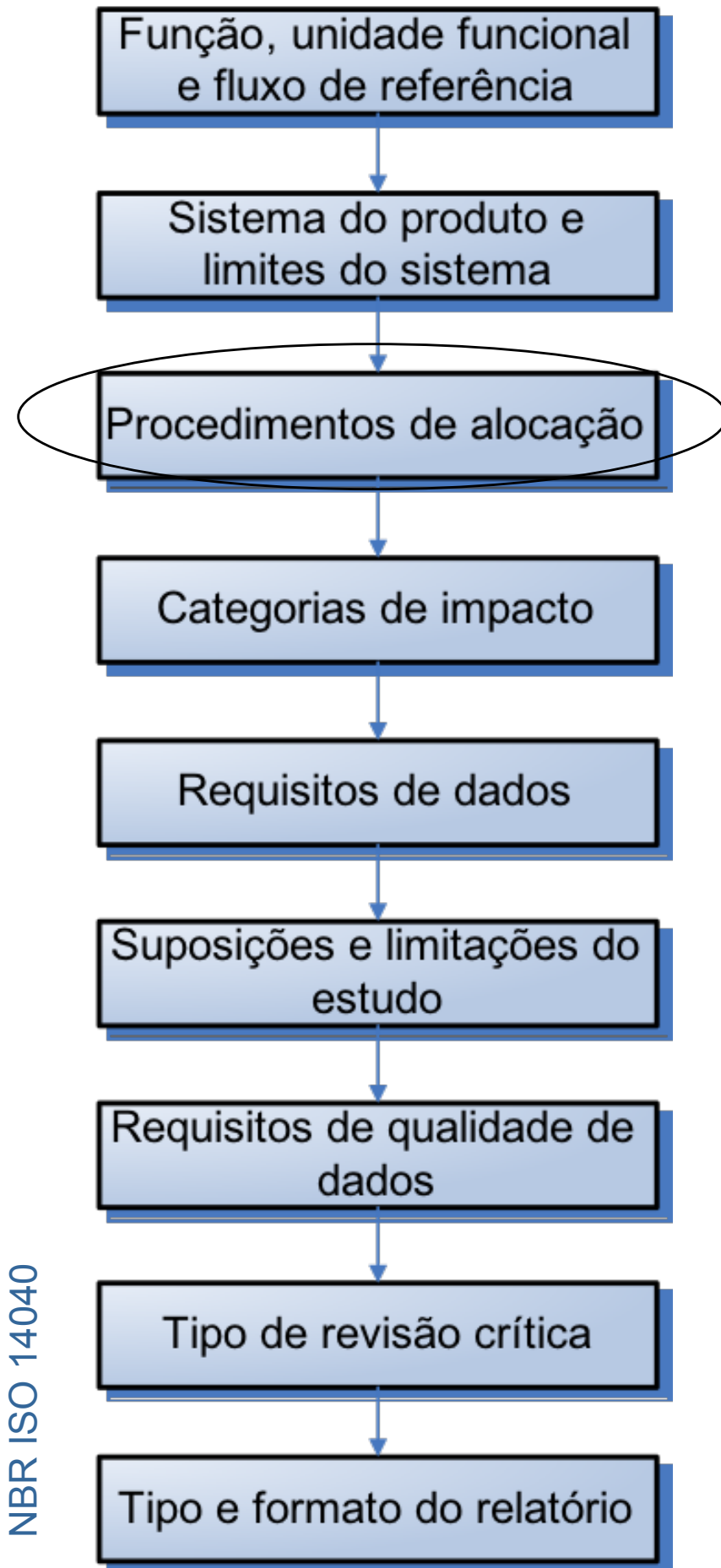
# Avaliação do Ciclo de Vida

## Análise do Inventário



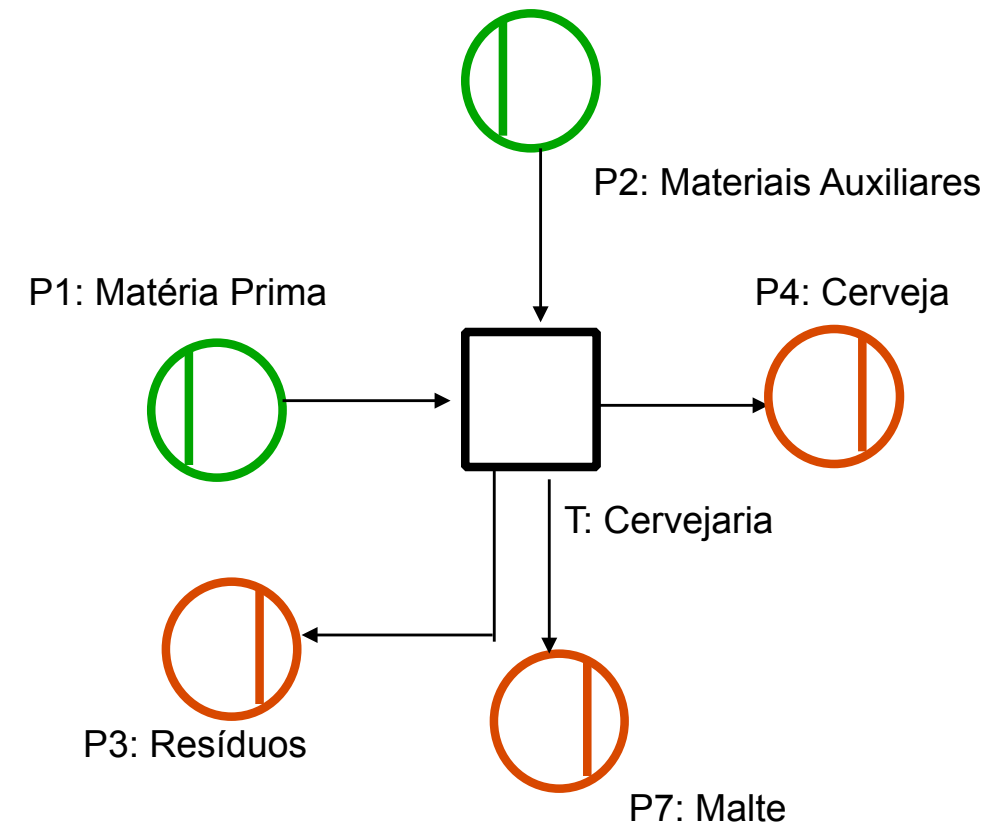
# Definição do Objetivo e do Escopo

## Definição do Escopo



# Alocação

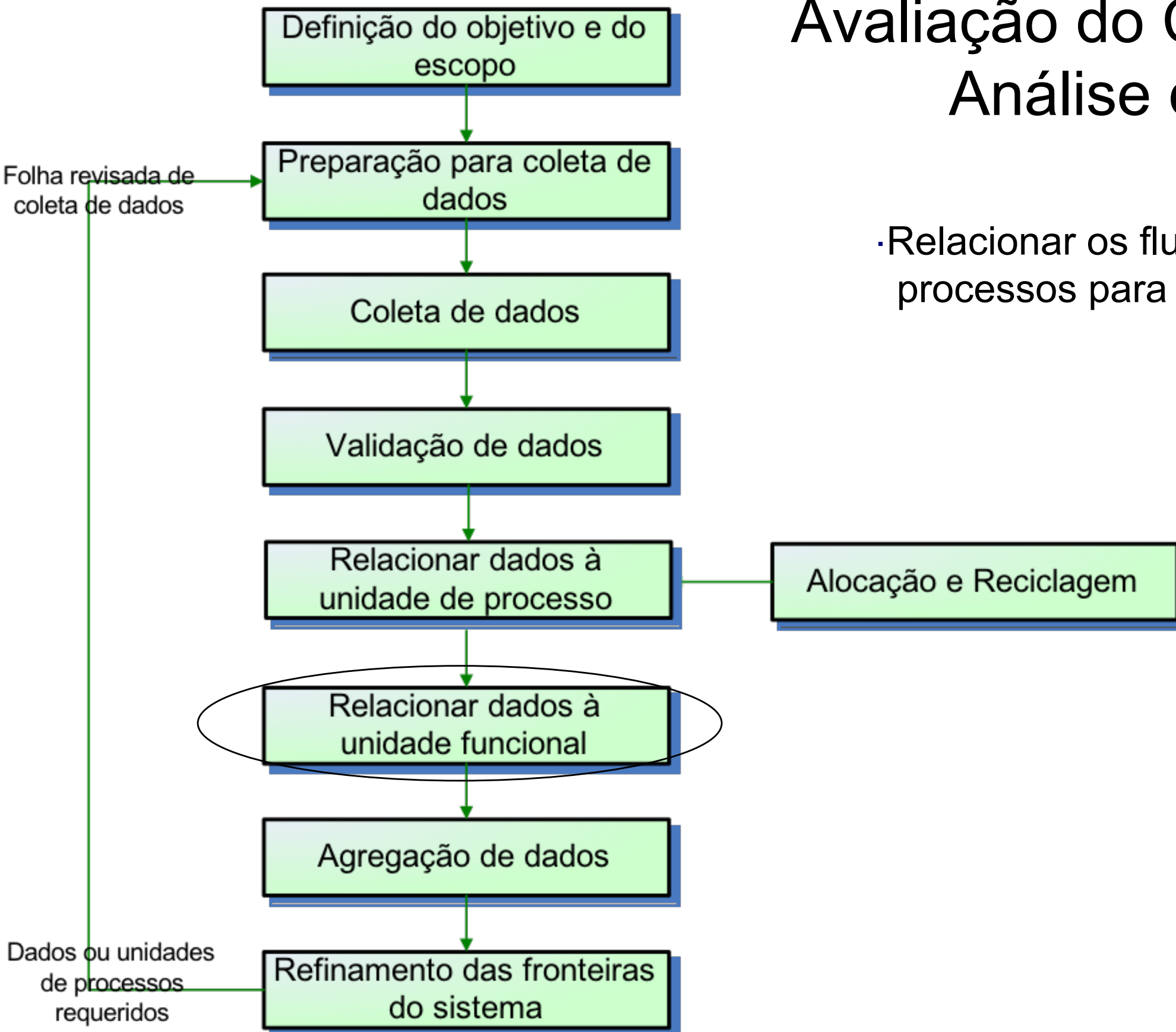
- Alocação é a divisão de responsabilidade.
- Considerações sobre a alocação:
  1. evitar a alocação, sempre que possível:
    - Divisão do processo elementar em sub-processos;
    - Ampliação do sistema do produto para incluir as funções adicionais dos co-produtos.
  2. dividir as entradas e saídas proporcionalmente às propriedades físicas dos produtos.
  3. dividir proporcionalmente ao valor econômico dos produtos.



