Actividades de I&D desenvolvidas na FCT/UNL

Profª Graça Martinho
Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da FCT-UNL

2ª Jornada de Reciclagem e Valorização de REEE
30 de Março de 2011, Ordem dos Engenheiros

Projectos de I&D com a Amb3E

- **REEE presentes nos RSU e comportamentos das famílias portuguesas face aos REEE (2007)**
- **Caracterização dos REEE por categorias legais (2008/09)**
- **Optimização do balanço económico e ambiental na gestão dos resíduos de plásticos provenientes do tratamento de REEE (2009/2010)**

PROJECTO de I&D SOBRE REEE PRESENTES NOS RSU (2007)

Graça Martinho
Ricardo Gomes
Joana Santos

Protocolo de Cooperação estabelecido entre a Amb3E e o DCEA, FCT/UNL

2ª Jornada de Reciclagem e Valorização de REEE
30 de Março de 2011, Ordem dos Engenheiros

Objectivos

- Conhecimento sobre o fluxo dos REEE presentes nos RSU e avaliação do comportamentos das famílias portuguesas relativamente ao destino dado aos REEE:
  - Quantificação e caracterização dos REEE presentes nos RSU indiferenciados (Projecto 1);
  - Quantificação e caracterização dos REEE presentes nos resíduos depositados nos embalões (Projecto 2);
  - Destino dado aos REEE de consumo doméstico pelas famílias portuguesas (Projecto 3).

Metodologia (Projectos 1 e 2)

- Definição de metodologia específica para quantificação e caracterização de REEE nos RSU:
  - Pequena proporção de REEE nos RSU
  - Necessidade de uma dimensão de amostra elevada
  - Baixa exequibilidade e custos elevados para realização de campanhas específicas

- Realização periódica de campanhas de caracterização e quantificação de RSU pelos SMAUT:
  - Solicitou-se a colaboração dos Sistemas com campanhas programadas em 2007
  - Quantificação e caracterização simultânea REEE presentes nas amostras de RSU utilizadas nessas campanhas (10 categorias legais e 5 fluxos operacionais utilizados pela Amb3E).

2005.01.13

Metodologia (Projecto 3)

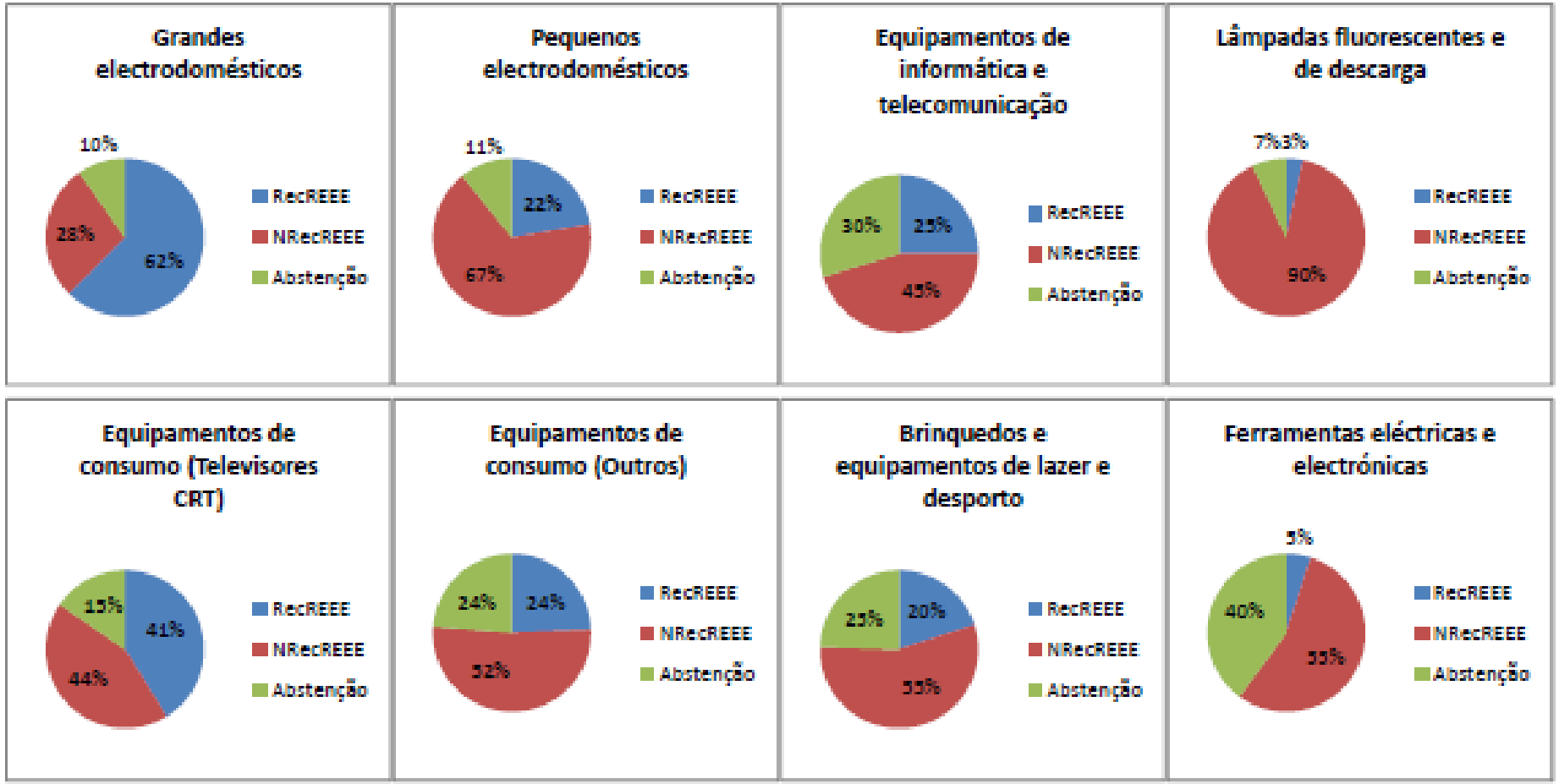
- Instrumento de análise: inquérito por questionário, realizado face-a-face à porta das residências
- Universo: famílias residentes em cidades do Continente
- Dimensão da amostra: 1.228 famílias, margem de erro de 2,66%, com 95% de confiança
- Construção de variáveis de estudo:
  - Sociodemográficas: caracterização do entrevistado e do seu agregado familiar
  - Comportamentais: destino dado aos REEE pelas 10 categorias legais
- Avaliação das diferenças entre famílias com diferentes comportamentos: divisão em dois grupos comportamentais em função do destino dado aos REEE - Famílias Recicladoras de REEE (RecREEE) e Famílias Não Recicladoras de REEE (NRecREEE).

Resultados (Projectos 1 e 2)

	SMAUT	Campanhas (nº)	Amostras (nº)	RSU (t)	REEE (nº)	REEE (kg)
REEE nos RU indiferenciados	14	19	288	102,1	1 100	409,4
REEE nos embalões	4	6	37	2,7	60	15,2

- REEE nos RU indiferenciados:
  - 10 REEE/t de RSU; 3,6 kg/t de RSU
  - Distribuição em peso: pequenos electrodomésticos (29%) equipamentos de consumo (15%) e equipamentos de informática e telecomunicação (15%), representando estas três categorias, cerca de 60% do peso total dos REEE no RSU
- REEE nos resíduos depositados nos embalões: 33%, em peso, da categoria informática e telecomunicações e cerca de 22% da categoria pequenos electrodomésticos

Resultados (Projecto 3)



Conclusões

- Em média os REEE representam cerca de 0,39% dos RSU indiferenciados
- As categorias de REEE presentes nos RSU indiferenciados em maiores quantidades, em peso, são os pequenos electrodomésticos (29%) e os EEE do fluxo operacional C (78%)
- Em relação aos REEE depositados nos embalões, os equipamentos predominantes, em peso, pertencem à categoria informática e telecomunicação (33%) e a maioria dos equipamentos foram identificados como pertencentes ao fluxo operacional C (76%).
- Dos 1.228 inquiridos, 23% foram classificados no grupo das famílias "recicladoras de REEE".
- Verificaram diferenças estatisticamente significativas para as variáveis região de residência da família e idade do elemento da família que respondeu ao questionário. Região Norte a proporção de famílias recicladoras de REEE é superior e os inquiridos do grupo RecREEE apresentam idades superiores aos do grupo de famílias não recicladoras de REEE.

