

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

PHA 3513 – Sustentabilidade no Setor Produtivo

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) – Parte 2

Luiz Kulay

**ACV: Enfoque geral**

- ACV é uma técnica de suporte à tomada de decisão que:  
Gera informações (Diagnóstico);  
**NÃO** resolve problemas
- ACV avalia impactos associados ao ciclo de vida de um produto
- Fornece dados objetivos, não baseados (apenas) em paradigmas e senso comum:

**“Xícaras de plástico são piores do que de porcelana”**

OR

**“Biodiesel é melhor do que (petro)diesel”**

- É a única que avalia o **desempenho** ambiental do **desempenho** de um produto
- Técnica recente ↔ necessita de consolidação metodológica

## ACV: Metodologia

### INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA (ICV)

Identificação de todas as interações entre o ambiente e o ciclo de vida (= Sistema de Produto) em análise (= **cargas ambientais**)

### AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA (AICV)

Avaliação dos impactos potenciais associados às cargas ambientais inventariadas

#### ACV em processos de tomada de decisão

Quem toma decisões:

- Gerentes e/ou planejadores de produtos da empresa
- Compradores
- Consórcios do setor industrial
- Criadores de políticas regionais ou nacionais
- Consumidores, clientes e usuários de produtos

Principais motivações e expectativas com relação a ACV:

- Aprender sobre o desempenho ambiental de produtos e serviços
- Minimização dos custos de produção e regulamentação
- Minimização dos danos ambientais e para a saúde humana
- Compreender os trade-offs entre várias categorias de impacto e fases do produto
- Apoio a distribuição econômica equitativa e às operações lucrativas

(UNEP-SETAC, 2008)

### ACV e as empresas brasileiras

Companhias (organizações) brasileiras ou multinacionais instaladas no país que usam ou usaram alguma vez o enfoque de ACV

- BASF (FEE)
- BRASKEM
- DaimlerChrysler S.A.
- Danone
- EMAE (GESP)
- EMBRAER
- EMBRAPA
- Ford do Brasil S.A.
- General Eletric
- GM do Brasil S.A.
- Grupo Boticário
- Grupo Odebrecht
- Grupo Pão de Açúcar
- IHARABRAS
- Ingredion
- Johnson & Johnson

- Mercedes-Benz
- MWM Motores
- Natura Cosméticos
- Nestlé
- Oxiteno
- Petrobras
- Polibrasil
- Real ABN-AMRO
- RL Higiene
- Santhander
- Suzano Papel e Celulose
- Tetra Pak
- Two Sides
- USIMINAS
- Vale Fertil (Vale do Rio Doce)
- VW

Aplicações mais frequentes:

- Indicadores de Sustentabilidade
- EPD: Environmental Product Declaration
- PCR: Product Category Rules (EPD & PCR: Rotulagem ambiental)

### Estudo de Caso nº. 1 – Valefertil S.A.

Razão Social: Vale Fertilizantes S.A – Unidade Cajati (SP)

Sector: fertilizantes, nutrição animal, e especialidades químicas

Número de empregados (2013): 490

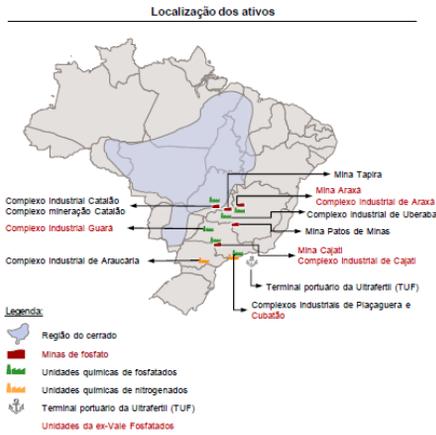
Portfólio de Produtos: 7 (fertilizantes) + 4 (nutrição animal)

Principais clientes: agricultores/pecuaristas e cooperativas agrícolas

Receita bruta(2014): 1.6 biUS\$ (Holding Vale Fertilizantes)