# Avaliação do Ciclo de Vida

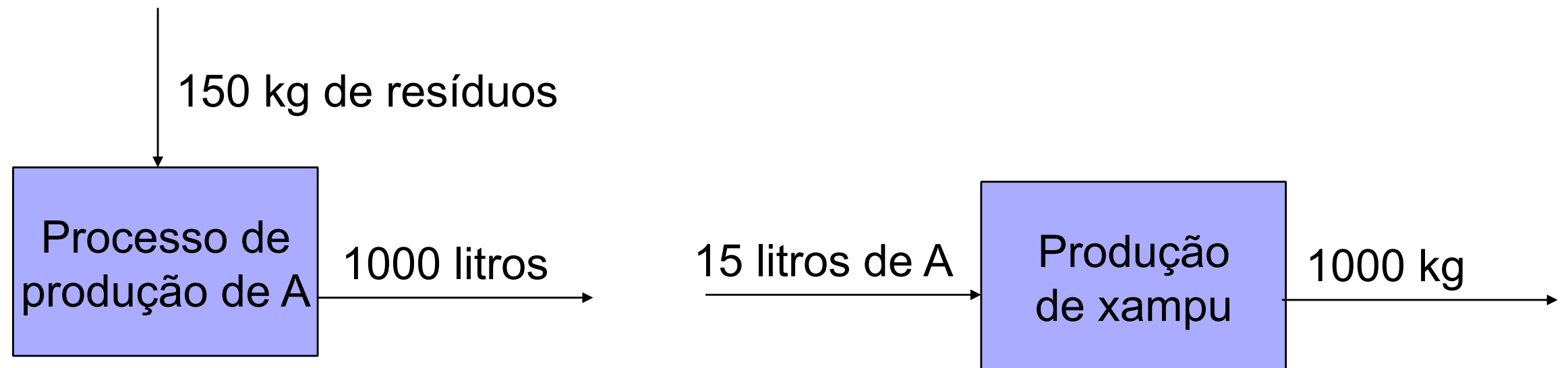
## Análise do Inventário

- Relacionar os fluxos de todos os processos para a unidade funcional.

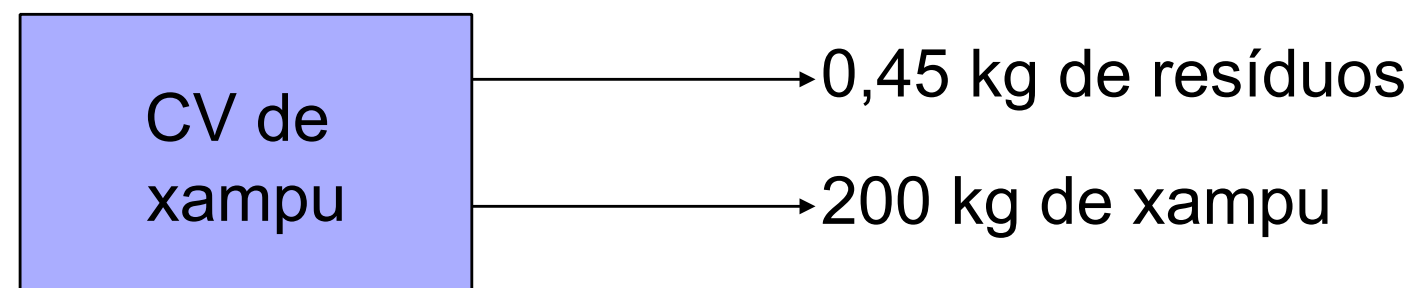


# Análise de Inventário

## Relacionar Dados à Unidade Funcional



·Suponha que a unidade funcional seja lavar 5000 cabelos, que demandam 200 kg de xampu.



# Avaliação do Ciclo de Vida

## Análise do Inventário



# Análise de Inventário

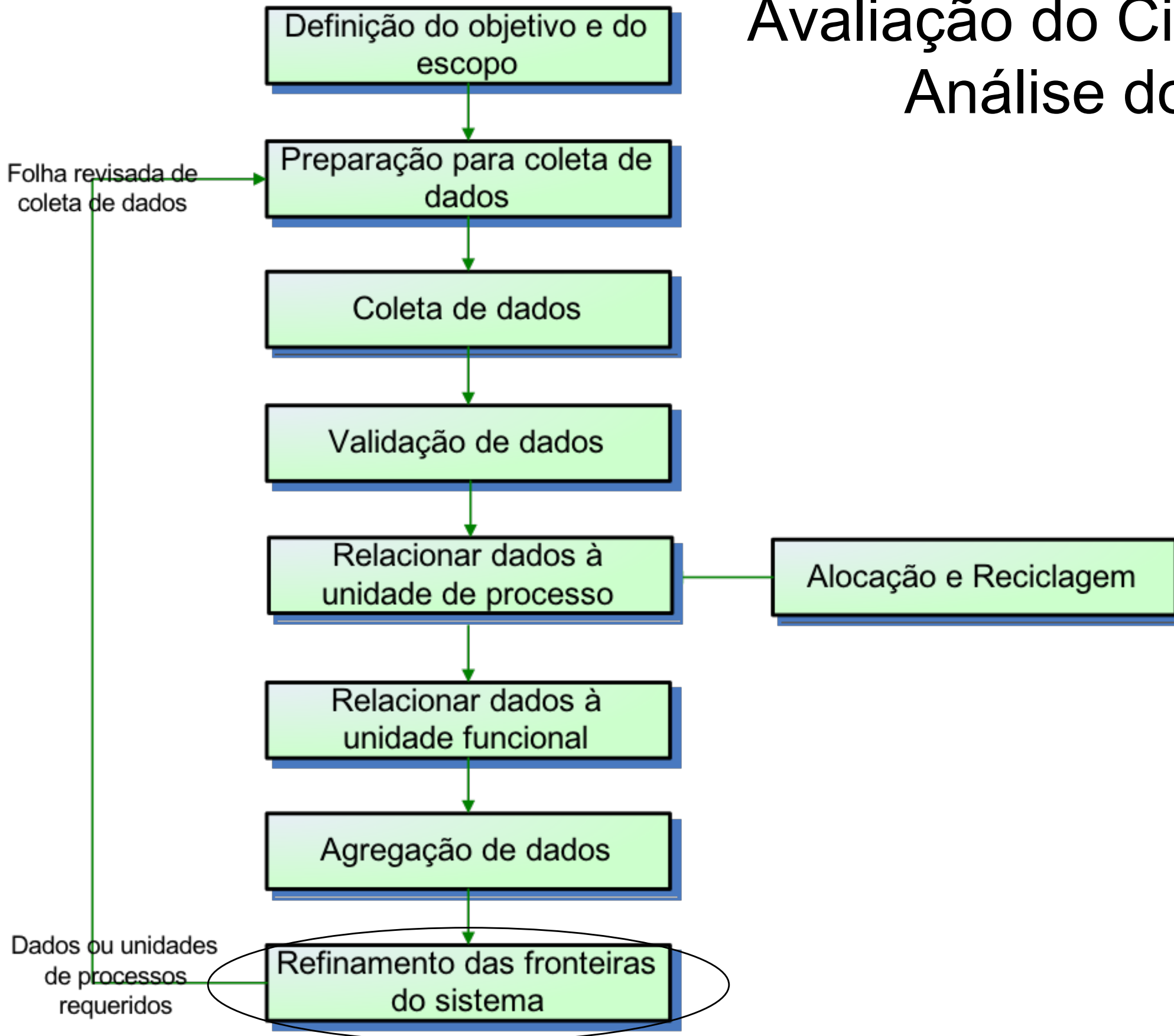
## Agregação de Dados

- Recomendação:
  - Nível de agregação seja suficiente para satisfazer o objetivo do estudo.
  - Somente sejam agregadas substâncias equivalentes e que tenham impactos ambientais similares.
  - Caso necessário agregar outros dados, incluir a justificativa na definição do objetivo e do escopo ou na avaliação de impacto.



# Avaliação do Ciclo de Vida

## Análise do Inventário



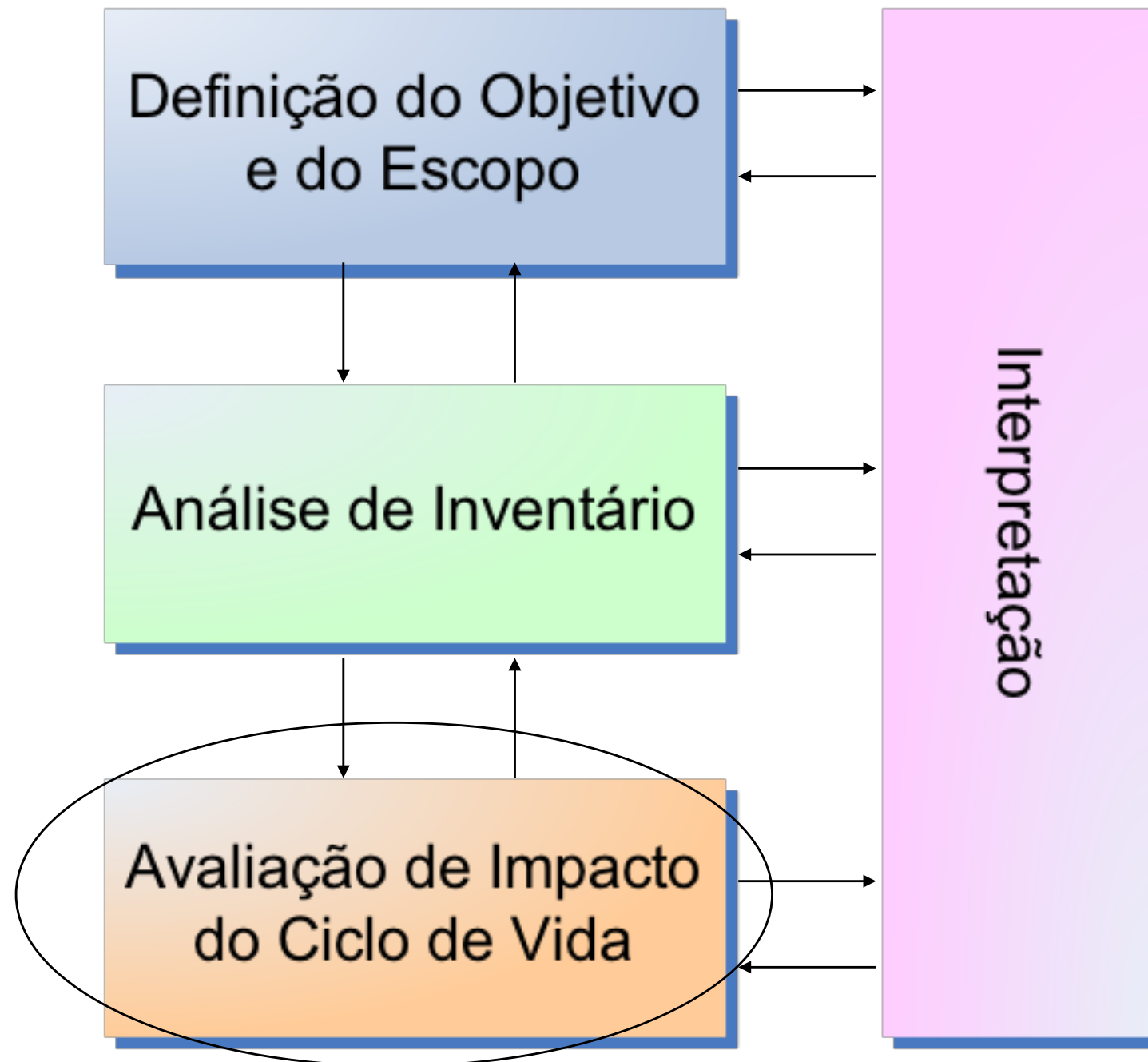
# Análise de Inventário

## Refinamento das Fronteiras do Sistema

- Uso da análise de sensibilidade:
  - Excluir ou incluir etapas do ciclo de vida com pouca ou nenhuma significância
  - Excluir ou incluir entradas e saídas sem significância para os resultados do estudo
- Resultados do processo e a análise de sensibilidade devem ser documentados