CARACTERIZAÇÃO DE REEE POR CATEGORIAS LEGAIS (2008/09)

Graça Martinho
Luanha Saraiva
Rita Ribeiro

Protocolo de Cooperação estabelecido entre a Amb3E e o DCEA, FCT/UNL

2ª Jornada de Reciclagem e Valorização de REEE
30 de Março de 2011, Ordem dos Engenheiros

Objectivos

- Definição de linhas de orientação para que seja estabelecida uma metodologia de caracterização dos 5 Fluxos Amb3E, pelas 10 categorias legais;

- Realizar um estudo piloto para propor uma metodologia de caracterização para o Fluxo C.

- Fluxos operacionais
  - A – Grandes Equipamentos
  - B – Equipamentos de Arrefecimento e Refrigeração
  - C – Equipamentos Diversos
  - D – Lâmpadas Fluorescentes e de Descarga
  - D1 – Lâmpadas Fluorescentes Tubulares
  - D2 – Lâmpadas de Geometria Diversa
  - E – Monitores e Aparelhos de Televisão (Tubos de Raios Catódicos)

1. Grandes Electrodomésticos
2. Pequenos Electrodomésticos
3. Equipamentos Informáticos de Telecomunicações
4. Equipamentos de Consumo
5. Equipamentos de Iluminação
6. Ferramentas eléctricas e Electrónicas
7. Brinquedos e equipamento de desporto e lazer
8. Aparelhos Médicos
9. Instrumentos de Monitorização de Controlo
10. Distribuidores Automáticos

Metodologia Geral (cont.)

- Caracterização dos Fluxos

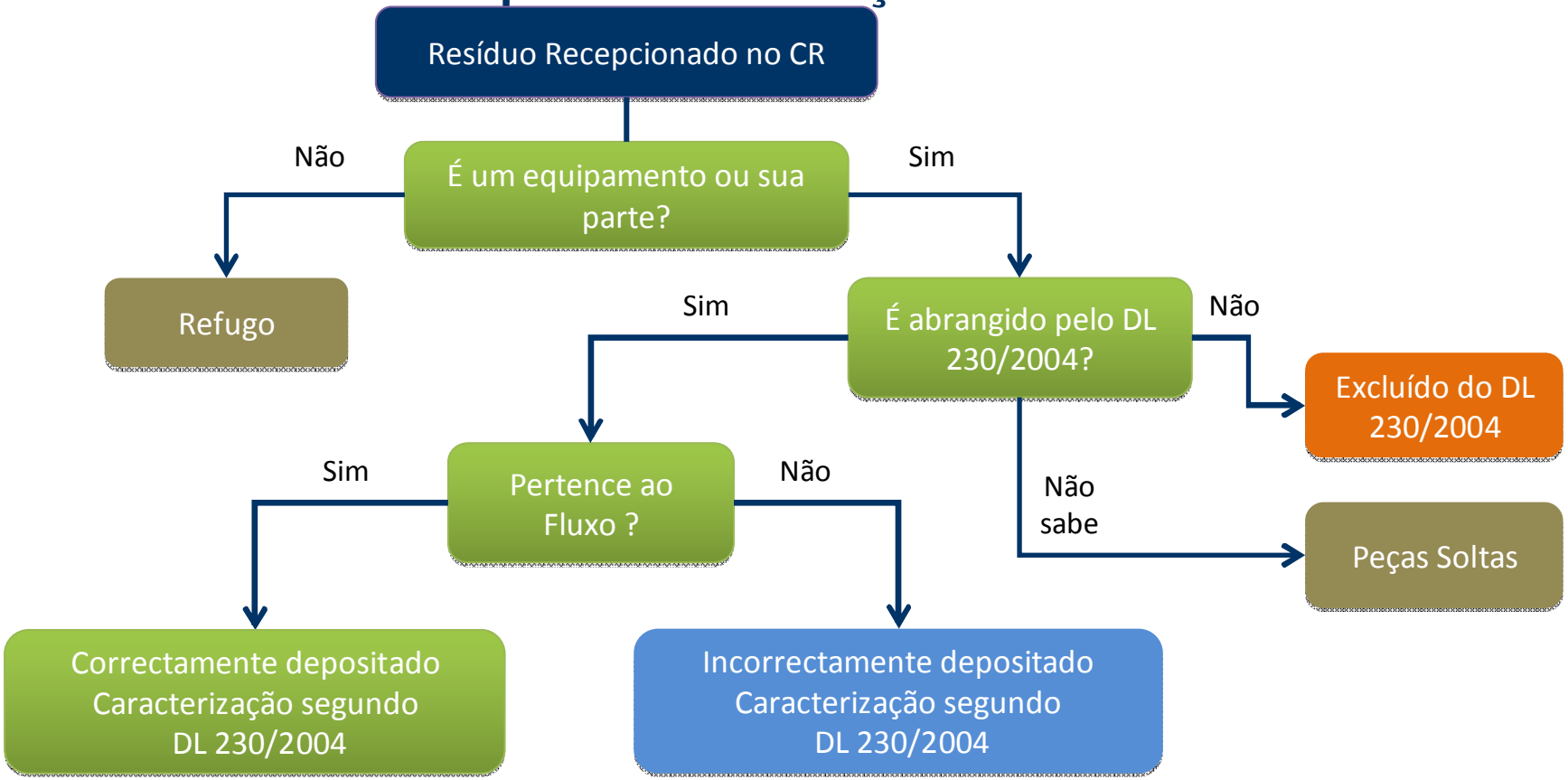
Fluxo Amb3E	A	B	C	D	E	Total
Quantidade em 2007(t)	414	1.090	1.656	167	725	4.053
% em peso	10,2%	26,9%	40,9%	4,2%	17,9%	100,0%
Categorias legais	1	1, 8 e 10	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10	5	3 e 4	-
Potencial de rastreamento	Baixo	Baixo	Nulo	Alto	Baixo	-

Estudo Piloto – Fluxo C

- **Nível de amostragem:** Centro Recepção (CR);
  - Interecycling (Viseu);
  - Recielectric (Seixal);
  - Renascimento (Loures);
  - VALNOR (Alter do Chão).
- **Unidade de amostragem:** totalidade de uma carga a enviar para tratamento;
- **Tipo de Amostragem:** por conveniência (não probabilística), tendo sido seleccionadas cargas de origem SMAUT e Operador Privado (OP), escolhidas aleatoriamente;
- **Triagem Manual:** realizada pelas 10 categorias, chegando ao nível do equipamento.

