



Departamento de Biologia, Universidade dos Açores

Duarte Manuel Berquó de Aguiar Viveiros

**Equipamento informático: A análise do ciclo
de vida e contributo para o “eco-design”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Segurança e Saúde, da Universidade dos Açores, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ambiente, Segurança e Saúde

Orientador: Prof. Dr. António Brito

Ponta Delgada, Açores
2008

RESUMO

Ao fim de quase um século de desenvolvimento económico e social extraordinário, da crescente globalização, da revolução contínua das tecnologias de informação e comunicação (ICT's), e das rápidas inovações e rotações de processos e produtos, constata-se que a utilização de recursos naturais, o impacte dos derivados do petróleo, e a crescente produção de resíduos colocam seriamente em causa a sustentabilidade terrestre. Nos finais dos anos 90's, o Concelho Mundial de Negócios para um Desenvolvimento Sustentável (WBCSD) identificou 7 factores de sucesso para a “eco-eficiência”, dos quais se realçam a desmaterialização, a redução da intensidade energética dos produtos e serviços, a promoção da reciclabilidade, o aumento da durabilidade dos produtos, e o aumento da partilha de bens e serviços.

Os principais objectivos da dissertação são respectivamente o desenvolvimento de uma análise de sustentabilidade ambiental de um Computador Pessoal (PC), através da aplicação da metodologia de Análise do Ciclo de Vida (norma ISO 14040), com recurso a uma ferramenta de software de ACV, e a identificação de melhorias em termos de desenho ecológico do referido sistema.

A interpretação dos resultados do Inventário e da Análise de Impacte do ciclo de vida indica que a fase de maior impacte ambiental no ciclo de vida do PC é a fase de utilização, com incidência para o impacte originado pelo consumo energético do equipamento. A interpretação também permite inferir que o impacte de toxicidade do solo e subsolo do equipamento depositado em lixeira é igualmente considerável, pelo que estratégias de reutilização e reciclagem são imperativas.

Em termos de melhorias de desenho ecológico, os objectivos delineados pelo WBCSD há uma década mantêm-se mais actualizados do que nunca, considerando-se pertinente a desmaterialização do PC.

ABSTRACT

At the end of a century of an extraordinary economical and social development, an increasing globalization, a continuous revolution of the “ICT’s”, and the fast innovations and rotations of the products and processes, we realize that the use of natural resources, the impact of the oil derivatives, and the increasing waste production place serious doubts on the earth sustainability.

In the final 90’s, the “WBCSD” identified 7 success factors for eco-efficiency, with special emphasis for the dematerialization, the intensity energy reduction for products and services, the promotion of recyclability, the increase of product life time and product and service share.

The main objectives of the present work are respectively the development of an environmental sustainability analysis of a Personal Computer (PC), through the Life Cycle Analysis method (ISO 14040), through an LCA software tool, and the identification of improvements in terms of eco-design of the system.

The result interpretation of the Inventory and Impact Analysis indicates that the “use” phase has the greatest environmental impact, related to the impact of the production of the energy used throughout the life cycle. The interpretation also permits the inference of the significant ground surface and root-zone soil toxicity impact of the land deposit of the equipment, which indicates the imperative need for strategies of reusing and recycling.

In terms of improvements of eco-design of the PC, the WBCSD objectives, stated a decade ago, are more pertinent than ever, including the urgent need for dematerialization of the equipment.

Lista de Figuras e Quadros

Figuras

- Figura 1 – Desenvolvimento do circuito integrado (“e-grain”).
- Figura 2 – Ciclo de Vida de Produtos – Os programas da UE.
- Figura 3 – Ciclo de Vida de Produtos – Conceito “DfE”
- Figura 4 – Metodologias de Avaliação Ambiental: Enquadramento espacial e temporal.
- Figura 5 – Metodologias de Avaliação Ambiental simplificadoras (Ernzer et al.)
- Figura 6 – Fases do Ciclo de Vida de Sistemas/Produtos, com fluxos entrada/saída.
- Figura 7 – Metodologia de ACV – Fases constituintes, de acordo com ISO 14040/14044.
- Figura 8 – Exemplos de “Categorias de impacte ambiental”, unidades e impactes associados (método Eco-indicator 95).
- Figura 9 – Complexidade de análise do ACV – Regra de corte (“cut-off”).
- Figura 10 – Processo construtivo da Unidade Central do PC.
- Figura 11 – Processo construtivo da Fonte de Alimentação do PC.
- Figura 12 – Processo construtivo da Unidade Disquetes 3,5”.
- Figura 13 – Processo construtivo da Unidade de Disco Rígido.
- Figura 14 – Processo construtivo da Unidade de CD-ROM.
- Figura 15 – Processo construtivo do Ecrã monitor CRT de 15”.
- Figura 16 – Processo construtivo do Cinescópio do Ecrã monitor CRT 15”.
- Figura 17 – Processo construtivo do Teclado do PC.
- Figura 18 – Processo construtivo do Rato do PC.
- Figura 19 – Estrutura de fases do ciclo de vida da ferramenta SimaPro 7.

Quadros

- Quadro 1 – Dados estatísticos de produção de resíduos 1980-2005.
- Quadro 2 (A, B, e C) – Características relevantes da legislação europeia sobre EEE’s.
- Quadro 3 – Riscos para a Saúde Humana e Meio Ambiente (fonte OECD 2001).
- Quadro 4 – Comparação de algumas Metodologias de Avaliação Ambiental.
- Quadro 5 – Dados de potência de consumo de energia eléctrica do PC.
- Quadro 6 – Principais referências bibliográficas do ACV do PC.
- Quadro 7 – Informação relativa a transportes nas fases do ciclo de vida.
- Quadro 8 – Dados energéticos para empresa de fornecimento de bens e serviços.
- Quadro 9 – Tratamento fim de vida de computadores pessoais.
- Quadro 10 – Composição de um Computador Pessoal de Secretária com um peso aproximado de 70 libras (cerca de 31,78 Kg).
- Quadro 11 – Composição “standard” de Placas (“PWB’s”) incluindo componentes.
- Quadro 12 – Composição “standard” de Bobines indutância e Transformadores.
- Quadro 13 – Composição “standard” do Cinescópio do monitor “CRT” 15”.
- Quadro 14 – materiais utilizados na produção de solda.
- Quadro 15 – Peso das componentes principais do PC
- Quadro 16 – Materiais de composição do PC.
- Quadro 17 – Categorias de impacte da metodologia “TRACI” da “SimaPro 7”.
- Quadro 18 – Análise AICV da metodologia “TRACI” do “SimaPro 7”.
- Quadro 19 – Análise AICV (TRACI) - Análise percentual das fases do ciclo de vida do Computador pessoal.
- Quadro 20– Análise AICV (TRACI) - Análise percentual das componentes do Computador pessoal.
- Quadro 21 – Dados informativos relativos ao conhecimento de materiais e pesagem das componentes do PC.

Lista de Anexos

ANEXO I - Elementos informativos dos rótulos ecológicos internacionais

ANEXO II - Metodologias de Aval Sustentabilidade e de Aval Ambiental

ANEXO III - Metodologias de Análise de Impacte Ambiental - AICV

ANEXO IV - Ferramentas de software de ACV

ANEXO V - Componentes do Computador Pessoal

ANEXO VI - Processos construtivos de componentes e materiais

ANEXO VII - Relação materiais do Computador Pessoal

ANEXO VIII - Limites de Análise do ACV do Computador Pessoal

ANEXO IX - Inventário de ACV do Computador Pessoal - ICV

ANEXO X - Configurações da ferramenta de software ACV SimaPro 7

ANEXO XI – Resultados da Avaliação de Impacte (TRACI e outros) - AICV

ANEXO XII – Redes/Árvores de processos do Computador Pessoal

Nomenclatura

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida
ACIV – Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
BCSD – Business Council for Sustainable Development
CD-ROM – Disco Compacto – Memória só de Leitura
CI – Circuito Integrado
CPU – Unidade Central de Processamento de um Computador Pessoal
CRT – Ecrã ou monitor de tubo de raios catódicos
DfE – Desenho para o Ambiente
DfR – Desenho para a Reciclagem
DfD – Desenho para a Desmontagem
ECMA – “European Computer Manufacturers Association”
EIA – “Electronics Industry Association”
EUA, US – Estados Unidos da América
IAER – “International Association of Electronics Recyclers”
ICV – Inventário do Ciclo de Vida
ICT – Tecnologia de Informação e Comunicação
ISO 14040 - Avaliação do ciclo de vida – Princípios e Estrutura
ISO 14044 - Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Orientações
ISO 14041 - Avaliação do ciclo de vida – Definições de objectivo e âmbito e análise do inventário
ISO 14042 - Avaliação do ciclo de vida – Avaliação do impacto do ciclo de vida
ISO 14043 - Avaliação do ciclo de vida – Interpretação do ciclo de vida
ISO TR 14047 - Exemplos de aplicação da ISO 14042
ISO TS 14048 - Formato de apresentação de dados
ISO TR 14049 - Exemplos de aplicação da ISO 14041
ISO 14020 - Rótulos e Declarações Ambientais – Princípios Básicos.
IT – Tecnologias de Informação
JEITA – “Japan Electronics Information Technology Association”
LCD – Ecrã de Cristal Líquido
MCC – “Microelectronics and Computer Technology Corporation”
MCT Ministério de Ciência e Tecnologia
NCR – “National Recycling Coalition”
NITO – “Nordic Information Technology Organization”
OECD – “Organization For Economic Co-Operation And Development”
OEM – “Original Equipment Manufacturer”
PAZ – “Polymer Alliance Zone”
PC – Computador Pessoal de Secretária
PWB – Placa de circuito integrado (Printed Wired Board)
RAM – Memória de Acesso Aleatório
RoHS – “Restriction Of The Use Of Certain Hazardous Substances In Electrical And Electronic Equipment”
REEE – Resíduos de Equipamento Eléctrico e Electrónico
SMD – “Surface Mount Devices” – componentes semicondutores e passivas
SVTC – “Silicon Valley Toxics Coalition”
TC 207 - Comissão Técnica 207 da ISSO para questões ambientais
UE – União Europeia
UN – Nações Unidas (“United Nations”)
UNEP – “United Nations Environment Protection”
US EPA – “United States Environment Protection Agency”
WBCSD – “World Business Council for Sustainable Development”
WICE - Concelho Mundial Industrial para o Ambiente
WWW - World Wide Web
ZWA - Zero Waste Alliance

Siglas de substâncias e materiais (português e inglês)

BOD	biochemical demand
BFR	brominated flame retardant
FR	Flame retardant
Pb	Chumbo
Sn	Estanho
Cu	Cobre
Al	Alumínio
Ni	Níquel
Fe	Ferro
CO ₂	carbon dioxide
CFC	chlorofluorocarbon
E-Waste	electronic-waste
EOL	end-of-life
Chromium VI	hexavalent chromium
PBB	polybrominated biphenyl
PBDE	polybrominated diphenyl ether
SARS	Severe Acute Respiratory Syndrome
TSS	total suspended solids
VOC	Volatile organic compound
PBBA	Poli Brominated Biphenyls - A
PBDE	Poli Brominated Diphenyl Ether
ABS	Acrinolitriilo Butadieno Estireno
PET	Polietileno Tereftalato
PS	Poli Estireno
PP	Poli Propileno
PC	Poli Carbonado
PVC	Poli Cloreto de Vinilo
HIPS	Poli Estireno de alto impacto
BFR	Brominados "Flame retardants"
PBB	Poli Bromo Bifenil
PCB	Poli Clorinados Bifeniles

Equipamento informático: A análise do ciclo de vida e contributo para o “eco-design”

Índice

1 – ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS	10
1.1 – Enquadramento geral	10
1.2 – As Tecnologias de Informação e Comunicação (ICT), a sociedade de informação, e a sustentabilidade	12
1.3 – A problemática dos resíduos dos “EEE´s”	17
1.4 – Regulamentação ambiental dos “EEE´s”	19
1.5 – Conceitos de desenho ecológico e rótulo ecológico	26
1.6– Objectivos	36
1.7 – Organização da dissertação	36
2 – MÉTODOS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL	37
2.1 - Métodos de Avaliação de sustentabilidade e impacte ambiental	37
2.1.1 - Introdução	37
2.1.2 - Principais métodos	38
2.1.3 – Metodologias de avaliação de sustentabilidade	38
2.1.4 – Metodologias de Avaliação Ambiental (Sustentabilidade ambiental)	39
2.1.5 - Outros métodos de Avaliação ambiental	41
2.2 - A Metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)	43
2.2.1 – Introdução e Objectivos	43
2.2.2 – Composição do ACV	46
2.2.3 – Aspectos positivos e negativos da metodologia ACV	53
2.3 - Ferramentas automáticas da metodologia ACV	54
2.3.1 - Introdução	54
2.3.2 - Ferramentas de software de modelação de ACV	57
3 – DESENVOLVIMENTO DE ACV DE UM COMPUTADOR PESSOAL	57
3.1 – Pressupostos gerais	57
3.2 – Definição de Objectivos e Âmbito do ACV	58
3.2.1 – Objectivo do ACV	58
3.2.2 – Âmbito do ACV	59
3.3 - Análise do Inventário de Ciclo de Vida (ICV)	66
3.3.1 – Objectivos e Pressupostos gerais do ICV	66
3.3.2 – Metodologia de análise, caracterização e codificação de materiais do PC	67
3.3.3 – Caracterização dos materiais e processos construtivos do PC	70
3.3.4 – Composição de materiais do PC	78