## Valefertil: Perfil e Performance

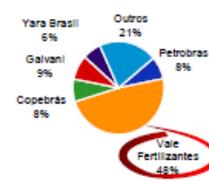


### Participação de Mercado (2012)

Por capacidade de produção de nutrientes básicos



No segmento de produtos intermediários



## Valefertil: Responsabilidade Ambiental

VALE FERTILIZANTES



Vale Fertilizantes | Fertilizantes | Nutrição Animal | Químico | E-business | Carreiras | Fale Conosco

Home - Vale Fertilizantes - Sustentabilidade - Responsabilidade Ambiental

**Sustentabilidade**

Política de Sustentabilidade

Código de Ética

Direitos Humanos

Saúde e Segurança

### Responsabilidade Ambiental

Temos consciência de que nossas atividades afetam o meio ambiente. Por isso buscamos continuamente novas maneiras para preservar o equilíbrio entre o desenvolvimento humano e o ambiente natural.

Temos uma grande variedade de iniciativas ecológicas pioneiras:

- Melhoria contínua dos processos e procedimentos operacionais;
- Investimento em projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo, para geração de créditos de carbono;
- Desenvolvimento de trabalho científico para monitorar o desenvolvimento de fauna de aves em regiões de atuação da empresa;
- Programas de educação ambiental e conscientização ecológica para empregados e comunidades.
- Coleta seletiva, reciclagem de materiais e ações para reduzir a geração de resíduos sólidos.

Estatuto Social

Operações e projetos

Operações

Projetos

Notícias

Visão, Missão e Valores

Video Institucional

Source: Vale Fertil (2015)  
Environmental Liability  
www.valefertilizantes.com.br/sustentabilidade/responsabilidade-ambiental.asp  
Sustainability Policy  
www.valefertilizantes.com/mda/modulos/conteudo/reinvestidores/rifatoRel/docs/politicasustentavel.pdf

## Objetivos & Motivação

Fosfato bicálcico (FBC): fonte essencial de P e Ca na alimentação animal

Impactos ambientais da produção:

- Consumo de rocha fosfática
- Consumo de água, aditivos e outros insumos de processo
- Emissões para o ar, a água e geração de resíduos sólidos
- Uso e transformação de terras, remoção de vegetação

Projeto: propor ações para melhorar o desempenho ambiental do processamento do FBG

Interesse da empresa: identificar oportunidades de implementação de ações de melhoria e /ou corretivas no processo

## Definição de Escopo

Abordagem geral:

Modalidade da ACV: atribucional

Enquadramento metodológico: ISO 14040 e 14044 (ISO, 2006)

Abordagem da ACV: do berço ao portão

Função:

Produção de FBC micro-granulado (P18)

Fluxo de referência:

Produção de 1,0 t de FBC micro-granulado (P18)

Fontes de dados:

1<sup>ários</sup>: obtenção de FCB; Produções de  $H_2SO_4$  e  $H_3PO_4$ ; Mineração e concentração de rochas fosfatadas; produção de utilidades industriais; e transportes

2<sup>ários</sup>: outros processos elementares

## Definição de Escopo

Qualidade dos dados:

Dimensão Temporal: 2011

Dimensão geográfica: estado de São Paulo (BR)

Caso específico: 'S' importado de: CA, DE, IT, QT, RU, UAE, US

Alocação:

Mineração: (massa) – material estéril vs minério

Concentração: (massa) – magnetita vs calcário vs lama calcária vs rocha fosfática

Produção de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ : (conteúdo energético) – vapor vs  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Produção de  $\text{H}_3\text{PO}_4$ : (massa) – fosfogesso vs  $\text{H}_3\text{PO}_4$

