



Avaliação do Ciclo de Vida  
Aula 8 – Qualidade dos dados  
16 Dezembro 2022

# Análise de Qualidade dos Dados em ACV

## Tipos e fontes de incerteza em ACV

Incertezas de Parâmetro	Imprecisão de dados	os instrumentos utilizados para análise dos processos estudados podem gerar imprecisão nos resultados coletados.
	Falta de dados	para muitas das etapas e processos do sistema objeto do estudo de ACV ainda não existe conhecimento disponível, o que gera a falta de diversos dados necessários ao estudo.
	Lacuna de dados	pode ocorrer devido à uma descontinuidade do período de amostragem no qual são coletados os dados relevantes para o estudo de ACV; pode também surgir em resultado da perda ou eliminação de dados por algum motivo.
	Dados não representativos	dados que não representam completamente a realidade do estudo; ocorre quando, para preencher a falta/lacuna de dados, são utilizados: (i) dados de processos semelhantes; (ii) dados muito antigos; (iii) dados de origem geográfica diferente; dados referentes a uma tecnologia diferente da utilizada no sistema em análise.
Variabilidades	Variabilidade temporal	a utilização de dados mais recentes; dados relativos a períodos de tempo curtos (ex. < 3 anos) podem não refletir a variabilidade que caracteriza o sistema em estudo
	Variabilidade espacial	dados referentes a regiões diferentes das do estudo em questão podem possuir características diferentes, mesmo que para parâmetros iguais.
	Variabilidade tecnológica	relativa às tecnologias utilizadas no estudo e às diferenças no desempenho entre processos equivalentes ao do sistema estudado (p.ex: variações específicas em processos técnicos comparáveis).
Outras fontes de incerteza	Incerteza do modelo	Utilização de modelos não adequados que, por isso, podem não representar a realidade em estudo.
	Incerteza devido às escolhas	sempre que se lida com uma escolha, esta gera incerteza nos resultados finais (p. ex., escolha da unidade funcional, dos limites do sistema, dos métodos de avaliação de impacte, dos métodos de caracterização, ...)
	Incerteza subjetiva	(ou Epistemológica), é uma incerteza derivada de uma posição cultural face ao conhecimento e relacionada com aspectos relevantes ao sistema estudado, por exemplo, a previsão do seu comportamento ao longo do tempo ou a caracterização de impactos potenciais.
	Enganos	podem ocorrer em qualquer fase de uma ACV e este facto é gerador de incerteza.

# Análise de Qualidade dos Dados em ACV

**Table 1:** Point of introduction in the LCA of different types of uncertainty, and examples of possible sources. Based on Huijbregts (1998a)

Type	LCA phase				
	Goal and scope	Inventory	Choice of impact categories	Classification	Characterisation
Data inaccuracy		Inaccurate emission measurements			Uncertainty in life times of substances and relative contribution to impacts
Data gaps		Lack of inventory data			Lack of impact data
Unrepresentative data		Lack of representative inventory data			
Model uncertainty		Static instead of dynamic modelling. Linear instead of non-linear modelling			Static instead of dynamic modelling. Linear instead of non-linear modelling
Uncertainty due to choices	Choice of functional unit, system boundaries	Choice of allocation methods, technology level, marginal/average data	Leaving out known impact categories		Choice of characterisation methods
Spatial variability		Regional differences in emission inventories			Regional differences in environmental sensitivity
Temporal variability		Differences in yearly emission inventories			Choice of time horizon. Changes in environmental characteristics over time
Variability between objects/sources		Differences in performance between equivalent processes			Differences in environmental and human characteristics
Epistemological uncertainty	Ignorance about relevant aspects of studied system	Ignorance about modelled processes	Impact categories are not known	Contribution to impact category is not known	Characterisation factors are not known
Mistakes	Any	Any	Any	Any	Any
Estimation of uncertainty		Estimation of uncertainty of inventory parameters			Estimation of uncertainty of characterisation parameters

Fonte: AE Bjorklund, 2002

# Análise de Qualidade dos Dados em ACV

**Table 3:** Overview of tools available to address (reduce and/or illustrate) different types of uncertainty in LCA. Based on Huijbregts (1998a)

	Data Inaccuracy	Data gaps	Unrepresentative data	Model uncertainty	Uncertainty due to choices	Spatial variability	Temporal variability	Variability in objects/sources	Epistemological uncertainty	Mistakes	Estimation of uncertainty
Standardisation					x					x	
Data bases		x	x								x
Data quality goals	x		x								
Data quality indicators	x		x								
Validation of data										x	
Parameter estimation		x									
Additional measurements	x	x	x					x			
Higher resolution models				x		x	x				
Critical review		x	x		x				x	x	x
Sensitivity analysis	x		x	x	x	x	x	x			
Uncertainty importance analysis	x		x	x	x	x	x	x			
Classical statistical analysis	x					x	x	x			
Bayesian statistical analysis	x					x	x	x			
Interval arithmetic	x										
Vague error intervals	x										
Probabilistic simulation	x							x			
Scenario modelling			x	x	x	x	x	x			
Rules of thumb	x										

Fonte: AE Bjorklund, 2002



# Indicadores de Qualidade dos Dados

## Matriz de Pedigree

Em 1996, Weidema & Wesnaes definiram um conjunto de cinco indicadores para analisar a qualidade dos dados coletados para uso num estudo de ACV, concretamente para avaliar a relação entre metas de qualidade de dados especificadas e a atual qualidade dos dados coletados.