3.3.5 – Processos construtivos das componentes do PC	79
3.3.6 – Inventário de Ciclo de Vida (ICV)	87
3.4 - Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida (AICV)	89
3.4.1 – Pressupostos gerais	89
3.4.2 – Selecção do AICV	90
3.4.3 – Classificação/Caracterização do AICV	91
3.5 - Interpretação de resultados	93
3.5.1 - Avaliação do grau de finalização, sensibilidade e consistência dos resultados	93
3.5.2 - Identificação das questões significativas dos resultados das fases de inventário e impacte ambiental	95
3.5.3 - Conclusões, limitações e recomendações do ACV	97
4 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	98
4.1 - Contributos para a definição de políticas orientadoras para a redução do impacto ambiental do PC	99
BIBLIOGRAFIA	101
ANEXOS	110

1 – Enquadramento e objectivos

1.1 – Enquadramento geral

O século XX assistiu a um desenvolvimento económico e social sem precedentes, possibilitado pelo enorme desenvolvimento das tecnologias de suporte às condições de vida humana, situação esta permitida pela exploração de recursos naturais, com muito especial incidência no petróleo e derivados, permitindo a criação da chamada civilização do petróleo e do plástico. Quase paralelamente a este desenvolvimento, surgiu o ainda maior desenvolvimento da electrónica do germânio e do silício, permitindo a generalização de meios de automatização, tratamento e armazenamento de informação que provocou uma mudança radical no modo de vida das pessoas. Ao fim de quase um século de desenvolvimento económico e social extraordinário dos países considerados desenvolvidos, caracterizado pela crescente globalização, pela revolução contínua das tecnologias de informação e comunicação (ICT's), e por inovações e rotações muito rápidas de processos e produtos, constata-se que a situação de utilização de recursos naturais não renováveis, o impacto dos derivados do petróleo, e a crescente produção de resíduos venenosos e nocivos provenientes da produção e do consumo de bens coloca seriamente em causa o equilíbrio terrestre, e a continuidade de condições de vida no planeta, ou seja, a sua sustentabilidade ou equilíbrio ecológico, em áreas críticas tais como a deflexão da camada do ozono, a perda de biodiversidade, as limitações e qualidade de água, a mudança climática. A previsão do rápido desenvolvimento económico e social de zonas subdesenvolvidas como a China e a Índia, com quase metade da população mundial agudiza ainda mais a situação.

Define-se desenvolvimento sustentável como o desenvolvimento que “vai de encontro às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades”, devendo ser visto com uma envolvente de 3 pilares de suporte ou de base, respectivamente o económico, o social e o ambiental, devidamente equilibrados, balanceados e modelados.

O célebre relatório de Brundtland (Brundtland, 1987), é tido como o primeiro documento de consciencialização e referência para a problemática da sustentabilidade e da necessidade de conter a degradação ambiental, em termos de recursos naturais e impactes ecológicos na Terra. Este relatório, apesar de ser altamente criticado por conter situações controversas e utópicas, levanta questões demais pertinentes, constatando-se não terem sido tidas em consideração de uma forma séria e imperativa.

Mais tarde, na Conferência sobre a Terra, das Nações Unidas, no Rio de Janeiro (1992), especial atenção é colocada no conceito de produção e consumo sustentáveis, considerado como 1º passo para a sustentabilidade, e da responsabilidade das empresas, governos, comunidades e agregados

domésticos, isto é de todos. Esta situação é reforçada em 1995 pela “WBCSD” (organismo criado em 1995 pela fusão do “BCSD”- Concelho de Negócios para o Desenvolvimento Sustentável e “WICE” - Concelho Mundial Industrial para o Ambiente), sendo então assumida como estratégia principal o planeamento e desenvolvimento da eco-eficiência.

O conceito de “eco-eficiência” foi introduzido pelo “Concelho de Negócios para um Desenvolvimento Sustentável” (BCSD) no seu relatório demarcante sobre “Mudança de Curso”, em 1992, e redefinido posteriormente no “workshop” de Antuérpia (BCSD, Novembro 1993), como sendo algo a atingir através da entrega de produtos e serviços economicamente competitivos, satisfazendo as necessidades humanas e introduzindo qualidade de vida, enquanto progressivamente reduzindo os impactes ecológicos e a intensidade de recursos ao longo do ciclo de vida, para um nível pelo menos em linha com a capacidade estimada de carga da Terra. Posteriormente, o Concelho Mundial de Negócios para um Desenvolvimento Sustentável (WBCSD) identificou 7 factores de sucesso para a “eco-eficiência”:

1. Redução da intensidade de material dos produtos e serviços (desmaterialização)
2. Redução da intensidade energética dos produtos e serviços (economia energética)
3. Redução da dispersão tóxica
4. Promoção da reciclabilidade dos materiais
5. Maximização da utilização sustentável dos recursos renováveis
6. Aumentar a durabilidade dos produtos
7. Aumento da intensidade de serviço dos produtos e serviços (aumentar partilha)

Os conceitos de “Factor 4” e “Factor 10” são frequentemente associados ao conceito de “eco-eficiência”. O “Factor 4” envolve a duplicação da produtividade corrente, acompanhada por uma redução a metade da utilização de recursos naturais. O “Factor 10”, por outro lado, envolve um aumento de dez vezes da produtividade, com uma redução de dez vezes da utilização de recursos naturais. De acordo com fontes fiáveis, será necessário um “Factor 4” nos países desenvolvidos para que não se exceda a capacidade de carga terrestre; um “Factor 10” para a industrialização dos países em desenvolvimento; um factor maior ainda para acomodar o crescimento populacional previsto.

Por ocasião do 6º Seminário Internacional sobre “Produção mais limpa”, da UNEP, em Montreal, Canada, em Outubro de 2000, a questão sobre a produção e consumo sustentáveis foi novamente levantada, tendo sido indicados avanços “limitados”, considerando as inúmeras organizações, movimentos, legislação, meios de avaliação, medidas específicas, as inovações, programas de suporte e apoio para as práticas de gestão, e do aparecimento de novas ferramentas de suporte,

nomeadamente avaliação “CP” (Clean Production), avaliação de impacte ambiental, desenho ecológico, desenho sustentável, sistemas de gestão ambiental, etc.

Dentro dos referidos meios de avaliação do impacte ambiental, encontra-se a denominada “Avaliação do Ciclo de Vida” dos produtos e processos de actividade da sociedade humana, a qual, apesar da complexidade envolvida, constitui a metrologia de impactes que melhor permite a respectiva constatação. Esta metodologia, nos termos e regulamentos em vigor, enferma pelo facto de visionar apenas a componente ambiental, descurando duas componentes de base de sustentação da sociedade, nomeadamente a económica e a social. Este facto originou o aparecimento de meios de avaliação sustentáveis, nos quais a avaliação é feita de uma forma tripartida, meios estes que, pela complexidade acrescida, se encontram ainda numa fase de desenvolvimento embrionária.

É neste contexto, e considerando a representatividade das tecnologias de informação e comunicação no desenvolvimento económico, social e de bem estar da humanidade, que se analisa o “Ciclo de Vida” do Computador Pessoal, e o impacte ambiental da generalização destes equipamentos em termos mundiais, considerando as consequências advindas da crescente evolução tecnológica, e do subsequente descarte dos equipamentos tornados obsoletos.

1.2 – As Tecnologias de Informação e Comunicação (ICT), a sociedade de informação, e a sustentabilidade

Sendo os Computadores Pessoais parte integrante e de elevada representatividade no contexto das “Tecnologias de Informação e Comunicação” (ICT’s), e conforme objectivos de avaliação de impacte ambiental, considera-se pertinente um enquadramento geral em termos de benefícios económico-sociais e de custos para a garantia da sustentabilidade da humanidade.

A definição formal de “ICT” pode ser formulada (Henry e tal., 1999, OECD, 1999, citados por Leitner, 2000) como o domínio derivado da convergência dos meios computacionais, telecomunicações e meios de transmissão de voz, imagem e dados, com o recurso à utilização de informação digital, considerando-se incluídos todos os equipamentos, serviços (incluindo “software” e programação) e infra-estruturas capazes de receber, armazenar, recolher, manipular e transmitir informação em formato digital.

Em termos de equipamentos físicos (hardware), as ICT’s utilizam a denominada “indústria de electrónica e de computadores”, a qual é constituída por 5 grupos de componentes principais: semicondutores, electrónica industrial, electrónica de consumo, computadores e telecomunicações, todos incluindo circuitos integrados, componentes electrónicas, acessórios e placas de circuitos integrados.

1.2.1 - O desenvolvimento das ICT’s

Conforme constatado ao longo dos tempos, o crescimento económico da sociedade tem sido alimentado por inovações tecnológicas e organizacionais, através de melhoramentos de produtividade de recursos, trabalho e capital, inovações estas certamente ligadas a tecnologias como a máquina a vapor, a electricidade, o telégrafo e telefone.

“As inovações mais profundas, as que mais transformam as nossas condições, são aquelas que são menos previsíveis ou antecipadas. Turing começou a imaginar computadores nos anos 30’s, mas, apesar dos primeiros terem sido construídos durante a 2ª Grande Guerra, ninguém imaginava na altura o seu potencial para aplicações civis. Quando foram construídos os primeiros

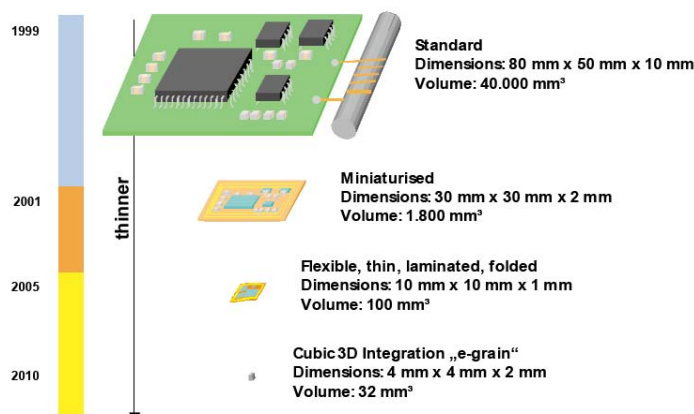


Figura 1 – Desenvolvimento do circuito integrado (e-grain).

computadores “mainframes”, ninguém imaginava o PC ou o “chip” electrónico. Até mesmo nos anos 80’s, com o aparecimento do PC, poucos imaginaram a Internet. Apesar disso, a progressão de inovações provavelmente está a ter maior impacte nas nossas vidas que qualquer outra coisa do século 20. Tanta consideração para a previsão de longo prazo.” (DeCanio, 1999, citado por Laitner, 2000).

O crescimento da performance da electrónica tem sido exponencial (Gordon Moore, fundador da Intel, previu em 1964 que a performance do circuito integrado por unidade de custo duplicaria cada 18 meses), a par da rápida redução de preços verificada. Presentemente, e apesar da manutenção de preços constantes, verifica-se um aumento crescente de performance dos produtos ICT’s, originando aquisições de maior funcionalidade ao mesmo preço.

1.2.2 - Os benefícios advindos do desenvolvimento

Sem dúvida que o desenvolvimento das tecnologias electrónicas, com especial realce para os últimos 30 anos, veio alterar significativamente a sociedade mundial, a forma de estar, viver e de trabalhar, permitindo criar os alicerces da denominada Sociedade de Informação, substituta das Sociedades agrária e industrial.

A denominada “Revolução Digital” rodeia-nos na vida do dia-a-dia, e encontra-se estabelecida numa forma a aumentar progressivamente a sua influência, considerando não só a “internet” e as “intranets” das organizações, como também toda a actividade desenvolvida através da “internet”, considerando o “e-business” e o “e-commerce”.

A crescente miniaturização da electrónica significa menos material por função, mais informação concentrada em menos produto físico, criação da aldeia global através da Internet – educação, igualdade de oportunidades e meios de participação para muitas pessoas em todo o mundo – maior eficiência através de automação inteligente de máquinas e processos, apenas para referir alguns exemplos.

As tecnologias de informação e comunicação têm assumido um papel de extrema relevância como veículo do crescimento económico e contenção de degradação ambiental, devido ao potencial de mudanças estruturais, aumento da produtividade e criação de valor acrescentado na forma de manipulação de ideias e informação, em vez de manipulações de materiais e energia.

As ICT's podem ser tidas como elemento lubrificador da economia, aumentando a produtividade económica e reduzindo custos de produção e preços de bens de consumo (Plepy, 2002), comprovando assim um efeito de economia alargada. É facilmente provada a atribuição do recente desenvolvimento económico à aplicação com sucesso das ICT's, devido à capacidade de permitir reorganização de processos de gestão, criação de novos modelos de negócio, melhorias de planeamento de recursos, coordenação de projecto, operações de produção, marketing e vendas, e até mesmo mudança de estilo de vida.

Sendo o sector das “ICT's” um mercado de difícil quantificação e atribuição de valores económicos, em 1996 era atribuído um valor de cerca de 7,5% do volume total de exportações dos EUA (13.4 trilhões de USD, Department of Commerce, Henry e tal., 1999, OECD, 1999, Iwata, 1999, citados em Laitner, 2000).

➡ **Os impactes causados por este desenvolvimento**

No contexto da sustentabilidade, e dos graves problemas de subsistência do planeta Terra, coloca-se pertinentemente a problemática da situação das ICT's, e a sua contribuição para o impacte ecológico e ambiental, no âmbito do desenvolvimento social, económico e de bem estar dos habitantes da Terra.