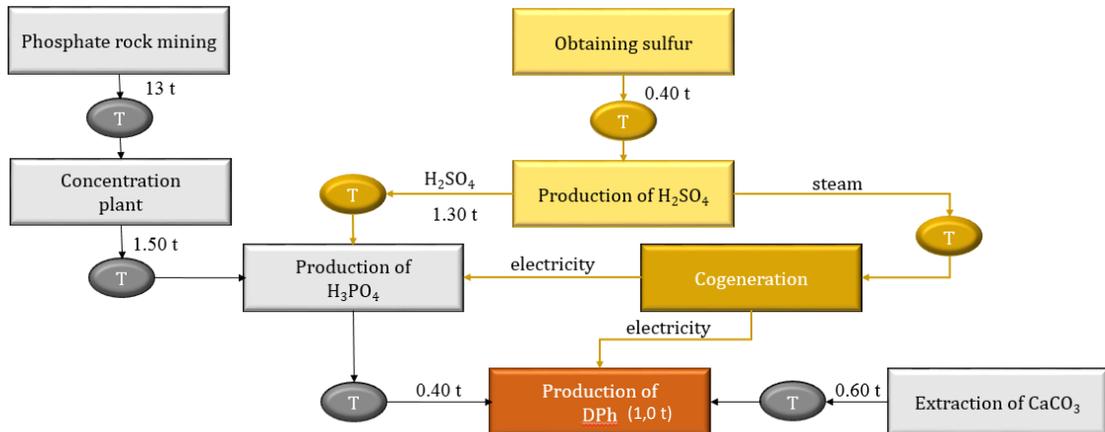
Fosfato bicálcico: (massa) – FBC vs rejeito revalorizado

Avaliação de Impacto:

Método: ReCiPe Ponto médio (H)

Categorias: CC, OLD, TA, FEU, HT, POF, PMF, TEC, FEC, ALO, WD e FD

## Definição de Escopo



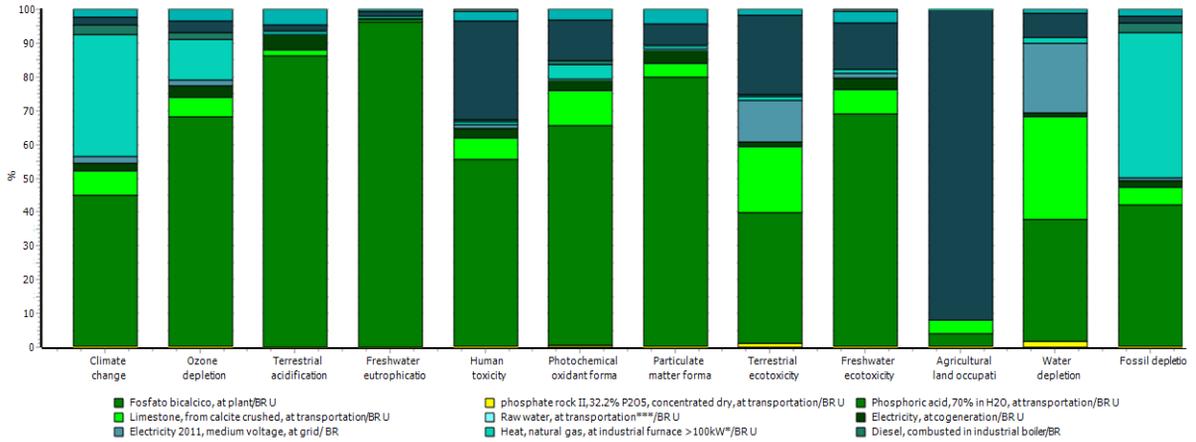
### Premissas específicas

- Coletores, depressores e catalisadores foram considerados como fluxos elementares: contribuições acumuladas <1%
- Conversão de energia térmica em electricidade:  $\eta = 70\%$
- S transporte: ferroviário (local → porto) + carga (porto → porto) + caminhão (porto → planta FBC: L = 225 km)
- Cenário de disposição final de resíduos sólidos: aterro sanitário
- Balanços de massa e energia foram utilizados para estimar cargas ambientais em casos de indisponibilidade de dados
- As cargas ambientais associadas a bens de capital envolvidos no processo não foram consideradas

