

Análise de Ciclo de Vida de produtos ou serviços

Sandra Caeiro



Sandra Caeiro, 2015

Índice



1. Definições

Exemplo de uma ciclo de vida de um produto
Evolução do produto
Análise energética

2. ACV – utilizações potenciais

3. ACV Normas ISO

4. ACV – principais etapas

Objectivo e Âmbito

Inventário

Avaliação

Caracterização

Normalização

Avaliação

5. ACV – revisão crítica

6. ACV - relatório

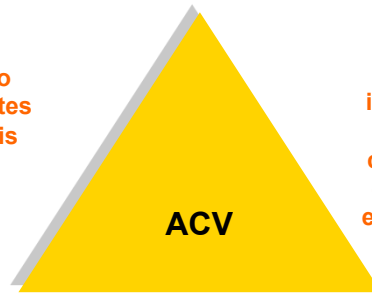


Sandra Caeiro, 2015

Definições

ACV - Processo de avaliação integrada dos efeitos ambientais associados a um produto, processo ou actividade.

Avaliação dos impactes ambientais



Avaliação sistemática das hipóteses de minimização dos impactes ambientais associados ao consumo de energia e matérias primas e emissões produzidas ao longo do CV

Identificação e quantificação da energia, materiais usados e resíduos gerados



Sandra Caeiro, 2015



Exemplo – A vida de um sapato

- Parte superior do sapato



EUA

Entrada	Saída
Ração	Pele não curtida
Fertilizantes	Resíduos
Consumos matadouro	
Materiais para os contentores	
Energia para transporte	

Coreia do Sul

Entrada	Saída
Pele	Pele curtida
Químicos	Pêlos
	Epiderme e outros desperdícios
Energia	Efluentes líquidos descarregados no Rio Naktong



Sandra Caeiro, 2015

Ryan, Durning, 1998 "Stuff: The secret lives of Everyday Thing"



Exemplo – A vida de um sapato

- Sola intermédia do sapato

Arábia Saudita e Coreia do Sul

Entrada	Saída
Petróleo	Acetato – Vinilo-Etileno
Químicos	Efluentes gasosos
Pigmentos	
Anti-oxidantes	
Energia	



EUA

Entrada	Saída
Composição desconhecida	Bolsa de poli-uretano de cor âmbar com gás pressurizado



Sandra Caeiro, 2015



Exemplo – A vida de um sapato

- Sola Exterior

Arábia Saudita e Taiwan

Entrada	Saída
Petróleo	Folhas de borracha de
Carvão – benzeno	Butadieno-estireno
Energia (fonte nuclear)	



Indonésia

Entrada	Saída
Pele	Par de sapato desportivos
Espuma-sola intermédia	Fumos tóxico
Folhas de borracha	Resíduos de borracha
Bolsas de poli-uretano de cor âmbar com gás pressurizado	
Colas, tintas, solventes tóxicos e não tóxicos	
energia	



Sandra Caeiro, 2015



Exemplo – A vida de um sapato

- Embalagem



Indonesia e EUA

Entrada	Saída
Floresta tropical da Sumatra	Papel vegetal
Pasta de papel	Caixa de cartão reciclado
Cartão reciclado	
Energia	

Dá que pensar como um simples sapato americano (ténis neste exemplo), necessita de matérias primas, que vêm de países tão distantes e de materiais de características tão diferentes...



Sandra Caeiro, 2015



Exemplo – A vida de um sapato

- Este exemplo demonstra o quanto é complexa a análise do ciclo de vida do produto, que vai desde as matérias primas utilizadas para o seu fabrico até o seu destino final. No entanto, para a sua correcta quantificação é necessário conhecer-se todo o seu processo de fabricação....

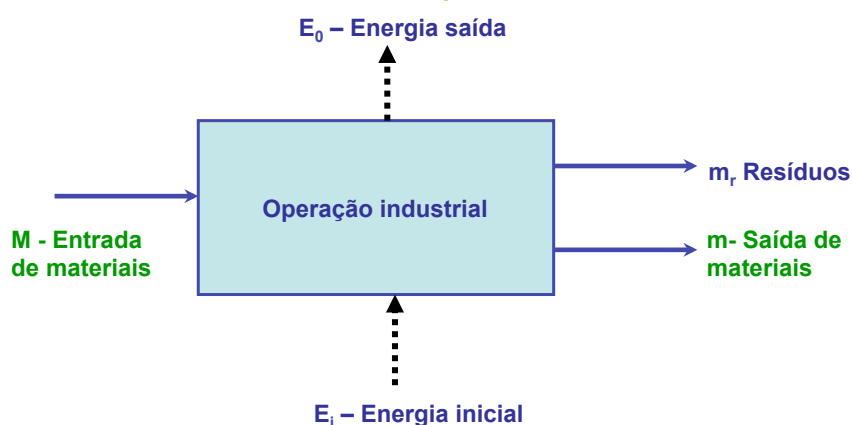


Sandra Caeiro, 2015

Ryan, Durning, 1998 "Stuff: The secret lives of Everyday Thing"

ACV – Análise energética

O ACV baseia-se nas leis da termodinâmica – análise energética onde são as diferentes emissões para o ambiente



Trata-se de um instrumento de política de ambiente de actuação voluntária

Sandra Caeiro, 2015

ACV – Evolução do produto

- *World Energy Conference* em 1963 – inicia-se o cálculo das necessidades energéticas em sistemas de produção;
- Em 1969 o *Midwest Research Institute (MRI)* iniciou os estudos em *Resource and Environmental Profile Analysis (REPA)* que serviu de Modelo aos métodos de Análise de Ciclos de Vida (ACV) – Primeiro estudo para 
- *Dennis Meadows* publica em 1972 – *Limits to Growth*, resultado dos estudos do Clube de Roma sobre a evolução da população mundial e da consequente procura de matérias primas e energia.
- Directiva 85/339 da Comissão Europeia em 1985 obriga os estados membros a monitorizar o consumo de energia e matérias primas resultantes da produção e destino final de embalagens alimentares.
- Nos últimos anos, as crescentes pressões ambientais levaram à inclusão das emissões líquidas, gasosas e sólidas nos estudos de ACV.
- Hoje em dia a maioria dos estudos usa os resultados do ACV com objectivos de marketing e para apoio dos consumidores na escolha de produtos ambientalmente mais correctos.