Conforme inúmeras fontes de informação, a produção de circuitos e componentes electrónicos envolve impactes ambientais substanciais, não só pelas exigências em termos de matérias-primas raras e difíceis de obtenção, como também pelos complexos processos produtivos, com elevadas cargas energéticas e recurso a produtos químicos perigosos, pela carga energética de consumo ao longo da vida útil, e ainda pela dificuldade de descarte no fim-de-vida.

❖ **Produção** - O Ciclo de vida dos produtos ICT's é cada vez menor, necessitando de uma crescente intensidade de extração de matérias primas e energia, pelo maior volume de

equipamentos, e pelas exigências em termos de materiais mais raros e delicados. O “ecological backpack” de intensidade de material (recurso ao método MIPS de Wuppertal Institute, Germany) de muitos dos elementos raros utilizados em circuitos electrónicos (germânio, gálio, arsénio, índio, tântalo, etc.) é considerado grande. A intensidade de material total, durante o ciclo de vida de um PC atinge valores de 16-19 toneladas métricas, das quais apenas 0,1% correspondem à massa do equipamento (Plepys, 2002).

- ❖ Utilização – O consumo de energia das ICT’s manter-se-á significativo, considerando não só o aumento de equipamentos, mas também alguns factores comportamentais, nomeadamente a subutilização de funções de gestão de energia, tendência de executar “downloads” multimédia durante as noites, aumento de nº de equipamentos 24 horas “online”. Outro aspecto importante é a determinação do consumo energético da Internet. Diversas tentativas têm sido feitas em países diferentes, com resultados bastante díspares. Um estudo suíço (Aebischer and Huser, 2000, citado por Plepys, 2002) descobriu que a potência de um banco de dados varia de 20 a 40 MW, e previu que em 2020 o consumo energético habitacional na Suíça aumentará 1/3, devido ao crescente uso de equipamento digital. Um estudo nos EUA (Mills, 2000, Mills and Huber, 1999, citado por Plepys, 2002), fortemente contestado, estimou que em 1999 a Internet consumiu cerca de 8% da energia total, com crescimento para 50% na década seguinte. O estudo conclui que o aumento de eficiência das ICT’s não conseguirá balancear o aumento de equipamentos, resultando num aumento de consumo energético. O aumento de tráfico na Internet duplica cada 6 meses (Roberts and Crump, 2001, citado por Plepys, 2002).

- ❖ Fim-de-vida - De acordo com estimativas, 14-20 milhões de PC’s são descartados por ano, dos quais 10-15% são reutilizados ou reciclados, 15% são levados a lixeiras, e o restante é armazenado pelos utilizadores. (Goldberg, 1998, citado por Plepys, 2002). Através de um modelo desenvolvido na “Carnegie Mellon University”, nos EUA, com 15% de crescimento de mercado, e 30% das vendas mundiais, aproximadamente 150 milhões de PC’s serão reciclados e 55 milhões lavados a lixeira em 2005 (Mathews et al., 1997, citado por Plepys, 2002). O lixo electrónico é o problema ambiental mais óbvio, e a respectiva infra-estrutura de gestão ainda não se encontra adequadamente desenvolvida. A reciclagem e reutilização são tecnicamente problemáticas, e economicamente inviáveis, faltando infra-estruturas físicas apropriadas, que requerem investimentos consideráveis.

Apesar das ICT's serem consideradas como veículo de obtenção de um desenvolvimento sustentado, com efeitos profundos em todos os sectores da economia, esta situação é questionada vários investigadores (Laitner, 2000, citado por Plepys, 2002), principalmente pela dificuldade de identificação e medição dos efeitos ambientais induzidos, ou pelos benefícios advindos do desenvolvimento sustentável, nomeadamente em termos da redução contínua de consumo de energia dos equipamentos, como também pela menor carga energética permitida pelas alterações de processos e actividades humanas.

Contudo, esta situação não pode ser considerada linear, uma vez que, conforme amplamente evidenciado (Plepys, 2002), uma utilização mais eficiente de recursos naturais nem sempre reduz o consumo absoluto dos mesmos, devido aos “efeitos de retorno” (“rebound effect”, em Plepys, 2002), efeitos que advogam que um equipamento mais eficiente energeticamente reduz os custos de produção, e, conseqüentemente, o preço final do mesmo, o que por seu lado aumenta a procura e a respectiva aquisição ou consumo, levando subseqüentemente a um aumento de consumo de matérias primas e de impactes associados a novos equipamentos.

A situação do papel dos computadores nos aumentos de eficiência das actividades é seriamente questionável, conforme expectável, sendo por vezes considerados dois factores, nomeadamente novas tecnologias e “outsourcing” (Plepys, 2002a). Muitas opiniões indicam que o sector das ICT's não melhora drasticamente a produtividade económica fora do seu sector (Landauer, 1996, citado por Plepys, 2002a). Apesar de avultados investimentos no sector das ICT's nos últimos 20 anos, a produtividade em muitas indústrias virtualmente estagnou em todo o mundo. A análise da produtividade de computadores é difícil e complicada, devido a inúmeras incertezas e à variedade de métodos utilizados, sendo medida através de razões entre entradas e saídas. A maioria dos métodos de determinação da produtividade não considera benefícios e custos intangíveis, tais como competência, custos de desenvolvimento, implementação de novos conceitos de negócio, reorganizações etc. Existe ainda o factor humano, o qual está directamente relacionado com a produtividade, uma vez que os processos não são totalmente realizados por ICT's.

➡ **A necessidade de repensar as ICT's**

Especialmente devido à proliferação generalizada de equipamentos e serviços no âmbito das ICT's, e à crescente complexidade, considerando uma utilização de grande variedade de materiais, alguns classificados como perigosos para a saúde humana e o ambiente, leva a que a indústria electrónica tenha necessidade de colocar maior atenção nas oportunidades de eco-eficiência e eco-desenho, desempenhando um papel fundamental na protecção ambiental. A disponibilidade de novas tecnologias, tais como energia humana, componentes eficientes

energeticamente, e metodologias de desenho para o fim-de-vida, são de importância vital para a mudança de produtos eco-eficientes para o projecto de serviços eco-eficientes.

Nota: Através de informação da “MCC”, para produzir um Computador Pessoal (PC) são necessários 25 000 MJ de energia primária (15% do consumo anual de energia total e final de um cidadão do Reino Unido), são produzidos 60 Kg de resíduos, incluindo 25 Kg de resíduos tóxicos, e são poluídos 33 000 litros de água. Esta situação não inclui a caixa, o teclado, o rato, a unidade de disco, adaptador de corrente, etc.

1.3 – A problemática dos resíduos dos “EEE’s”

Conforme constatado pelas organizações internacionais ligadas à problemática da sustentabilidade e da “eco-eficiência”, o principal problema reside no processo associado à produção e consumo de bens e serviços considerados “insustentáveis”. Efectivamente, a situação em termos de evolução de produção de resíduos é alarmante, sendo alvo de regulamentação e legislação por parte de diversos países e organizações ambientais, conforme referido no capítulo seguinte.

O ritmo de produção de resíduos da sociedade de consumo, segundo fontes de informação oficiais dos países desenvolvidos (UE, OECD, ONU, EUA, etc.), não só é preocupante como também, a continuar ao presente ritmo, constitui uma séria ameaça para a sobrevivência da vida como a conhecemos no planeta terra. Apesar da constatação de graves lacunas informativas de produção de resíduos em termos mundiais, a OECD disponibiliza valores com alguma credibilidade, em especial para as zonas consideradas desenvolvidas, conforme dados para o período 1980-2005 apresentados no **Quadro 1** abaixo, cujo aumento no período não necessita de comentários.

Zona	1980 (Kg/hab.)	2005 (Kg/hab.)	1980-2005 Δ (%)
América do Norte	510	660	29,4
União Europeia	370	560	51,3
Países OECD	430	580	34,9

(Fonte: OECD Environmental Data Compendium 2006/2007)

Quadro 1 – Dados estatísticos de produção de resíduos 1980-2005

A situação em termos de informação de resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos, por outro lado, é pior, existindo uma grande incerteza quanto aos volumes mundiais de resíduos. Contudo, alguns dos dados disponibilizados permitem uma constatação da sua importância no contexto geral de resíduos.

- ◆ 1998 - Produzidas na UE 6 milhões de toneladas de REEE's (Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos, UE, 2001), representando 4% dos resíduos urbanos, prevendo-se aumentos anuais de 3-5% (3 vezes o ritmo dos resíduos urbanos). Mais de 90% destes resíduos foram depositados em aterro, incinerados ou valorizados sem tratamento prévio.
- ◆ 1998 - Mais de 20 milhões de computadores tidos como obsoletos, sendo apenas 13% reutilizados ou reciclados. Em 2005, mais de 63 milhões serão descartados (US National Safety Council). Efectivamente, e segundo um estudo da "Carnegie Mellon University", em 2005 cerca de 150 milhões de computadores foram empilhados nas lixeiras dos EUA.
- ◆ 2000 - Segundo a "US EPA" (EPA, 2000), mais de 250 milhões de PC's serão tidos como obsoletos nos próximos 4 anos; os telemóveis serão descartados a um ritmo de 130 milhões por ano em 2005, seguindo as mesmas quantidades para diversos tipos de equipamentos electrónicos, como PDA's, MP3's, consolas de jogos e periféricos.
- ◆ 2004 - De acordo com a "Consumer Electronics Association" (CEA, Jan 2004), os americanos possuem 2 biliões de produtos electrónicos – cerca de 25 produtos por cada habitação, sendo descartados anualmente 2-3 milhões de toneladas de equipamentos usados. Só o Governo americano descarta anualmente cerca de 500 mil PC's.
- ◆ 2004 – Cerca de 100 milhões de computadores serão descartados, verificando que no período de 1994 a 2003 mais de 500 milhões computadores atingiram o fim de vida. O ritmo rápido de aumento da fileira de resíduos electrónicos encontra-se em plena aceleração, uma vez que o mercado global de PC's está longe de saturação, e a vida útil está decrescendo rapidamente (Unidades centrais – 4-6 anos em 1997 – 2 anos em 2003) (Widmer, 2005).
- ◆ 2004 - Vendidos mundialmente 183 milhões de computadores, cerca de 12% a mais que em 2003. (Gartner Inc. 2005 – www.gartner.com/press_releases/asset_120419_11.html).
- ◆ Anualmente, são vendidos mundialmente mais de 130 milhões de computadores. Para fabricar 1 computador de 24 Kg, são necessários pelo menos 10 vezes o seu peso em produtos químicos e combustíveis fósseis (conforme mais adiante se provará). Apenas 10% dos computadores e componentes passam por processos de reciclagem. (Basel Action Network, Computerworld edição nº 421, 24 Nov 2004)

- ◆ Nos países em desenvolvimento, o período de vida útil dos computadores desceu de 6 anos em 1997 para 2 anos em 2005 (US EPA – Life cycle of old computers)
(www.epa.gov/region2/r3/problem.htm)
- ◆ Em 2010, a previsão aponta para uma venda de 150 milhões de computadores nos mercados dos Estados Unidos, Europa e Ásia do Pacífico, enquanto nos mercados emergentes serão vendidos 566 milhões de computadores novos. Existirão então cerca de 178 milhões de novos utilizadores na China, 80 milhões na Índia e México, sendo que 46% da população possuirá um PC (Forrester Research in Industry Week, “Ásia to incentivate the new boom in the PC market”, 17 Dezembro de 2004 – www.industryweek.com/ReadArticle.aspx?ArticleID=9223)

1.4 – Regulamentação ambiental dos “EEE’s”

Para efeitos referenciais, analisa-se a situação de regulamentação geral da União Europeia (UE), servindo de base para o caso específico dos equipamentos eléctricos e electrónicos.

A EU demonstra uma forte consciencialização em termos das ameaças dos potenciais danos ambientais e de utilização abusiva de recursos naturais, como prova a prioridade dada ao desenvolvimento sustentável e ao nível de protecção ambiental, estabelecidos no 5.º Programa de Ambiente (“Em Direcção a um Desenvolvimento Sustentável”), em 1993, e no 6.º Programa de Ambiente (“Ambiente 2010 – o nosso futuro a nossa escolha”), cobrindo o período 2002-2012, o qual consigna a gestão e o uso sustentáveis dos recursos naturais como uma das 4 prioridades da política europeia de ambiente – em conjunto com as alterações climáticas, a biodiversidade e a conservação da natureza e a qualidade de vida, ambiente e saúde.

Um dos instrumentos de realce para concretizar os objectivos do 5º Programa diz respeito à Política Integrada do Produto (IPP), surgido em 2003 e visando a redução dos impactes negativos dos produtos ao longo do seu ciclo de vida, preconizando a redução do consumo de recursos e do impacte ambiental dos resíduos. No 6º Programa, especial relevância é colocada em duas estratégias assumidas, nomeadamente a “Estratégia sobre a Utilização Sustentável dos Recursos Naturais” e a “Estratégia para a Prevenção e Reciclagem dos Resíduos”. Da primeira, surge ainda o conceito importante das “eco-indústrias”.

Denota-se pois o crescimento progressivo de instrumentos de gestão de protecção ambiental e dos recursos naturais, para fazer face às crescentes ameaças dos impactes e da utilização massiva de recursos naturais não renováveis, situação esta que pode ser considerada de difícil controlo. Os instrumentos são nomeadamente “Instrumentos regulamentares e económicos”, “Estatísticas fiáveis e comparáveis”, “Planos de gestão de resíduos”, e “Aplicação adequada da legislação”.