Althus (2004) incluiu um sexto indicador, pelo que o método engloba agora seis indicadores:

- Confiabilidade (Cf)
- Completude (Cp)
- Dimensão da amostra (D)
- Representatividade temporal (TiR)
- Representatividade geográfica (GR)
- Representatividade tecnológica (TeR)

**Matriz de Pedigree** é uma metodologia de abordagem *pós-normal* para atribuir incerteza a informação qualitativa (ver documentos de apoio [NUSAP Pedigree Matrix.pdf](#) e [Transdisciplinaridade e Ciência Pós-Normal 2022.pdf](#) sobre a origem da abordagem e o seu enquadramento)

A escolha do termo Pedigree advem do facto dos indicadores de qualidade dos dados se referirem à história ou origem dos dados, como uma tabela genealógica relata o pedigree de um indivíduo.



# Indicadores de Qualidade dos Dados

## Matriz de Pedigree

### Confiabilidade

Relaciona os métodos de aquisição e os procedimentos de verificação, que foram utilizados para obtenção dos dados relevantes ao estudo. A verificação aborda, por exemplo, limites físicos, balanço de massa e/ou energia, número de repetições, comparações com valores anteriores ou outros dados, e revisão por outra pessoa que o responsável pela aquisição dos dados.

### Completude

Descreve se existem falhas e/ou lacunas de dados e o quanto do domínio “natural” das variáveis em estudo é representado nos dados da amostra.

### Número de Amostras

Representa a quantidade de amostras feitas para um determinado ponto inventariado. Quanto maior o número de dados coletados menor a probabilidade de variações aleatórias influenciarem os resultados.



# Indicadores de Qualidade dos Dados

## Matriz de Pedigree

### Correlação Temporal

Expressa o grau de relação entre o ano do estudo de ACV (tal como declarado na definição de âmbito) e o ano de obtenção dos dados utilizados.

### Correlação Geográfica

Expressa o grau de relação entre as condições de produção na área relevante para o estudo (como declarado na definição de âmbito) e as da área geográfica a que se reportam os dados obtidos.

### Correlação Tecnológica

Aborda aspectos de correlação específicos de empreendimentos, processos ou materiais relevantes aos dados obtidos, em relação ao nível tecnológico sob estudo.

# Indicadores de Qualidade dos Dados

## Matriz de Pedigree

Os **seis indicadores de qualidade de dados** são expostos numa **matriz de qualidade de dados**. Cada indicador recebe uma **avaliação de 1 a 5**, sendo que **1** representa o **melhor** grau de qualidade do indicador e **5** o **pioor** caso encontrado.

Indicador	Pontuação do Indicador				
	1	2	3	4	5
Confiabilidade (Cf)	Dados verificados (a) baseados em medições (b)	Dados verificados parcialmente baseados em estimativas ou dados não verificados baseados em medidas	Dados não verificados parcialmente baseados em estimativas qualificadas ou informações teóricas	Estimativa qualificada (p.ex. perito industrial); dados derivados de informação teórica	Estimativa não qualificada
Compleitude (Cp)	Dados representativos de todos os locais relevantes para o aspecto e com período adequado para compensar flutuações normais	Dados representativos de > 50% dos locais relevantes para o aspecto considerados com períodos adequados para compensar flutuações normais	Dados representativos de apenas alguns locais (<< 50%) relevantes para o aspecto considerado ou > 50% dos locais mas apenas por períodos curtos	Dados representativos de apenas um local relevante para o aspecto considerado ou de alguns locais mas por períodos curtos	Representatividade desconhecida ou dados de um pequeno número de locais e referentes a períodos curtos
Dimensão da amostra (D)	> 100, medições contínuas	>20	>10	≥ 3	Desconhecido
Representatividade temporal (TiR)	< 3 anos de diferença em relação ao ano do estudo de ACV	< 6 anos de diferença	< 10 anos de diferença	< 15 anos de diferença	Data desconhecida ou > 15 anos de diferença em relação ao ano do estudo de ACV
Representatividade geográfica (GR)	Dados da área em estudo	Dados médios da grande área na qual a área sob estudo está incluída	Dados de uma área menor que área do estudo, ou de área semelhante em termos de condições de produção	Dados de uma área vagamente semelhante em termos de condições de produção	Dados de área desconhecida ou área com muito diferente em termos de condições de produção
Representatividade tecnológica (TeR)	Dados das empresas, processos e materiais em estudo	Dados de processos ou materiais em estudo (i.e. usando a mesma tecnologia) mas referentes a empresas diferentes	Dados de processos ou materiais em estudo usando: a mesma tecnologia mas em escala laboratorial; ou utilizando tecnologia diferente.	Dados de processos ou materiais semelhantes aos em estudo	Dados de processos ou materiais relacionados, mas em escalala laboratorial ou de diferente tecnologia

(a) - Verificação pode ser feita de diversas maneiras, p.ex através de: verificação *in-loco*; verificação dos cálculos; balanço de massa e/ou energia; verificação cruzada com outras fontes.

(b) - Inclui dados calculados (ex: emissões calculadas referentes ao processo) quando a base para o cálculo é obtida por medição. Se o cálculo é baseado parcialmente de pressupostos, a pontuação deve ser 2 ou 3.