# Avaliação de Impacto



# Definição do objetivo e do escopo

## Categoria de impactos

Seleção das categorias de impacto,  
Indicadores de categoria e  
Modelos de caracterização

Correlação dos resultados do ICV  
(Classificação)

Cálculo dos resultados dos indicadores  
de categoria (Caracterização)

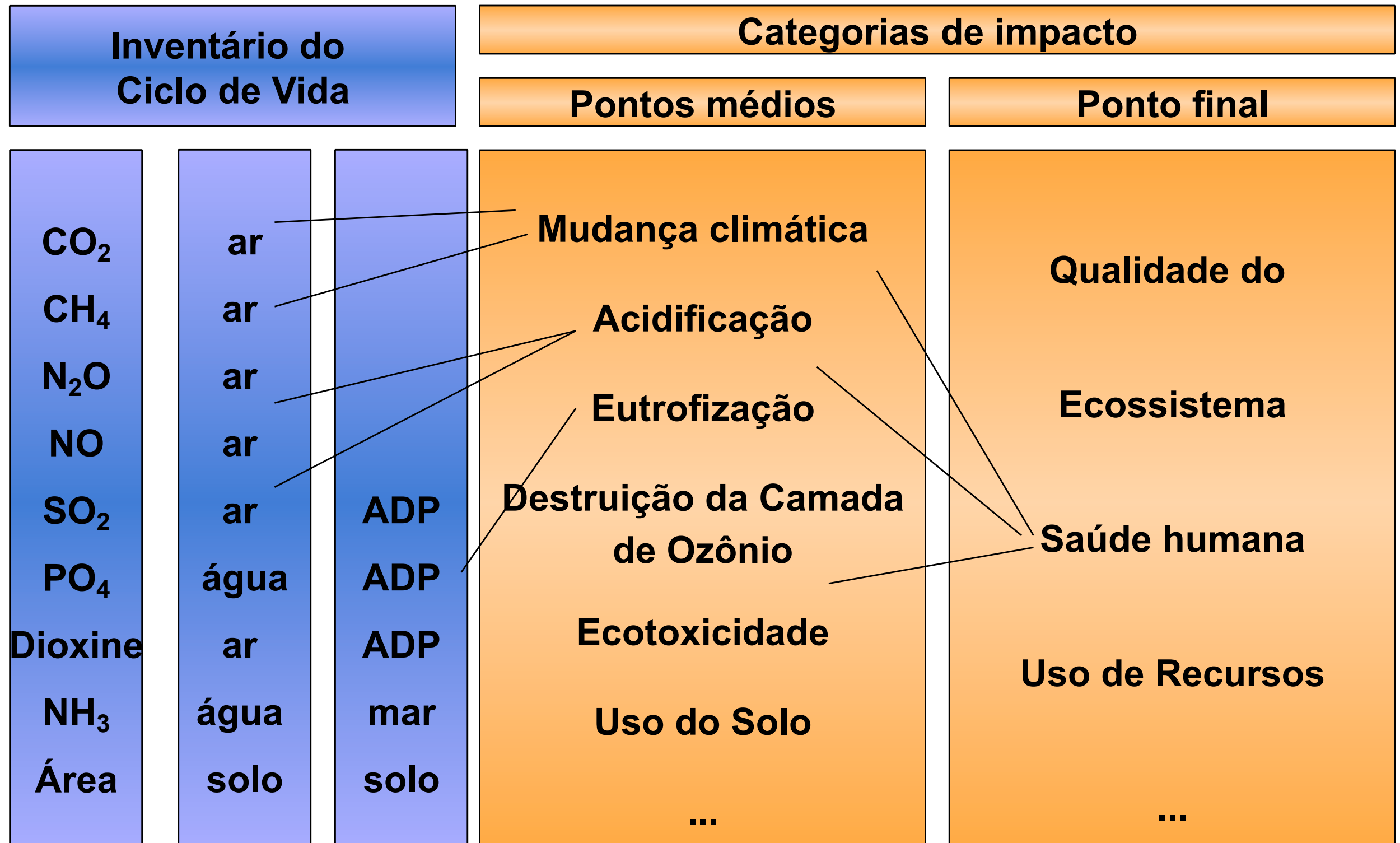
Resultados dos indicadores  
de categoria (Perfil da AICV)

Normalização  
Agrupamento  
Ponderação  
Análise da qualidade dos dados

- Categorias de impacto = impactos ambientais
- Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) é a etapa da ACV em que se mensura e avalia a significância dos impactos ambientais potenciais do sistema do produto.

# Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

## Seleção das categorias de impacto



# Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

## Indicadores de categoria

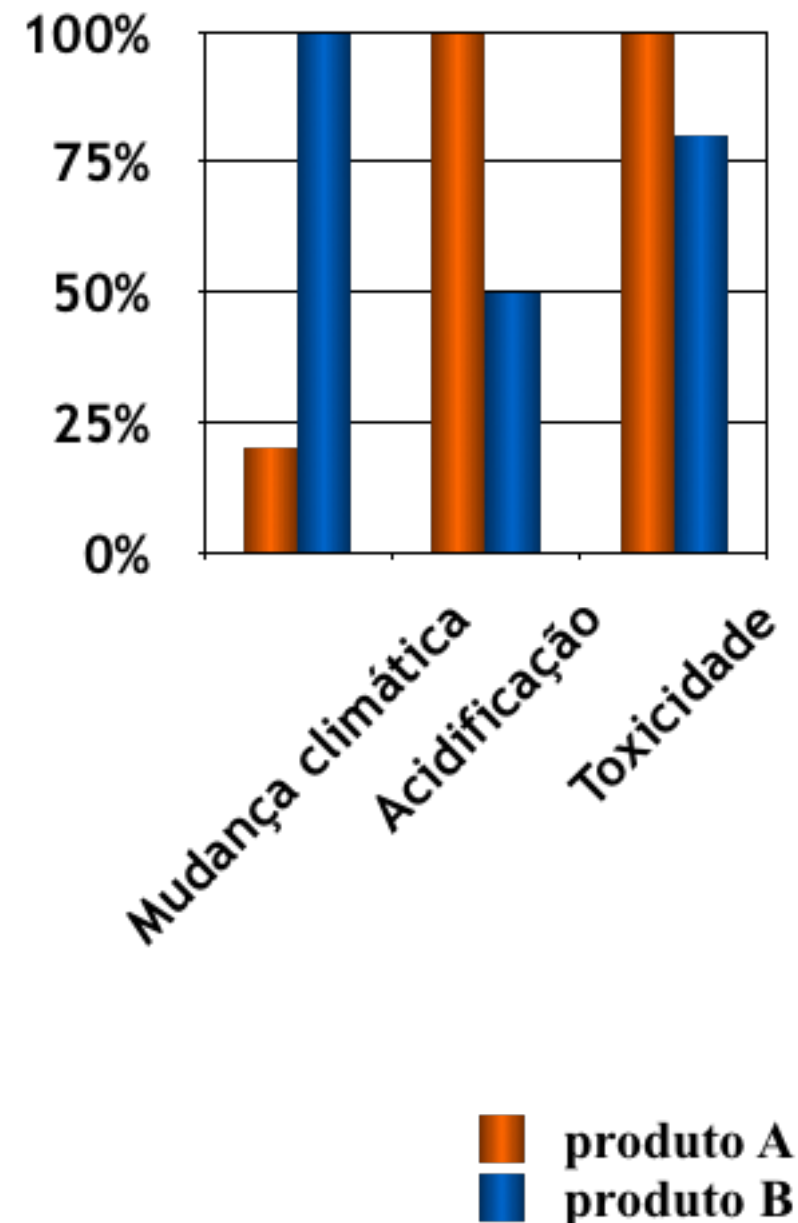
| Inventário do Ciclo de Vida                                                                                                                                    | Categorias de impacto                                                                   |                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                | Indicador de categoria                                                                  | Fator de caracterização                                                                           |
| <div>CO<sub>2</sub></div> <div>CH<sub>4</sub></div> <div>N<sub>2</sub>O</div> <div>NO</div> <div>SO<sub>2</sub></div> <div>PO<sub>4</sub></div> <div>CFC</div> | <div>Forçamento radiativo</div> <div>Infravermelho</div> <div>Liberação de próton</div> | <div>Potencial de Aquecimento Global (Modelo IPCC: kg CO<sub>2</sub> equivalentes / kg gás)</div> |

# Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida: Caracterização

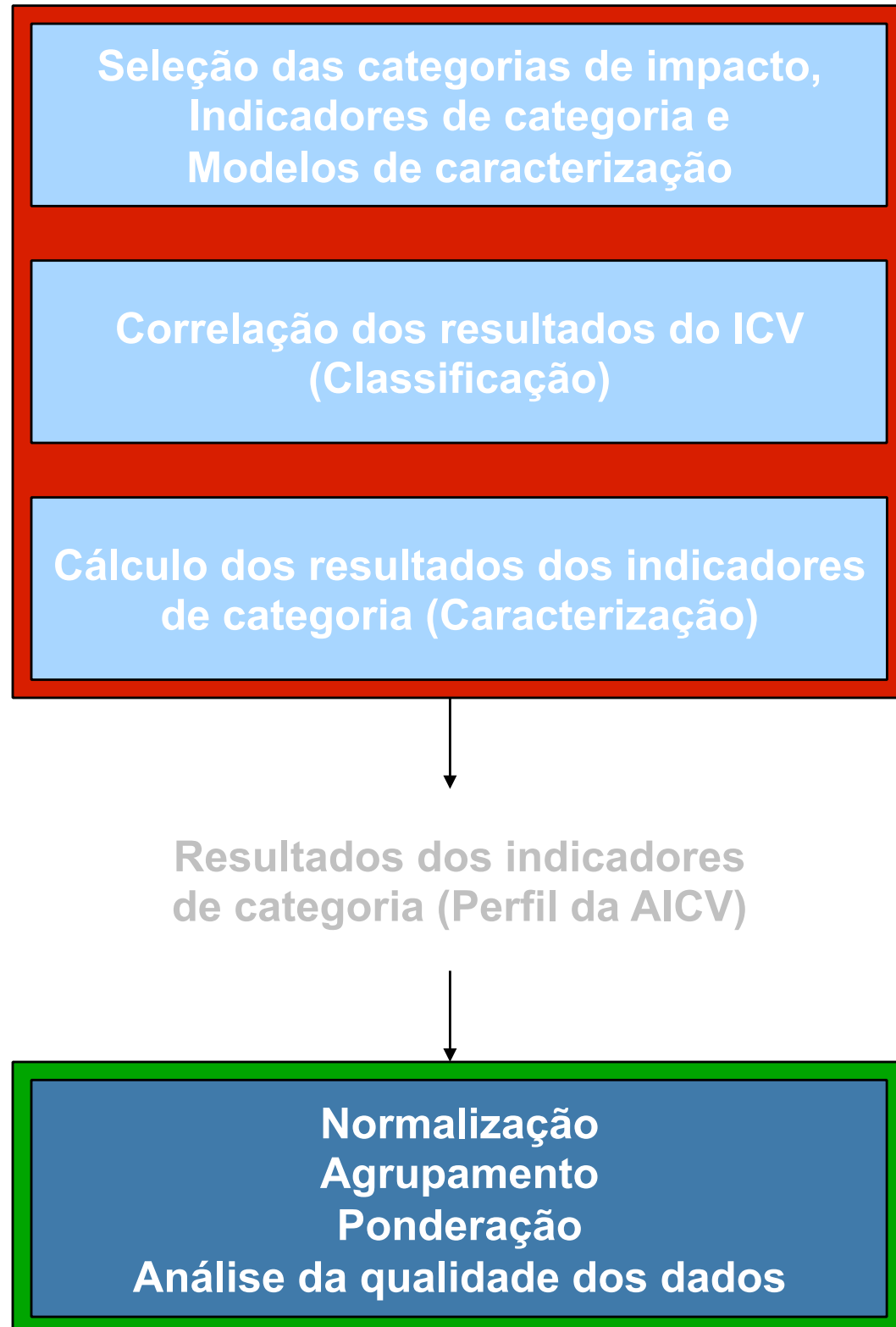
| Inventário do<br>Ciclo de Vida de A | Fatores de caracterização |                        |                              |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------|
|                                     | kg eq. CO <sub>2</sub>    | kg eq. SO <sub>2</sub> | kg eq. 1,4 DB                |
| 1000 kg CO <sub>2</sub>             | 1                         |                        |                              |
| 10 kg CH <sub>4</sub>               | 25                        |                        |                              |
| N <sub>2</sub> O                    | 298                       | 0,5                    |                              |
| 5 kg NO <sub>2</sub>                |                           | 0,5                    |                              |
| 10 kg SO <sub>2</sub>               |                           | 1,2                    |                              |
| PO <sub>4</sub>                     |                           |                        |                              |
| 10 <sup>-6</sup> Dioxine            |                           |                        | 1,93 . 10 <sup>9</sup>       |
| <b>TOTAL</b>                        | <b>1.250</b>              | <b>14,5</b>            | <b>1,93 . 10<sup>3</sup></b> |

# Resultados com o uso de 3 categorias de impacto

- As porcentagens são mostradas como porcentagens: a pontuação mais alta é considerada 100%
- O produto A é preferível ao B?
  - A emissão que corresponde a 100% é alta ou baixa?
  - A mudança climática é importante?



# Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida



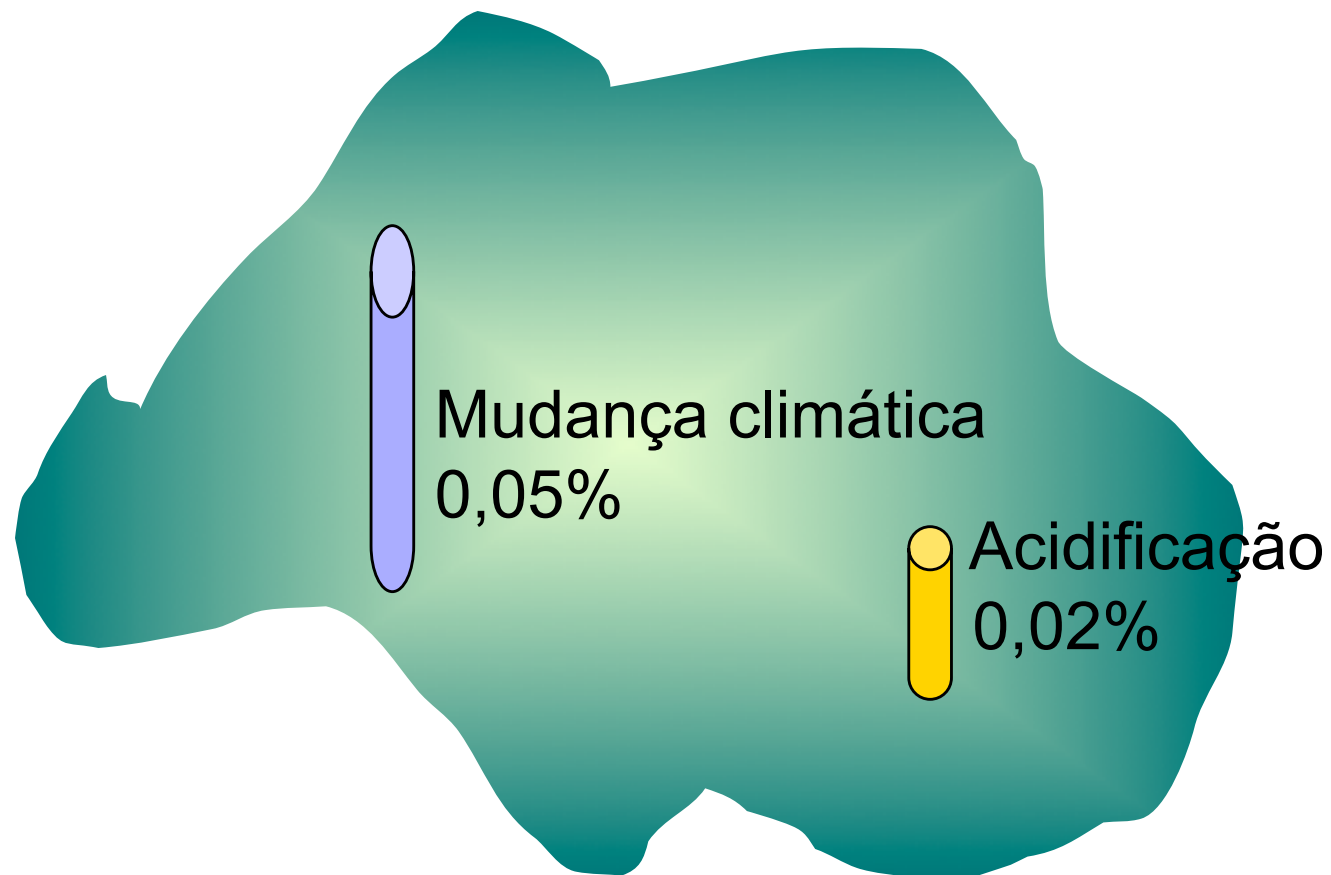
- Elementos obrigatórios
- Elementos opcionais

# Normalização

Para descobrir se 100% é um impacto alto ou baixo em relação a uma referência.

Para obter uma pontuação adimensional (já que cada indicador é dividido por um parâmetro de mesma unidade)

Referências usuais: média da carga ambiental de um cidadão em um ano



$$\tilde{h} = \frac{h}{\dot{h}}$$

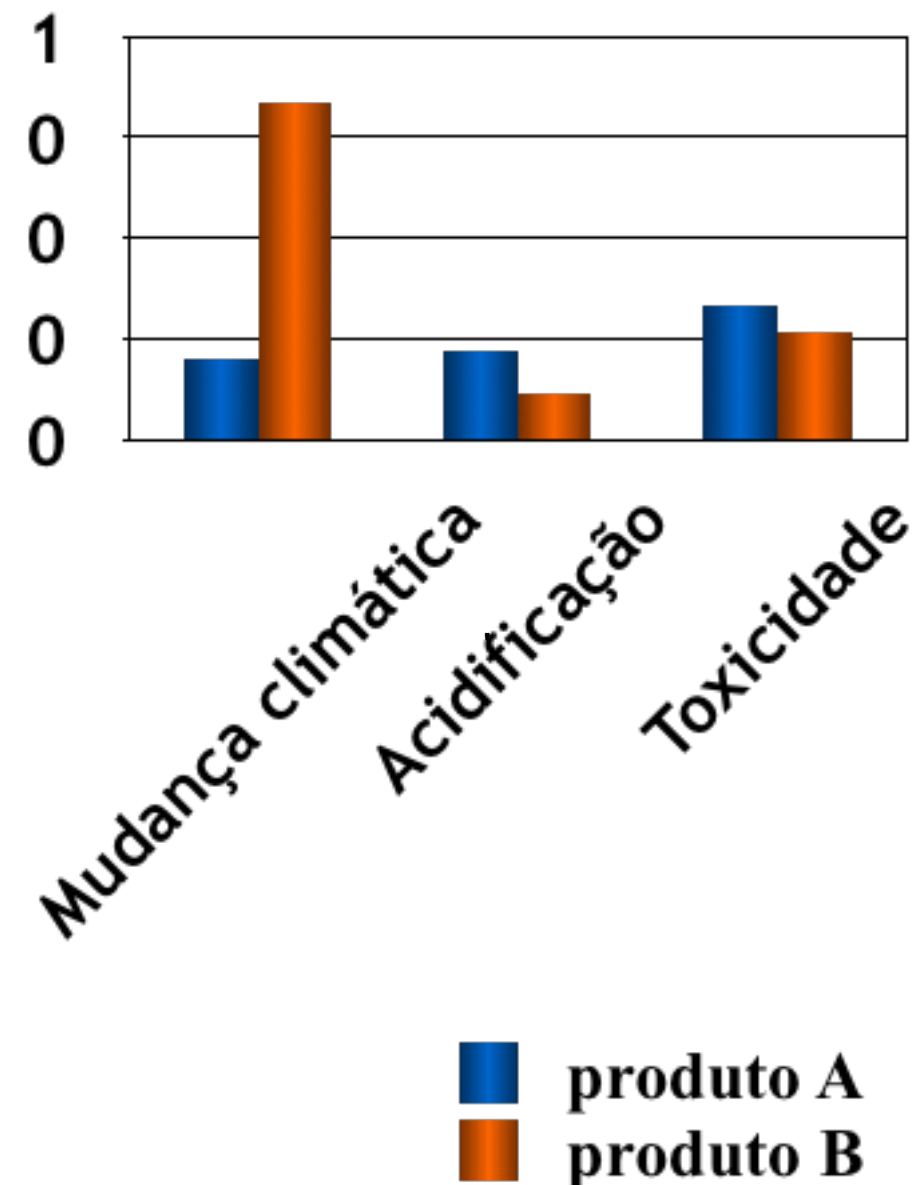
**Normalização:  
contribuição no  
Impacto total**

# Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida: Normalização

| Etapas da AICV | Resultados             |                        |               |
|----------------|------------------------|------------------------|---------------|
| Caracterização | kg eq. CO <sub>2</sub> | kg eq. SO <sub>2</sub> | kg eq. 1,4 DB |
|                | 1.250                  | 14,5                   | 1.930         |
| Produto A      |                        |                        |               |
| Produto B      | 0,1                    | 0,06                   | 0,2           |