Sandra Caeiro, 2015

ACV – Utilizações potenciais



Decisores

- Fornecimento de informação necessária para estabelecer **legislação e implementar instrumentos que restringem o uso de certos materiais**;
- Fornecimento de informação necessária para estabelecer **normas relativas à publicidade dos produtos** (ex. Definição do conteúdo reciclado);
- Identificação de informação ao consumidor relativa às **características dos produtos**;
- Apoio ao desenvolvimento de **políticas de longo prazo relativas à utilização de materiais, conservação dos recursos e redução dos impactes ambientais ao longo de todo o ciclo de vida.**



Sandra Caeiro, 2015

ACV – Utilizações potenciais



Produtores

- Comparação de **produtos genéricos**;
- Comparação da **funcionalidade de produtos equivalentes**;
- Identificação dos processos, produtos e sistemas responsáveis pelos **impactes ambientais mais significativos**;
- Fornecimento de informação que os *designers* dos produtos podem utilizar no sentido de criar **produtos e tecnologias “mais limpas”**
- **Aumentar a competitividade no mercado.**



Sandra Caeiro, 2015

ACV – Normas

Principais normas ISO (International Organization for Standardization) da série 14040:

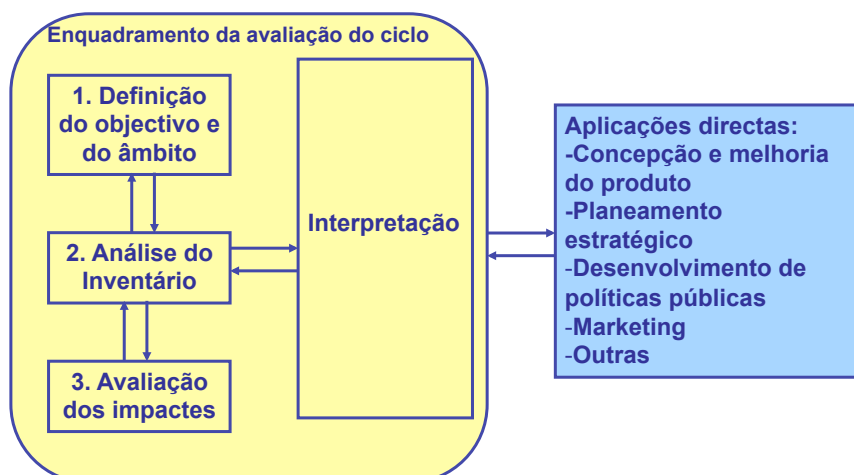
- ✓ ISO 14040: 2006 – Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Princípios e enquadramento
- ✓ ISO 14044: 2006- Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e linhas guias, incluindo o inventário do ciclo de vida, avaliação dos impactes e interpretação dos resultados e natureza e qualidade dos dados.
- ✓ ISO 14047: 2012 - Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Exemplos de Aplicação
- ✓ ISO 14048: 2002 - Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Formata da informação documental
- ✓ ISO 14049: 2012 - Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Exemplos de aplicação dos objectivos, âmbito e inventário do ciclo de vida.
- ✓ ISO 14071: 2014 - Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Processo de revisão crítica
- ✓ ISO 14072: 2014 - Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e linhas guia adicionais para a organização do LCA.
- ✓ As ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 e ISO 14043:2000, foram retiradas e substituídas pelas ISO 14040 e 14044:2006.



Sandra Caeiro, 2015

ACV – Etapas

Principais etapas do ACV de acordo com a ISO 14040:



Sandra Caeiro, 2015




ACV – 1. Objectivo



1. Definição do objectivo e do âmbito (Norma 14040)

1.1 Objectivo do estudo - aplicação pretendida, as razões para a realização do estudo e o público alvo, i.e. a quem se pretende comunicar os resultados do estudo.

1.2 Âmbito do estudo

- as funções do sistema do produto, ou dos sistemas, no caso de estudos comparativos;
- a unidade funcional; 
- as fronteiras do sistema do produto (quais as unidades de processo);
- os procedimentos de alocação;
- os tipos de impactes e a metodologia de avaliação de impactes, e a interpretação subsequente a ser utilizada;
- os requisitos dos dados; 
- os pressupostos;
- as limitações;
- os requisitos da qualidade dos dados iniciais; 
- o tipo de revisão crítica, se existente;
- o tipo e formato do relatório requerido para o estudo.



Sandra Caeiro, 2015

ACV - Etapas – 1. Objectivo



1.2 Âmbito do estudo

Função e unidade funcional

- A unidade funcional é a medida do desempenho das saídas funcionais do sistema do produto. A função principal de uma unidade funcional é a de constituir uma referência à qual as entradas e saídas são relacionadas (tem que ser mensurável)
- Exemplo: A unidade funcional para um sistema de pintura – 1 m² de superfície pintada durante 20 anos
- Quantidade de materiais de embalagem utilizados para um determinado volume de bebidas.
- Impacte ambiental nos transportes – impacte ambiental por passageiro por km percorrido.



Sandra Caeiro, 2015

ACV – Etapas – 1.Objectivo



1.2 Âmbito do estudo

Os requisitos dos dados

Os requisitos de qualidade dos dados deverão contemplar:

- a cobertura temporal;
- a cobertura geográfica;
- a cobertura tecnológica;
- a precisão, a integralidade e a representatividade dos dados;
- a consistência e reprodutibilidade dos métodos utilizados em toda a ACV;
- as fontes de dados e sua representatividade;
- a incerteza da informação.



Sandra Caeiro, 2015

ACV – Etapas – 1.Objectivo



1.2 Âmbito do estudo - Qualidade da informação em ACV

Menor
qualidade
dos dados

Escala	Confiança	Integralidade	Correlação temporal*	Correlação geográfica	Correlação tecnológica
1	Dados verificados ^b e baseados em medições ^c .	Dados representativos ^d de um n° suficiente de empresas, durante um período que permita eliminar flutuações.	Diferença máxima de 3 anos face ao ano em estudo.	Dados provenientes da área em estudo.	Dados da empresa em estudo
2	Dados parcialmente verificados e baseados em hipóteses ^e , ou não verificados mas baseados em medições.	Dados representativos de um pequeno n° 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 n° 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 (feitas por peritos).	Dados representativos, mas de um n° pequeno de empresas e de períodos reduzidos, ou incompletos mas de um n° adequado de empresas e períodos.	Diferença inferior a 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	Representativa-de desconhecida, ou dados incompletos de um pequeno n° de empresas e/ou de reduzidos períodos.	Idade dos dados desconhecida ou diferença 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.

a) O ano da medição experimental deverá ser indicado no relatório.
 b) Os dados podem ser verificados pela comparação com os documentos de recolha originais, re-elaboração dos cálculos, comparação com outras fontes, balanços de massa e energia, etc.. Os métodos de cálculo estatístico utilizados deverão encontrar-se explícitos no relatório.
 c) As técnicas de medição experimental devem ser descritas no relatório.
 d) Para que os dados sejam representativos, no sentido estatístico, não é necessário que sejam completos. A amostra escolhida tem sim que ser escolhida ao acaso e ter uma dimensão adequada, por forma a que seja reprodutível e reflita verdadeiramente as propriedades da população total.
 e) As hipóteses consideradas também devem ser incluídas no relatório.