# Indicadores de Qualidade dos Dados

## Matriz de Pedigree

### Avaliação da qualidade do conjunto de dados

A qualidade do conjunto de dados, utilizados para a criação do inventário do ciclo de vida (ICV) pode ser avaliada em acordo com as recomendações expressas no *ILCD Handbook - Specific guide for Life Cycle Inventory data sets* (EC/JRC/IES, 2010).

$$DQR = \frac{TeR + GR + TiR + C + P + M + X_w * 4}{i + 4}$$

em que

$X_w$  - maior pontuação registada entre os 6 indicadores considerados

$i$  - número de critérios considerados (*i.e.* cuja pontuação é diferente de zero)

O nível global de qualidade de um conjunto de dados é atribuído em função da pontuação global de qualidade de dados alcançada, de acordo com a seguinte correspondência

Pontuação global da qualidade dos dados (DQR)	Qualidade global dos dados (GQ)
< 1.6	“Qualidade elevada” (Eq)
>1.6 a >=3	“Qualidade básica” (Bq)
>3 a <= 4	“Estimativa de dados” (dE)

# ACV - Indicadores de Qualidade dos Dados

Valores dos indicadores de qualidade de dados, pontuação e qualidade global registados para as diversas categorias de dados integrados no inventário do ciclo de vida da manga na Guiné Bissau

Categoria de dados	TeR	GR	TiR	C	P	M	Pontuação (DQR)	Qualidade global (GQ)
<i>1. Pomar – fase de estabelecimento</i>								
Água de irrigação	1	2	1	2	3	3	2.4	Bq
Fertilizante orgânico	1	1	1	2	4	3	2.8	Bq
Taxa de mortalidade das árvores	2	1	1	2	4	2	2.8	Bq
<i>2. Pomar - fase de produção</i>								
Monitorização da mosca da fruta	1	1	1	3	5	4	3.3	dE
Perdas de fruto pré-colheita	3	1	1	3	4	2	3.0	Bq
<i>3. Colheita / Transporte</i>								
Transporte por camião para Bissau	3	1	1	3	3	3	2.6	Bq
Transporte por camião para Ziguinchor (Senegal)	3	3	1	3	3	3	2.8	Bq
Perdas de fruto	3	1	1	3	4	2	3.2	dE
<i>4. Amadurecimento forçado</i>								
Método do carbureto de cálcio	1	2	1	4	5	4	3.7	dE

# ACV - Indicadores de Qualidade dos Dados

TABELA 15. DADOS DO PROCESSO DE INJEÇÃO PARA PRODUÇÃO DO COPO REUTILIZÁVEL DE PP

ENTRADAS				
<b>1. Entradas de material</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Matriz de Pedigree</b>	<b>Qualidade</b>
Polipropileno	kg	1,01E+00	(3,4,5,5,5)	Baixa
<b>2. Processo</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Matriz de Pedigree</b>	<b>Qualidade</b>
Processo de injeção de plástico	kg	1,01E+00	(3,4,5,5,5)	Baixa
<b>3. Transporte</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Matriz de Pedigree</b>	<b>Qualidade</b>
Transporte PP	kgkm	1,17E+03	(3,4,1,3,4)	média
SAÍDAS				
<b>4. Saídas de produtos</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Matriz de Pedigree</b>	<b>Qualidade</b>
Copo de PP de 200 ml	kg	1,00E+00		
<b>5. Resíduos sólidos</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Matriz de Pedigree</b>	<b>Qualidade</b>
Resíduos plásticos PP	kg	6,00E-03	(3,4,1,3,4)	Média

TABELA 9. DADOS DO PROCESSO DE RECICLAGEM DO COPO DESCARTÁVEL DE PP

ENTRADAS				
<b>1. Entradas de material</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Matriz de Pedigree</b>	<b>Qualidade</b>
Copo de PP pós-uso	kg	1,00E+00		
<b>2. Energia</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Matriz de Pedigree</b>	<b>Qualidade</b>
Energia da rede elétrica	kWh	6,00E-01	(3,5,1,5,3)	Média
SAÍDAS				
<b>3. Saídas de produtos</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Matriz de Pedigree</b>	<b>Qualidade</b>
PP reciclado (como produto evitado)	kg	9,94E-01	(4,1,1,1,1)	Alta
<b>4. Tratamento de resíduos</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Matriz de Pedigree</b>	<b>Qualidade</b>
Lixão	kg	1,06E-03	(4,1,1,1,1)	Alta
Aterro controlado	kg	1,45E-03	(4,1,1,1,1)	Alta
Aterro sanitário	kg	3,49E-03	(4,1,1,1,1)	Alta

Valores dos indicadores de qualidade de dados e qualidade global registados para diversas categorias de dados integrados no inventário do ciclo de vida de copos de plástico de polipropileno (PP) de 200 ml

TABELA 40. DADOS DO PROCESSO DE LAVAGEM CONSIDERANDO 40 COPOS

ENTRADAS				
<b>1. Entradas de material</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Matriz de Pedigree</b>	<b>Qualidade</b>
Água	kg	3,80E-01	(1,5,1,1,1)	Alta
Sabão	kg	4,90E-04	(1,5,1,1,1)	Alta
<b>2. Entrada de energia</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Matriz de Pedigree</b>	<b>Qualidade</b>
Energia da rede elétrica	kWh	1,95E-02	(1,5,1,1,1)	Alta
<b>3. Transporte</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Matriz de Pedigree</b>	<b>Qualidade</b>
Transporte sabão	kgkm	7,35E-02	(3,4,1,3,4)	Média
SAÍDAS				
<b>4. Saídas de produtos</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Matriz de Pedigree</b>	<b>Qualidade</b>
1 copo lavado	unidade	1,00E+00	(1,5,1,1,1)	Alta
<b>5. Efluentes</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Matriz de Pedigree</b>	<b>Qualidade</b>
Efluente	l	3,80E-01	(1,5,1,1,1)	Alta

De notar que o indicador “dimensão da amostra” não foi considerado

# Indicadores de Qualidade dos Dados

## Matriz de Pedigree

### Avaliação da qualidade do conjunto de dados

A qualidade do conjunto de dados, utilizados para a criação do inventário do ciclo de vida (ICV) pode ser avaliada em acordo com as recomendações expressas no *ILCD Handbook - Specific guide for Life Cycle Inventory data sets* (EC/JRC/IES, 2010).