# Resultados da normalização com o uso de 3 indicadores

- As pontuações são graficadas com números adimensionais
- Aparentemente, a contribuição da mudança climática é relativamente alta
- Ser elevado não é o mesmo de ser importante e, portanto, necessita-se da ponderação

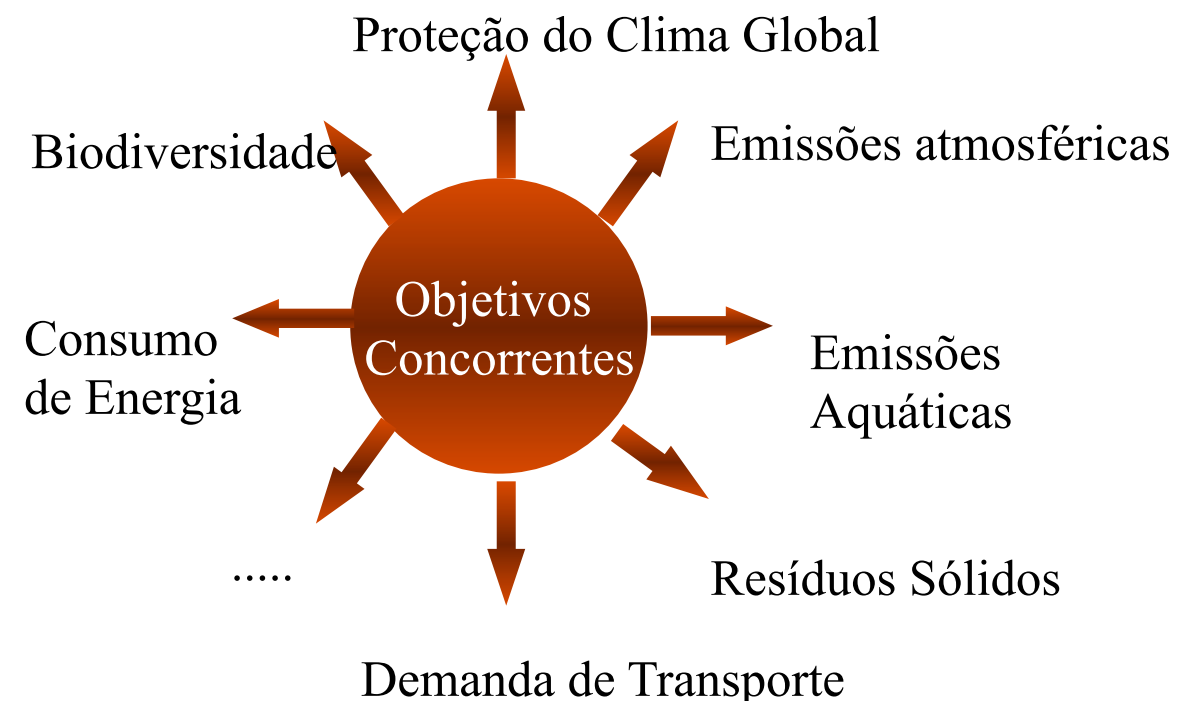
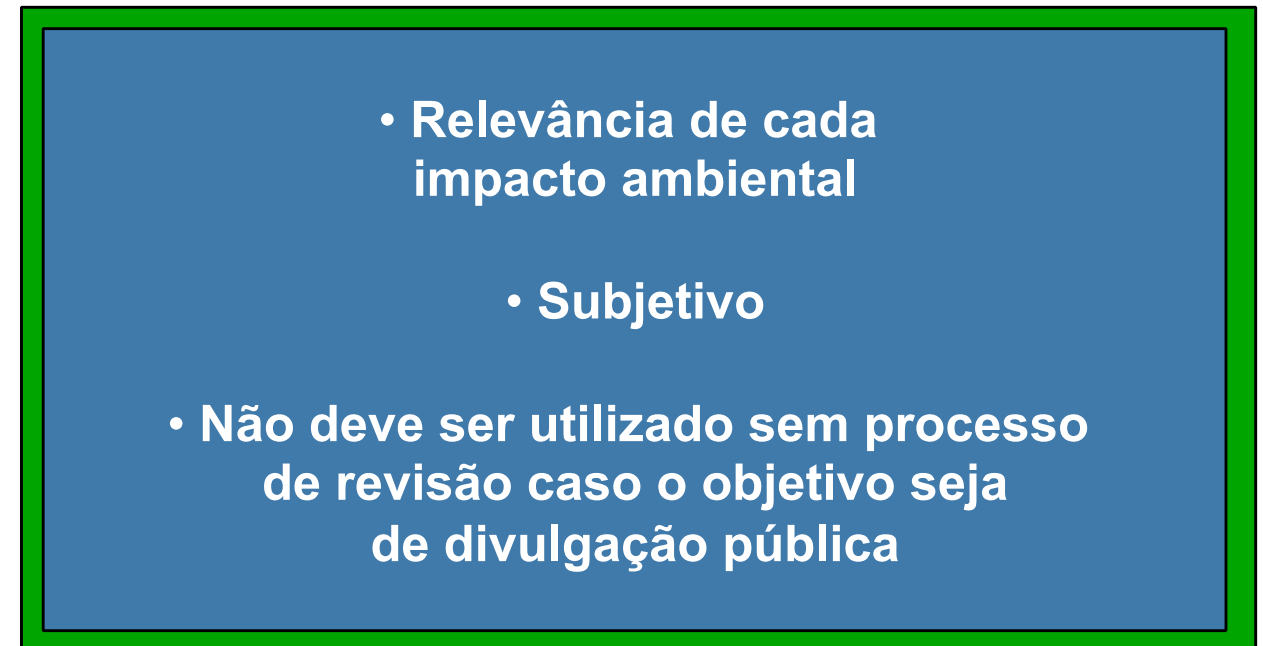


# Avaliação de impacto ambiental

## Ponderação

- A ponderação é um assunto controverso na ACV e, por isso, é uma etapa opcional, de acordo com a norma ISO.
- Computacionalmente, entretanto, a ponderação é simples e consiste em um vetor  $\mathbf{w}$  em que cada elemento  $w_i$  é o peso para cada categoria de impacto.

$$W_i = w_i \tilde{h}_i$$



# Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida: Ponderação

| Etapas da AICV        | Resultados             |                        |               |
|-----------------------|------------------------|------------------------|---------------|
|                       | kg eq. CO <sub>2</sub> | kg eq. SO <sub>2</sub> | kg eq. 1,4 DB |
| <b>Caracterização</b> |                        |                        |               |
| Produto A             | 1.250                  | 14,5                   | 1.930         |
| Produto B             | 1.000                  | 6                      | 2.000         |
| <b>Referência</b>     | 10.000                 | 100                    | 10.000        |
| <b>Normalização</b>   |                        |                        |               |
| Produto A             | 0,12                   | 0,145                  | 0,193         |
| Produto B             | 0,1                    | 0,06                   | 0,2           |

# Avaliação de impacto ambiental

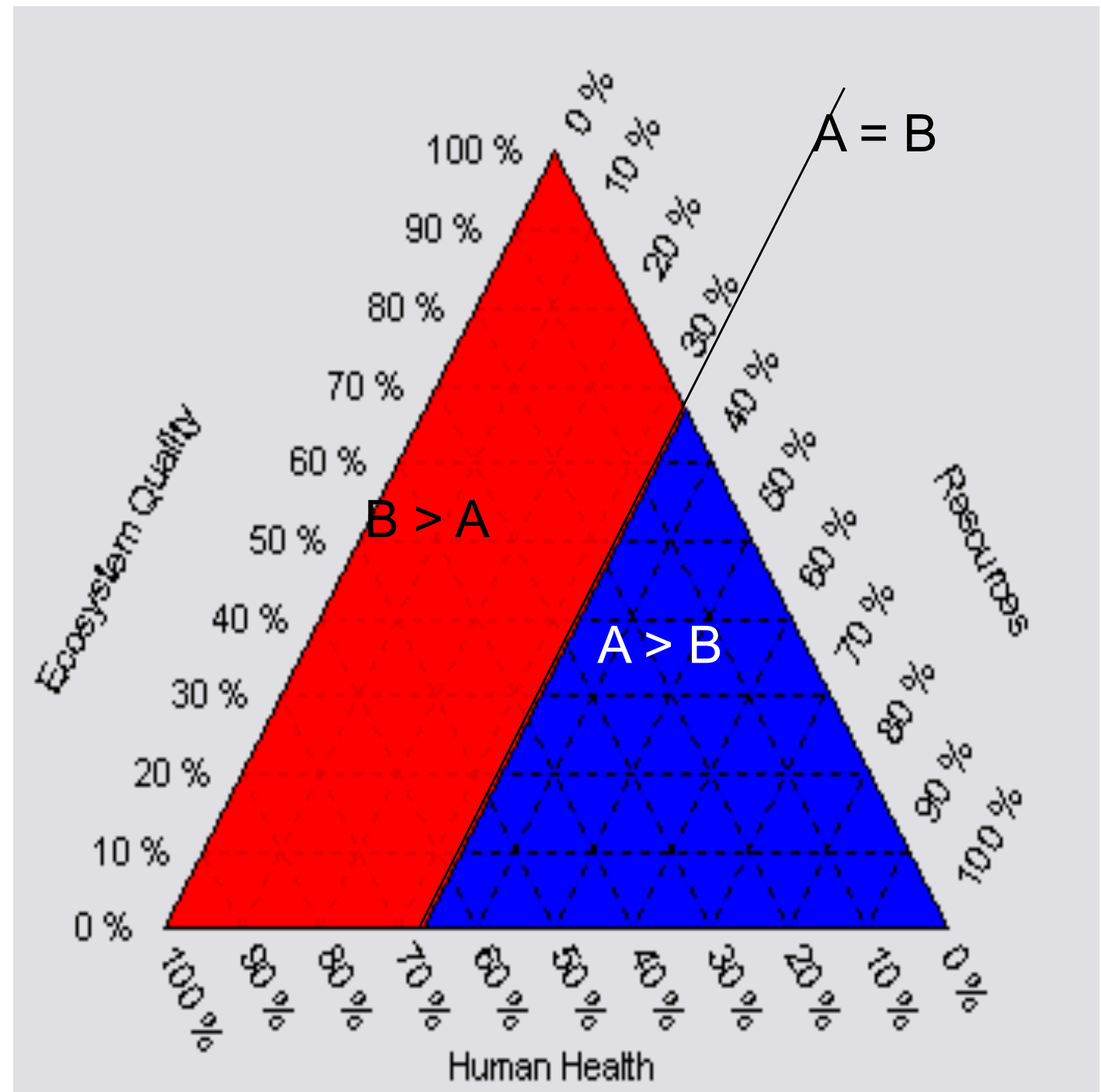
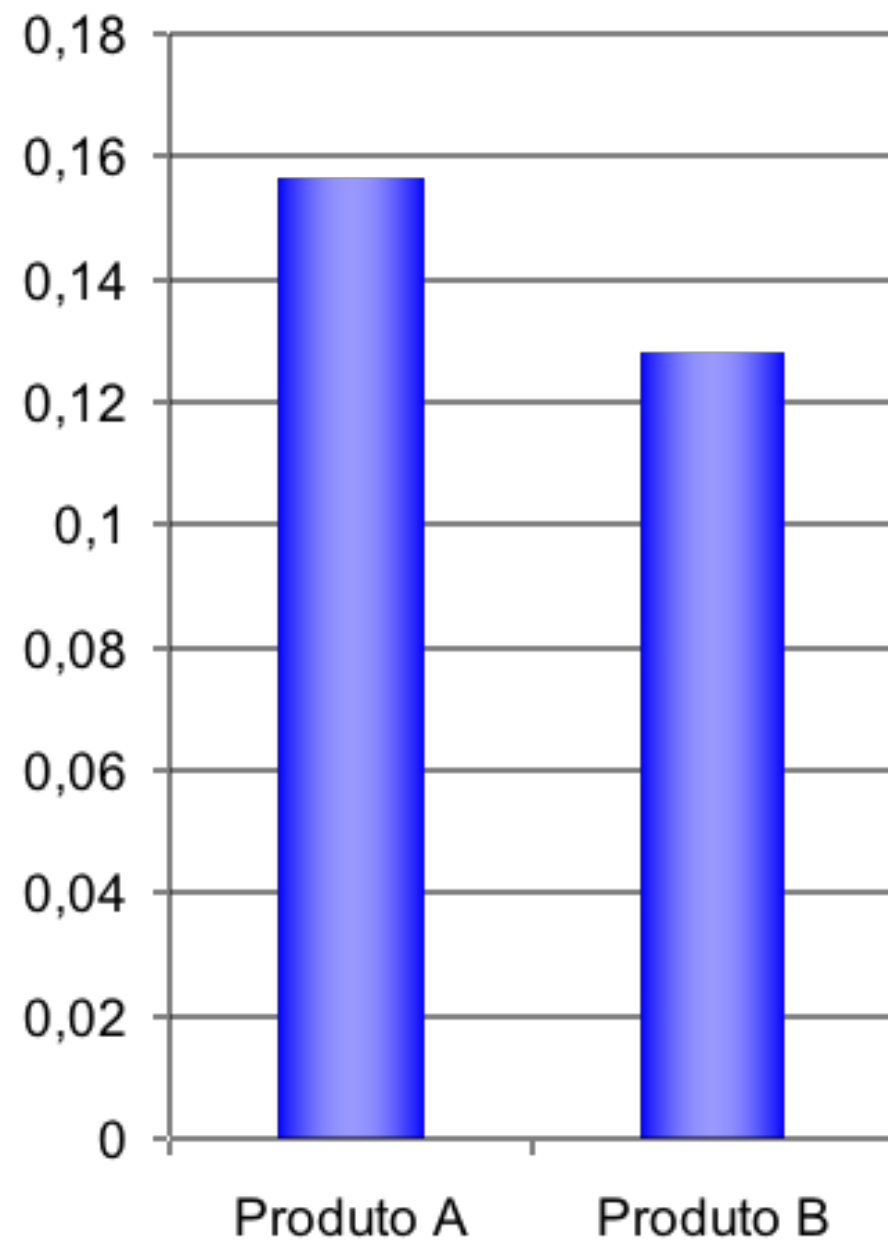
## Pontuação única