Estudo Piloto – Fluxo C

- **Árvore de decisão para caracterização do fluxo**



Estudo Piloto – Fluxo C

- Cargas caracterizadas

OP

SMAUT

Análise dos I

- Composição em peso

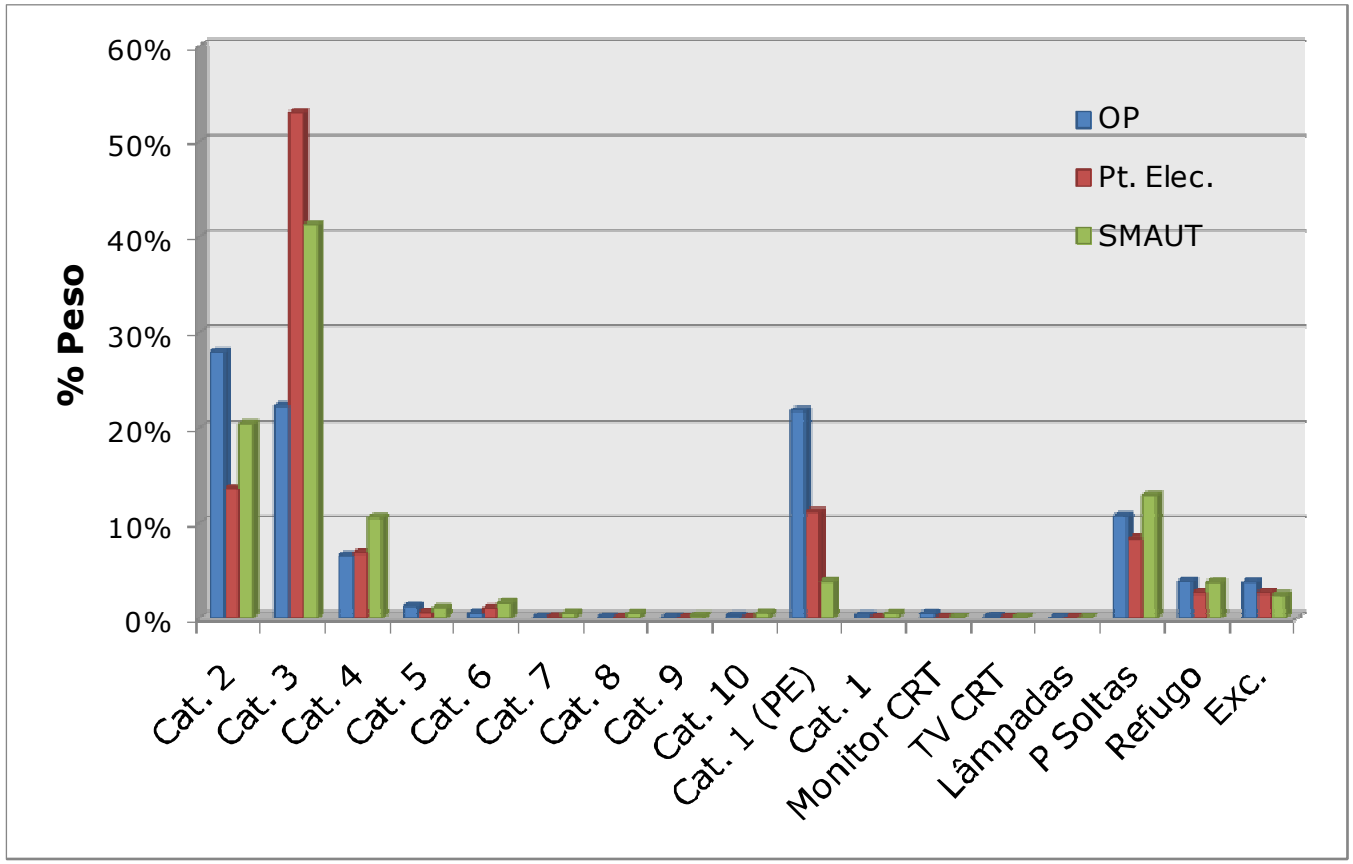
  (Somatório do total das 9 cargas)

Aproximadamente 14 % da amostra é composta por outros fluxos, sendo o fluxo A o principal contaminante, devido à categoria 1 dos pequenos equipamentos.

Categorias	Peso (kg)	% Peso
Categoria 2	7.803	22,6%
Categoria 3	11.978	34,7%
Categoria 4	2.830	8,2%
Categoria 5	369	1,1%
Categoria 6	349	1,0%
Categoria 7	82	0,2%
Categoria 8	75	0,2%
Categoria 9	50	0,1
Categoria 10	107	0,3%
Sub Total	***23.643***	***68,6%***
Categoria 1 (PE)	4.450	12,9%
Categoria 1	108	0,3%
Categoria 3 (Monitores CRT)	73	0,2%
Categoria 4 (TV CRT)	41	0,1%
Categoria 5 (Lâmpadas)	0	0,0%
Peças Soltas	3.859	11,2%
Refugo	1.250	3,6%
Exc. do DL 230/2004	1.054	3,1%
Sub total	***10.835***	***31,4%***
Total	**34.477**	**100%**

Análise dos Resultados

- Caracterização por origem



Análise dos

- Composição em número de equipamentos

(Somatório do total das 9 cargas)

Categorias	Nº equi.	% Nº equi
Categoria 2	3.610	34,1%
Categoria 3	3.877	36,6%
Categoria 4	1.393	13,1%
Categoria 5	239	2,3%
Categoria 6	123	1,2%
Categoria 7	69	0,7%
Categoria 8	49	0,5%
Categoria 9	21	0,2%
Categoria 10	32	0,3%
Sub Total	***9.413***	***88,8%***
Categoria 1 (PE)	711	6,7%
Categoria 1	8	0,1%
Categoria 3 (Monitores CRT)	12	0,1%
Categoria 4 (TV CRT)	3	0,0%
Categoria 5 (Lâmpadas)	3	0,0%
Peças Soltas		
Refugo		
Exc. do DL 230/2004	448	4,2%
Sub total	***1.185***	***11,2%***
Total	**10.598**	**100%**

Análise dos Resultados

Top 10

% Peso no total da amostra		% Nº de equipamentos no total da amostra	
• Impressoras	10%	• Ferros de engomar	8%
• CPU	10%	• Teclados	7%
• Aspiradores	7%	• Aspiradores	5%
• Microondas	6%	• Impressoras	5%
• Ferros de Engomar	5%	• Telefones fixos	5%
• Máquinas de Café	5%	• Máquinas de Café	4%
• Copiadoras	4%	• CPU	4%
• Aquecedores a óleo	2%	• Ratos	4%
• Videos VHS	2%	• Torradeiras	4%
• Teclados	2%	• Aparelhos de rádio	3%
Total	53%	Total	49%

Peso Médio

Fileiras	Fluxo Amb3	Categorias Operacionais	N.º Equi. Amostrado	Peso Médio (kg/Equi.)
Cat.1	A	Aquecedor a óleo	72	12,1
Cat.1	A	Microondas	157	13,8
Cat.2	C	Aspiradores	566	4,3
Cat.2	C	Ferros de engomar	869	1,8
Cat.2	C	Máquinas de café	422	3,2
Cat.2	C	Torradeiras	372	1,2
Cat.3	C	Copiadoras	37	49,2
Cat.3	C	CPU	396	7,1
Cat.3	C	Impressoras e	580	6,7
Cat.3	C	Ratos	384	0,1
Cat.3	C	Teclado	767	0,9
Cat.3	C	Telefones fixos	523	0,6
Cat.4	C	Aparelhos de rádio	360	1,3
Cat.4	C	VHS	177	4,4

Proposta de Metodologia para a Caracterização do Fluxo C

- **Registo do Planeamento**

  Necessário elaborar um plano de amostragem onde se registam todos os pontos a ter em consideração nas campanhas de caracterização

- **Dimensão Espacial da Análise**

  Fase inicial: Nível Nacional

  Fase seguinte: Nível regional

- **Dimensão Temporal da Análise**

  Fase inicial: duas campanhas, uma no período Outono/Inverno, e outra Primavera/Verão

Linhas de Orientação

- **Tipo de Amostragem**

  Amostragem aleatória simples ou aleatória estratificada

- **Nível de Amostragem**

  Nível CR (transição da carga entre o CR e a UTV)

- **Unidade de Amostragem**

  Total da carga (cargas com dimensão inferior a 1,5 t deverão ser rejeitadas)

- **Padrões Estatísticos**

  Nível de confiança e precisão adequado

Linhas de Orientação

- **Tamanho da Amostra**
  Projecto piloto: pelo menos mais 21 cargas
- **Triagem**
  Baseada no procedimento seguido pela FCT/UNL
- **Meios Materiais e Humanos**
  Baseada no procedimento seguido pela FCT/UNL
  (Triagem manual entre 300 kg/h.H e 400 kg/h.H)

Conclusões

- Estudo piloto da categoria C evidenciou que as categorias mais representativas em % peso são: Cat. 1 (PE), Cat. 2, Cat. 3;
- Necessário realizar, pelo menos, mais 21 campanhas antes de ser possível concluir algo sobre as características do fluxo;
- Identificar as variáveis que podem ter influência na composição do fluxo C;
- Realização dos estudos piloto para os restantes fluxos.

OPTIMIZAÇÃO DO BALANÇO ECONÓMICO E AMBIENTAL NA GESTÃO DOS RESÍDUOS PLÁSTICOS PROVENIENTES DO TRATAMENTO DE REEE

Graça Martinho
Luanha Saraiva
Rita Ribeiro
João Almeida

Protocolo de Cooperação estabelecido entre a Ambigroup e o DCEA, FCT/UNL

2ª Jornada de Reciclagem e Valorização de REEE
30 de Março de 2011, Ordem dos Engenheiros

Parceiros

- Projecto financiado pela Amb3E e desenvolvido em parceria com a Recielectric (UTV de REEE), e por um grupo de outras instituições académicas, nomeadamente:
  - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
  - CVR – Centro para a Valorização de Resíduos;
  - Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia de Minas e Georecursos, CERENA – Centro de Recursos Naturais e Ambiente;
  - PIEP Associação – Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros

Objectivos

Actividade A1

- Realizar uma caracterização qualitativa e quantitativa dos vários fluxos de resíduos plásticos provenientes dos REEE geridos pela Amb3E e processados na Recielectric.