$$DQR = \frac{TeR + GR + TiR + C + P + M + X_w * 4}{i + 4}$$

em que

$X_w$  - maior pontuação registada entre os 6 indicadores considerados

$i$  - número de critérios considerados (*i.e.* cuja pontuação é diferente de zero)

O nível global de qualidade de um conjunto de dados é atribuído em função da pontuação global de qualidade de dados alcançada, de acordo com a seguinte correspondência

Pontuação global da qualidade dos dados (DQR)	Qualidade global dos dados (GQ)
< 1.6	“Qualidade elevada” (Eq)
>1.6 a >=3	“Qualidade básica” (Bq)
>3 a <= 4	“Estimativa de dados” (dE)



# ACV – Análise de Incerteza

## Matriz de Pedigree

a **abordagem de pedigree** permite considerar os dois elementos que afetam a incerteza do parâmetro:

- **imprecisão dos dados** (através da **incerteza básica**) e
- **falta de dados representativos** (através da **incerteza adicional**)



# ACV – Análise de Incerteza

## Incerteza adicional

**Fatores de incerteza** (expressos como variâncias das distribuições normais subjacentes) usados para converter os indicadores de qualidade de dados da matriz de pedigree em **incerteza adicional**

Indicator score	1	2	3	4	5
Reliability	0.000	0.0006	0.002	0.008	0.04
Completeness	0.000	0.0001	0.0006	0.002	0.008
Temporal correlation	0.000	0.0002	0.002	0.008	0.04
Geographical correlation	0.000	2.5e-5	0.0001	0.0006	0.002
Further technological correlation	0.000	0.0006	0.008	0.04	0.12

De notar que o indicador “dimensão da amostra” não é aqui considerado

# ACV – Análise de Incerteza

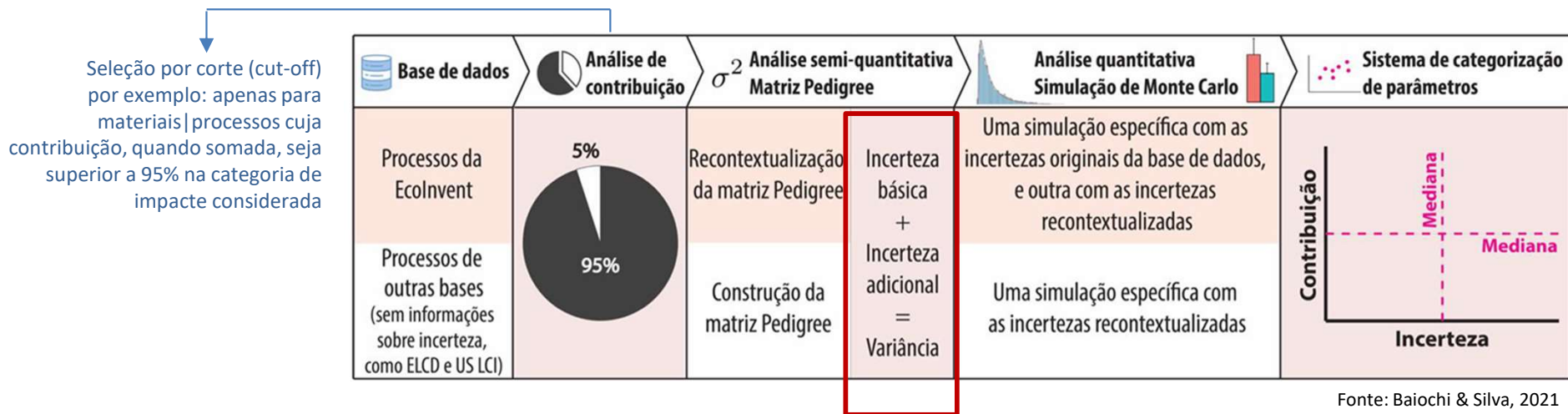
## Incerteza básica padrão

- Usada sempre que não há disponibilidade de dados obtidos por processo de amostragem.
- Pode ser expressa como variância  $\sigma$  dos dados logtransformados, ou seja, a distribuição normal subjacente aplicada a trocas intermédias e elementares; **c** - emissões de combustão; **p** - emissões de processo; **a** - emissões agrícolas

input / output group	c	p	a	input / output group	c	p	a
<b>demand of:</b>				<b>pollutants emitted to air:</b>			
thermal energy, electricity, semi-finished products, working material, waste treatment services	0.0006	0.0006	0.0006	CO <sub>2</sub>	0.0006	0.0006	
transport services (tkm)	0.12	0.12	0.12	SO <sub>2</sub>	0.0006		
Infrastructure	0.3	0.3	0.3	NMVOC total	0.04		
<b>resources:</b>				NO <sub>x</sub> , N <sub>2</sub> O	0.04		0.03
Primary energy carriers, metals, salts	0.0006	0.0006	0.0006	CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub>	0.04		0.008
Land use, occupation	0.04	0.04	0.002	Individual hydrocarbons	0.04	0.12	
Land use, transformation	0.12	0.12	0.008	PM>10	0.04	0.04	
<b>pollutants emitted to water:</b>				PM10	0.12	0.12	
BOD, COD, DOC, TOC, inorganic compounds (NH <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , Cl, Na etc.)		0.04		PM2.5	0.3	0.3	
Individual hydrocarbons, PAH		0.3		Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)	0.3		
Heavy metals		0.65	0.09	CO, heavy metals	0.65		
Pesticides			0.04	Inorganic emissions, others		0.04	
NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub>			0.04	Radionuclides (e.g., Radon-222)		0.3	
<b>pollutants emitted to soil:</b>							
Oil, hydrocarbon total		0.04					
Heavy metals		0.04	0.04				
Pesticides			0.033				