- Pontuação única:
  - Somatória dos valores ponderados

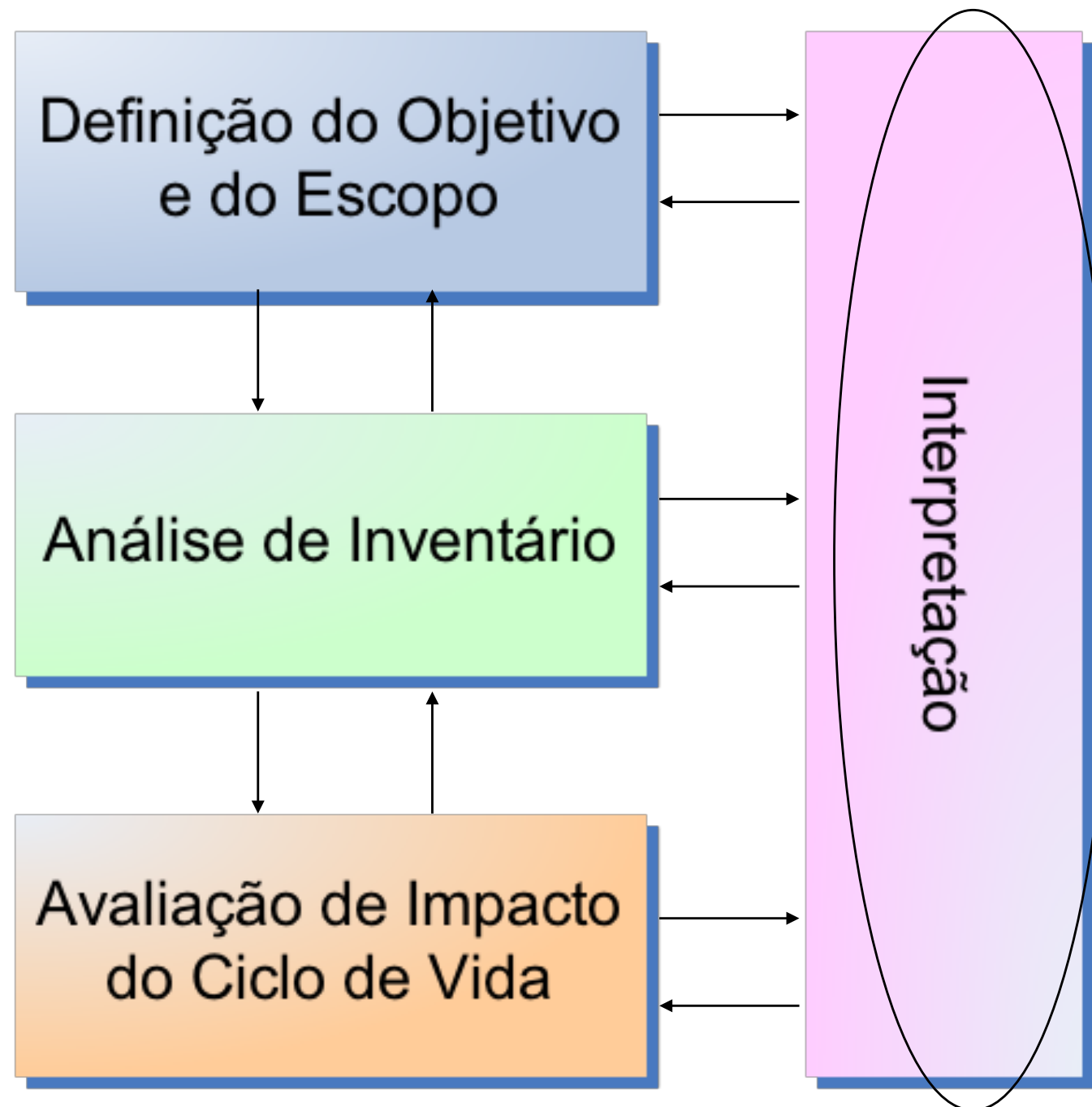
- Relevância de cada impacto ambiental
- Subjetivo
- Não deve ser utilizado sem processo de revisão caso o objetivo seja de divulgação pública

$$U = \sum_i W_i$$

# Pontuação única: Produto A x Produto B



# Avaliação de Impacto



# Interpretação

- A interpretação deverá incluir:
  - Identificação das questões significativas com base nos resultados das fases de ICV e AICV da ACV;
  - Avaliação do estudo, considerando verificações de completeza, sensibilidade e consistência;
  - Conclusões, limitações e recomendações.

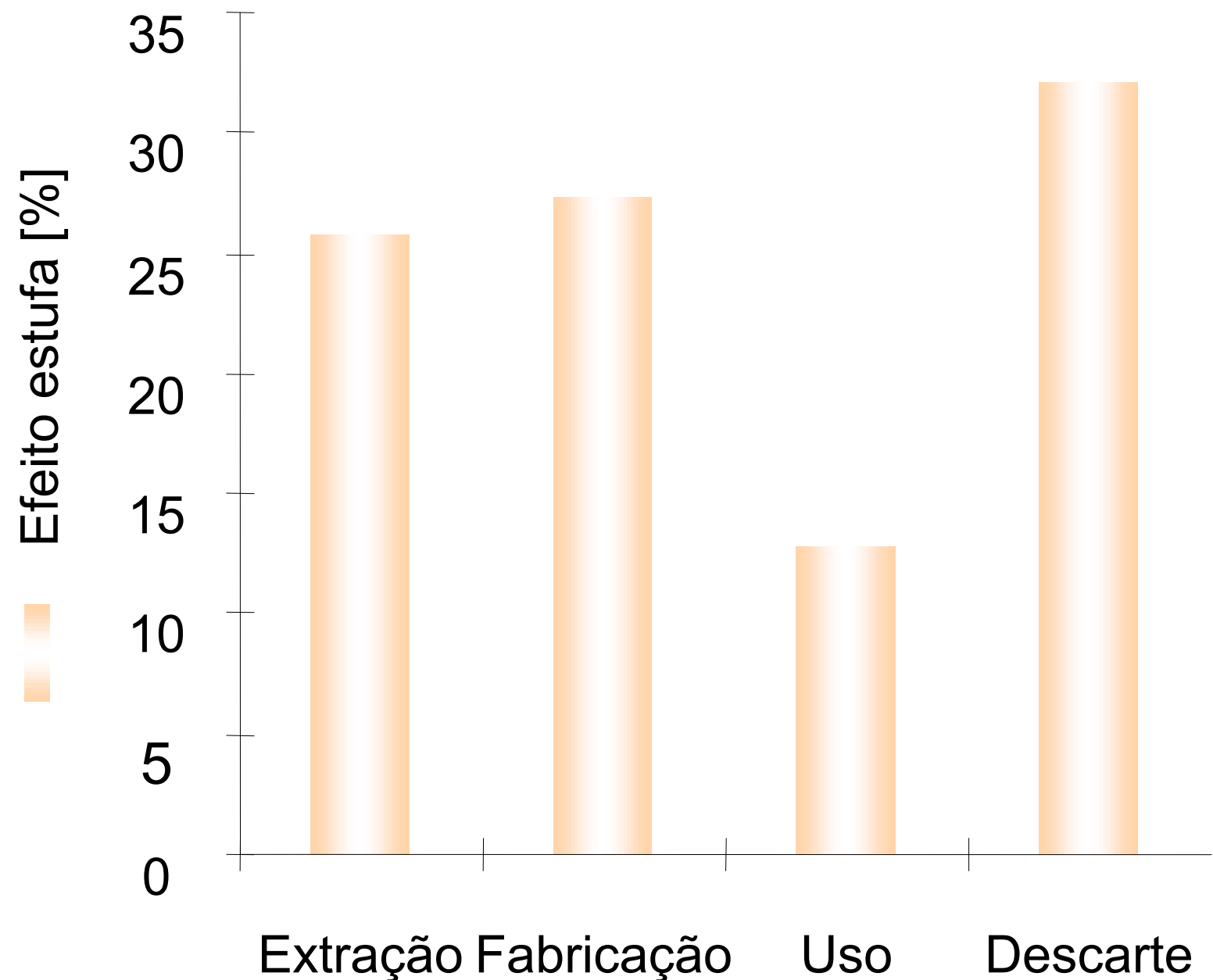
# Interpretação: identificação das questões significativas

- Quatro tipos de informação são requeridos das fases precedentes da ACV:
  - as conclusões das fases precedentes (ICV, AICV) que deverão ser reunidas e estruturadas em conjunto com informações sobre a qualidade dos dados;
  - escolhas metodológicas, tais como regras de alocação e fronteira do sistema provenientes do ICV e indicadores de categoria e modelos usados na AICV;
  - as escolhas de valores utilizadas no estudo, como estabelecido na definição de objetivo e escopo;
  - o papel e as responsabilidades das diferentes partes interessadas em relação à aplicação, como estabelecido na definição do objetivo e escopo, e também os resultados de um processo de revisão crítica concomitante, se conduzido.