- ◆ **EuP** – Directiva de Produtos que utilizam Energia (Energy-using Products)
- ◆ **WEEE** – Directiva de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (Waste Electrical and Electronic Equipment)
- ◆ **RoHS** – Directiva que restringe a utilização de determinadas Substâncias Perigosas (Restriction of the use of certain Hazardous Substances)

Especial realce coloca-se nas medidas específicas de prevenção e limitação de danos ambientais, nomeadamente as medidas específicas das directivas 2002/95/CE (RoHS) e 2002/96/CE (WEEE, ou REEE), aprovadas em 27 de Janeiro de 2003, com limite de transposição até 13 de Agosto de 2004, e entrada em vigor respectivamente a 1 de Janeiro de 2006 (WEEE) e 1 de Julho de 2006 (RoHS).

Os **Quadros 2A, 2B e 2C** resumem o âmbito, o conteúdo principal e a relevância das três directivas relativas ao sector eléctrico e electrónico.

EuP	WEEE	RoHS
<i>Meta</i>		
Optimização de todo o ciclo de vida do produto Consideração dos efeitos ambientais nas fases do ciclo de vida	Melhorar a gestão de fim de vida para os equipamentos eléctricos e electrónicos Implementação da responsabilidade do produtor	Restrição sobre substâncias perigosas nos equipamentos eléctricos e electrónicos (chumbo, mercúrio, cádmio, crómio VI, PBB, PBDE)
<i>Âmbito /Grupos de Produtos</i>		
<p>Em geral:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ produtos que representam um volume significativo de vendas e comércio, envolvendo considerável impacto ambiental e apresentam potencial elevado de melhoria <p>Grupos de produtos em discussão para as medidas de implementação:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ equipamento de aquecimento e de aquecimento de água ▪ sistemas de motores eléctricos ▪ iluminação doméstica e no sector terciário ▪ electrodomésticos ▪ equipamento de escritório ▪ electrónica de consumo ▪ sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grandes e pequenos electrodomésticos ▪ TI e equipamentos informáticos ▪ Equipamento de consumo ▪ Equipamento de iluminação ▪ Ferramentas eléctricas e electrónicas ▪ Brinquedos e equipamentos de desporto e lazer ▪ Aparelhos médicos ▪ Instrumentos de controlo e monitorização ▪ Dispensadores automáticos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grandes e pequenos electrodomésticos ▪ TI e equipamentos informáticos ▪ Dispensadores automáticos ▪ Ferramentas eléctricas e electrónicas ▪ Brinquedos e equipamentos de desporto e lazer ▪ Equipamento de consumo ▪ Equipamento de iluminação <p>(Actualmente isentos: Aparelhos médicos e Instrumentos de controlo e monitorização; ver WEEE)</p>

Quadro 2A – Características relevantes da legislação europeia sobre EEE's.

EuP	WEEE	RoHS
<i>Estado actual e prazos</i>		
<p>Directiva Quadro adoptada nos seus princípios pelo Conselho e pelo Parlamento Europeu em Abril de 2005</p> <p>Para grupos individuais de produtos serão adoptadas directivas específicas, baseadas na EuP</p> <p>Acordos voluntários pela indústria podem ser considerados em alternativa, sob determinadas condições</p>	<p>Directiva 2002/96/CE de 27 Janeiro 2003</p> <p>Publicada no Jornal Oficial a 13 de Fevereiro de 2003</p> <p>Transposição pelos Estados Membro até 13 Agosto 2005 (em Abril 2005: data limite será ultrapassada por muitos Estados Membro)</p> <p>Logística de Retomas estabelecida em Agosto de 2005 (adiada em alguns países)</p> <p>Taxas de reciclagem com metas até 2006</p>	<p>Directiva 2002/95/CE de 27 Janeiro 2003</p> <p>Decisão da Comissão 2004/249/CE 11 de Março 2004</p> <p>Transposição pelos Estados Membro até 13 Agosto 2005 (em Abril 2005: data limite será ultrapassada por muitos Estados Membro)</p> <p>Restrições entram em efeito a partir de 1 Julho de 2006</p> <p>Revisão de excepções pela Comissão Europeia em curso</p>

Quadro 2B – Características relevantes da legislação europeia sobre EEE's.

<i>Requisitos</i>		
<p>Definição de um eco-perfil do produto pode ser exigido nas medidas de implementação</p> <p>Controlo de design ou implementação de um sistema de gestão ambiental apropriado</p> <p>Marca CE requiere conformidade com EuP</p> <p>Requisitos genéricos ("melhoramentos") e específicos ("valores limite, intervalos") definidos em Directivas que se seguirão (medidas de implementação).</p>	<p>"Distribuidor" ou "Produtor" são obrigados a seguir os requisitos não directamente relevantes para os fornecedores (de componentes)</p> <p>Recolha selectiva ≥ 4 kg por habitante por ano com origem doméstica (por país)</p> <p>Taxas específicas de recolha/reciclagem/reutilização por categoria de produto</p> <p>Produtores financiam a reciclagem</p> <p>Produtores devem oferecer soluções de retoma apropriadas aos consumidores empresariais (B2B)</p> <p>Produtores são obrigados a submeter para os recicladores toda a informação relevante para a reciclagem apropriada</p>	<p>Restrições das substâncias RoHS-6 em todos os produtos referidos no âmbito, colocados no mercado depois de 30 Junho de 2006 (determinada excepções são aplicáveis)</p>
<i>Relevância do EcoDesign</i>		
<p>EuP implementa a IPP</p> <p>Design de produto tem de ser melhorado tendo em conta todo o ciclo de vida do produto</p>	<p>Design de produto não deve esquecer as etapas de desmantelamento, recolha e reutilização (prioridade da reutilização e reciclagem de REE, seus componentes e materiais)</p> <p>Produtos deverão ser concebidos para desmontagem fácil de componentes críticos (PCB's, baterias, retardadores de chama bromados, ...)</p> <p>Produtor tem de pagar pela reciclagem, tornando-se assim a reciclabilidade num factor económico</p>	<p>Conteúdo material do produto tem de ser conhecido, pelo menos no que concerne às substâncias RoHS-6</p> <p>Necessária comunicação dentro da cadeia de fornecedores para o cumprimento legal</p> <p>Redução/eliminação de substâncias perigosas</p>

Quadro 2C – Características relevantes da legislação europeia sobre EEE's

A Directiva RoHS encontra-se actualmente em implantação em todos os estados dos EUA. As substâncias consideradas apresentam os impactes ambientais indicados no **Quadro 3**.

Substâncias	Saúde Humana	Meio Ambiente
Chumbo (Pb)	Atinge sistema nervoso e sistema cardiovascular	Efeito acumulativo, efeitos altamente tóxicos em animais, plantas e microorganismos
Cádmio (Cd)	Cancerígeno, ataca os rins, causa demineralização óssea	Bioacumulativo, tóxico, resistente à decomposição
Mercúrio (Hg)	Danos cerebrais, características acumulativas	Acumulado por organismos vivos
Cromo VI (Cr6+)	Genotóxico e altamente alérgico	Efeitos alérgicos e tóxicos, facilmente absorvido pelas células
Bromobifelinas	Cancerígenas e Neurotóxicas	Solúvel, bioacumulativo, resistente à decomposição

Quadro 3 – Riscos para a Saúde Humana e Meio Ambiente (fonte OECD 2001).

Outras iniciativas da UE relativas a “REEE” – “REACH”, “ERP”, “REPIC”, “EMAS”, “EPIC-ICT”,

Regulamentação – Estados Unidos da América (EUA) e resto do mundo

Em termos de Resíduos gerais e questões ambientais dos EUA, apenas se consegue referenciar a seguinte legislação:

- “Resource Conservation and Recovery Act”;
- “Electronic Waste Recycling Act”;
- “Hazardous Waste Infrastructure Program Act” (H.R. 1165);

Toda a organização, dinamização e empreendimento das questões ambientais é desenvolvida pela Agência de Protecção Ambiental (EPA - “Environment Protection Agency”), a qual assume as orientações estratégicas de definição, informação e orientação das questões ambientais. Em termos gerais, os objectivos da EPA são os seguintes:

Promoção do desenho e produção consciente ao ambiente, considerando diversos programas e ferramentas, tais como:

- ❖ “Electronic product environmental assessment tool” (“EPEAT”, gerida pelo “Green Electronics Council” (GEC), 2006, constituído em standard IEEE 1680) – ferramenta destinada a compradores do sector público e privado, de auxílio de procura de equipamento electrónico, considerando a comparação e selecção de computadores pessoais, portáteis e monitores, com base em oito critérios de atributos ambientais (com classificação), nomeadamente redução/eliminação de materiais ambientalmente sensíveis, selecção de materiais, desenho para fim-de-vida, extensão da vida útil e longevidade, conservação de energia, gestão de fim-de-vida, performance corporativa, e empacotamento.

Os principais objectivos são os seguintes:

- Promoção contínua da performance ambiental de computadores e monitores, considerando encorajamento de inovação;
- Referência ao ciclo de vida dos computadores e monitores, incluindo desenho, procura, utilização e implicações de fim-de-vida;
- Informação relativa a decisões de compradores institucionais com respeito aos atributos ambientais;
- Prover vantagens de mercado a organizações que disponibilizem produtos e serviços com melhor performance ambiental, considerando custo, facilidade de utilização, atrasos mínimos no mercado.

A “EPEAT” avalia os produtos electrónicos de acordo com 3 classificações de performance ambiental (22 critérios obrigatórios, e 33 opcionais distribuídos por 8 categorias referidas anteriormente), nomeadamente

- ◆ Bronze (Bronze) – obtenção de todos os critérios obrigatórios.
 - ◆ Prata (Silver) – obtenção de todos os critérios obrigatórios e pelo menos 16 dos opcionais.
 - ◆ Ouro (Gold) – obtenção de todos os critérios obrigatórios e pelo menos 25 dos opcionais.
- ❖ Programa “Design for environment” (DfE) – Programa de parceria inicialmente da “OPPT”, conjuntamente com o sector industrial, de comparação e melhoramento da performance, saúde humana, riscos ambientais e custos de produtos, processos e práticas existentes e alternativas. Foram concluídos quatro avaliações principais, em ligação à indústria electrónica: duas em placas de circuitos integrados (PWB’s), uma em monitores de computadores pessoais (CRT vs. LCD), e a última em alternativas de solda de chumbo.
- ❖ Actividades subsidiárias – Subsídios (P2, “Polution Prevention, Region 2”) considerados para a produção de electrónica “verde”, e para a conservação de água, papel e energia no sector de produção de electrónica.

Aumentar a venda e utilização de produtos (incluindo electrónicos) ambientalmente mais sustentáveis através de programas e ferramentas:

- ❖ Programa “Federal Electronics Challenge”, dirigido às aquisições de IT’s do Governo Americano;
- ❖ Rótulo “Energy Star”, suportado pelo Governo, de auxílio aos individuais e organizações na concretização da protecção ambiental, através da utilização de equipamento doméstico e empresarial com eficiência energética superior.

Aumentar a segurança, a reutilização ambiental sólida e a reciclagem de equipamentos electrónicos usados:

- ❖ Programa “Plug into e-cycling”, constituindo uma campanha lançada em 2003 para consumidores electrónicos, com o objectivo de aumentar o número de equipamentos electrónicos recolhidos e reciclados de forma segura nos EUA, através de provimento de informação e sensibilização do público para a reciclagem, parcerias com comunidades, produtores e vendedores para promoção da partilha de responsabilidade de reciclagem segura de electrónica, estabelecimento de projectos piloto para testar aproximações à reciclagem em segurança de electrónicas (EPA’s Resource Conservation Challenge, “RCC”).
- ❖ Programa “Recycling Electronics and Asset Disposition” (READ), cujos serviços a EPA premiou diversos contratos de aquisição do Governo a pequenas organizações, considerando renovação e revenda de equipamentos electrónicos, com custos de “offset”, doação a causas de caridade, reciclagem ao limite possível, e a adequada disposição do restante.
- ❖ Programas de subsídios “EPA” tais como o “P2”, “desafio de conservação”, “resíduos sólidos”.
- ❖ “CRT Rule”, encorajamento de aumento de reutilização, reciclagem e melhor gestão do fluxo de resíduos. Nesta regra, o vidro processado enviado para reciclagem não poderia ir para produtor de vidro ou fundição de chumbo.

Outros programas da “Environment Protection Agency” (EPA), alguns relacionados com a estratégia “DfE”: “*Green Chemistry Program*”, “*Green Engineering Program*”, “*Environmentally Preferable Purchasing Program*”(EPP), “*Waste Wise Program*”, “*Product Stewardship Program*”, “*Environmental Technology Opportunities Portal*” (ETOP).

A EPA possui ainda diversos projectos de desenvolvimento, nomeadamente “Centralized Data Repository for Electronics Recycling”, BD de informação de iniciativas de “e-waste” e programas de recolha e reciclagem, “Standards/Certification for Electronics Recyclers”, revenda e reciclagem de equipamento obsoleto, e serviços de remodelação e reciclagem. Recomenda fortemente as actividades de reutilização, reciclagem e a consideração de produtos “verdes”, isto é, menor número de componentes tóxicas, utilização de material reciclável, eficientes energeticamente (rótulo Energy Star), desenhados para fácil actualização ou desmontagem, utilização mínima de embalagem de pacote, opções de “leasing” ou “takeback”, reconhecidos por grupos de certificação independentes (TCO sueca, “Blue Angel” alemão) como preferíveis ambientalmente.