(Ferrão, 1998)

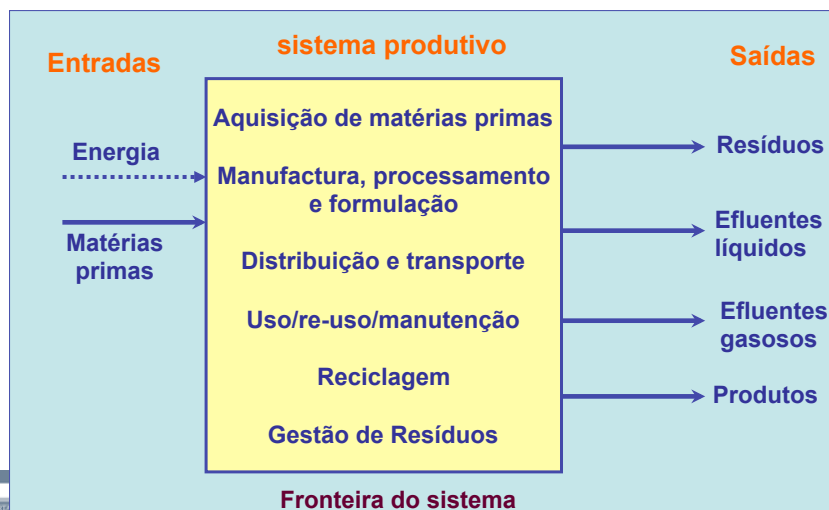


Sandra Caeiro

ACV – 2. Inventário



Inventário - Recolha de dados e cálculo para a quantificação das entradas e saídas do sistema produtivo



ACV – 2. Inventário



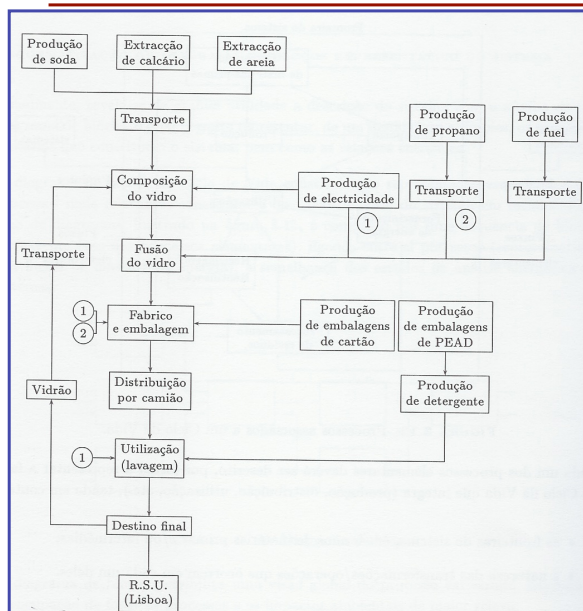
Algumas considerações relevantes para o cálculo:

- São necessários procedimentos de alocação quando estão em análise sistemas envolvendo vários produtos (ex. vários produtos da refinação do petróleo). Os fluxos de materiais e energia, bem como as emissões para o ambiente devem ser alocadas aos diferentes produtos, de acordo com procedimentos claramente definidos, que devem ser documentados e justificados.
- O cálculo do fluxo energético deverá ter em conta as diferentes fontes de combustíveis e electricidade utilizadas, a eficiência de conversão e distribuição do fluxo energético, bem como as entradas e saídas associadas à sua produção e utilização.
- É necessário ter em conta procedimentos de alocação para situações de reuso e reciclagem de produtos/processos onde à reintrodução no processo produtivo com matéria-prima (podem ser sistemas de cadeia aberta ou fechada).



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 2. Inventário



Exemplo de diagrama de blocos ilustrativo do Ciclo de Vida dos copos de vidro em Lisboa (Ferrão, 1998)

Exemplo do ciclo de vida de garrafas de vidro (1 l de água transportada)



ACV – 2. Inventário



Massa: Devem incluir-se no estudo todas as entradas que, acumuladas contribuam com uma percentagem superior a um valor preestabelecido relativamente ao total das entradas no sistema considerado.

Energia: Devem incluir-se no estudo todas as entradas que, acumuladas contribua, com uma percentagem superior a um valor preestabelecido relativamente ao total da energia consumida pelo sistema em estudo.

Necessário a recolha de dados de massa, energia, transporte....

Existem várias bases de dados disponíveis como por exemplo as referidas na Comissão Europeia em: <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/databaseList.vm>



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 2. Inventário



Relevância ambiental: Devem definir-se substâncias com impactes ambientais relevantes e exigir que as entradas que com elas se relacionem, se encontrem representadas com quantidades superiores a uma percentagem preestabelecida.

Por exemplo:

seleccionando o óxido de enxofre como substância ambientalmente relevante, devem contabilizar-se as substâncias que lhe dão origem, até que o seu contributo represente mais de uma determinada percentagem do valor total estimado.



Cria ambiguidades....



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 2. Inventário



Deve garantir-se a qualidade dos dados:

- ◆ Precisos
- ◆ Disponíveis
- ◆ Representativos
- ◆ Consistentes
- ◆ Reprodutíveis

Deve-se definir bem qual a **cobertura geográfica** a partir da qual se recolhem os dados

Período de tempo abrangido para a recolha dos dados (e.g. recolha anual nos últimos 5 anos, com uma periodicidade anual)

Após a recolha dos dados deve-se proceder ao seu **processamento - transformação**, por forma a possibilitar os cálculos dos contributos dos diversos impactes gerados ao longo do Ciclo de Vida.



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 2. Inventário



Emissões de um processo unitário associado à produção de 1 ton de vidro dados de base de acordo com Buwal (Suíça) (Ferrão, 1998)

Recursos		Emissões para a atmosfera		Emissões para meios aquíferos	
Energia hidroelétrica	594.0 MJ	CO ₂	748000.0 g	Água residual	1.7 m ³
Gas natural (vol)	14.5 m ³	SO _x	2690.0 g	Cl ⁻	63900.0 g
Urânio	4.8 g	NO _x	2310.0 g	Subs. Inorgânicas	39500.0 g
Água de processo	1.0 m ³	VOC	1640.0 g	Subs. Suspensão	5030.0 g
Vidro reciclado	625.0 kg	Poeiras	1300.0 g	Sulfatos	627.0 g
Areia	253.0 kg	CO	787.0 g	Óleos	283.0 g
Fuel óleo	183.0 kg	Metano	781.0 g	TOC	74.0 g
Calcário	110.0 kg	HCl	67.9 g	Iões metálicos	59.3 g
Sal gema	108.0 kg	Pb	44.6 g	NH ₄ ⁺	29.3 g
Carbonato de cálcio	80.5 kg	Amónia	38.2 g	Ba	24.3 g
Carvão	49.1 kg	HF	15.8 g	Fe	23.6 g
Feldspato	35.5 kg	Metais	4.2 g	Al	20.3 g
Lenhite	13.0 kg	C _x H _y aromático	3.8 g	N-tot	9.9 g
		N ₂ O	2.0 g	COD	9.6 g
		Benzeno	1.9 g	C _x H _y aromático	7.8 g
		Ni	0.4 g	Nitratos	6.3 g