Actividade A8

- Identificar as formas mais eficientes de valorização dos resíduos plásticos de REEE geridos pela Amb3E e recepcionados na Recielectric.

Metodologias utilizadas:

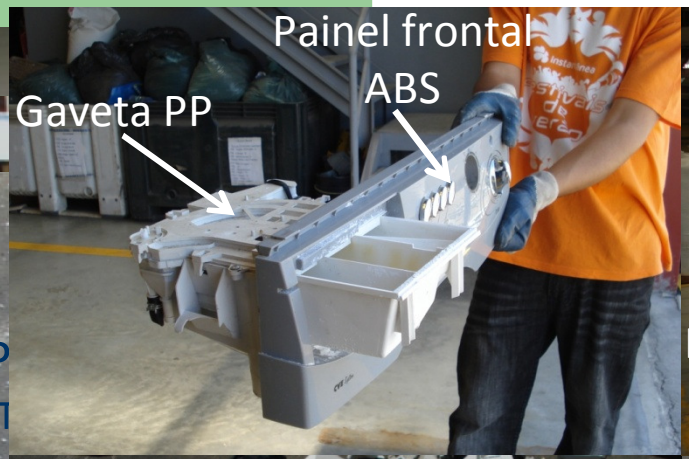
- Análise de Ciclo de Vida (ACV)
- Análise de Custo de Ciclo de Vida (ACCV)

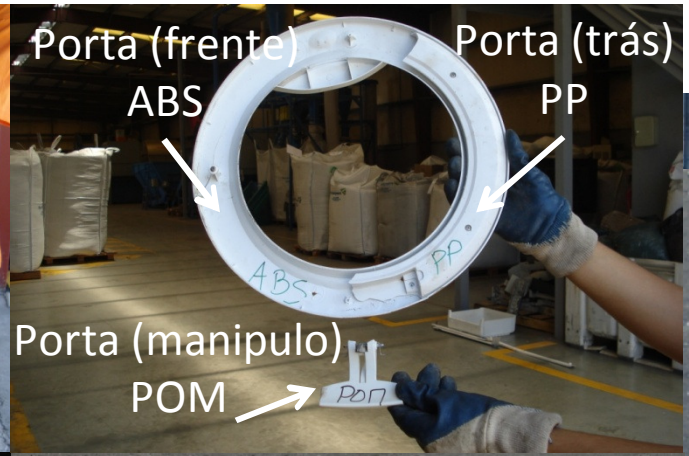
Análise da Sustentabilidade

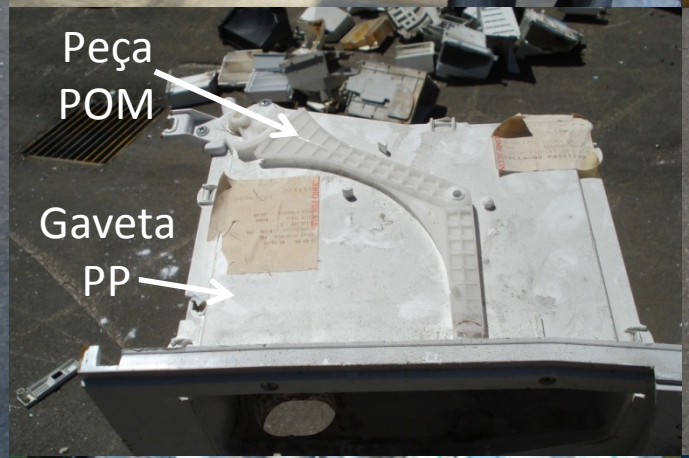
Actividade A1 – Caracterização

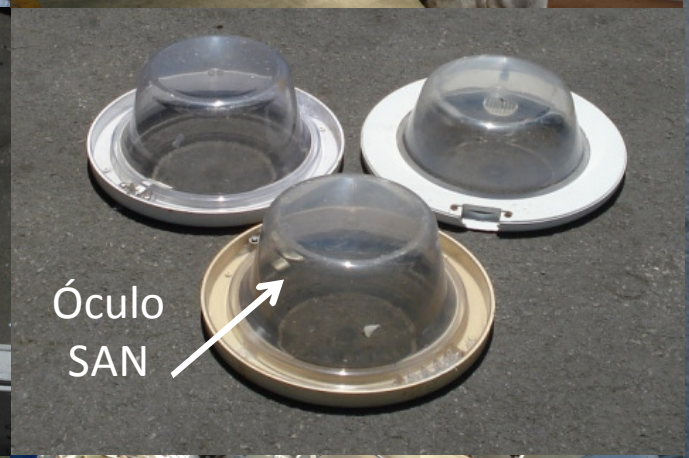
- **Objectivo:** Realizar uma caracterização qualitativa e quantitativa dos vários fluxos de resíduos plásticos provenientes dos REEE ;
- **Amostragem**: Aleatória estratificada;
- **Campanhas**:
  - Caracterização inicial;
  - Caracterização de validação e determinação da dimensão da amostra;
- **Procedimentos**:
  - Análise do material tal e qual, peça por peça, e separação de acordo com a marcação do tipo de polímero e cor (colorido e preto). Registo da data de produção da peça sempre que presente;
  - Análise das peças sem marcação do tipo de polímero num aparelho portátil de leitura NIR;
  - Pesagem das fracções separadas.