### Resultados

Categorias de Impacto	Unidade	Total (/ 1.0t FBC)
CC	kg CO <sub>2</sub> eq	262
OLD	kg CFC-11 eq	2.20E-05
TA	kg SO <sub>2</sub> eq	6.34
FEU	kg P eq	1.05E-01
HT	kg 1,4-DB eq	52.4
POF	kg NMVOC	1.40
PMF	kg PM <sub>10</sub> eq	1.49
TEC	kg 1,4-DB eq	1.87E-01
FEC	kg 1,4-DB eq	7.56E-01
ALO	m <sup>2</sup> a	32.5
WD	m <sup>3</sup>	4.72
FD	kg oil eq	54.3

## Resultados



## Resultados

**CC:** 262 kg CO<sub>2</sub> eq.  
57%: eletricidade (rede brasileira)

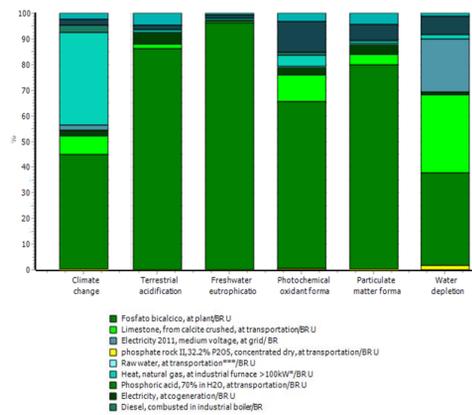
**TA:** 6.34 kg de SO<sub>2</sub> eq.  
Produção de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (emissões de SO<sub>2</sub>)

**FEU:** 1.05E-01 kg P eq.  
Produção de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (perdas de P)

**POF:** 1.40 kg de NMVOC  
Transporte de longa distância

**PMF:** 1.49 kg PM<sub>10</sub> eq.  
Transporte de longa distância

**WD:** 4.72m<sup>3</sup>  
Moinho + concentração + produção de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>:> 66%



## Resultados

**HT:** 52.4 kg 1,4-DB<sub>eq</sub>

Catalisador na produção de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;  
Cultivo da madeira

**TEC:** 1.87E-01 kg 1,4-DB<sub>eq</sub>

Cultivo de madeira (pesticidas → 55.8%)

**FEC:** 7.56E-01 kg 1,4-DB<sub>eq</sub>

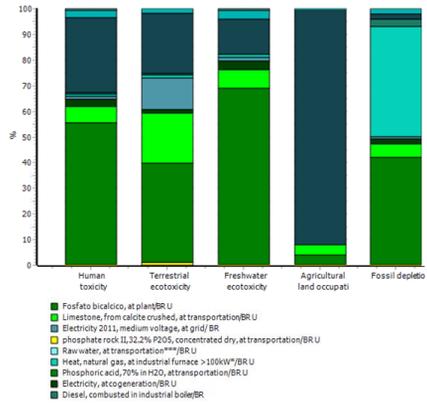
Catalisador na produção de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;  
Cultivo da madeira

**ALO:** 32.5 m<sup>2</sup>a

Cultivo de madeira (> 96%)

**FD:** 54.3 kg de óleo<sub>eq</sub>

Transporte de longa distância (diesel);  
FBC secagem (gás natural)



## Conclusões

- ACV permitiu identificar dos principais focos de impacto ambiental:
  - ✓ importação de enxofre
  - ✓ Consumo de eletricidade na britagem da rocha
  - ✓ Geração de efluentes líquidos (mesmo que de pós-tratamento)
  - ✓ Consumo de água de processo
  - ✓ Consumo de madeira para geração de energia
- Soluções potenciais:
  - ✓ Cominuição do minérico com moedores móveis operados a óleo diesel
  - ✓ Recirculação de efluentes de processos industriais
  - ✓ Revisão da logística de importação de S
  - ✓ Proposição de uso de fontes alternativas de energia