No contexto dos EUA, diversas organizações estatuais e privadas estão envolvidas em programas ou acções de prevenção ambiental do sector electrónico, nomeadamente algumas das de maior importância são a Microelectronics and Computer Technology Corporation (MCC), Zero Waste Alliance (ZWA), International Association of Electronics Recyclers (IAER), Electronic Industries Alliance (EIA), National Recycling Coalition (NRC), Polymer Alliance Zone (PAZ), Silicon Valley Toxics Coalition (SVTC), etc.

De especial realce é o programa conhecido por “Aliança de Zero Resíduos” (“Zero Waste Alliance”), com base nos EUA, tendo como base a sustentabilidade terrestre, e considerando objectivos como 100% de eficiência de recursos; Zero resíduos sólidos e perigosos; Zero emissões para o ar, água e solo; Zero resíduos nos processos de produção e actividades administrativas; Zero resíduos tóxicos.

Como estratégias, estabelece o “desenho para o ambiente” (DfE), a retoma de produtos, a visão do produto como um serviço, centros comerciais de recuperação de recursos, instrumentos económicos e legislação, troca de resíduos, aumento de capacidade de reciclagem, estabelecimento de mercados estáveis, educação ambiental.

Em termos dos restantes países, é importante denotar o crescente desenvolvimento de legislação específica ao sector electrónico do Japão, China, Índia e Coreia, os quais, por razões ligadas à sua condição de fornecedores principais de equipamentos electrónicos, desempenharão importância vital na regulamentação sobre o sector.

1.5 – Conceitos de desenho ecológico e rótulo ecológico

1.5.1 – O Desenho Ecológico e o desenho sustentável

O conceito de desenho ecológico ou “verde” (“eco or green design”) surge na sequência da preocupação associada à garantia da sustentabilidade terrestre, considerando a preservação dos recursos naturais, a conservação da natureza e dos seus habitats, e a garantia da saúde humana. Conforme já abordado anteriormente, o desenvolvimento económico-social da civilização actual originou alterações significativas ao equilíbrio ambiental do planeta, alterações estas que não são sustentáveis nem comportáveis quer pelos recursos terrestres quer pelas alterações meteorológicas do planeta.

Por definição, é uma nova forma de projectar sistemas ou produtos integrando variáveis ambientais às tradicionais variáveis técnicas e económicas do projecto, tais como qualidade, desempenho, segurança, custos e prazos. O prefixo “eco” refere-se tanto aos aspectos ecológicos como também aos aspectos económicos.

O desenho ecológico por vezes é referido como “desenho limpo” ou “desenho para o ambiente” (a definir posteriormente), ou ainda “desenho sustentável”, indiciando ainda alguma indefinição ou desconhecimento na formulação da designação. Note-se que “desenho sustentável” é algo mais complexo e abrangente do que desenho ecológico, uma vez que, considerando os conceitos relacionados, integra não só os aspectos ambientais e económicos da ecologia como também os aspectos éticos e sociais do respectivo ciclo de vida.

Com base no conceito de “eco-eficiência”, o desenho ecológico de um produto deverá ser desenvolvido por forma a considerar a redução de impactes ambientais de todo o seu ciclo de vida, desde a obtenção de matérias primas até ao abate, através de melhorias de concepção, desenvolvimento de inovações para manter o produto actualizado, e aumentar a sua eficiência. A par de maior eficiência, os produtos ambientalmente concebidos oferecem maior segurança ao consumidor, são mais fiáveis e de melhor qualidade. Frequentemente, as estratégias ambientais são tomadas pelas empresas como demasiado onerosas, mas na maioria dos casos, o desenho ecológico consegue promover a redução de custos. Por exemplo, a redução do uso de materiais e geração de resíduos na produção de produtos, com menores consumos de energia, resultam em benefícios directos para o fabricante, sem esquecer a redução dos riscos associados para os trabalhadores e a maior motivação destes mesmos.

A minimização da intensidade de material por unidade de produto, traduz-se na redução de custos e permite reduzir impactes ambientais. Menor uso de processos químicos e uma reduzida variedade de materiais significa igualmente uma redução nas actividades logísticas internas. O evitar do uso de matérias perigosas no fabrico de produtos pode permitir redução nos custos de manuseamento e processamento dos produtos. Produtos mais pequenos implicam embalagens de menores dimensões e o uso de materiais reciclados pode ser mais económico. Os produtos

simples e de montagem fácil permitem redução nos custos de montagem e facilitam ainda a desmontagem, reparação, reutilização e reciclagem, no fim de vida.

O desenho ecológico focaliza claramente uma etapa inicial da cadeia de valor do produto: o processo de concepção e desenvolvimento de produto, ligado à revitalização do conceito de “engenharia ambiental”, e fase na qual são definidas as propriedades de maior impacto ambiental do produto. Adicionalmente, a filosofia envolve “conceber o produto, extraíndo os impactes ambientais do produto em si e do respectivo processo de produção”. Apesar da fase de concepção se tratar de uma fase limpa em si mesma (será mesmo?), a maioria dos impactes ambientais são nela definidos.

Em termos de produto propriamente dito, o conceito de desenho ecológico pressupõe a implementação, satisfação ou garantia de cumprimento das seguintes condicionantes:

- ◆ Prolongamento de vida útil do produto (maior ciclo de vida)
- ◆ Inovação (melhor e maior utilidade e eficácia)
- ◆ Reciclagem (acção de reaproveitar) e reciclabilidade (reciclagem mais fácil)
- ◆ Eficiência energética (melhor eficiência)
- ◆ Fácil desmontagem (melhor reciclabilidade)

Ou seja, garantir a minimização do impacto ambiental, e maximizar os benefícios associados ao produto.

Os melhoramentos ambientais deverão satisfazer não só o ambiente como também o fabricante, e especialmente o consumidor, resultando numa situação de ganho tripartida. Em termos empíricos, cada processo de desmontagem evitado implica um processo de montagem eliminado. Um menor esforço em termos de manutenção de um equipamento poderá eventualmente originar numa maior longevidade de produtos (nem sempre desejável). Em termos práticos, nem todos os melhoramentos em termos ambientais implicam uma redução de custos, mas deveriam pelo menos melhorar a imagem da organização produtiva, aumentando as vendas ou provendo vantagens competitivas (USP – “Unique Selling Proposition”).

Em termos práticos do sector produtivo industrial, é dado adquirido que dois terços dos processos de desenho consistem em melhoramentos de produtos existentes, considerando adaptações ou variações de projecto, sendo que esta situação abre oportunidades para considerações de desenho ecológico, através da análise dos pontos fracos ambientais, e da subsequente tentativa de reformulação por opções mais adequadas ambientalmente. Esta situação requer uma alteração de mentalidades, com orientação para “pensamento de ciclo de vida” dos produtos.

São exemplos disso as iniciativas de investigação Europeias “ESTO” e “ECOLIFE”, e a legislação quadro Japonesa sobre o “Sistema Económico Orientado para a Reciclagem”.

Mais recentemente, e com o desenvolvimento dos sistemas de gestão ambiental, com objectivos de obtenção de uma produção mais limpa (esquema europeu EMAS-“Environmental Management and Audit Scheme”), verifica-se existir sobreposição com o desenho ecológico, devendo pois servir o primeiro de início de desenvolvimento do segundo.

Um segundo conceito relacionado com desenho ecológico é o conceito de “inovação ecológica”, que envolve a inovação na fase de concepção do produto, e possui os seguintes objectivos:

- ◆ Inspiração de novos produtos e modelos de negócio com redução significativa de impacte ambiental
- ◆ Melhorias significativas dos benefícios dos consumidores
- ◆ Vendas topo de linha
- ◆ Imagem de “leader”, inovador e responsável socialmente
- ◆ Inovar a nível de sistema
- ◆ Desmaterialização
- ◆ Utilização de tecnologias adequadas (explorar nichos de mercado)
- ◆ Natureza mímica
- ◆ Retorno ao ambiente

Apesar de ser um conceito abstracto e de difícil concretização, face às limitações tecnológicas e de disponibilidade de materiais adequados, verifica-se contudo o desenvolvimento, por parte dos países, de medidas orientadoras e especificações associadas à chamada “rotulagem ecológica”, utilizada na certificação de produtos e equipamentos.

Três conceitos apareceram nos EUA, através da EPA (Environment Protection Agency”, respectivamente o “Desenho para o ambiente” (DfE), o “Desenho para a Reciclagem” (DfR) e o “Desenho para a Desmontagem” (DfD), conceitos que, dentro das limitações existentes, objectivam a aplicação parcial do desenho ecológico.

Igualmente, os esquemas de atribuição de certificados de “rotulagem ecológica” ou rótulos ecológicos de equipamentos, com proliferação em termos mundiais (EUA, UE, Japão, Coreia, etc.) constituem uma tentativa de introduzir algumas melhorias ambientais aos produtos, no sentido iniciar o percurso para o desenho ecológico ou limpo.

Apesar dos conceitos apresentados e a rotulagem ecológica se aplicar a um leque considerável de produtos, especial relevância assume a indústria electrónica, e dentro desta, os equipamentos informáticos, pelas suas especificidades, e quantidades introduzidas no mercado mundial.

1.5.2 – Desenho para o ambiente (DfE), reciclagem (DfR) e desmontagem (DfD)

1.5.2.1 - O “Desenho para o Ambiente” (DfE)

O programa “Desenho para o Ambiente” (DfE, “Design for Environment”), com características voluntárias, foi estabelecido pela “US EPA – Office of Pollution, Prevention and Toxics” em 1992 (US EPA, 1998), com parceria de diversas organizações interessadas, nomeadamente associações industriais e de comércio, grupos de interesse público, e universidades, considerando principalmente os seguintes objectivos:

- ◆ Encorajar as organizações a incorporar preocupações ambientais, em complemento dos critérios tradicionais de custo e performance, nas suas decisões, considerando a identificação e avaliação de produtos, processos e tecnologias com melhores características ambientais;
- ◆ Alteração comportamental efectiva das organizações, com o objectivo de atingir melhoramentos ambientais contínuos.

O programa considera como meios principais de obtenção de objectivos a avaliação de riscos de saúde humana e ambientais, a performance e custo de tecnologias tradicionais e alternativas, materiais e processos, e promove a partilha de informação entre as partes envolvidas, tendo tido especial significado na indústria electrónica, considerando componentes como placas de circuitos integrados, ecrãs de computadores, e periféricos.

Os objectivos específicos do “DfE” (Thurston, 1994, e Bird, 2006), enquanto prática de desenho e projecto de produtos, são os seguintes:

- Impacte ambiental do produto:
 - Reduzir a produção de resíduos sólidos, líquidos e gasosos;
 - Reduzir o consumo energético.
- Ciclo de Vida do produto:
 - Reduzir o processamento e manufactura de minérios e matérias-primas;
 - Reduzir os efeitos de distribuição, utilização e manutenção;
 - Reduzir os efeitos de “desmanufacturação”.

O programa “DfE” justifica-se por factores indutores (fenómeno “push”) associados a regulamentação nacional (USA) e internacional, e por factores receptores (fenómeno “pull”) relativos ao reconhecimento público e dos consumidores, através de sistemas de “rotulagem ecológica”, e relativos a questões ligadas directamente ao negócio, considerando benefícios

associados à reutilização de componentes e à recuperação de materiais, à responsabilidade civil, e às limitações espaciais, consistindo já num standard adoptado por diversas empresas (Compaq, HP, IBM, etc.).

As linhas de orientação do programa “DfE” relativo à indústria electrónica são as seguintes (Product Profile: Computer/CPUs, Oregon DEQ—CPUs, *March 2001*):

- Preservação de matérias-primas: Evitar utilizar material escasso ou limitado, utilizar quantidades mínimas de materiais, utilizar materiais recicláveis e reciclados.
- Fase de produção: Evitar a produção de materiais perigosos e danificadores da camada de ozono, utilizar tecnologias que utilizem menores quantidades de materiais e energia.
- Fase de utilização e manutenção: Evitar a produção de materiais perigosos e danificadores da camada de ozono durante a utilização, garantir a utilização mínima de energia durante a utilização.
- Fase de empacotamento e transporte: Evitar materiais excessivos nos pacotes, evitar a utilização de múltiplos tipos de material de empacotamento.
- Fase de abate final ou disposição: Desenhar o produto com fácil desmontagem ou decomposição, minimizar tipos diferentes de produtos, evitar a utilização de materiais tóxicos que contaminem águas subterrâneas, evitar a utilização de materiais que produzam material tóxico quando queimados, utilizar materiais biodegradáveis.
- Identificação e aplicação do conceito dos “3R’s” (introduzido na Convenção de Basel, da UN):



Figura 3 – Ciclo de Vida de Produtos: Conceito “DfE”

- ❖ Reduzir (“Reduce”) – desenhar produtos e processos constituintes com objectivo de reduzir a utilização de matérias-primas, produção de resíduos e utilização energética;
- ❖ Reutilizar (“Reuse”) – desenhar produtos e processos constituintes com o objectivo de reutilizar produtos de mercado secundário ou propósito diferente, e partes de partes;
- ❖ Reciclar (“Recycle”) – desenhar produtos e processos constituintes que permitam reciclagem de matérias-primas no seu fim de vida.