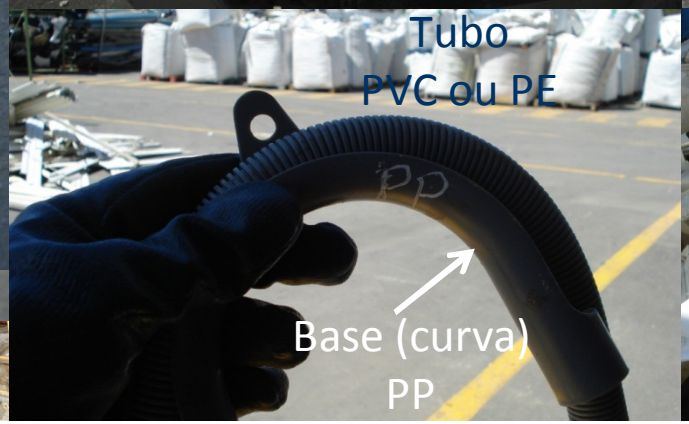
Actividade A1 – C



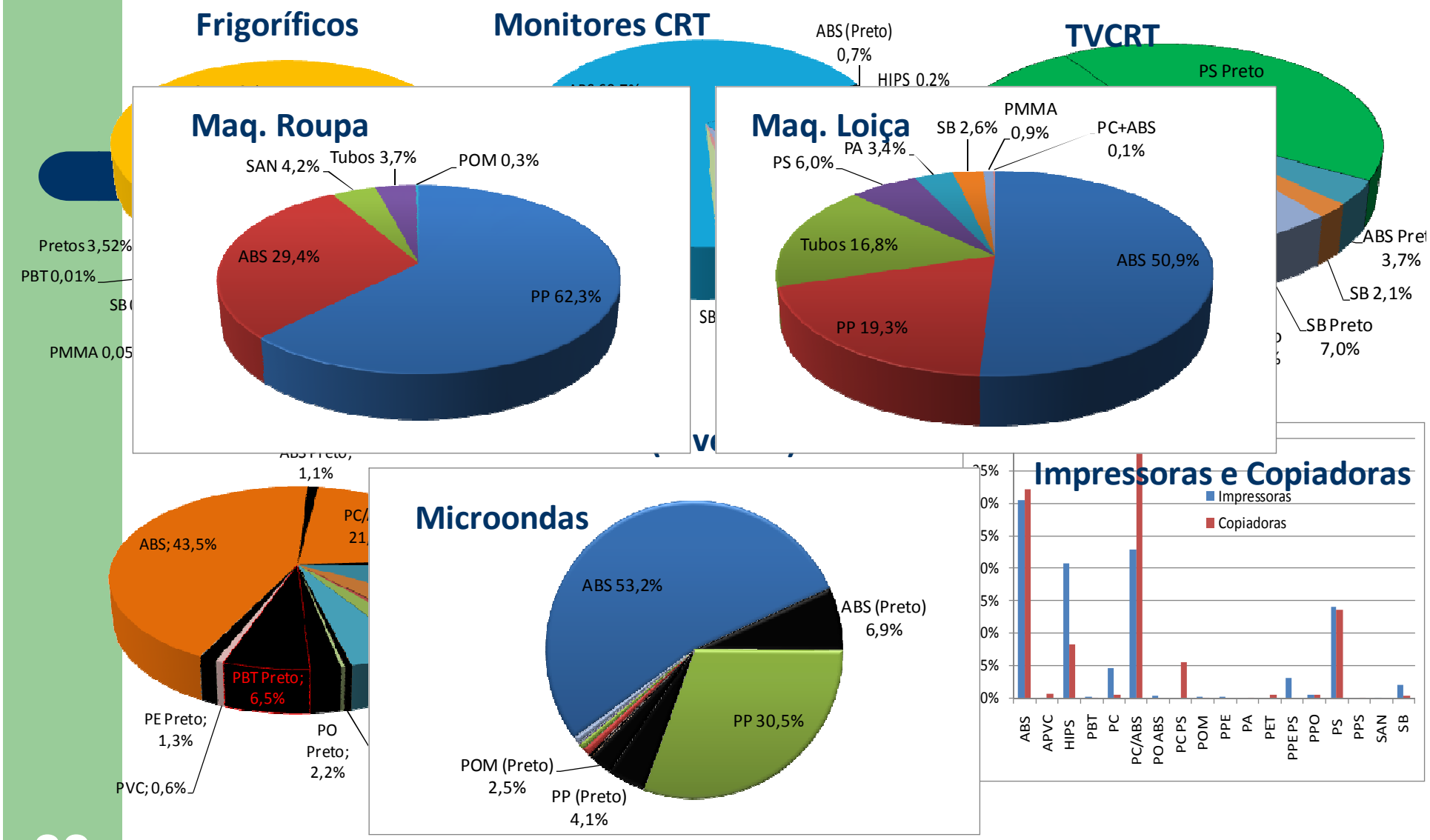




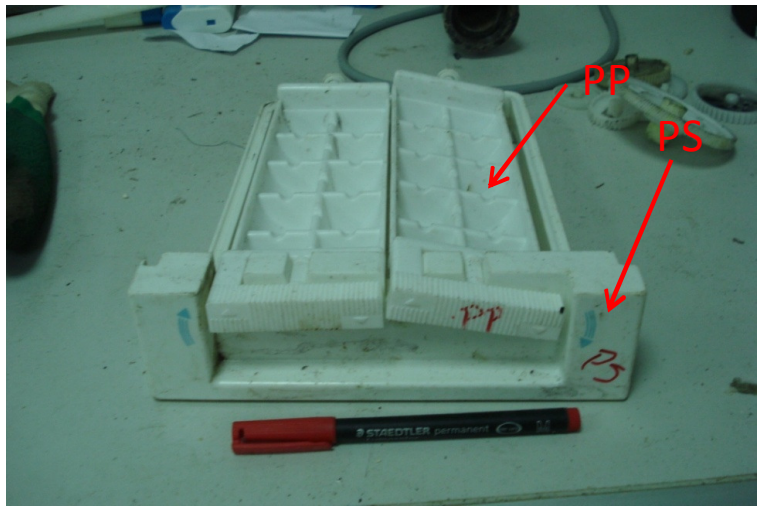




Actividade A1 – C

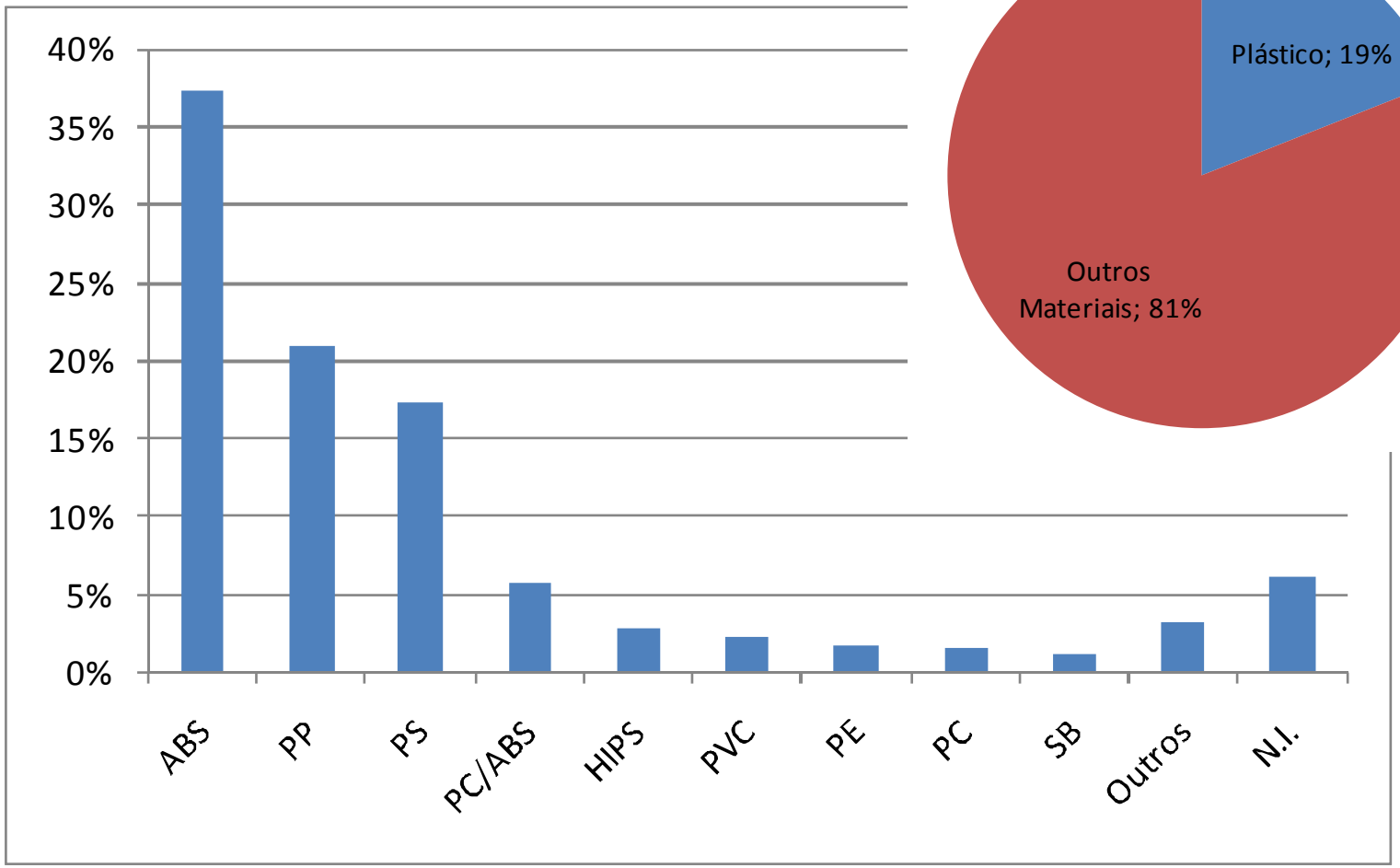


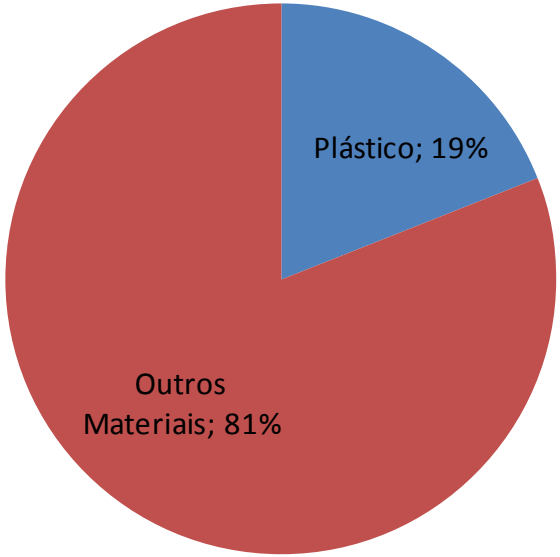
Actividade A1 – C



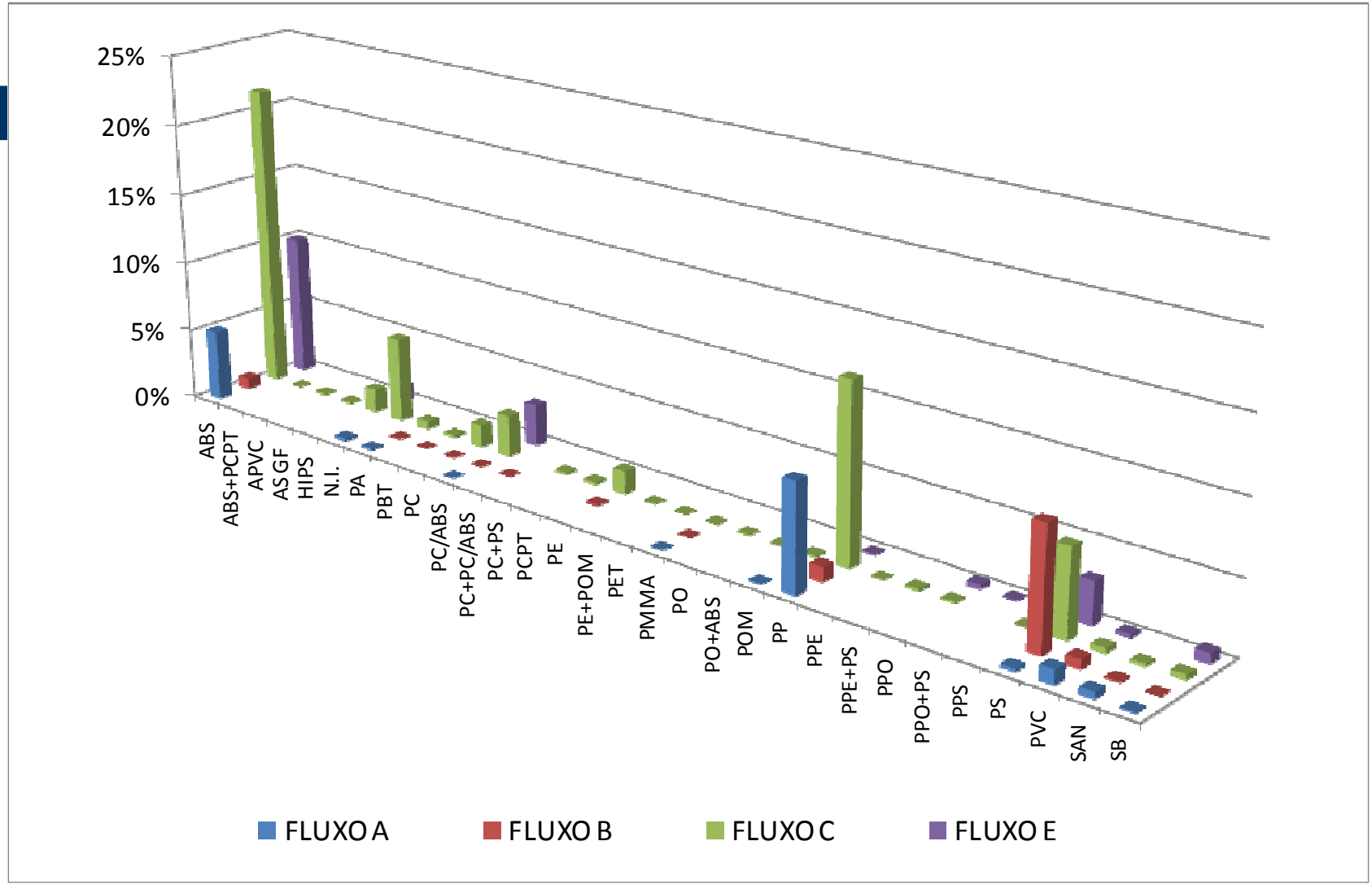
Simulação Amb3E (2009)

A fracção polimérica do fluxo de REEE, gerido pela Amb3E no ano de 2009, representou 19% (6 483 t) do peso total dos REEE recolhidos e tratados





Simulação Amb3E (2009)



Conclusões actividade 1

- Este estudo representa uma significativa contribuição em termos metodológicos, testaram-se procedimentos e identificaram-se variáveis fundamentais para a futura definição de uma metodologia de caracterização do fluxo plástico dos REEE;

- Foi proposto um modelo de cálculo que permite prever quais serão os polímeros recuperados em termos quantitativos e qualitativos, possibilitando a antecipação de possíveis opções de valorização;