# ACV – Análise de Incerteza

## Sequência da análise das incertezas de um parâmetro



Como cada distribuição normal é considerada independente, ou seja, sua covariância é zero, a **variância** da distribuição **final** somada é:

$$\sigma^2(X+Y) = \sigma^2(X) + \sigma^2(Y) + 2\text{cov}(X, Y)$$

$$\sigma^2 = \sum_{n=1}^6 \sigma^2_n$$

sendo

$\sigma_1$  = incerteza básica (variância medida ou estimada de acordo com a tabela apresentada no slide anterior)

$\sigma_2$  = fator de incerteza (variância) da distribuição do indicador Confiabilidade

$\sigma_3$  = fator de incerteza (variância) da distribuição do indicador Completude

$\sigma_4$  = fator de incerteza (variância) da distribuição do indicador Correlação Temporal

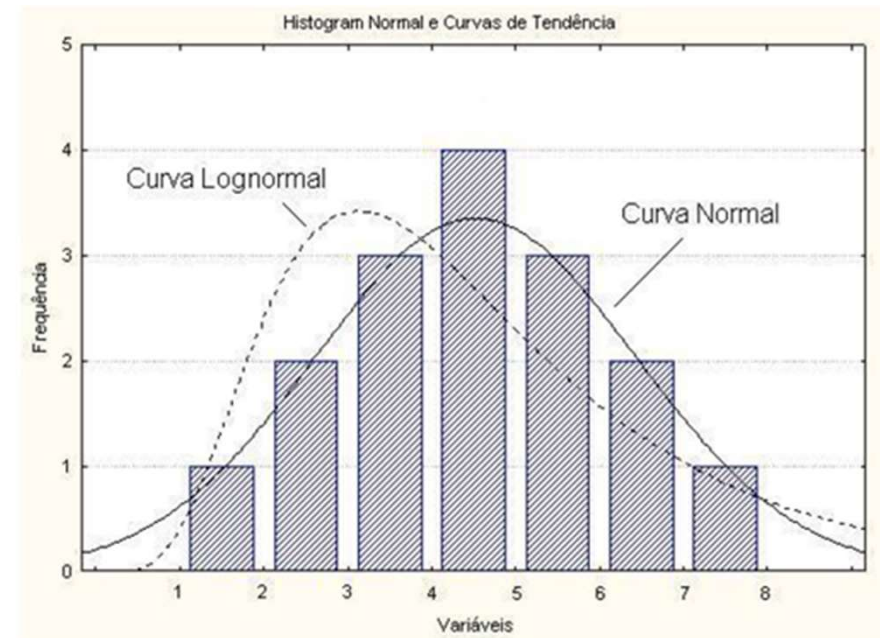
$\sigma_5$  = fator de incerteza (variância) da distribuição do indicador Correlação Geográfica

$\sigma_6$  = fator de incerteza (variância) da distribuição do indicador Tecnológica

# ACV – Análise de Incerteza

## Modelos estatísticos de distribuição de incerteza

1. Quando x e y podem conceptualmente assumir apenas valores positivos, suas distribuições não podem ser normais e podem ser **lognormais**.
2. Quando o ajustamento de uma distribuição normal produz um desvio padrão maior que a 0,5 da **média**, deve-se descartar o modelo normal e tentar um ajuste **lognormal**.
3. As **médias geométricas** costumam ser mais significativas do que as médias aritméticas, porque estão mais próximas da figura central (**mediana**).



# ACV – Análise de Incerteza

## Modelos estatísticos de distribuição de incerteza

Name of the distribution	Parameters	Deterministic value	PDF	How to link the coefficient of variation (CV) with the parameters
Lognormal	$\mu_g$ : geometric mean $\sigma_g$ : geometric standard deviation	Median: $\mu_g$	$f(x, \mu_g, \sigma_g) = \frac{\exp\left(\frac{-(\ln x - \ln \mu_g)^2}{2 \ln^2 \sigma_g}\right)}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_g}$	$CV = \sqrt{\exp(\ln^2 \sigma_g) - 1}$
Normal	$\mu$ : arithmetical mean $\sigma$ : arithmetical standard deviation	Mean: $\mu$	$f(x, \mu, \sigma) = \frac{\exp\left(\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)}{\sigma\sqrt{2\pi}}$	$CV = \frac{\sigma}{\mu}$
Uniform	$a$ : minimum of the distribution $b$ : maximum of the distribution	Mean 0.5 ( $a+b$ )	$f(x, a, b) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{for } a < x < b \\ f(x, a, b) = 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	$CV = \frac{b-a}{\sqrt{3(b+a)}}$
Triangular	$a$ : minimum of the distribution $b$ : maximum of the distribution $c$ : most likely value of the distribution	Most likely value: $c$	$f(x, a, b, c) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & \text{for } a < x < c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} & \text{for } c < x < b \\ f(x, a, b, c) = 0 & \text{otherwise} \end{cases}$	$CV = \frac{\sqrt{a^2+b^2+c^2-ab-ac-cb}}{\sqrt{2(a+b+c)}}$
Beta PERT	$a$ : minimum of the distribution $b$ : maximum of the distribution $c$ : most likely value of the distribution $\alpha = 6\frac{\mu-a}{b-a}$ and $\beta = 6\frac{b-\mu}{b-a}$ and $\mu = \frac{a+4c+b}{6}$	Most likely value: $c$	$f(x, a, b) = \frac{(x-a)^{\alpha-1} (b-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)(b-a)^{\alpha+\beta-1}}$	$CV = \frac{b-a}{a+4c+b}$
Gamma	$k$ : shape parameter $\lambda$ : scale parameter	Most likely value: $\lambda$ ( $k-1$ )	$f(x, k, \lambda) = \frac{x^{k-1} \exp(-x/\lambda)}{\Gamma(k)\lambda^k}$	$CV = \frac{1}{\sqrt{k}}$
Binomial	$k$ : number of successes $n$ : number of trials $p$ : probability of success		$f(k, n, p) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}$	$CV = \sqrt{\frac{1-p}{np}}$