1.5.2.2 - O “Desenho para a Reciclagem” (DfR)

Associado ao contexto do programa “DfE”, e com objectivos de redução e minimização de produção de resíduos, para melhor qualidade ambiental, surge o conceito de “desenho para a reciclagem” (DfR). Este método engloba critérios de reciclagem e de reciclabilidade (Centre Català del Reciclatge, 2007) nas fases de projecto de produtos, com o objectivo de obtenção de produtos recicláveis ou reciclados. A variável ambiente é simplesmente tida como requisito adicional do produto, tal como o custo, segurança, utilização, manutibilidade, etc. O programa “DfR” faz a distinção entre produtos reciclados, isto é, produzidos através de materiais reciclados ou reutilizados, e produtos recicláveis, isto é, produtos produzidos de forma a serem facilmente reciclados no fim de vida.

1.5.2.3 - O “Desenho para a Desmontagem” (DFD)

O termo “Desmontagem” está relacionado com o conceito de “desmanufactura” (“demanufacture”), conceito este cada vez mais utilizado, especialmente na indústria electrónica, como caracterização do processo oposto a “produção” (manufacture), relacionado com a facilidade de desmontagem de equipamentos, para efeitos de reciclagem de produtos e materiais.

1.5.3– Os “Rótulos ecológicos” (“eco-labels”)

Conforme já referido anteriormente, verifica-se por das organizações públicas, privadas e dos consumidores um crescente interesse na salvaguarda e garantia da sustentabilidade, situação que originou já há muito o aparecimento do chamado “rótulo ecológico”, ou certificação de garantia de que o produto satisfaz determinados requisitos e especificações desenvolvidas especificamente para o produto, e relacionadas com a limitação/eliminação de materiais e substâncias tóxicas, com a adequada gestão energética, e com a reciclagem.

Note-se que os referidos “rótulos ecológicos” não são mais do que uma aproximação por defeito ao desenho ecológico ou verde, tendo em consideração as limitações tecnológicas e de disponibilidade de alternativas de materiais ecológicos substitutos.

Este reconhecimento de produtos “rotulados ambientalmente” originou a procura de actividades e produtos verdes em todos os mercados, e criou a necessidade de comunicações standards e sistemáticas relativas a exigências ambientais, colmatada pelos países e organizações de países através da criação de sistemas de acreditação e certificação de rótulos ecológicos de produtos e serviços, garantes de uma minimização de impactes ambientais, todos eles utilizando metodologias de avaliação de impacte ambiental, mais especificamente de avaliação de ciclo de vida.

Estes “rótulos ecológicos” visam não só garantir minimização de impactos ao consumidor, como também premiar os produtos com impacto ambiental reduzido, considerando a maior eficiência, maior segurança ao consumidor, melhor qualidade, e vantagens económicas ao produtor.

Os critérios dos rótulos são estabelecidos para grupos de produtos, tais como produtos de papel, têxteis, detergentes, tintas, electrodomésticos, computadores, etc., sendo a maioria dos rótulos orientada ao sistema, produto ou serviço. O processo de estabelecimento de conformidade do produto com o rótulo é desenvolvido geralmente através de 4 passos de verificação de critérios, nomeadamente análise preliminar de viabilidade, estudo do mercado, desenvolvimento de metodologia ACV, e minuta de proposta de decisão.

Os principais rótulos existentes são indicados no **Anexo I**, sendo de realçar que os mais antigos são oriundos de países europeus, nomeadamente os rótulos “Nordic Swan” (Países escandinavos) e “German Blue Angel” (Alemanha).

Os “rótulos ecológicos” europeus, em especial os mais antigos (Nordic Swan, German Blue Angel, TCO), encontram-se em processo de alinhamento com o “rótulo ecológico” da EU (green leaf), conforme se constata através da revisão 5.0 do “Nordic Swan”, em Abril de 2007.

Especial demarcação é feita para o caso do rótulo ecológico do Japão, o qual baseia a rotulagem relativa a toda a indústria, e não ao produto ou serviço. (para o caso do Computador Pessoal, introduz a obrigação de cumprir requisitos da lei Japonesa de reciclagem, uma avaliação mais abrangente, e sistema de gestão ambiental da organização). A metodologia utilizada no “rótulo ecológico” Japonês “Ecoleaf” (Fuse, 2005) apresenta algumas características de realce, nomeadamente considera uma “cadeia global de fornecimento”, considerando matérias-primas, produção transporte e reciclagem; utiliza o conceito de critério de especificação de produto (“PSC”), considerando informação de inventário associado ao produto, para análise e decisão do consumidor, considerando requisitos e regras de cálculo do ACV, cenários de utilização e descarte, métodos de recolha de dados, processamento e utilização. Permite ainda a determinação de “custo social”, considerando biodiversidade, produtividade primária, saúde humana e condições de segurança social.

Sem dúvida que os “rótulos ecológicos” dos países orientais (Japão, China, Tailândia, Coreia) encontram-se em desenvolvimento, sendo previsto que venham a assumir importância capital no contexto internacional do mercado de sistemas electrónicos e informáticos, tendo em consideração que possuem a maior parte da produção de equipamentos.

Para além dos “rótulos ecológicos”, existem ainda outras medidas de declaração ambiental, como é o caso do método de declarações ambientais (EPD), normalizados pela ISO 14025, e as recentes medidas de “política integrada de produtos” (IPP) em desenvolvimento pela EU e países membros.

1.5.3.1 - Tipos de rótulos ecológicos

Reconhecendo a importância da comunicação, e o potencial para potenciais reclamações enganadoras e incorrectas, a ISO desenvolveu um standard de classificação de rotulagens, introduzindo uma classificação em 3 categorias (série ISO 14020), nomeadamente Tipo I, Tipo II e Tipo III. (ver **Anexo I** para tópicos de certificação e detalhe). Os rótulos do Tipo I são ainda (?) os mais utilizados.

1.5.3.2 - O Rótulo ecológico europeu “Eco Flower” (UE)

O esquema de Rótulo ecológico da UE, o “Eco Flower”, conforme estabelecido na Regulamentação EC/1980/2000, faz parte integrante de uma abordagem mais ampla, relativa à “Política Integrada do Produto” (IPP), nos termos do novo programa de acção, tendo por base objectivos de contribuição para o desenvolvimento sustentável.

Inicialmente estabelecido oficialmente em 1993, aquando do estabelecimento dos primeiros grupos de produtos, só em 2000 é que foi compreensivamente revisto em todos os grupos de produtos, nas questões ecológicas relevantes, e nos critérios correspondentes, identificados com base em estudos compreensivos dos aspectos ambientais relacionados com o seu completo ciclo de vida. Os critérios ecológicos de um determinado grupo de produtos são estabelecidos por um período de 3 anos, permitindo assim melhoramentos técnicos e alterações no mercado aquando da respectiva revisão, existindo contudo flexibilidade adicional na nova regulamentação.

A Rótulo ecológica “UE” para computadores pessoais (PC’s) e portáteis foi estabelecida em 1999, conjuntamente com o desenvolvimento da metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV’s) de Computadores Pessoais e Portáteis (5,6), e revista respectivamente em 2001 e 2003, revisões estas baseadas no aprofundamento e melhoramento dos valores e condições dos critérios estabelecidos inicialmente.

Os critérios estão divididos em 7 grupos separados, nomeadamente Poupança de energia, Extensão da vida útil, Conteúdo de mercúrio em monitores, Ruído, Emissões electromagnéticas, Retoma, Reciclagem e Outros requisitos (instruções de utilização, declaração ambiental, informação relativa à Rótulo ecológica), para os quais são definidos valores de limite máximos admissíveis ou parâmetros reguladores.

Os procedimentos de ensaios e testes de verificação dos critérios para o rótulo ecológico são os seguintes:

- Consumo de energia – Os métodos de determinação da performance utilizados são os métodos disponíveis da “Energy Star” (distribuídos à indústria a 28 de Fevereiro de 2003),

para os casos dos modos “off”, “sleep” e “on”, se bem que para o último caso não se encontra devidamente especificado.

- Modo “sleep” ou Baixa potência – estado que um computador entra após período de inactividade
- Modo Inactividade – período de tempo durante o qual o computador não recebe entrada de utilizador (teclado, rato, etc).
- Eventos de despertar (wake) – utilizador, programa ou evento externo que causa o computador de mudar do modo de baixa potência para o modo activo.
- Aumento de vida útil - Critérios semelhantes, e objectivam a redução de danos ambientais em relação à utilização de recursos naturais, encorajando a capacidade de “upgrade”, de “reciclagem” e de “manutenção”:
 - Desenhado de modo a permitir mudança de memória
 - Desenhado de modo a permitir a substituição do disco rígido e unidades CD e DVD
 - Um mínimo de 1 “socket” (portáteis) e 2 “sockets” (PC’s) para permitir ligação directa de equipamento digitalizador (scanner) e de segurança (back-up)
 - Só para Portáteis – disponibilidade garantida por 3 anos (a partir da produção) de baterias compatíveis, fonte de alimentação, teclado e partes.
- Conteúdo de mercúrio no ecrã de cristal líquido (LCD)
 - Ecrãs de Portáteis - ≤ 3 mg mercúrio / lâmpada.
 - Ecrãs FT’s - ≤ 2.5 mg mercúrio / lâmpada

Nota: os ecrãs FT reduzem consumo energético em 50%, e poupam 20% dos materiais de ciclo de vida. A especificação TCO 036 requer que os produtores apresentem os monitores para certificação informando o mínimo, máximo e média de conteúdo de mercúrio das lâmpadas.

- Ruído – Método utilizado é o das normas ISO 7779 e 9296.
Com base na norma ISO 9296, o nível de potência sonora dos PC’s e Portáteis não deverá exceder 48 dB(A) no modo de operação “idle”, e 55 dB(A) no modo de acesso ao disco.
- Radiação Electromagnética – A especificação TCO 2003 documenta métodos adequados para medição das radiações electromagnéticas, devendo os limites máximos de exposição de ecrãs satisfazer a Recomendação do Conselho da EU 1999/519EC.
- Outros critérios -

- ◆ Retoma e reciclagem - As Directivas WEEE e ROHS cobrem os requisitos dos critérios.
- ◆ Instruções de utilizador - Informação de utilização relevante, incluindo concelhos de adequada utilização ambiental; utilização de gestão de energia; garantia e disponibilidade de sobresselentes; reciclagem; retoma; informação de Rótulo ecológica.
- ◆ Declaração Ambiental - Uma declaração ambiental deverá acompanhar o produto, deverá estar disponível ao utilizador, e deverá estar em conformidade com as recomendações do “ECMA’s Technical Report 70 – Product-related environmental attributes”.
- ◆ Informação incluída na Rótulo ecológica - A caixa nº 2 da Rótulo deverá incluir o seguinte texto: Consumo de baixa energia, Desenhado de modo a facilitar a reciclagem

1.6– Objectivos

O principal objectivo da dissertação relaciona-se com o desenvolvimento de uma análise de sustentabilidade ambiental de um equipamento informático denominado Computador Pessoal, através da aplicação da metodologia de Análise do Ciclo de Vida (ACV), recorrendo a uma ferramenta de software dedicada, para obtenção quantitativa e qualitativa do impacte ambiental geral e específico de cada parte constituinte. Com base nos resultados obtidos, será efectuada uma tentativa de identificação de melhorias em termos de desenho ecológico do sistema.

Sem dúvida que como objectivos secundários se consideram a experiência relacionada com o desenvolvimento das fases do ACV de acordo com as normas ISO 14040 e 14044 (Ciclo de Vida), e com a avaliação da complexidade, da eficácia, do grau de detalhe exequível, da utilidade dos resultados obtidos, do grau de disponibilidade de informações das Bases de Dados existentes, e por último da experiência de utilização de uma aplicação informática de ACV.

1.7 – Organização da dissertação

A dissertação é organizada em cinco partes distintas, nomeadamente a primeira parte, com uma abordagem de âmbito geral à problemática actual da sustentabilidade do planeta Terra, das principais preocupações mundiais, e dos aspectos relacionados com o desenho ecológico de sistemas/produtos de utilização pela humanidade. Neste contexto, e considerando os resíduos gerais da sociedade, enquadra-se a problemática dos resíduos electrónicos, e as acções reguladoras dos governos através da rotulagem ecológica, com medidas de contenção de impacte

ambiental, e da Política Integrada de Produtos (IPP), situação mais abrangente em termos de exigências ecológicas.

Na segunda parte faz-se uma abordagem mais em detalhe aos métodos de avaliação de sustentabilidade e de análise ambiental, desenvolvendo-se em pormenor a metodologia de avaliação ambiental denominada Análise de Ciclo de Vida (ACV) de sistemas/produtos, tendo por base as especificações das normas ISO relativas à temática, nomeadamente as ISO 14040 e 14044, de 2006.

Na terceira parte procede-se ao desenvolvimento de ACV para um Computador Pessoal, considerando as 4 fases, respectivamente objectivo e âmbito, inventário do ciclo de vida, análise de impacte do ciclo de vida, e interpretação do ciclo de vida.

Na quarta parte apresentam-se os resultados do desenvolvimento do ACV, indicando possíveis contributos para o desenho ecológico do equipamento.

A quinta parte considera as conclusões e recomendações relativas ao trabalho.

Todas as informações consideradas suplementares ao trabalho, bem como quadros de dados relativos ao ACV são apresentados como Anexos.