- A metodologia seguida permitiu que numa única campanha exploratória, se caracterizasse, de forma representativa, cerca de metade da fracção plástica a recuperar do fluxo de REEE

Actividade A8 – ACV e ACCV

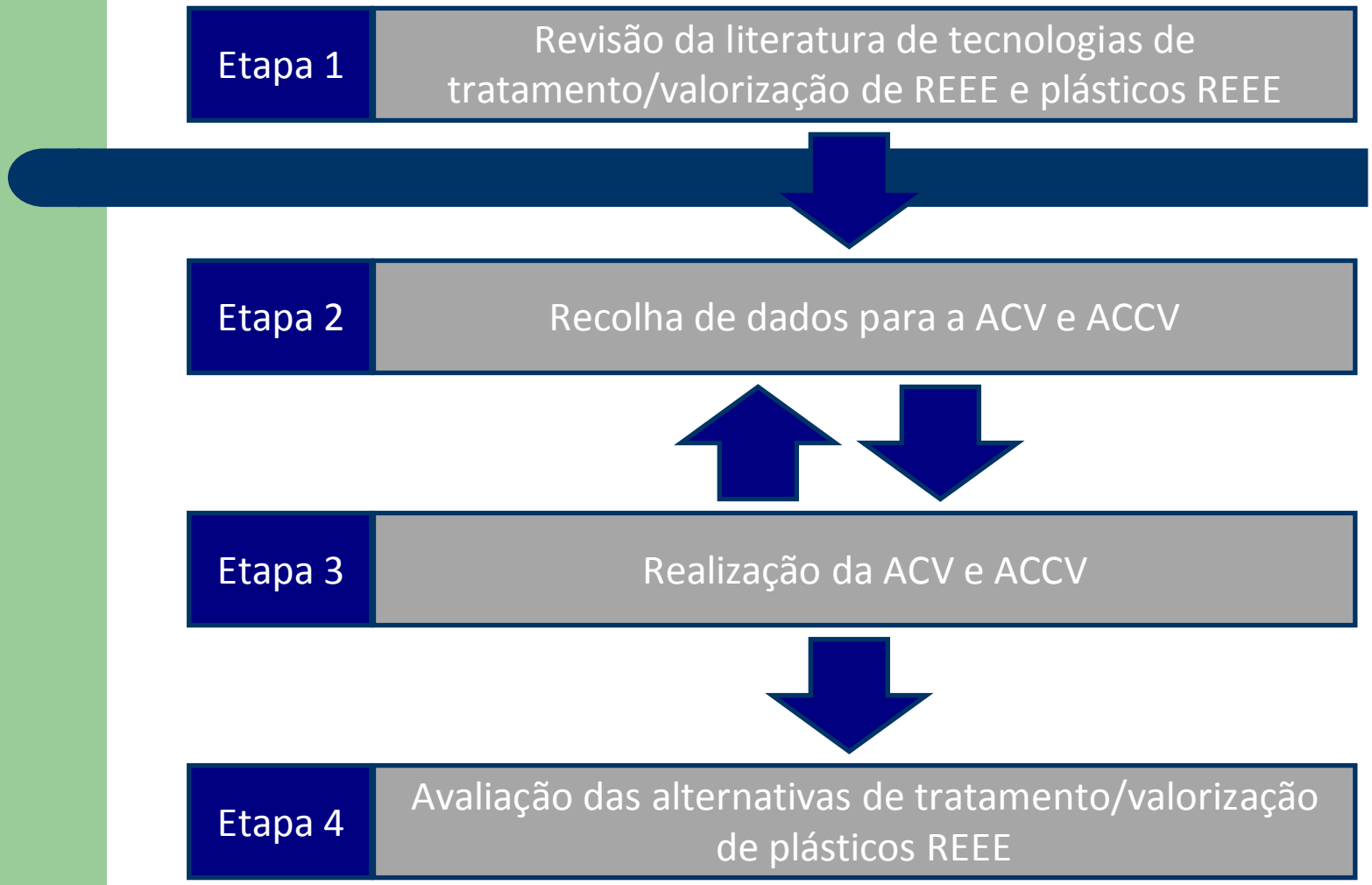
- **Objectivo:** Identificar as formas mais eficientes de valorização dos vários fluxos de resíduos plásticos dos monitores CRT recepcionados na Recielectric e geridos pela Amb3E;

- **Sistema em Estudo**: Fase de fim de vida da fracção plástica dos **monitores CRT**;

- **Unidade Funcional**: 1 tonelada de plástico REEE recuperada dos monitores CRT;

- **Fronteiras**: Desde a recolha da Amb3E até à valorização do plástico recuperado (reciclagem ou valorização térmica);

- **Cenários Estudados**:
  - C1 – Sistema actual (reciclagem);
  - C2 – Maximização da reciclagem;
  - C3 – Valorização térmica em cimenteira;
  - C4A – Valorização térmica por incineração (sem trituração);
  - C4B – Valorização térmica por incineração (com trituração).