Sandra Caeiro, 2015



ACV – 2. Inventário



Ciclo de vida global por 1 l de água transportada em garrafas de vidro (emissões libertadas para a atmosfera) - (Ferrão, 1998)

Substância	Unidades	Quantidades emitida
CO ₂	g	915.41
NO ₂	g	4.95
SO ₂	g	2.86
VOC (sem metano)	g	2.58
CO	g	1.74
Poeira	g	1.28
Metano	g	1.08
HCl	mg	64.63
Pb	mg	40.57
Amónia	mg	34.86
HF	mg	14.66
Benzeno	mg	7.43
N ₂ O	mg	6.37
Metais	mg	5.47
C _x H _y	mg	8.96
NO _x	mg	3.23
Ni	µg	808.34
Zn	µg	615.49
Aldeídos	µg	273.46
Mercaptano de metilo	µg	256.30
H ₂ S	µg	138.56
HALON-1301	µg	53.93
H ₂ SO ₄	µg	36.30
Mn	µg	29.62
Cd	µg	12.37
PAH's	µg	5.95
Mercaptanos	µg	5.61
Na ₂ SO ₄	µg	5.50
Cu	µg	3.72
Hg	µg	2.70
Cr	µg	1.80
Tl	ng	360.00
Cl ₂	ng	131.19
V	ng	120.00
C _x H _y halogenado	ng	94.13
C _x H _y cloro	ng	25.88

Ordem decrescente de quantidades mássicas emitidas



Sandra Caeiro, 2015



ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



❖ A fase de avaliação de impactes da ACV destina-se a **avaliar a significância dos impactes ambientais potenciais, utilizando os resultados da análise do inventário do ciclo de vida.** Geralmente, este processo envolve a associação dos dados do inventário a impactes ambientais específicos e a tentativa de compreensão destes impactes.

❖ O nível de detalhe, a escolha dos impactes avaliados e as metodologias utilizadas dependem do objectivo e do âmbito do estudo.

Recorrer-se a programas informáticos (e.g. SIMAPRO – disponível neste tópico)...



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



- ❖ A fase de avaliação de impactes poderá incluir, entre outros, os seguintes elementos (de acordo com a Norma 14040):
- imputação dos dados do inventário a categorias de impactes (**classificação**);
 - modelação dos dados do inventário dentro das categorias de impactes (**caracterização**);
 - possibilidade de agregação dos resultados em casos muito específicos e só quando for significativo (**ponderação**).



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Classificação/caracterização e Normalização dos impactes ambientais:

Quantificação do contributo das diversas intervenções ambientais de um sistema para um conjunto de categorias de impacte ambiental e integração das categorias num único indicador- **ecoindicador**.



Método do SIMAPRO



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Principais etapas:

- Definição das **categorias de impactes ambientais** prioritárias
- Definição de factores de ponderação dos contributos das diversas intervenções ambientais em cada categoria
- Multiplicação dos factores de ponderação pelas intervenções ambientais, para obtenção da importância relativa de cada categoria de impacte ambiental.
- Normalização dos valores obtidos por valores de referência
- Definição de factores de ponderação entre as diferentes categorias de impacte ambiental
- Cálculos do ecoindicador

Classificação/
caracterização

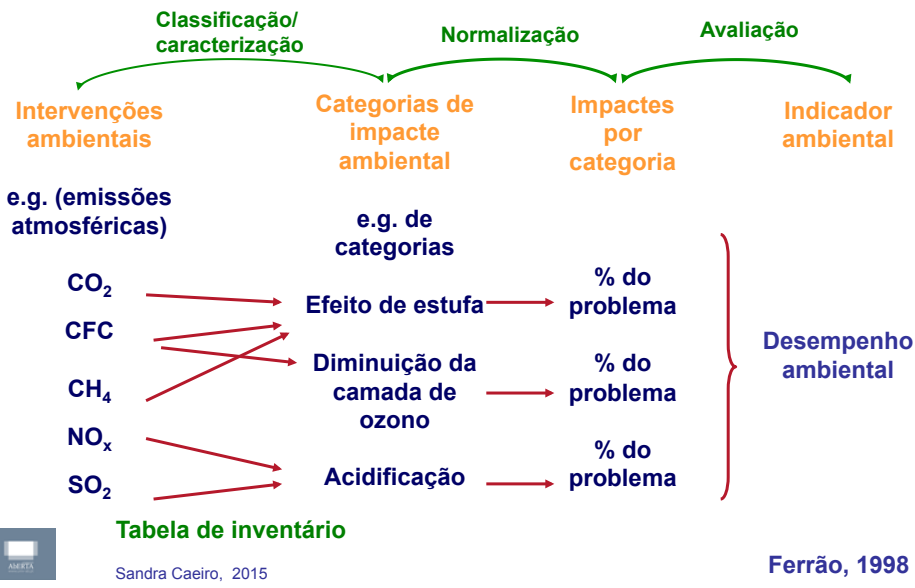
Normalização

Avaliação



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Classificação/caracterização

e.g. de uma Tabela de inventário relativa ao efeito de estufa e à diminuição da camada de ozono (Ferrão, 1998)

Efeito de estufa	kg CO ₂ equivalente	Camada de ozono	Kg CFC11 equivalente
CFC-13	13000	HALON-1301	16
CFC (hard)	7100	HALON-2402	7
CFC-12	7100	HALON-1211	4
CFC-114	7000	HALON-1201	1.4
CFC-115	7000	HALON-1202	1.25
CFC-116	6200	Tetraclorometano	1.08
HALON-1211	4900	CFC-113	1.07
HALON-1301	4900	CFC (hard)	1
CFC-113	4500	CFC-11	1
CFC-14	4500	CFC-12	1
HFC-143a	3800	CFC-13	1
CFC-11	3400	CFC-114	0.8
HFC-125	3400	CH ₃ Br	0.6
HCFC-142b	1800	CFC-115	0.5
CFC (soft)	1600	HALON-2401	0.25
HCFC-22	1600	HALON-2311	0.14
Tetraclorometano	1300	Tricloroetano	0.12
HFC-134a	1200	HCFC-141b	0.11
HCFC-141b	580	HCFC-142b	0.065
HCFC-124	440	CFC (soft)	0.055
N ₂ O	270	HCFC-22	0.055
HFC-152a	150	HCFC-225cb	0.033
1,1,1-tricloroetano	100	HCFC-225ca	0.025
HCFC-123	90	HCFC-124	0.022
Triclorometano	25	HCFC-123	0.02
Diclorometano	15		
Metano	11		
CO ₂	1		

Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Categorias de impacte ambiental

Existem várias categorias de impacte ambiental de acordo com a metodologia adoptada:

- ✓ Centro de Ciência Ambiental (Holanda)
- ✓ SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*)
- ✓ Eco-indicador-95 ou 99 (utilizado no programa SIMAPRO)
- ✓ EPA (*Environmental Protection Agency*)



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Classificação das categorias de impacte ambiental

**A escolha das categorias de impacte depende do objectivo do estudo em si (dependendo de um conjunto de requisitos)
Pode ser necessário definir novas categorias**

CML (1992)	SETAC (1996) em: Udo de Haes (1997)	Eco-indicador 95
Efeito de estufa	Aquecimento global	Efeito de estufa
Diminuição da camada de ozono	Diminuição da camada de ozono estratosférica	Diminuição da camada de ozono
Toxicidade humana	Impactes toxicológicos humanos	
Ecotoxicidade	Impactes ecotoxicológicos	Pesticidas
Formação fotoquímica de oxidantes	Formação de foto-oxidantes	“Smog” de Verão
Acidificação	Acidificação	Acidificação
Eutrofização	Eutrofização	Eutrofização
Libertação de calor		
Odores	Odores	
Ruído	Ruído	
	Radiação	
		Emissão de metais pesados
		Carcinogenia
		“Smog” de Inverno
Depleção de recursos bióticos	Depleção de recursos bióticos	Depleção de recursos bióticos
Depleção de recursos abióticos	Depleção de recursos abióticos	Depleção de recursos abióticos

(Ferrão, 1998)



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Categorias de impacte ambiental

Efeito de estufa

O valor para o efeito de estufa é calculado para cada substância que contribui para o efeito de estufa:

Efeito de estufa_{subst} (kg) = PAG₁₀₀ x Emissão para o ar da substância (kg)

Pag₁₀₀ – Potencial de aquecimento global para um período de 100 anos - índice de kg de CO₂ equivalente (ver tabela de inventário)

Contribuição do produto para o efeito de estufa = Σ Efeito de estufa_{subst}



Sandra Caeiro, 2015

(Ferrão, 1998)

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Categorias de impacte ambiental

Diminuição da camada de ozono

O valor para a diminuição da camada de ozono é calculado para cada substância que contribui para este problema:

Diminuição da camada de ozono_{subst}(kg) = PDO x Emissão para o ar da substância (kg)

PDO – Potencial de diminuição da camada de ozono- índice de kg de CFC11 equivalente (ver tabela de inventário)

Contribuição do produto para a diminuição da camada de ozono = Σ Dimin. camada de ozono_{subst}



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Categorias de impacte ambiental

Toxicidade humana

O valor da toxicidade humana para cada substância i é calculado de acordo com a seguinte expressão (kg de peso do corpo humano que se encontra exposto a limites toxicológicos aceitáveis):

$$\text{Toxicidade humana}_{\text{subs}}(\text{kg}) = \Sigma \text{HCA}_i \times \text{Emissão para o ar}_i \\ + \Sigma \text{HCW}_i \times \text{Emissão para a água}_i \\ + \Sigma \text{HCS}_i \times \text{Emissão para o solo}_i$$

HCA_i – factor de toxicidade humana para o ar, relativo à substância i

HCW_i - factor de toxicidade humana para a água, relativo à substância i

HCS_i - factor de toxicidade humana para o solo, relativo à substância i

$$\text{Contribuição do produto para a toxicidade humana} = \Sigma \text{Toxicidade humana}_{\text{subs}i}$$



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Categorias de impacte ambiental

Pesticidas - O valor dos pesticidas é quantificado pela expressão:

$$\text{Contribuição do produto para a toxicidades por Pesticidas}(\text{kg}) = \\ \Sigma \text{ingredientes activos existentes nos desinfectantes, fungicidas, herbicidas e insecticidas (kg)}$$



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Categorias de impacte ambiental

Smog de Verão - O valor do smog de verão é quantificado pela expressão:

$$\text{Smog}_{\text{subst}} \text{ (kg)} = \text{PFCO} \times \text{Emissão para o ar (kg)}$$

PFCO – Potencial fotoquímico de criação de ozono (o valor de etileno C_2H_4 é unitário, sendo os dos restantes produtos inferior a ele)

$$\text{Contribuição do produto para o smog de verão} = \Sigma \text{Smog}_{\text{subst}}$$



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Categorias de impacte ambiental

Eutrofização - O valor da eutrofização é quantificado pela expressão:

$$\text{eutrofização}_{\text{subst}} \text{ (kg)} = \text{PN} \times \text{Emissão para o ar (kg)}$$

PN – Potencial de eutrofização (o valor de PO_4 é unitário)

$$\text{Contribuição do produto para a eutrofização} = \Sigma \text{Eutrofização}_{\text{subst}}$$



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Categorias de impacte ambiental

Acidificação - O valor da acidificação é quantificado pela expressão:

$$\text{Acidificação}_{\text{subst}} (\text{kg}) = \text{PA} \times \text{Emissão para o ar (kg)}$$

PA – Potencial de acidificação (o valor de SO₂ é unitário)

$$\text{Contribuição do produto para a acidificação} = \Sigma \text{Acidificação}_{\text{subst}}$$



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Categorias de impacte ambiental

Emissão de metais pesados tóxico para os seres humanos- O valor dos metais pesados é quantificado pela expressão:

$$\text{Metais pesados}_{\text{subst}} (\text{kg equivalente ao chumbo}) = \frac{\text{CMA}_{(\text{chumbo})}}{\text{CMA}_{(\text{substância})}} \times \text{Emissão (kg)}$$

CMA – Concentrações máximas admissíveis para a toxicidades humana para uma exposição anual (µg/m³)

	CMA	Peso (referente ao Pb)
Cd	0,02	50
Pb	1	1
Mn	7	0,14
Hg	1	1

Goedkoop (1995)

$$\text{Contribuição do produto para os metais pesados} = \Sigma \text{metais pesados}_{\text{subst}}$$



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Categorias de impacte ambiental

Carcinogenia - O valor da carcinogenia é quantificado pela expressão:

$$\text{Carcinogenia}_{\text{subst}} (\text{kg equivalente ao PAH}) = \frac{\text{PC}_{\text{(substância)}}}{\text{PC}_{\text{(PAH)}}} \times \text{Emissão}_{\text{subst}} (\text{kg})$$

PC – Probabilidade de ocorrência de cancro de um indivíduo exposto 1 µg/m³ referente a uma determinada substância

PAH - benzo[a]pireno

	PC	Peso (referente ao PAH)
As	0,004	0,044
Benzeno	0,000001	0,000011
Cr 6	0,000001	0,44
PAH	0,000000001	1