2 – Métodos de Avaliação Ambiental

2.1 - Métodos de Avaliação de sustentabilidade e impacte ambiental

2.1.1 - Introdução

A crescente consciencialização relativa à forma como a sociedade utiliza recursos naturais e provoca alterações substanciais em termos ecológicos e de equilíbrio terrestre e às condições de sobrevivência humana, leva à necessidade de avaliar de uma forma eficaz e rigorosa as situações que originam estes impactes, forma esta que deve considerar métodos quantitativos e qualitativos das consequências e causas originadoras, através de estabelecimento de medidas de sustentabilidade ambiental.

A consideração dos aspectos ambientais não pode ser considerada como único elemento avaliativo e apreciativo, uma vez que qualquer avaliação de impactes ambientais, quer sejam negativos ou positivos, terá sempre que ser ponderada com os aspectos sociais e económicos da sociedade, e com os seus impactes positivos/negativos na forma de desenvolvimento de bem estar e nos aspectos relacionados com as condições de vida e progresso económico.

Recentemente, têm vindo a ser desenvolvidos diversos métodos de avaliação de sustentabilidade, considerando os aspectos ambiental, económico e social, sempre dentro de um contexto de

avaliação tecnológica, métodos estes extremamente difíceis de aplicação, quer pela complexidade quer pelas multi-inter-relações e conflitos de interesses entre os aspectos inerentes.

Os métodos de avaliação ambiental propriamente ditos, mais conhecidos e de maior acessibilidade, continuam a ser os mais utilizados, apesar do reconhecimento generalizado da sua inadequação face às necessidades e ambições económico-sociais dos humanos. A decisão de qual método utilizar depende principalmente da fase de desenvolvimento do produto/processo/sistema (novo produto, produto existente, produto a substituir outro, etc.), e especialmente do detalhe de informação disponível, e dos objectivos estabelecidos.

2.1.2 - Principais métodos

No **Anexo II** apresentam-se algumas metodologias de sustentabilidade propriamente dita e de sustentabilidade na sua vertente apenas ambiental, denominadas análises de impacte ambiental, tipificando-se de seguida as consideradas de maior relevância.

2.1.3 – Metodologias de avaliação de sustentabilidade

As metodologias de avaliação ambiental integram 3 componentes principais, nomeadamente o ambiente, e os aspectos económicos e sociais, sendo por este facto ferramentas ecléticas e não muito exaustivas.

De entre as ferramentas disponíveis, as de maior realce são respectivamente a “Matriz de Acção de Impactes”, a “Avaliação de Desenvolvimento Sustentável”, o “Mapeamento de Transformação de Questões e Políticas”, a “Análise Multi-critério” e a “Análise custo/benefício”.

O desenvolvimento destas metodologias sai fora do âmbito do presente trabalho, sendo apenas interessante referir os seguintes aspectos pertinentes:

- ◆ As metodologias de avaliação de sustentabilidade, pela sua abrangência e capacidade de visão integrante, suplantam a médio prazo as metodologias apenas direccionadas às questões ambientais.
- ◆ As metodologias permitem o adequado tratamento de questões globais e transnacionais, de habitats naturais, de solo e agricultura, de recursos de água, de questões urbano/industriais, e de sistemas biofísicos.
- ◆ A implementação prática dos princípios de “sustainomics” e a aplicação de ferramentas integradas requer a identificação de indicadores económicos, sociais e ambientais específicos, com diferentes níveis de agregação (global/macro-local/micro). Especial empenho deve ser

colocado na obtenção e uniformização de indicadores comuns às 3 áreas, uma vez que se verificam diversas designações com conflito entre elas.

- ◆ As medidas de desenvolvimento sustentável obtidas a partir das metodologias deverão ser perfeitamente compreensíveis em termos de âmbito, multi-dimensionais em termos de natureza, e considerar diferenças espaciais.

2.1.4 – Metodologias de Avaliação Ambiental (Sustentabilidade ambiental)

As metodologias de Avaliação Ambiental continuam a ser os de maior utilização e representatividade, por razões de alguma experiência, e por serem significativamente mais simples do que os métodos de Avaliação sustentável.

Conforme expectável, a selecção do método mais apropriado ou indicado depende de diversos factores condicionantes. O **Quadro 4** abaixo indicado, substanciado pelo gráfico de abrangência dos métodos (ver **Figura 4**), apresenta algumas características dos principais métodos de Avaliação ambiental, que poderá orientar esta selecção.

Metodologia	Objecto	Escala	Efeitos considerados	Reporte dos efeitos	Elementos de base
Análise do ciclo de vida	Produto, serviço, sistema	Global, ciclo de vida	Efeitos múltiplos + substâncias	Função de produto, serviço ou sistema	Contabilização de massas, modelo de transferência, impactes
Análise de fluxo de substâncias	Substância poluente	Regional, ciclo da substância	-----	Determinada temporização e região	Contabilização de massas, modelos de transferência
Estudo de Impacte ambiental	Nova actividade ou instalação	Local	Variáveis, de acordo com executante	Capacidade de absorção local	Variáveis, de acordo com executante
Análise de risco	Instalação ou substância química ou biológica	Regional	Toxicidade	Determinado período temporal	Modelos de transferência, impactes

Quadro 4 – Comparação de algumas Metodologias de Avaliação Ambiental

Em termos resumidos, os seguintes considerandos auxiliam na decisão de aplicabilidade dos métodos.

- ◆ **Análise do Ciclo de Vida (ACV)** – método global, ao longo de todo o ciclo de vida, com efeitos múltiplos (impactes), e reportado à função, utilização ou desempenho do produto/serviço/sistema. Tenta integrar não só a quantidade e variedade de matérias primas necessárias à produção de produtos, como também a energia necessária na produção (energia cinzenta), os custos de embalagem e ambientais, transportes, armazenamento, custos durante o período de vida expectável, os custos de reciclagem ou de gestão de resíduos.

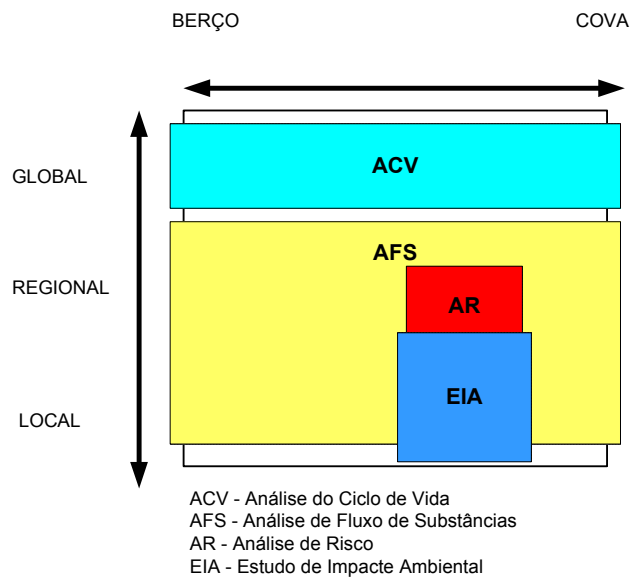


Figura 4 – Metodologias de Avaliação Ambiental: Enquadramento espacial e temporal.

- O método “ACV” é considerado o único através do qual se pode avaliar se um produto é “verde” ou não. Permite principalmente avaliar as vantagens ecológicas relativas a produtos substitutos (papel reciclado/original, garrafas vidro/plástico, etc.). É considerado por muitos o método mais preciso, apesar da sua aplicabilidade no desenvolvimento de novos produtos ser questionável, dado ao enorme esforço requerido.
- ◆ **Análise de fluxo de substâncias** – método local ou regional, ao longo de todo o ciclo da substância, reportado à escolha de uma substância (p.e. mercúrio), não considerando análise de impactes ambientais. Um complemento a este método é o método de contabilização do fluxo de custos, que considera a identificação dos custos ambientais de fim de linha, na análise dos custos dos desperdícios, dos custos de tratamento relacionados com os resíduos e com a água residual, e dos custos de processamento e aquisição de processos químicos em todos os processos. Relacionar estes custos, por exemplo, com os processos que levam a geração de resíduos e desperdícios, contribui para a identificação dos “pontos quentes” no processo de fabrico, onde os melhoramentos produzem efeitos muito positivos ao nível do desempenho económico e ambiental do produto.
 - ◆ **Estudo de Impacte Ambiental (EIA)** – método local, passível de consideração regional, focalizado no período anterior ao estabelecimento, e reportado aos considerandos de uma nova actividade, construção ou instalação.

- ◆ Análise de risco – método local ou regional, focalizada num determinado período, considerando apenas o impacto da toxicidade, expresso em valores por Quilograma de substância.

2.1.5 - Outros métodos de Avaliação ambiental

2.1.5.1 - “Pegada ecológica”

Método desenvolvido por dois cientistas alemães (Mathis Wackernagel and William Rees), utilizado para a medição do impacto do modo de vida individual, e de aquisições particulares, e de comparação a um nível que garanta a sustentabilidade do mundo. Basicamente, o método considera o cálculo de uma área de terreno que seria necessária para balancear ou equilibrar o impacto ecológico negativo do modo de vida pessoal relativo à natureza. Por exemplo, calcula-se a área de floresta necessária para absorção da quantidade de dióxido de carbono produzido na utilização de um automóvel num percurso de “xis Kms” por ano, ou de um avião numa viagem aos EUA. Os resultados podem então ser comparados.

Enquanto que para um nível sustentável de actividade económica cada pessoa na Terra teria 1.7 ha (17 mil m²) disponível, a média inglesa utiliza 4.8 ha, (2.8 x mais), a média dos EUA 8.6 ha (5 x mais), a média da Alemanha é de 4.9 ha (2.9 x mais), enquanto que a média da Índia é de 0.8 ha (metade). Cada pessoa requer uma média de 2.2 ha de modo a satisfazer as suas necessidades em termos de recursos (energia, alimentação, madeira, etc.), situação que é superior ao valor sustentável.

O cálculo da “pegada ecológica” fornece a indicação do factor de redução necessário para a obtenção de sustentabilidade, sendo portanto um indicador de sustentabilidade. É uma metodologia flexível directamente ligada às escolhas dos consumidores face à disponibilidade de recursos naturais globais.

O método da “pegada ecológica” é significativamente diferente do método ACV – focaliza principalmente a disponibilidade de recursos, secundarizando a focalização nos resíduos; não considera metrologia em áreas tais como a toxicidade; permite com habilidade comparar tipos diferentes de produtos ou serviços, e de estabelecer políticas de prioridade entre eles; é considerada uma boa ferramenta de desenvolvimento sustentável, uma vez que permite aos consumidores gerirem o seu consumo de uma forma sustentável.

2.1.5.2 - “Mochila (backpack) ecológica (MIPS)”

Método do tipo conceptual, de avaliação do impacto geral de um produto, desenvolvido por um cientista alemão (Friedrich Schmidt-Bleek). Consiste numa tentativa de avaliação do conceito

“MIPS” (Materials Intensity Per Service unit), a qual considera que para produzir uma tonelada da maioria dos materiais, tais como metal, são necessárias várias toneladas de “ore”, centenas de milhares de litros de água, de energia e de materiais para transporte, montanhas de dejectos ou material tóxico desperdiçado da actividade mineira, o qual destrói áreas habitáveis ou simplesmente utilizáveis para outros fins.

O método “MIPS” sumariza o total dos materiais utilizados durante o ciclo de vida para produzir uma determinada quantidade de produto. Permite comparar quantidades de matérias primas associadas a produtos alternativos.

Exemplos: a “Mochila ecológica” de um automóvel é de cerca de 15 toneladas, sendo o catalisador responsável por 2-3 toneladas, devido à utilização de platina. Um anel de ouro de casamento de 10 gramas produz 3.5 toneladas de material na mina. 1 tonelada de carvão produz/utiliza 3 toneladas de resíduos mineiros e água. 1 litro de sumo de laranja produz cerca de 100 Kg de terra e movimento de água.

2.1.5.3 - Avaliação Ambiental Estratégica

Muito recentemente, surgem referências crescentes ao método de Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), a qual tem em conta os requisitos da directiva europeia 2001/42/CE. A “AAE” constitui um instrumento de avaliação de impactes que actua a níveis estratégicos de decisão, e incide sobre propostas de natureza estratégica, devendo assegurar os seguintes objectivos globais:

- ◆ Assegurar uma visão estratégica e uma perspectiva alargada em relação às questões ambientais, num quadro de sustentabilidade;
- ◆ Assegurar a integração das questões ambientais no processo de decisão, enquanto as opções ainda estão em discussão;
- ◆ Auxiliar na identificação, selecção e justificação de opções ganhadoras (*win-win*) face aos objectivos de ambiente e desenvolvimento;
- ◆ Detectar problemas e oportunidades, sugerir programas de gestão e monitorização estratégica;
- ◆ Assegurar processos participados e transparentes, que envolvam todos os agentes relevantes;
- ◆ Produzir contextos de desenvolvimento mais adequados a futuras propostas de desenvolvimento.

2.1.5.4 – Outros métodos

Ernzer et al. (...) propõe, para o caso específico de um produto, outros métodos de Avaliação de impacte ambiental, baseados nas normas “VDI guideline 2221 – Systematic approach to the

development and design of technical systems and products” (Maio de 1993) dependendo da precisão e dos resultados requeridos.

Eco-indicator 99 - método de estimativa rudimentar, no qual um factor específico é multiplicado pelo peso ou energia consumida por um material, de modo a calcular o impacte ambiental. Apesar do criticismo do ponto de vista científico, é um método adequado para ACV's cujo objectivo seja identificar e introduzir ordem de prioridade nos pontos fracos de um produto. A grande vantagem deste método é ser de fácil e rápido desenvolvimento, não requerendo muitos recursos.