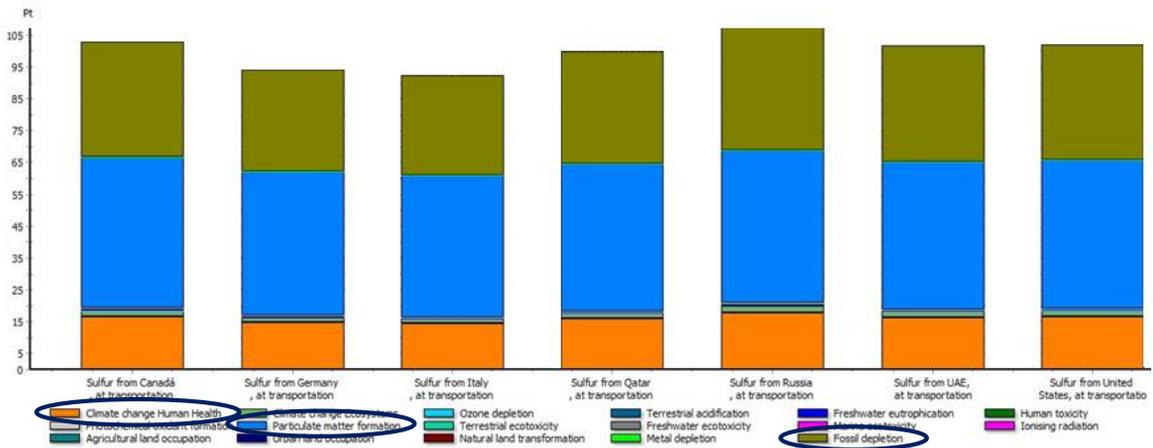
Processo de tomada de decisão baseado na variável ambiental

Country	Extraction technology	Local of extraction	Modal transportation Facility-Port	Port of departure	Modal transportation Port-Port	Port of arrival
Russia	Natural gas sweetening	Astrakhan	Barge + Rail	Kavkas, Kerch, Ust Luga	Transoceanic	Santos-SP
Germany	Petroleum refining	Brake	Rail	Brake	Transoceanic	Santos-SP
United Arab Emirates	Natural gas sweetening	Abu Dhabi	Road by truck	Ruwaiss	Transoceanic	Santos-SP
Canada	Natural gas sweetening	Edmonton + Calgary	Rail	Vancouver	Transoceanic	Santos-SP
Italy	Petroleum refining	Genoa	Road by truck	Genoa	Transoceanic	Santos-SP
United States of America	Petroleum refining	Texas City + Beaumont	Rail	Beaumont + Long Beach	Transoceanic	Santos-SP
Qatar	Natural gas sweetening	Ras Laffan	Road by truck	Ras Laffan	Transoceanic	Santos-SP

Processo de tomada de decisão baseado na variável ambiental

Método: ReCiPe Endpoint (H/H)

Categorias de Impacto: CC, OLD, TA, FEU, HT, POF, PMF, TEC, FEC, ALO, WD e FD



**Processo de tomada de decisão baseado  
nas variáveis ambiental & econômica**

Desempenho Ambiental e Custos Unitários de produção e transporte de enxofre

Country	Unitary Cost (C) (US\$/ton)	Environmental Performance (E) (Pt)	$F = (C * E) ^ 0,5$
Russia	227	107	155.85
Germany	227	94.2	146.23
United Arab Emirates	228	102	152.50
Canada	227	103	152.91
Italy	227	92.4	144.83
United States of America	217	102	148.77
Qatar	228	100	151.00

Indicador  
Econômico + Ambiental

$$F = \sqrt{C \cdot E}$$

**Estudo de Caso nº. 2 – RL Higiene**

Razão Social: RL Sistemas de Higiene LTDA

Setor: limpeza profissional e higiene

Número de empregados (2012): 61

Portfólio de Produtos: 336

Principais clientes: organizações dos segmentos industrial e de serviços (> 900)

Receita bruta (2011): 18.3 miUS\$



## RL Higiene: missão e valores

## RL Higiene: Sustentabilidade

**Compromisso com Sustentabilidade**

A RL fornece produtos de higiene e limpeza profissional sob o conceito de **limpeza sustentável**: aquela capaz de proteger a saúde das pessoas que habitam os edifícios e das que operam a sua limpeza, utilizando o mínimo de recursos materiais e garantindo o mínimo e adequado descarte na natureza.