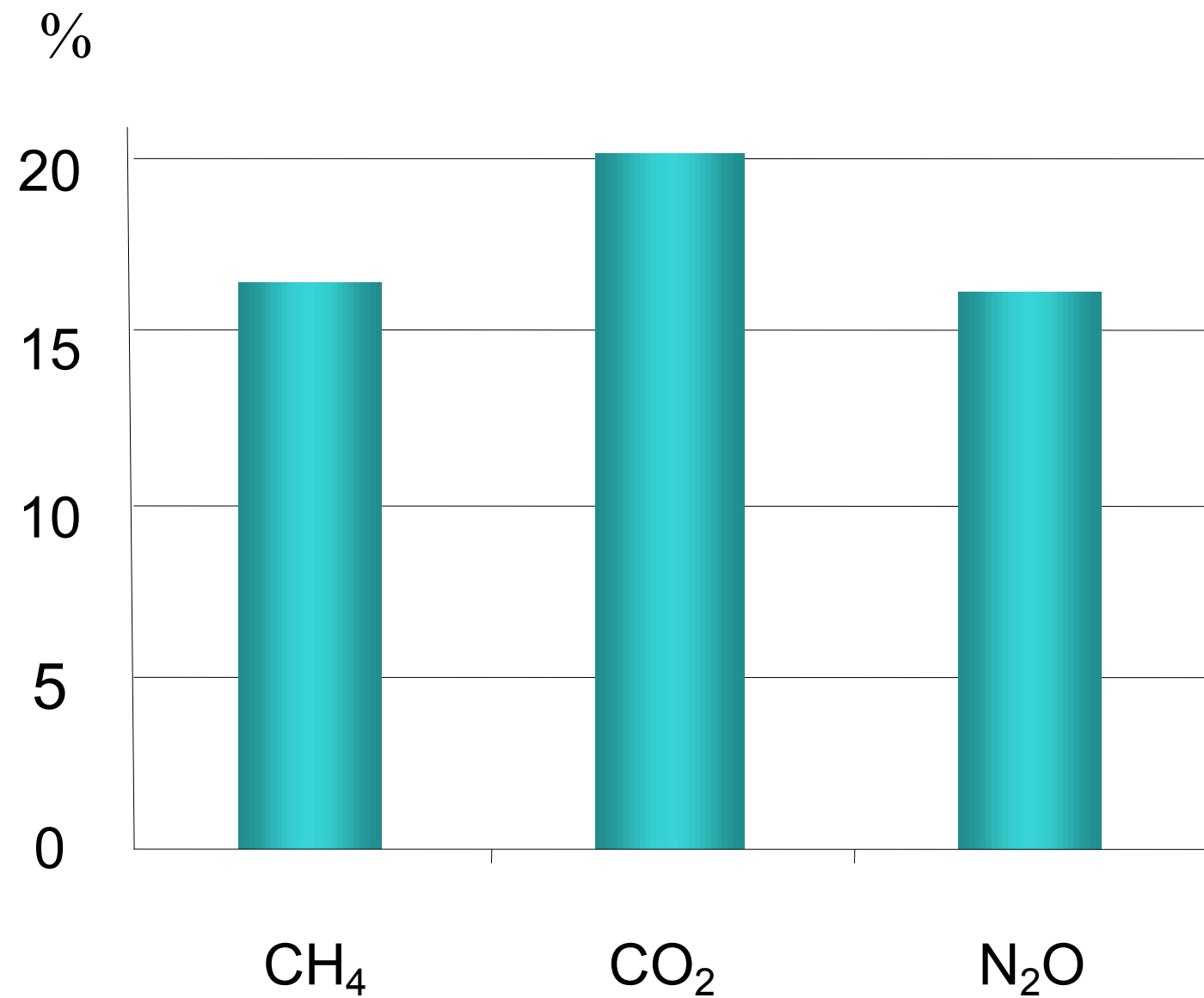
# Análise da Contribuição do Processo

- Contribuição do processo ou do fluxo  $k$  na categoria de impacto:

$$c_k = \frac{h_k}{h}$$



# Análise da Contribuição da Substância



# Interpretação: Avaliação

- Considerar o uso das técnicas:
  - verificação de completeza;
  - verificação de sensibilidade;
  - verificação de consistência
- Convém que os resultados da análise de incerteza e da análise da qualidade dos dados suplementem essas verificações.
- Convém que a avaliação leve em consideração o uso final pretendido para os resultados do estudo.

# Interpretação do Ciclo de Vida

## Avaliação

- Verificação de completeza
  - assegurar que todas as informações relevantes e os dados necessários para a interpretação estejam disponíveis e completos
- Exemplo (NBR ISO 14044:2009)

| Processo<br>elementar   | Opção A | Completo? | Ação<br>requerida    | Opção B | Completo? | Ação<br>requerida |
|-------------------------|---------|-----------|----------------------|---------|-----------|-------------------|
| Produção de material    | X       | Sim       |                      | X       | Sim       |                   |
| Fornecimento de energia | X       | Sim       |                      | X       | Não       | Recalcular        |
| Transporte              | X       | ?         | Verificar inventário | X       | Sim       |                   |
| Processamento           | X       | Não       | Verificar inventário | X       | Sim       |                   |
| Embalagem               | X       | Sim       |                      | -       | Não       | Comparar com A    |
| Uso                     | X       | ?         | Comparar com B       | X       | Sim       |                   |
| Fim da vida             | X       | ?         | Comparar com B       | X       | ?         | Comparar com A    |

X: dado disponível.  
-: dado não disponível.

# Interpretação do Ciclo de Vida

## Avaliação

- Verificação de sensibilidade

| <i>Dados de entrada do PAG/<br/>efeito</i>            | <b>Opção A</b> | <b>Opção B</b> | <b>Diferença</b> |
|-------------------------------------------------------|----------------|----------------|------------------|
| Pontuação para PAG <sub>100</sub> CO <sub>2</sub> -eq | 2 800          | 3 200          | 400              |
| Pontuação para PAG <sub>500</sub> CO <sub>2</sub> -eq | 3 600          | 3 400          | -200             |
| Desvio                                                | 800            | 200            | 600              |
| Desvio, %                                             | 28,6           | 6,25           | Significativo    |
| Sensibilidade, %                                      | 28,6           | 6,25           |                  |

# Interpretação do Ciclo de Vida

## Avaliação

- Verificação de consistência

| Verificação             | Opção A        |    | Opção B       |                                  | Comparar A e B? | Ação                                         |
|-------------------------|----------------|----|---------------|----------------------------------|-----------------|----------------------------------------------|
| Fonte dos dados         | Literatura     | OK | Primária      | OK                               | Consistente     | Nenhuma ação                                 |
| Exatidão dos dados      | Boa            | OK | Fraca         | Objetivo e escopo não alcançados | Não consistente | Revisar B                                    |
| Idade dos dados         | 2 anos         | OK | 3 anos        | OK                               | Consistente     | Nenhuma ação                                 |
| Abrangência tecnológica | Estado da arte | OK | Planta-piloto | OK                               | Não consistente | Nenhuma ação em função do objetivo do estudo |
| Abrangência temporal    | Recente        | OK | Em aplicação  | OK                               | Consistente     | Nenhuma ação                                 |
| Abrangência geográfica  | Europa         | OK | EUA           | OK                               | Consistente     | Nenhuma ação                                 |

# Interpretação: Conclusões, limitações e recomendações

- identificar as questões significativas;
- avaliar a metodologia e os resultados quanto à completeza, sensibilidade e consistência;
- esboçar conclusões preliminares e verificar se estas são consistentes com os requisitos do objetivo e escopo do estudo, incluindo, em particular, requisitos de qualidade dos dados, pressupostos e valores pré-definidos, limitações metodológicas e do estudo e requisitos voltados à aplicação;
- se as conclusões forem consistentes, reportá-las como conclusões finais; caso contrário, retornar aos passos anteriores a), b) ou c) conforme apropriado.