Goedkoop (1995)

$$\text{Contribuição do produto para a carcinogenia} = \sum \text{carcinogenia}_{\text{subst}}$$



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Categorias de impacte ambiental

Smog de Inverno - A concentração limite para todas as substâncias é 50 µg/m³ pelo que se considera pesos unitários para todas as substâncias (as fontes mais importantes são SO₂, SPM, NO_x, CO e algumas substâncias orgânicas). O valor do smog de inverno é quantificado pela expressão:

$$\text{Smog}_{\text{subst}} (\text{kg}) = \text{Emissão para o ar} (\text{kg})$$

$$\text{Contribuição do produto para o smog de Inverno} = \sum \text{Smog}_{\text{subst}}$$



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Categorias de impacte ambiental

Esgotamento de matérias-primas e de recursos energéticos - O valor deste problema é quantificado pela expressão:

$$\text{Esgotamento}_{\text{subst}} (\text{kg}) = \text{Quantidade consumida (kg)} \times \frac{1}{\text{recursos (kg)}}$$

$$\text{Contribuição do produto para o esgotamento} = \Sigma \text{Esgotamento}_{\text{subst}}$$



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Categorias de impacte ambiental

Resíduos sólidos - O valor deste problema é quantificado pela expressão.

$$\text{Resíduos sólidos}_{\text{subst}} (\text{kg}) = \text{Emissões sólidas (kg)}$$

$$\text{Contribuição do produto para os resíduos sólidos} = \Sigma \text{Resíduos sólidos}_{\text{subst}}$$



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Perfil ambiental das garrafas de vidro reutilizáveis e de tara perdida para uma unidade funcional correspondente a 1000 l de água no consumidor (Ferrão, 1998)

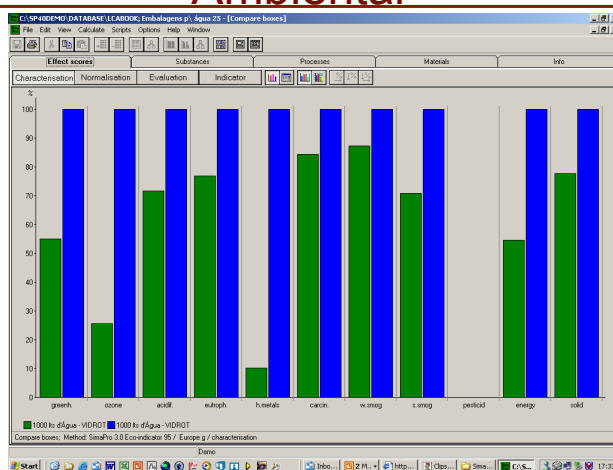
Categoria de impacte ambiental	Unidades	Garrafa de vidro reutilizável	Garrafa de tara perdida
Efeito de estufa	kg CO ₂	487	888
Camada de ozono	kg CFC11	1.16×10^{-4}	4.51×10^{-4}
Acidificação	kg SO ₄	6.43	9.02
Eutrofização	kg PO ₄	0.79	1.03
Metais pesados	kg Pb	2×10^{-3}	24×10^{-3}
Carcinogenia	kg B(a)P	1.7×10^{-5}	2.0×10^{-5}
Smog de Inverno	kg SPM	1.28	1.49
Smog de Verão	kg C ₂ H ₄	1.06	1.51
Energia	MJ	8200	16000
Resíduos sólidos	kg	42.6	88.7



Sandra Caeiro, 2015



ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



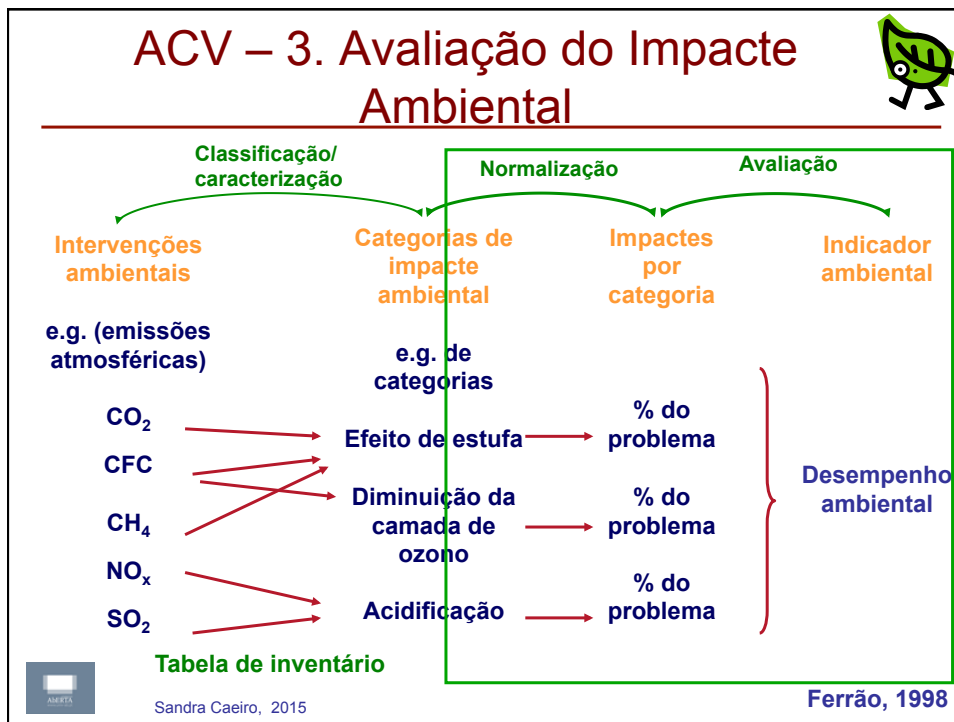
Caracterização - Comparação entre os perfis ambientais dos Ciclos de Vida correspondentes à utilização de garrafas de vidro reutilizadas e de tara perdida



Sandra Caeiro, 2015



ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Normalização – Avalia o **impacte ambiental por categoria** associado ao ciclo de vida do produto ou serviço com base num valor de referência.

Método “Eco-indicador 95 ou 99 (versão melhorada do 95)” (Programa SIMAPRO) – quociente dos valores de cada categoria por valores per capita referentes a uma população europeia (hab/equivalente)



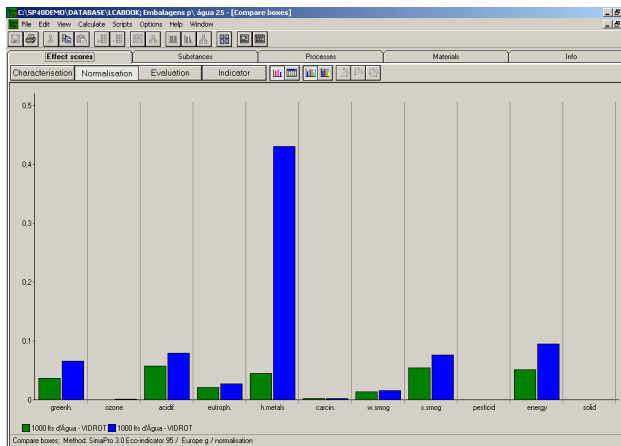
Toda a informação sobre o cálculo do eco-indicador (manuais para download) e o Programa SIMAPRO (versão 7.1) –versão demo para download encontra-se disponível em <http://www.pre.nl>

Este software incorpora uma série de bases de dados sobre materiais, energia, transporte, utilizações e estratégias de condicionamento e de processamento de resíduos.