Recentemente, lançou a linha de produtos químicos para limpeza Higidoor Vert, cuja fórmula é composta exclusivamente por **materias-primas de origem renovável** e mais de 90% dos ativos que os compõem, quando descartados na natureza, se degradam em apenas 14 dias.

Como sustentabilidade e inovação têm tudo a ver, lançou a primeira linha de papéis toalha e higiênico com **certificação FSC** da América do Sul (Forest Stewardship Council).

Recentemente, lançou a linha de produtos químicos para limpeza Higidoor Vert, cuja fórmula é composta exclusivamente por matérias-primas de origem renovável e mais de 90% dos ativos que os compõem, quando descartados na natureza, se degradam em apenas 14 dias. Lançou ainda, o primeiro sabonete com 0 mil em

**Resumindo, através de seus produtos e soluções, a RL auxilia seus clientes a:**

- Optar por produtos e processos que diminuem o consumo de água, energia, embalagens, tempo e transportes, contribuindo, portanto, para redução das emissões de CO<sub>2</sub>;
- Utilizar produtos sem ativos químicos agressivos, que tornam o trabalho mais seguro e auxiliam na diminuição do descarte de substâncias tóxicas na natureza;
- Disponibilizar conteúdos para conscientizar todos os usuários, e assim, evitar desperdícios;
- Adquirir ferramentas mais duráveis, com maior ciclo de vida.

Utilizar produtos sem ativos químicos agressivos, que tornam o trabalho mais seguro e auxiliam na diminuição do descarte de substâncias tóxicas na natureza.

Disponibilizar conteúdos para conscientizar todos os usuários, e assim, evitar desperdícios.

Adquirir ferramentas mais duráveis, com maior ciclo de vida.

Além de produtos e serviços que beneficiam o meio ambiente, a RL apoia entidades e através do trabalho voluntário de seus colaboradores, desenvolve programas de capacitação na comunidade, para saber mais clique aqui.

### Produto em estudo

#### Higindoor 201:

limpador multiuso, aplicável a diferentes tipos de superfícies laváveis: pisos, paredes, portas, janelas, móveis metálicos, plástico, aparelhos sanitários, etc., em todo o segmento institucional.



### Definição de Objetivo & Escopo

**Objetivo:** determinar o perfil ambiental da HD 201

**Abordagem ACV:** berço-a-túmulo

**Produto:** detergente neutro HD 201 - solução diluída (1: 66.7)<sub>p/p</sub>

**Função:** limpeza do piso de uma cafeteria

**Unidade Funcional:** limpeza do piso de uma cafeteria de área 162 m<sup>2</sup>

**Fluxo de referência:** 20.3 L HD 201

**Conceito de limpeza:**

**Padrão estabelecido ABRALIMP:** IR > 85% piso (80% pontos de amostragem)

Área = 162m<sup>2</sup>: 12 pontos → 10 pontos com IR > 85%

## Definição de Escopo

### Fonte de dados:

1<sup>ários</sup>: fabricação de HD201; transporte; Utilidades industriais;

2<sup>ários</sup>: outros processos da unidade do sistema do produto

### Critérios do cut-off:

Contribuição cumulativa de massa e energia <1%

Relevância ambiental (ISO 14044: 2006)

### Qualidade dos dados - Dimensões:

Temporal: 2010 (dados individuais)

Geográfico: SP (fabricação e utilização de matérias-primas HD201)

**Alocação:** não houve situação multifuncional neste estudo

**Modelo de avaliação de impacto:** CML baseline 2000

## Resultados

Avaliação de Impacto relacionada com o uso de HD201 para limpeza de piso de 162m<sup>2</sup>