# ACV – Análise de Incerteza

## Exercício

Composto emitido (fluxo elementar)	Incerteza básica	Matriz <i>Pedigree</i> estimada	Incerteza adicional	Variância			
Estrutura metálica (ELCD v.3.2)							
Dióxido de carbono		1 3 5 5 4					
Metano		1 3 5 5 4					
Chapas de aço galvanizadas (US LCI v.1.6)							
Dióxido de carbono, biogênico		5 5 5 5 4					
Dióxido de carbono, fóssil		5 5 5 5 4					
Chapas de aço enroladas a quente (ELCD v.3.2)							
Dióxido de carbono, fóssil		1 3 5 5 4					
Metano		1 3 5 5 4					
Vergalhão de aço CA50 (ELCD v.3.2)							
Dióxido de carbono		1 3 5 5 4					
Metano	1 3 5 5 4						

Fonte: os autores.



# ACV – Análise de Incerteza

## Conceito

- Procedimento sistemático para quantificar a incerteza introduzida nos resultados do ACV pelos efeitos cumulativos da imprecisão dos modelos, incerteza das entradas e variabilidade dos dados.

## Método de análise

O método de **Simulação de Monte Carlo** é o método mais utilizado.

- técnica de amostragem artificial, utilizado como forma de obter aproximações numéricas de funções complexas em que não é viável, ou é mesmo impossível, obter uma solução analítica ou, pelo menos, determinística.
- as bases para a aplicação da Simulação de Monte Carlo no cálculo da incerteza consistem na seleção aleatória de um número numa distribuição de possíveis valores, para um parâmetro de entrada, e repetir o procedimento para os restantes parâmetros.
- cada valor obtido aleatoriamente é considerado no modelo matemático da medição e um resultado é, então, obtido como estimativa do parâmetro. Este passo é repetido **n** vezes, de forma independente, a fim de avaliar a função densidade de probabilidade (pdf) associada
- Nos moldes sugeridos pela EcoInvent, assume-se que as incertezas de cada parâmetro seguem uma distribuição log-normal – aquela na qual o logaritmo dos valores assume uma distribuição normal (Weidema et al., 2013). De acordo com as recomendações de boas práticas,  $n = 10.000$  iterações e o intervalo de confiança é de 95% para as simulações.

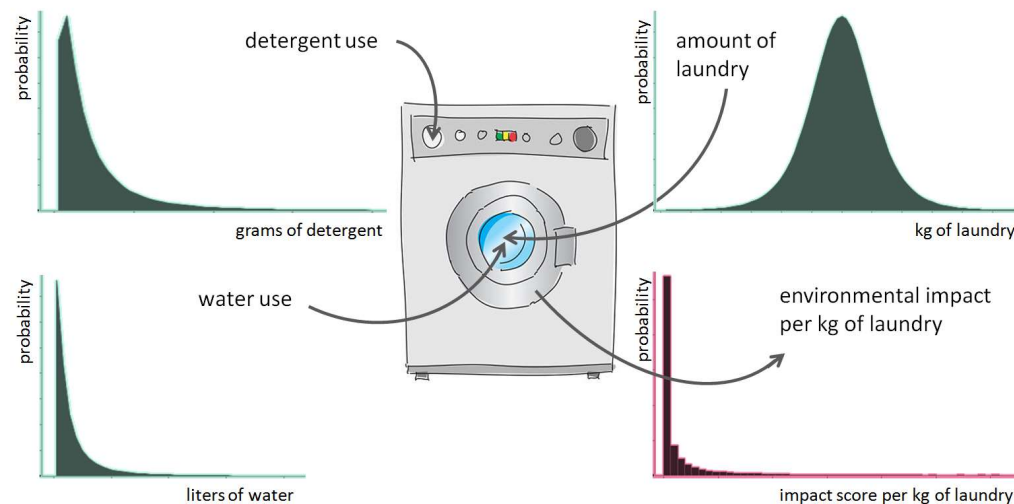
# ACV – Análise de Incerteza

## Método de Monte Carlo

ACV de uma classe de máquina de lavar em que a unidade funcional é 1 kg de roupa lavada na máquina.

Considerando como uma máquina de lavar será provavelmente usada:

- a quantidade de roupa que é colocada na máquina provavelmente não é exatamente a mesma em cada ciclo de lavagem. Verifica-se que a quantidade de roupa por ciclo pode ser descrita por uma distribuição normal em torno de uma média de 7 kg.
- a quantidade de detergente usado depende do julgamento da quantidade de roupa e quão suja ela está; como normalmente se opta por usar o mínimo possível, mas ocasionalmente terá de se utilizar doses mais elevadas, considera-se isso uma distribuição log-normal.