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Normalização – Comparação entre os perfis ambientais dos Ciclos de Vida correspondentes à utilização de garrafas de vidro reutilizadas e de tara perdida



Sandra Caeiro, 2015



ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Avaliação – Indicador ambiental

Atribuição de ponderações às diversas categorias ambientais e aplicá-los de forma a obter um único valor – **indicador ambiental (ecoindicador 95/99)**- quantifica o desempenho ambiental associado ao produto ou serviço ao longo do seu ciclo de vida.

Baseia-se no cálculo dos pesos e de que a gravidade de um impacte pode ser avaliada pela diferença entre o seu nível actual e o valor limite.

O valor limite é baseado em dados ambientais para a Europa reunidos pelo RIVM (*Nacional Institute of Public Health and Environmental Protection, Holanda*)



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Avaliação – Indicador ambiental

Os critérios deste indicador baseiam-se em:

- No valor limite, o efeito causará uma morte adicional por ano por cada milhão de habitantes (Efeito na saúde)
- No valor limite, o efeito causará alterações em menos de 5 % dos ecossistemas europeus (Efeito nos ecossistemas);
- No valor limite, a ocorrência de períodos de smog é extremamente improvável

Factores de ponderação dados/ponderados por peritos para cada categoria ambiental **Muito subjectivo...**

O cálculo do **eco-indicador** resulta da soma ponderada dos valores correspondentes a cada uma das categorias ambientais consideradas.



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



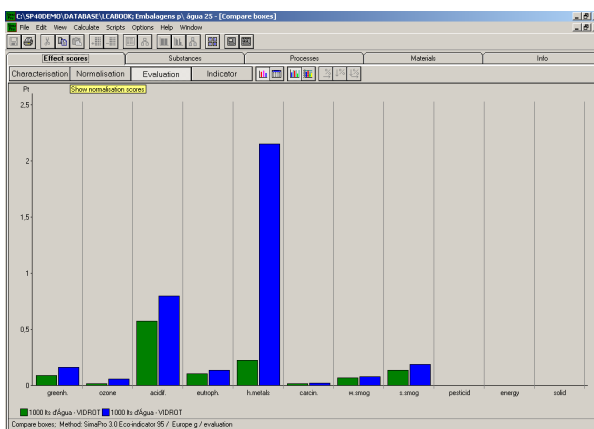
Factores de ponderação usados para calcular o eco-indicador-95

Categoria ambiental	Factor de ponderação
Efeito de estufa	2,5
Camada de ozono	100
Acidificação	10
Eutrofização	5
Smog de verão	2,5
Smog de Inverno	5
Pesticidas	25
Metais pesados	5
Substâncias cancerígenas	10
Recursos energéticos	0
Emissões sólidas	0



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Avaliação – Comparação entre os perfis ambientais dos Ciclos de Vida correspondentes à utilização de garrafas de vidro reutilizadas e de tara perdida



Sandra Caeiro, 2015

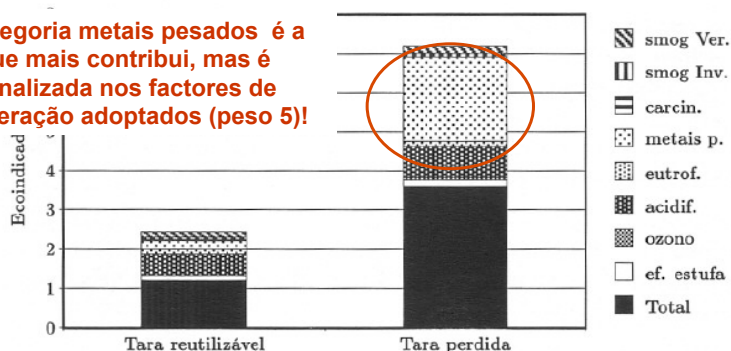


ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Comparação do eco-indicador relativo ao Ciclo de vida de garrafas de vidro reutilizáveis e com tara perdida

A categoria metais pesados é a que mais contribui, mas é penalizada nos factores de ponderação adoptados (peso 5)!



Os resultados da avaliação da ACV permite otimizar o ciclo de vida do produto propondo melhorias no seu processo (produção mais limpa, eco-eficiência...)



Sandra Caeiro, 2015



ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



A questão da subjectividade dos pesos do eco-indicador

✓ A versão do **SIMAPRO 7.1** considera um triângulo de ponderação onde é possível discutir os pesos das categorias ambientais quando se comparam dois produtos. Este triângulo foi feito com base num questionário enviado a um painel de peritos. – **Eco-indicador 99**.

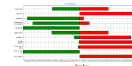
✓ Baseia-se em 3 categorias ambientais:

- ✓ Qualidade do ecossistema
- ✓ Saúde humana
- ✓ Recursos minerais e combustíveis fósseis



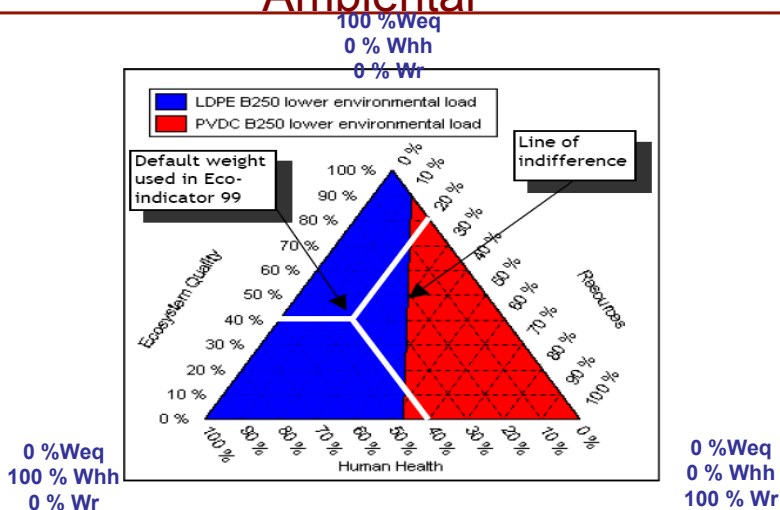
✓ O triângulo não permite resolver o problema dos pesos, apenas é uma ferramenta de discussão.