Etapa 1
Revisão da literatura de tecnologias de tratamento/valorização de REEE e plásticos REEE
Etapa 2
Recolha de dados para a ACV e ACCV
Etapa 3
Realização da ACV e ACCV
Etapa 4
Avaliação das alternativas de tratamento/valorização de plásticos REEE

ACV – Resultados

Categoria Impacte	Unidade	C1 (Reciclagem)	C2 (Reciclagem)	C3 (Cimenteira)	C4 A (Incineração)	C4 B (Incineração)
Aquecimento Global	kg CO2 eq	- 1 977,87	- 2 073,32	- 949,99	1 804,18	1 792,59
Acidificação	kg SO2 eq	3,33	3,03	11,18	- 9,16	- 8,81
Toxicidade Humana	kg p-DCB	- 42,52	- 46,99	100,05	- 53,64	- 61,03
Deplecção dos Recursos	kg Sb eq	- 23,54	- 24,54	- 24,33	- 4,94	- 5,20
Eutrofização	kg PO4 eq	0,60	0,58	3,34	- 0,12	- 0,23
Oxidação Fotoquímica	kg etileno	- 0,16	- 0,18	- 0,62	- 0,32	- 0,31

Prioridade máxima

Prioridade mínima

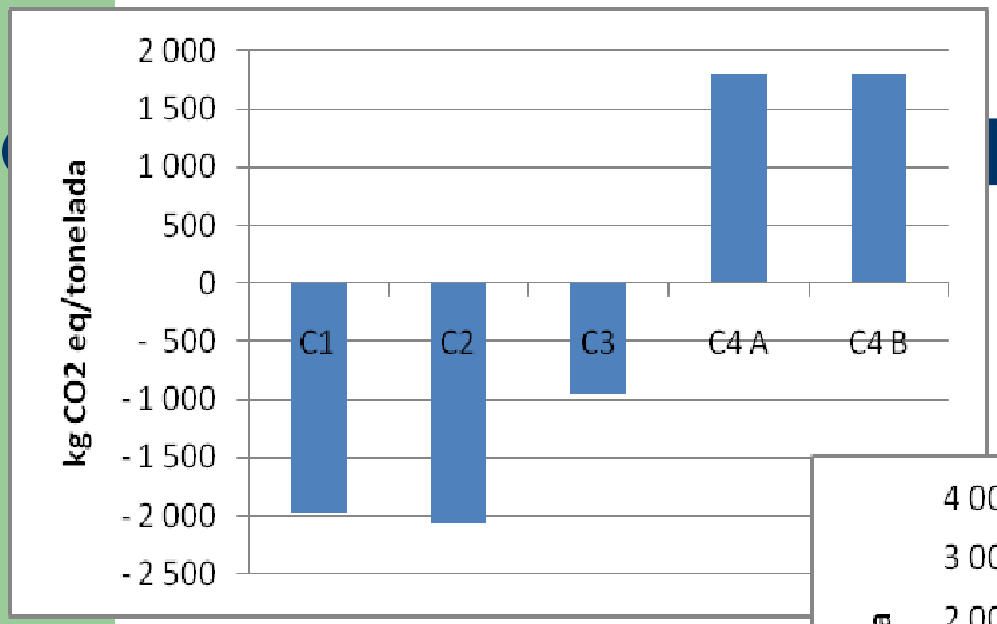
Legenda:

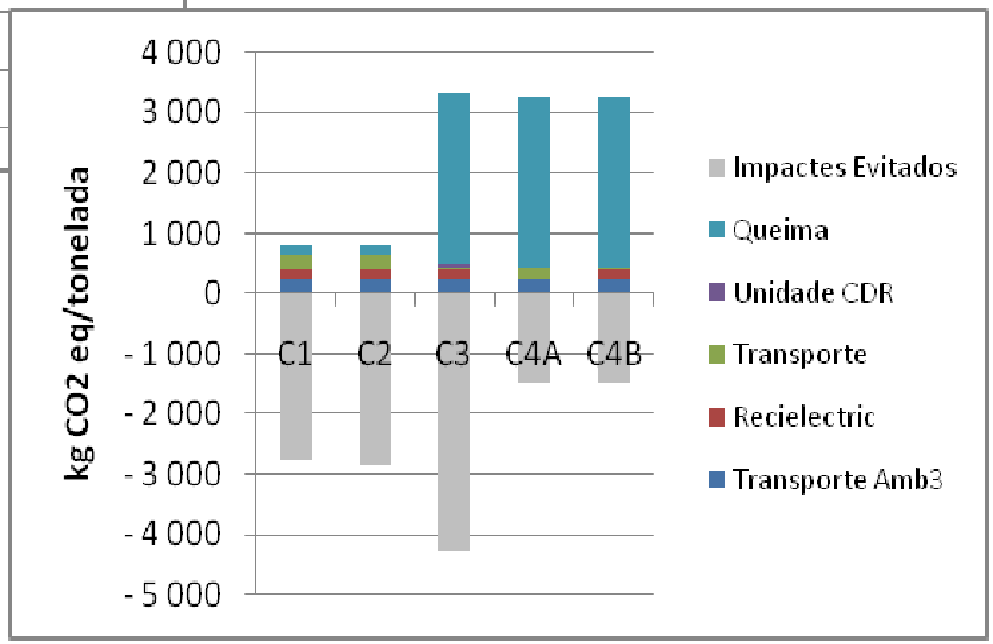
Melhor solução

Solução intermédia

Pior solução

Aquecimento Global





Conclusões da ACV

- Os dados utilizados nesta ACV consideram-se adequados aos objectivos do estudo, contudo:
  - variações da composição do plástico não foram avaliadas;
  - não foram realizadas análises físico-químicas suficientes.

- Os resultados do estudo de base não permitem distinguir claramente qual é a melhor opção de tratamento, uma vez que se verifica uma grande variação nos resultados consoante a categoria de impacte visada.

Conclusões da ACV

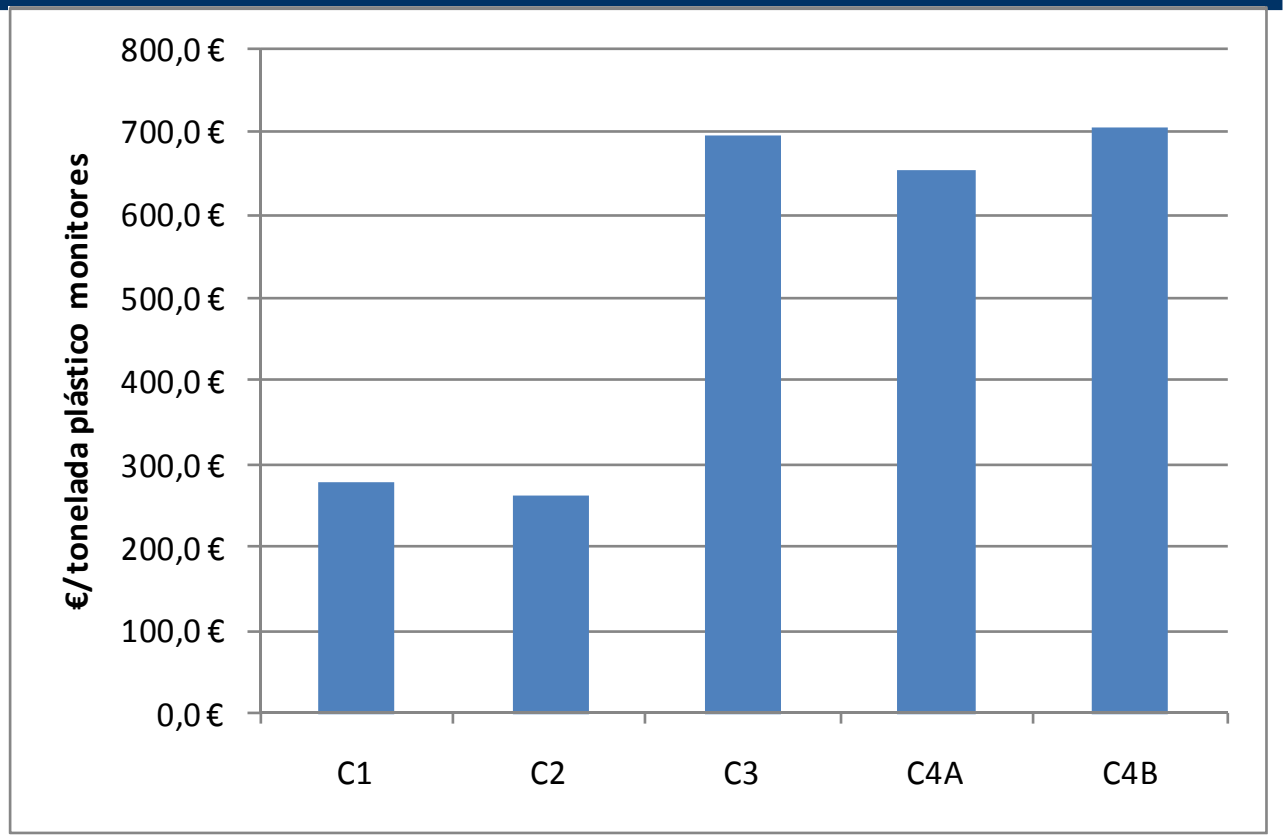
- De acordo com a normalização CML 2000 para a Europa Ocidental o Aquecimento Global (54%) é a categoria de impacte com maior peso, logo seguida da categoria Acidificação (44%). A categoria Toxicidade Humana (1,5%) surge bastante abaixo e as restantes categorias apresentam um contributo muito reduzido.