Categorias de Impacto	Unidades	Total	Uso + Disposição final	Água de diluição	HD 201
DRA	kg Sb eq	1.60E-01	0	2.60E-03	1.50E-01
Ac	kg SO <sub>2</sub> eq	8.40E-02	0	1.20E-03	8.30E-02
Eut	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq	3.70E-02	1.80E-02	1.30E-04	1.90E-02
GWP (100)	kg CO <sub>2</sub> eq	13.4	0	4.70E-01	13.0
OLD	kg CFC-11 eq	9.86E-07	0	1.14E-08	9.75E-07
TH	kg 1,4-DB eq	46.1	0	1.10E-01	46.0
TEc	kg 1,4-DB eq	2.59	0	1.50E-03	2.59
FFO	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1.60E-02	0	5.39E-05	1.60E-02

## Conclusões

- O estudo identificou contribuições significativas associadas ao HD201 no exercício da função limpeza de pisos em termos de DRA, Ac, EUT e GWP
- Quanto à formulação, o dodecilbenzeno, o LESS, o i-propanol eo 2-butoxietanol foram responsáveis pelas cargas ambientais mais significativas do CV em análise
- Considerando o diagnóstico, a RL Higiene decidiu comparar o desempenho ambiental do HD201 com os de outros produtos com desempenho técnico equivalente. As alternativas selecionadas foram:  
 HD410 (existente no portfólio - **usos restritos**);  
 NMU (Novo Multi-Uso - **baseado em ativos renováveis**);  
 HD201 (**formulação revisada: ativos BR**)

## Cenários Comparativos

Características gerais e especificidades dos produtos considerados nessa fase do estudo

Enfoque geral: berço-ao-túmulo

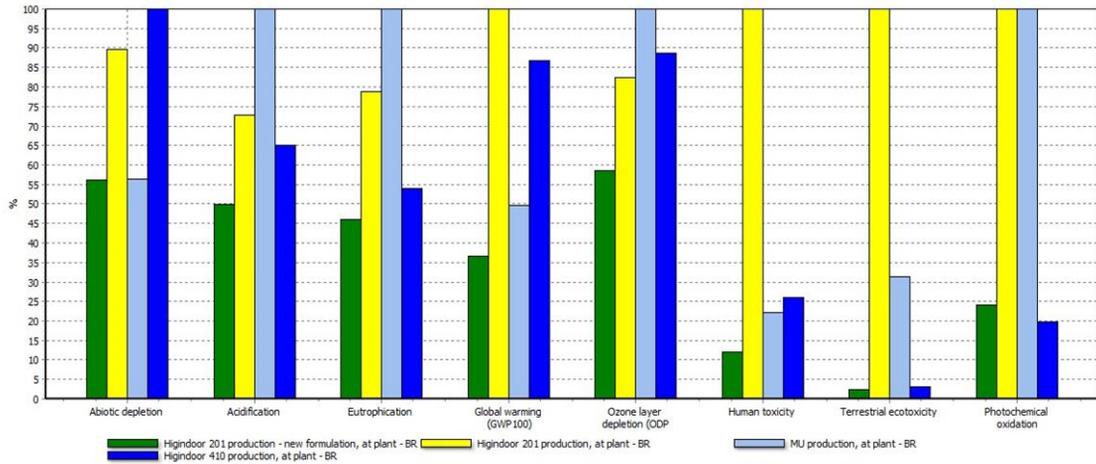
Unidade Funcional: limpeza de 8000 m<sup>2</sup> piso (área total ocupada pela empresa)

Categorias de Impacto: DRA; Ac; Eut; GWP (100); OLD; TH; TEc; FFO

Produto	HD 201	HD 410	NMU	HD 201 - NF
Diluição	1:66.7	1:100	1:150	1:125
Fluxo de Referência (m <sup>3</sup> )		1.00		