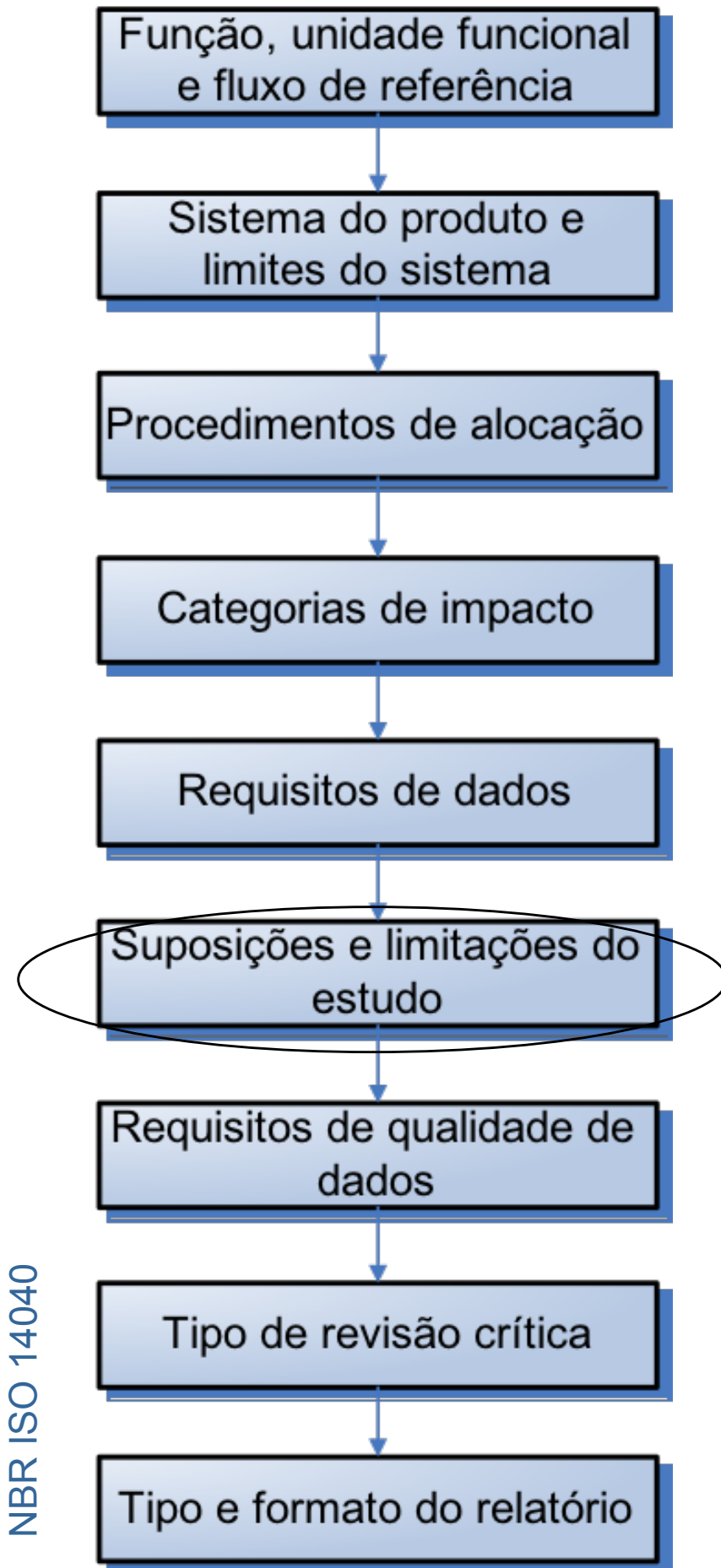
# Interpretação

- A avaliação e verificação de sensibilidade em relação às entradas, saídas e escolhas metodológicas significativas, visando ao entendimento da incerteza dos resultados
- Adequação das definições das funções do sistema, da unidade funcional e da fronteira do sistema;
- Limitações identificadas por meio da avaliação da qualidade dos dados e pela análise de sensibilidade.

# Definição do Objetivo e do Escopo

## Definição do Escopo

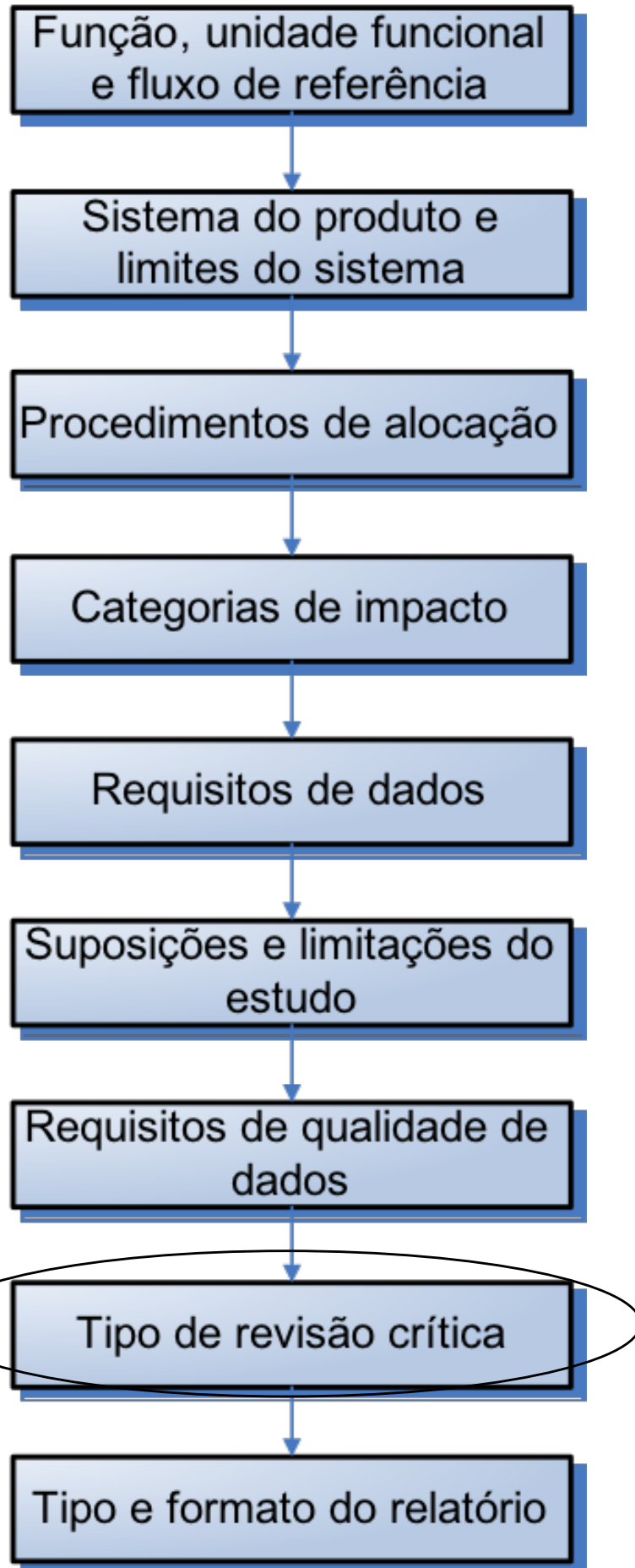
- Todas as suposições e limitações feitas devem constar do relatório final de uma ACV.
  - Exemplos:
    - Inclusão inicial de entradas e saídas
    - Uso de dados internacionais
    - Uso de balanço de massa
    - Modelo escolhido de AICV
    - Etc.



# Definição do Objetivo e do Escopo

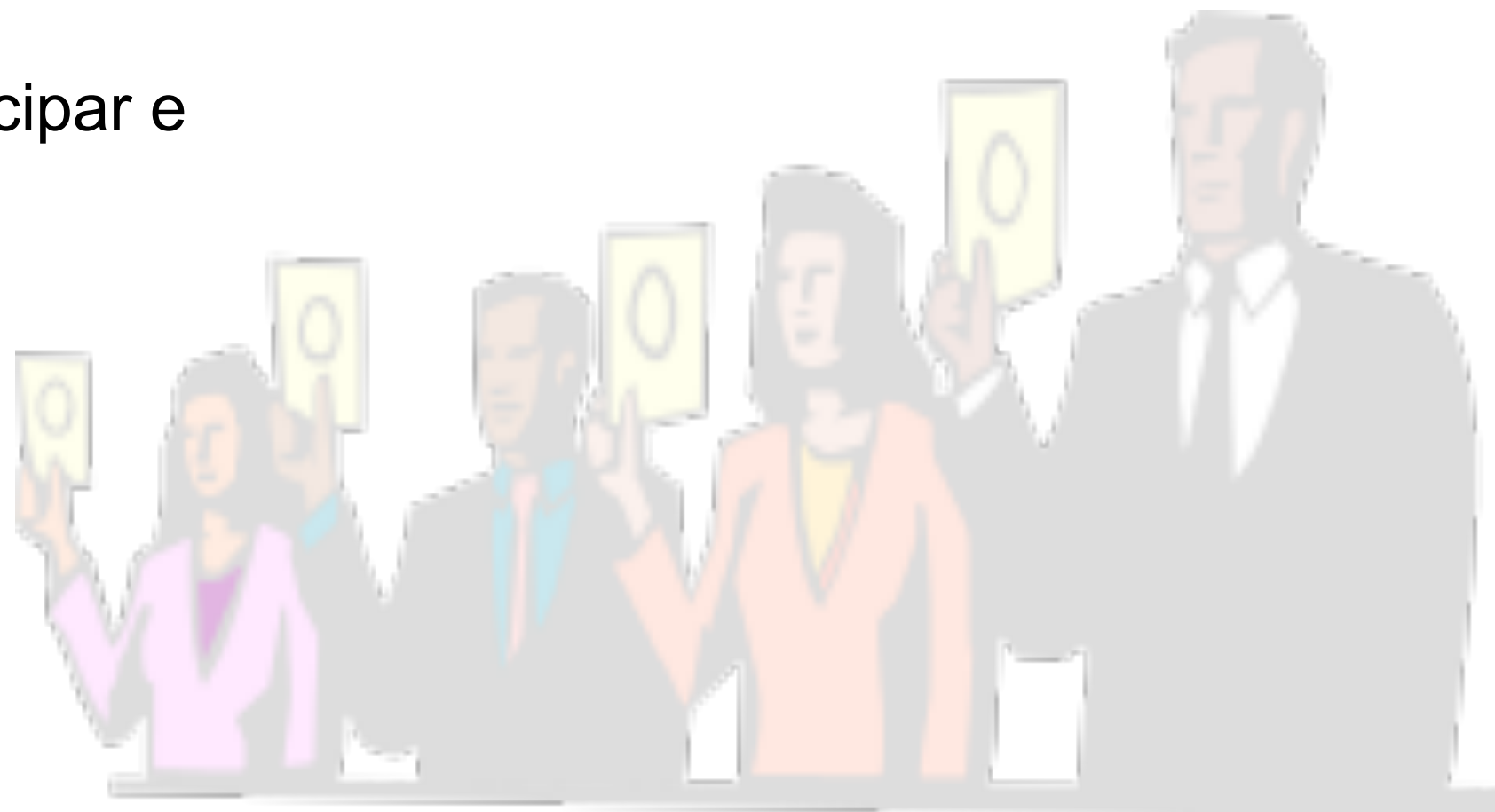
## Definição do Escopo

- A revisão crítica tem como objetivo dar confiabilidade dos resultados de uma ACV.
- Características avaliadas:
  - transparência,
  - compreensiva,
  - atende o escopo do estudo,
  - precisão.
- Tipos:
  - em uma etapa, ao final do estudo,
  - em três etapas, após a definição do objetivo e do escopo, a coleta de dados e as conclusões



Definição do Objetivo e do Escopo:  
Tipo de análise crítica, se aplicável:  
Grupo de revisores

- Formação
  - de 3 a 5 pessoas,
  - com conhecimento / experiência em ACV e o ponto abordado pelo estudo,
  - com vontade de participar e
  - idôneas



# Definição do Objetivo e do Escopo: Tipo de análise crítica Documentação do Peer Review

- Deve conter:
  - comentários dos revisores com as justificativas.
  - argumentos em relação a estes comentários, embora não seja necessário que conste do relatório final da ACV.
  - descrição do processo de revisão
  - descrição do grupo de revisores.



# Bibliografia

ABNT **NBR ISO 14040**. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura . 2009a.

ABNT **NBR ISO 14044**. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. 2009a.

Ugaya, C.M.L. Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos. Cap. 9. Eds. Adissi et al. **Gestão ambiental de unidades produtivas**. Ed. Elsevier. 2012.

UNEP and SETAC. **Towards a Life Cycle Sustainability Assessment**. 2011.

UNEP and SETAC. **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products**. Paris : UNEP, 2009 p. 103.

Weidema, Bo P. **Guidelines for critical review of product LCA**. Disponível em:

<http://www.lca-net.com/publ/critrev.asp>. 2004.

WRI



# OBRIGADA!

## **Contato**

Cássia Maria Lie Ugaya  
cassiaugaya@utfpr.edu.br  
Tel: +55 (41) 3310-4884