- Embora qualquer processo de normalização assente em critérios subjectivos, sendo importante avaliar os resultados caso a caso, poder-se-á inferir dos resultados obtidos que a melhor solução de tratamento em termos ambientais é a reciclagem material.

ACCV – Objectivo e Âmbito

- O objectivo da ACCV consistiu em integrar os factores económicos na análise ambiental realizada pela ACV;
- Pretendeu-se identificar os cenários mais eficientes que apresentem, simultaneamente, o melhor resultado ambiental e económico;
- Sistema em Estudo: Fase de fim de vida da fracção plástica dos monitores CRT;
- Unidade Funcional: 1 tonelada de plástico REEE recuperada dos monitores CRT;
- Fronteiras equivalentes às da ACV.

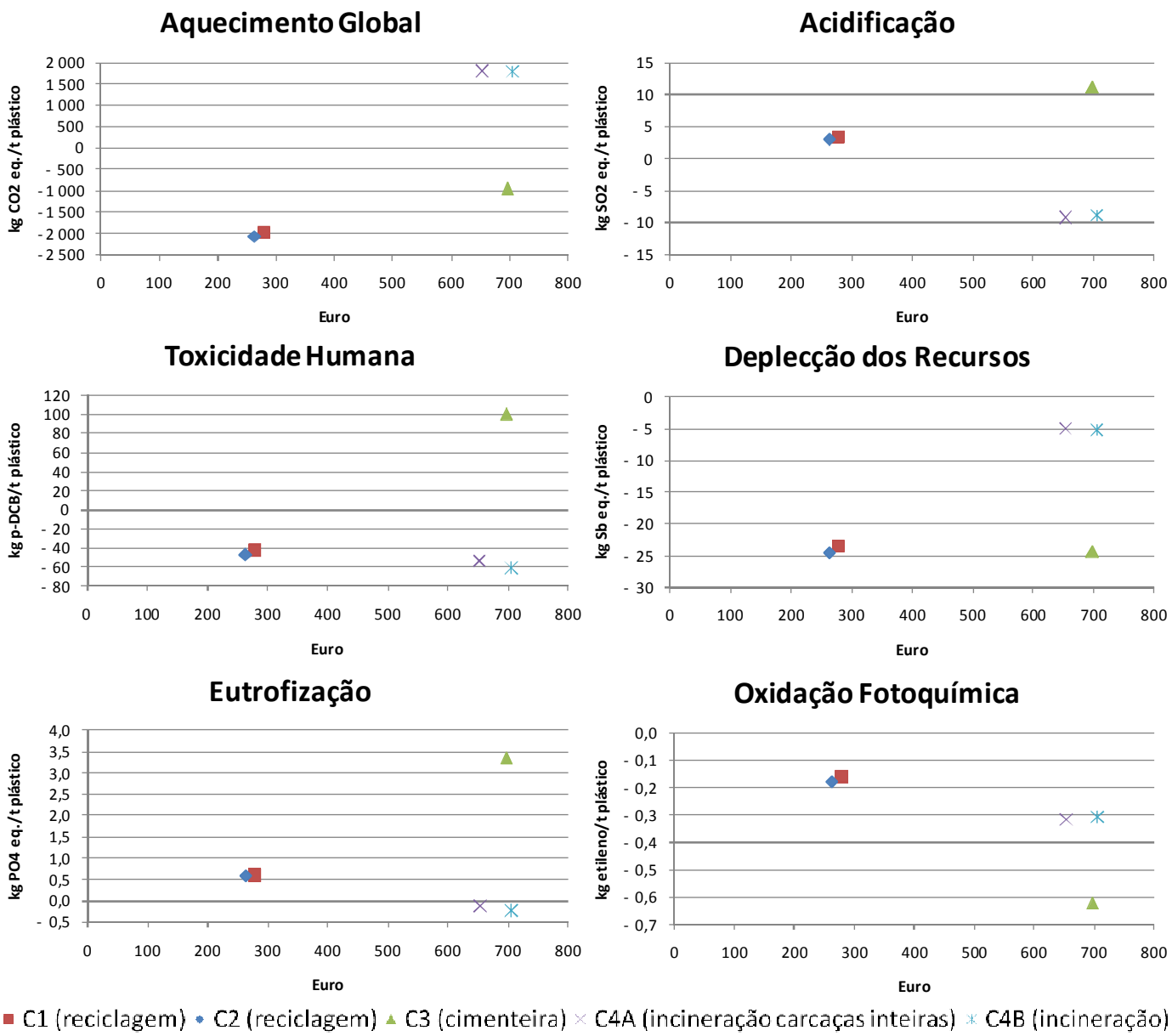
ACCV – Resultados



Conclusões da ACCV

- Os resultados da ACCV ambiental demonstraram, de forma inequívoca, que a solução de tratamento mais vantajosa é a reciclagem material, uma vez que a venda da matéria-prima secundária permite compensar, de forma significativa, os custos do processamento do material;

- Contudo, de acordo com os pressupostos assumidos neste estudo, observa-se que o sistema integral, desde a recolha e processamento do plástico, até à sua valorização final, representa sempre um custo, não compensado pelos rendimentos conseguidos durante o processo.


Aquecimento Global
kg CO2 eq./t plástico
2 000
1 500
1 000
500
0
- 500
- 1 000
- 1 500
- 2 000
- 2 500
0 100 200 300 400 500 600 700 800
Euro
Acidificação
kg SO2 eq./t plástico
15
10
5
0
- 5
- 10
- 15
0 100 200 300 400 500 600 700 800
Euro
Toxicidade Humana
kg p-DCB/t plástico
120
100
80
60
40
20
0
- 20
- 40
- 60
- 80
0 100 200 300 400 500 600 700 800
Euro
Deplecção dos Recursos
kg Sb eq./t plástico
0
- 5
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
0 100 200 300 400 500 600 700 800
Euro
Eutrofização
kg PO4 eq./t plástico
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
- 0,5
0 100 200 300 400 500 600 700 800
Euro
Oxidação Fotoquímica
kg etileno/t plástico
0,0
- 0,1
- 0,2
- 0,3
- 0,4
- 0,5
- 0,6
- 0,7
0 100 200 300 400 500 600 700 800
Euro
C1 (reciclagem)
C2 (reciclagem)
C3 (cimenteira)
C4A (incineração carcaças inteiras)
C4B (incineração)

Conclusões Actividade A8

- Os resultados obtidos pela ACV demonstraram que, em grande medida, o resultado final depende da não produção de matéria-prima e combustíveis;

- Este resultado terá, à partida, uma aplicação directa nos sistemas dos restantes fluxos geridos. Assim, sempre que tecnicamente viável, dever-se-á optar por soluções de tratamento que promovam a valorização material;

- Os resultados não permitiram distinguir qual a melhor opção de valorização térmica, devendo ser estabelecido pela Amb3E a priorização das categorias de impacte.