✓ Esta versão também permite efectuar uma **análise Monte Carlo** que permite “quantificar” as incertezas associadas à caracterização das categorias de impacte.



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Triângulo do ecoindicador – 99: Comparação de qual a produção de 1 kg de LPDE ou 1 kg de PVDC tem menor carga ambiental.

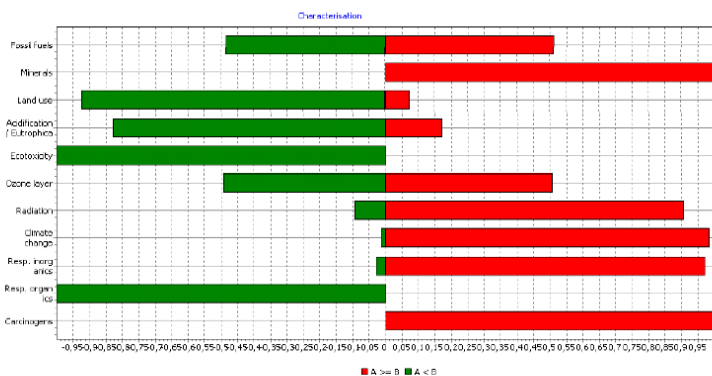
Goedkoop, 2004



Sandra Caeiro, 2015

Mais informação em http://www.pre.nl/eco-indicator99/download_triangle.htm

ACV – 3. Avaliação do Impacte Ambiental



Incumbent analysis of 1 s life cycle life cycle (no, no takeback, no use phase) (A) minus
 p life cycle life cycle (no, with takeback, no use phase) (B).
 method: Ecoindicator 99 (0.02.1) / Europe (1997) (A), confidence interval: 95 %

Análise de Monte Carlo – Cada barra representa uma categoria ambiental. As barras verdes representam o nº de vezes que o cenário **sem reciclagem tem um peso menor** na caracterização do que comparando o **cenário com reciclagem**.



Sandra Caeiro, 2015

Goedkoop, 2004

ACV – 4. Revisão crítica



- ▶ **A revisão crítica** é uma técnica para verificar se um estudo de ACV cumpriu os requisitos da Norma no que respeita à metodologia, aos dados e ao relatório.
- ▶ Deve ser **definido no âmbito do estudo** se se vai realizar a revisão crítica e como e quem a vai realizar. Geralmente, as revisões críticas de uma ACV são opcionais.
- ▶ Em estudos de ACV utilizados para fazer **afirmações comparativas** que sejam divulgadas ao público deve efectuar-se uma revisão crítica.
- ▶ A revisão crítica poderá facilitar a **compreensão e aumentar a credibilidade dos estudos de ACV**, nomeadamente através do envolvimento das partes interessadas.



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 4. Revisão crítica



O processo de revisão crítica deve assegurar que:

- ▶ os métodos utilizados na realização da ACV são consistentes com a Norma 14040;
 - ▶ os métodos utilizados na realização da ACV são científica e tecnicamente válidos;
 - ▶ os dados utilizados são adequados e razoáveis em relação ao objectivo do estudo;
 - ▶ as interpretações reflectem as limitações identificadas e o objectivo do estudo;
 - ▶ o relatório do estudo é transparente e consistente.
- ▶ O âmbito e o tipo de revisão crítica pretendidos devem ser definidos na fase de definição de âmbito de um estudo de ACV.



Sandra Caeiro, 2015

ACV – 4. Revisão crítica



- ▶ A revisão crítica pode realizar-se interna ou externamente.
- ▶ **Internamente** deve ser efectuada por um perito interno independente do estudo de ACV.
- ▶ **Externamente** deve ser efectuada por um perito externo independente do estudo de ACV.
- ▶ Estes perito deverão estar **familiarizado** com os requisitos da Norma e ter os conhecimentos científicos e técnicos necessários. A declaração de revisão é preparada pela pessoa que dirige o estudo de ACV e é depois **revista pelo perito interno ou externo independente**, ou preparada na sua **totalidade** pelo perito.



Sandra Caeiro, 2015

ACV – Relatório



Os resultados da ACV devem ser reportados ao público alvo de uma forma imparcial, completa e precisa. Conteúdo:

- a) aspectos gerais:
 - 1) proponente da ACV, executante da ACV (interno ou externo);
 - 2) data do relatório;
 - 3) indicação de que o estudo foi conduzido de acordo com os requisitos da presente Norma Internacional.
- b) definição do objectivo e do âmbito;
- c) análise do inventário do ciclo de vida: procedimentos de recolha de dados e de cálculo;
- d) avaliação de impactes do ciclo de vida: a metodologia adoptada e os resultados da avaliação de impactes realizada;
- e) interpretação do ciclo de vida:
 - 1) resultados;
 - 2) pressupostos e limitações associados à interpretação dos resultados, tanto relativos à metodologia como aos dados;
 - 3) avaliação da qualidade dos dados.
- f) revisão crítica:
 - 1) nome dos revisores e entidade que representam;
 - 2) relatórios da revisão crítica;
 - 3) respostas às recomendações.



Sandra Caeiro, 2015

ACV – relação com o rótulo ecológico

Os resultados da ACV permitem fundamentar os critérios de atribuição do **Rótulo Ecológico** e informar apropriadamente os consumidores sobre a qualidade ambiental dos produtos, o que se reflecte positivamente na imagem social da empresa e nas suas estratégias comerciais.

- O grande interesse para as empresas do Sistema de Rótulo Ecológico reside não tanto na vantagem associada à etiquetagem em si, relativamente efémera, mas sim em todos os benefícios económicos e ecológicos gerados na empresa com a aplicação da ACV como instrumento de gestão global das empresas.

A z e v e d o (2 0 1 0) - http://nатурlink.sapo.pt/article.aspx?menuid=6&cid=12328&bl=1&viewall=true#Go_1

- Algumas empresas em Portugal têm efectuado ACV com vista à atribuição do rótulo ecológico.
- Falar-se há neste instrumento no tópico seguinte, com exemplos de aplicação em Portugal.



Sandra Caeiro, 2015

ACV – Múltiplas utilizações

Este instrumento tem múltiplas aplicações, sendo que a Comissão Europeia se baseia neste instrumento como apoio a muitas políticas e Diretivas Europeias na área do ambiente.

O cálculo das pegadas hídrica e Carbónicas são efetuados com base em ACV:

- **ISO 14046:2014** – Especificações para o cálculo da pegada hídrica, de produtos, processos e organizações com base em ACV
- **ISO 14067:2013** – Especificações para o cálculo da pegada carbónica de produtos, com base em ACV

Para a melhor avaliação de produtos sustentáveis e seu consumo é utilizada a ACV, assim como para o desenvolvimento de indicadores ambientais e da sustentabilidade.



Sandra Caeiro, 2015