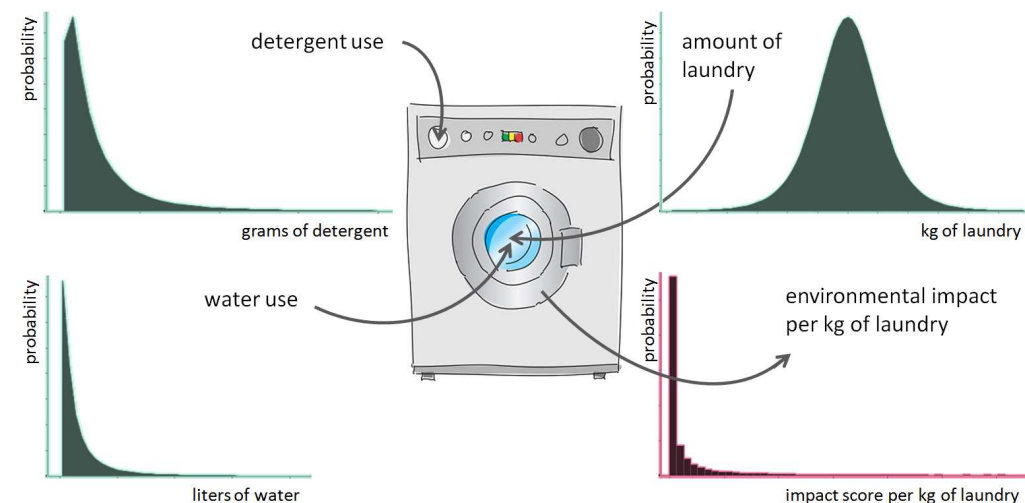
# ACV – Análise de Incerteza

## Método de Monte Carlo

ACV de uma classe de máquina de lavar em que a unidade funcional é 1 kg de roupa lavada na máquina.

Considerando como uma máquina de lavar será provavelmente usada:

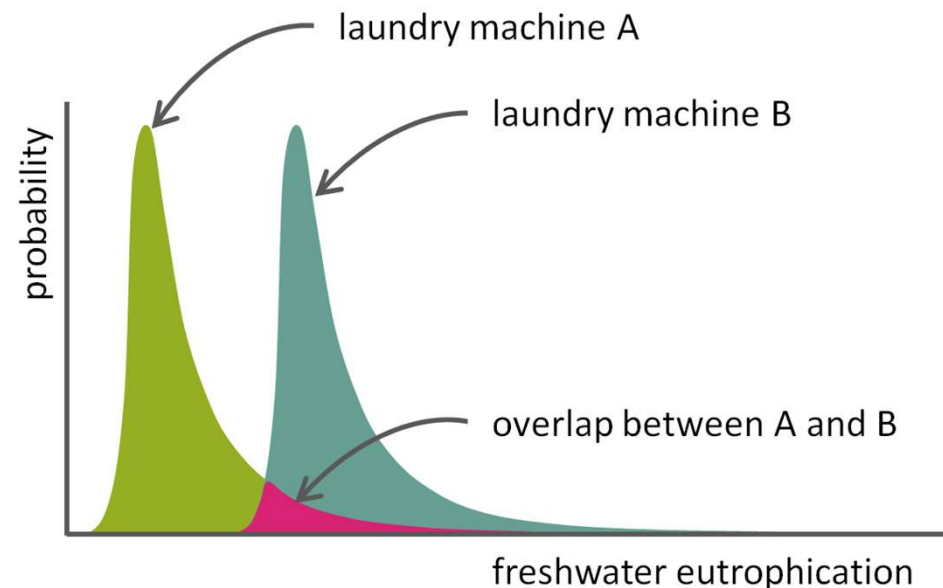
- existem muitas outras variáveis que também têm um certo grau de incerteza associada (por exemplo, o uso de água, eletricidade ou amaciante para a roupa), e podemos atribuir um tipo de distribuição para cada uma delas.
- ao executar uma simulação de Monte Carlo neste modelo, o software seleciona em cada iteração um valor aleatório de cada distribuição de incerteza atribuída
- para cada categoria de impacto, o valor calculado por kg de roupa varia entre iterações e, estes valores em conjunto, formam uma distribuição da incerteza associada ao impacto em causa.



# ACV – Análise de Incerteza

## Método de Monte Carlo

Num estudo de ACV em que se comparam duas classes de máquinas de lavar, as distribuições de incerteza dos resultados do ACV podem-se sobrepor.



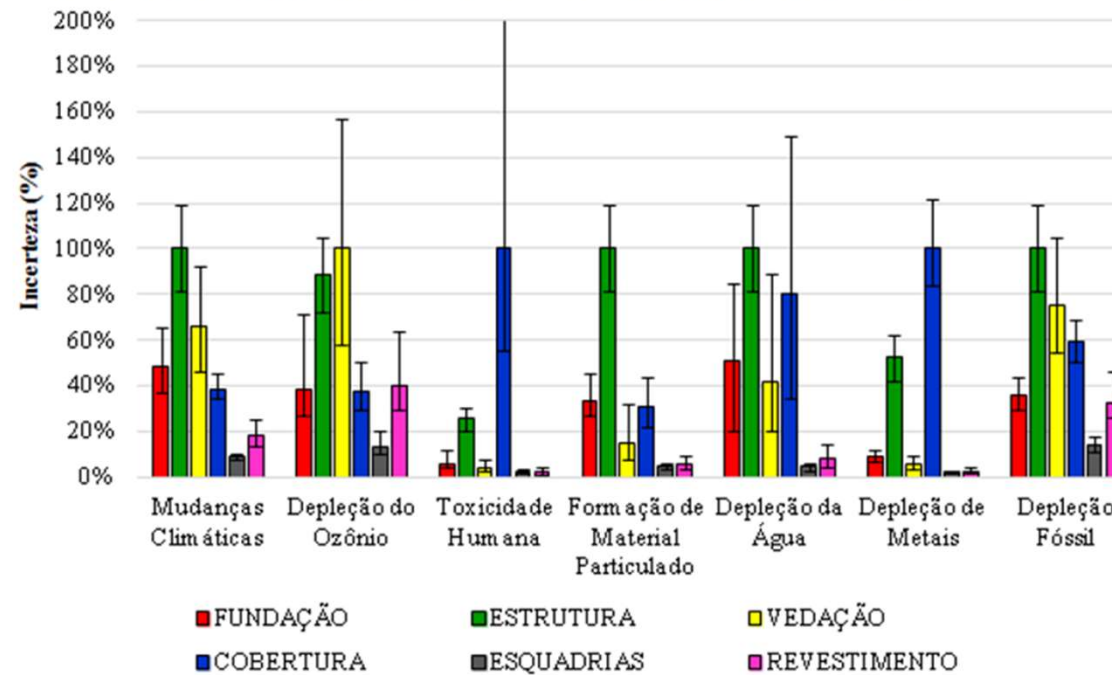
A área a rosa representa a sobreposição entre as duas distribuições de incerteza log-normal para a categoria de impacto Eutrofização de Água Doce.