## Resultados

### Análise Comparativa de Impactos: valores relativos



Comparing 1 m<sup>3</sup> Higindoor 201 production - new formulation, at plant - BR', 1 m<sup>3</sup> Higindoor 201 production, at plant - BR', 1 m<sup>3</sup> MU production, at plant - BR' and 1 m<sup>3</sup> Higindoor 410 production, at plant - BR'; Method: CML 2 baseline 2000 - Adapted V2.04 / World, 1990 / Characterization

## Resultados

### Análise Comparativa de Impactos: valores absolutos

Impact categories	Units	HD 201 NF	HD 201	NMU	HD 410
DRA	kg Sb eq	6.45	10.3	6.49	11.5
Ac	kg SO <sub>2</sub> eq	3.65	5.33	7.33	4.77
Eut	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq	9.80E-01	1.67	2.12	1.15
GWP (100)	kg CO <sub>2</sub> eq	297	809	401	701
OLD	kg CFC-11 eq	4.42E-05	6.22E-05	7.54E-05	6.68E-05
TH	kg 1,4-DB eq	395	3267	725	848
TEc	kg 1,4-DB eq	4.34	180	56.5	5.69
FFO	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2.70E-01	1.11	1.11	2.20E-01

## Conclusões

- HD 410: bons níveis de desempenho ambiental, mas a faixa de aplicação é restrita em comparação com os outros
- Os potenciais de Eut e TEc são profundamente influenciados pela efetividade do produto para realizar a função: revisão de hábito do consumidor
- HD201 nova formulação (ativos produzidos no BR): melhor desempenho ambiental mesmo em comparação com o MNU
- LCA: forneceu informações importantes em termos de Ecodesign. A variável ambiental foi de fato considerada como critério de tomada de decisão

## Exercício de Fixação

Uma empresa revendedora de óleo para motores precisa se decidir quanto ao material a ser utilizado na embalagem do seu produto. Para isso, optou por utilizar critérios baseados em desempenho ambiental.

Decisões a serem tomadas:

- Tipo de material para envase do óleo (de alumínio ou PET);
- Tipo de material para carregamento das unidades (papel ou polietileno).

Informações para apoiar a decisão foram obtidos a partir de estudos de ACV, e referem-se:

- Emissões de CO<sub>2</sub>
- Consumo de água
- Consumo de energia

### Exercício de Fixação

#### Dados

- **Alumínio:**
  - capacidade por vasilhame: 0,8L
  - Massa de um vasilhame: 55g
- **PET:**
  - capacidade por vasilhame: 1.0L
  - Massa de um vasilhame: 75g
- **Sacola de papel:**
  - capacidade: 5 vasilhames de Alumínio ou 4 vasilhames de PET
  - Massa de uma sacola de papel: 50g
- **Sacola de polietileno:**
  - capacidade: 5 vasilhames de Alumínio ou 4 vasilhames de PET
  - Massa de uma sacola de polietileno: 30g
- **Base de cálculo:** 4.0L de óleo de motor

### Exercício de Fixação

Aspecto Ambiental	Material	Obtenção de Matérias-Primas	Manufatura dos Materiais	Manufatura do Produto	Transporte	TOTAL (/t insumo)
Água (m <sup>3</sup> /t)	Alumínio	100	100	100	100	400
	PET	80	80	100	100	360
	Papel	120	150	100	100	470
	Polietileno	80	90	100	100	370
CO <sub>2</sub> -eq. (kg/t)	Alumínio	100	100	100	100	400
	PET	120	120	80	100	420
	Papel	150	80	70	100	400
	Polietileno	120	120	80	100	420
Energia Elétrica (kWh/t)	Alumínio	100	100	100	----	300
	PET	80	50	90	----	220
	Papel	30	10	30	----	70
	Polietileno	80	50	90	----	220

Com base apenas nas informações apresentadas, que conjunto você escolheria? Justifique sua resposta a partir de resultados quantitativos.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

PHA 3513 – Sustentabilidade no Setor Produtivo

## Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

[luiz.kulay@usp.br](mailto:luiz.kulay@usp.br)