# ACV – Análise de Incerteza

Exemplo - ACV de um edifício escolar na região Centro-Oeste do Brasil

Análise de incerteza em que o coeficiente de variação foi estimado utilizando a combinação Matriz Pedigree com a simulação Monte Carlo (1.000 interações; 95% de confiança)



Fonte: Medeiros (2016).

# ACV – Análise de Sensibilidade

## Conceito

Procedimento sistemático para estimar os efeitos das escolhas realizadas em termos de métodos e de dados nos resultados do estudo

**Exemplo:** ACV da produção de baunilha na Papua Nova Guiné

*Table 5-6 Sensitivity analysis of the vanilla value chain LCA model for travel distances*

Damage category	Unit	Base Model	Distance			
			-20%	-10%	+10%	+20%
Human health	DALY	9,512E-04	-1,5%	-0,8%	0,8%	1,5%
Ecosystems	species.yr	9,444E-06	-0,5%	-0,2%	0,2%	0,5%
Resources	USD2013	8,193E+00	-19,7%	-9,9%	9,9%	19,7%

# ACV – Análise de Sensibilidade

**Exemplo:** ACV da produção de baunilha na Papua Nova Guiné

*Table 5-5 Sensitivity analysis of the vanilla value chain LCA model for different land use change scenarios (see text for explanation)*

CO2 emission Scenarios	Unit	CTL_2 (Base model)	CTL_00	CTL_0	CTL_1	CTL_3	CTL_4	CTL_5
CO2 emissions	t CO2 eq /ha	32,79	7,44	12,82	29,36	38,21	42,66	47,65

Damage category	Unit	CTL_2 (Base model)	CTL_00	CTL_0	CTL_1	CTL_3	CTL_4	CTL_5
Human health	DALY	9,51E-04	-71,1%	-56,0%	-9,6%	15,2%	27,7%	41,7%
Ecosystems	species.yr	9,44E-06	-21,6%	-17,0%	-2,9%	4,6%	8,4%	12,7%
Resources	USD2013	8,19E+00	0%	0%	0%	0%	0%	0%

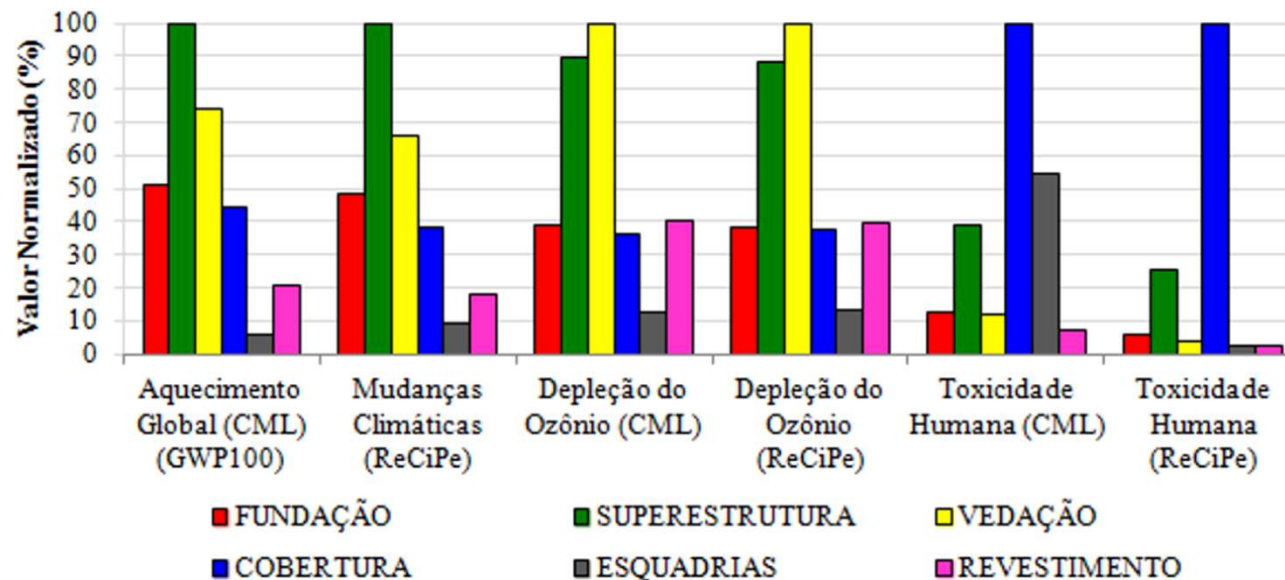
  

Impact category	Unit	CTL_2 (Base model)	CTL_00	CTL_0	CTL_1	CTL_3	CTL_4	CTL_5
Global warming, Human health	DALY	9,32E-04						
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	2,81E-06	-72,6%	-57,2%	-9,8%	15,5%	28,3%	42,5%
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	7,68E-11						

# ACV – Análise de Sensibilidade

**Exemplo:** ACV de um edifício escolar na região Centro-Oeste do Brasil

Análise de sensibilidade entre os métodos ReCiPe e CML 2 Baseline (unidade funcional de 1,0 m<sup>2</sup> de área construída)



Fonte: Medeiros (2016).



Avaliação do Ciclo de Vida  
Aula 8 – Qualidade dos dados  
16 Dezembro 2022