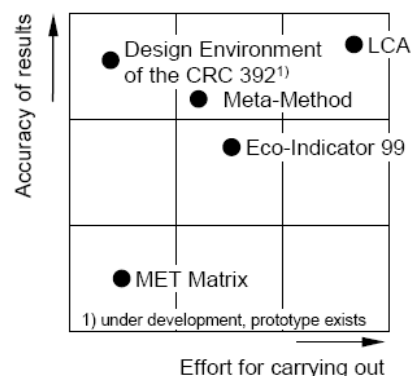


Figura 5 – Metodologias de Avaliação Ambiental simplificadoras (Ernzer et al.)

Método “Meta” – método desenvolvido no “CRC 392”, que combina as vantagens dos métodos “EI”, “CED” e “MIPS” para a obtenção de resultados próximos do ACV, baseados na entrada de materiais. As pontuações específicas dos 3 métodos são agregadas com recurso a um factor de peso para cada pontuação.

Método “Desenho Ambiente CRC 392” – boa ferramenta para suporte durante a fase de desenho detalhado de um produto. Permite o desenvolvimento paralelo de ACV com a ferramenta de desenho “CAD”.

Método da “Matriz MET” – método basicamente qualitativo, sendo adequado para a sensibilização durante a fase de desenho de um produto.

2.2 - A Metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)

2.2.1 – Introdução e Objectivos

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica de avaliação ou de análise dos aspectos ambientais e dos potenciais impactes de um produto ou serviço relativamente ao meio ambiente, aos humanos e aos eco-sistemas terrestres. Como método de “análise ambiental”, liga o impacte ambiental à função de um produto/serviço, através da quantificação de materiais, do “berço ao caixão”, avaliando todos os efeitos inerentes.

A análise abrange todo o ciclo de vida de um produto/processo/serviço, considerando a extracção de matéria prima, o processamento da matéria prima, a manufactura, a embalagem, a distribuição, a utilização, a reutilização (caso aplicável), a manutenção, e a eliminação ou disposição final, considerando reciclagem, incineração ou deposição de resíduo em lixeira.

Calcula a utilização de recursos e energia, as emissões, e os impactes ambientais terrestres, dos eco-sistemas animais e vegetais, e os riscos para a saúde humana e animal. Permite melhorar a nossa compreensão e ajuda a

preparar-nos e melhor atingirmos a minimização dos efeitos nocivos do desenvolvimento da sociedade actual.

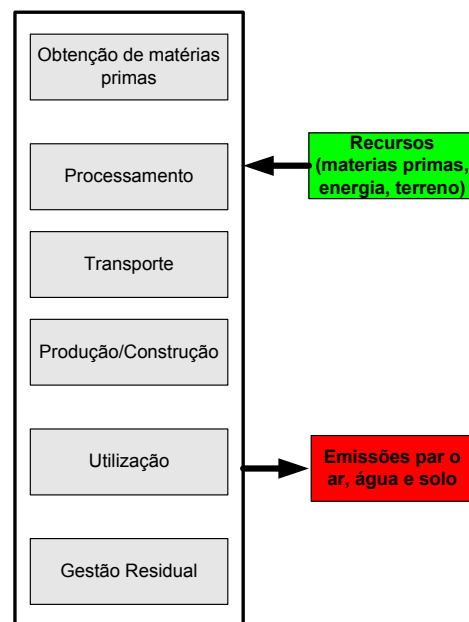


Figura 6 – Fases do Ciclo de Vida de Sistemas/Produtos, com fluxos entrada/saída.

A ACV é pois uma técnica sistemática e compreensiva para a identificação, avaliação, comparação de alternativas de desenvolvimento sustentável e eventualmente suporte à decisão. Pode ainda ser utilizado no desenho ecológico de produtos (“eco-design”), processos e sistemas, e para a avaliação da sustentabilidade de projectos e propostas, e de revisão da performance de programas de sustentabilidade passados. É fundamental para a metodologia ACV a especificação de um conjunto de critérios sobre os quais se avaliarão as políticas alternativas, as propostas de projectos, ou a performance de concretizações de projectos.

O principal objectivo da ACV consiste na obtenção dos seguintes aspectos:

- ❖ Determinação de qual etapa do ciclo de vida é responsável pelos impactes mais relevantes
- ❖ Determinação de quais os impactes principais (saúde humana, mudanças de clima, alteração de eco-sistemas) directos e indirectos
- ❖ Determinação das substâncias responsáveis pelos impactes principais

A metodologia ACV possui um vasto leque de aplicações, considerando a título de exemplo as seguintes:

- ❖ Projecto, desenvolvimento ou melhoramento de produtos ou processos;
- ❖ Planeamento estratégico de organizações privadas ou públicas
- ❖ Orientações e estabelecimento de preferências e políticas ambientais públicas

- ❖ Estratégias de conservação de recursos e mitigação de mudança climática
- ❖ Iniciativas de prevenção de poluição
- ❖ Desenho e desenvolvimento de produtos/processos/sistemas
- ❖ Suporte à decisão de investimento/desenvolvimento
- ❖ Aprendizagem ambiental
- ❖ Estabelecimento de rótulo ecológico
- ❖ Declaração ambiental de produtos ou processos
- ❖ Marketing
- ❖ “Benchmarking” de produtos
- ❖ Fornecer um quadro de interações de uma actividade com o ambiente
- ❖ Contribuir para o entendimento da natureza interdependente e global das consequências ambientais das actividades humanas
- ❖ Providenciar aos agentes decisores informações que identifiquem oportunidades de eco-eficiência (EEA, 1997; Daniels & Moore, 2002).

Sendo baseada na 1ª e 2ª leis da termodinâmica (Ferrão, 1998), é considerada uma ferramenta valiosa, e globalmente aplicada, passando cada vez mais a fazer parte dos requisitos dos utilizadores, e da forma de pensar e agir da sociedade mundial. Desempenha um papel de extraordinária importância na orientação dos países em desenvolvimento

A ACV é uma metodologia de informação intensiva. Na realização da ACV nem sempre se tem acesso a toda a informação do processo produtivo de um bem, ou de processos associados ao ciclo de vida desse bem, devido a questões de confidencialidade (Peereboom et al., 1999). A este facto acresce que em muitos casos, essa informação pura e simplesmente não existe. Como tal, a informação normalmente é recolhida de uma variedade de fontes, que incluem base de dados públicas, base de dados comerciais, livros e artigos científicos, estudos de ACV, etc., o que acarreta uma variação acentuada na qualidade de informação (Peereboom et al., 1999). Outra limitação da metodologia é que um estudo completo de ACV que inclua todos os fluxos de materiais ao mais pequeno detalhe é um processo extremamente exigente, complexo, e de utilização intensiva de recursos. Mesmo uma descrição estática de um produto implica uma variedade de intrincados fluxos e de relações interdependentes e de sinergia (Pesonen, 1999).

Como tal, a incerteza nos resultados é inerente a metodologia de ACV, e conseqüentemente, deve-se fazer um esforço para a minimizar. A margem de incerteza deve ser determinada quando possível e explicitada (Peereboom et al., 1999). A Avaliação de Ciclo de Vida é uma metodologia que está constantemente em evolução e como tal, diferentes abordagens do problema podem resultar em resultados diferentes (Pongrácz, 1998).

A dimensão final de um estudo de ACV será a avaliação ou interpretação da significância dos resultados obtidos, podendo variar de uma agregação de dados num conjunto de indicadores simples (consumo bruto de energia, CO2 equivalentes, resíduos sólidos totais) até à consolidação dos dados num conjunto base de indicadores recorrendo a uma variedade de métodos de pesagem ou de marcação

2.2.2 – Composição do ACV

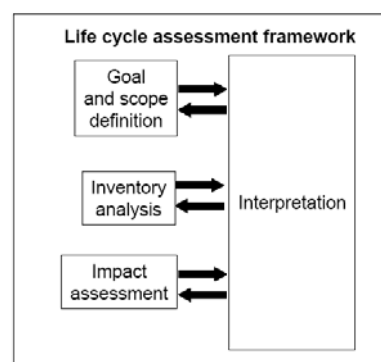
Toda a temática relacionada com questões ambientais, incluindo a gestão ambiental encontra-se devidamente especificada e regulamentada através de normas e regulamentos standard ou uniformizados, da “ISO” (“International Standard Organization”), constituindo uma uniformização internacional entre todos os países aderentes.

No enquadramento das normas ambientais da “série 14000”, encontram-se as normas relativas à Análise de Ciclo de Vida (ACV) de produtos e serviços (série ISO 14040), da responsabilidade do subcomité 5 (TC207-SC5), nomeadamente

- ISO 14040 – ACV – Princípios e Enquadramento - (Out 1997) - Estabelece as directrizes e estrutura para a análise do ciclo de vida.
- ISO 14041 –ACV – Definição de Objectivo e Âmbito e Análise de Inventário - (Dez 1998) - Estabelece a definição do âmbito e análise do inventário do ciclo de vida.
- ISO 14042 – ACV – Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida - (Mai 2000) - Estabelece a avaliação do impacte do ciclo de vida.
- ISO 14043 – ACV – Interpretação do Ciclo de Vida - (Mai 2000) - Estabelece a interpretação do ciclo de vida.
- ISO/TR 14047 – ACV – Exemplos de aplicação da norma ISO 14042 - (2003) - Fornece exemplos para a aplicação da ISO 14042.
- ISO/TS 14048 – ACV – Formato de documentação de dados - (Abr 2002) - Estabelece o formato da apresentação de dados.
- ISO/TR 14049 – ACV – Exemplos de aplicação da norma ISO 14041- (Mar 2000) - Fornece exemplos para a aplicação da ISO 14041.

Mais recentemente (reuniões do México em Janeiro de 2005, e de Espanha, ainda em 2005, no mesmo ano), e para efeitos de

simplificação e eficácia de implementação, as normas 14040-14043 foram compiladas em apenas 2 normas, nomeadamente as normas



Fonte ISO 14040-2006

Figura 7 – Metodologia de ACV – Fases constituintes, de acordo com ISO 14040/14044.

- ISO 14040:2006 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Enquadramento (framework) – Possibilita uma visão clara da prática, aplicações e limitações do ACV a um maior número de utilizadores potenciais e interessados (stakeholders), incluindo aqueles com conhecimento limitado da metodologia ACV.

- ISO 14044:2006 - Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações – Desenhado para a preparação, condução, e revisão crítica da análise de inventário de ciclo de vida. Fornece ainda orientação para a fase de avaliação de impacto e para a interpretação de resultados, assim como a natureza e qualidade dos dados recolhidos.

(publicadas no 1º trimestre de 2006). Estas duas normas especificam requisitos e disponibilizam orientações para o desenvolvimento de “Avaliação ou Análise do Ciclo de Vida” de determinado bem, equipamento ou serviço, com realce para os problemas ambientais, e para áreas com necessidade de melhoramentos da produção e utilização de produtos, processos e serviços. Estas novas versões sofreram melhoramentos em termos de facilidade de leitura, erros e inconsistências, mantendo os requisitos e conteúdo técnico das normas substituídas, e aparecem numa altura de enormes pressões ambientais e exploração de recursos naturais, motivadas pela crescente produção de equipamentos.

Requisitos base de especificação (4 fases):

- Definição de objectivo e âmbito do ACV
- Análise de Inventário do ciclo de vida (ICV)
- Avaliação do Impacte do ciclo de vida (AICV)
- Interpretação do ciclo de vida

São ainda indicados requisitos adicionais ou complementares, nomeadamente desenvolvimento de relatório e revisão crítica do ACV, estabelecimento das limitações do ACV, relacionamento entre as fases do ACV, e as condições de utilização de escolha de valores e elementos opcionais. De referir que o ACV é diferente da maioria das outras técnicas de avaliação ambiental (avaliação de performance ambiental, avaliação de risco, etc.) por ser uma técnica relativa e essencialmente comparativa, baseada no conceito de unidade funcional, com análise detalhada de todas as entradas/saídas. É uma técnica adequada para responder muitas, mas não todas as questões de impactes ambientais.

O ACV possui opções de Normalização, permitindo relacionar o impacto de um produto com impactes à sociedade, relativizando a importância, e a introdução de pesos, que permite o relacionamento de vários impactes entre si.

Sem retirar importância ao restante conteúdo das normas ISO 14040/14044 (ACV), existem 6 conceitos de primordial importância, definidos nos “termos e definições” das mesmas, que estabelecem a estrutura da análise de ciclo de vida de um determinado objecto, e que por tal condicionam o sucesso da aplicação da metodologia, nomeadamente

- Produto – elemento de categorização de análise, podendo ser serviço, “software”, “hardware”, ou material.

- Co-produto – qualquer de dois ou mais produtos ligados a uma “unidade de processo” ou “sistema de produto”.
- Processo – conjunto de actividades relacionadas ou inter-agentes que transformam entradas em saídas.
- Unidade funcional – performance quantificada de um “sistema de produto”, utilizada como unidade de referência.
- Sistema de produto – colecção de “unidades de processo” com fluxos elementares e de produtos, efectuando uma ou mais funções definidas, que modelam o ciclo de vida do produto.
- Unidade de processo – elemento mais pequeno considerado na análise de inventário, para o qual são quantificados dados de entrada/saída.

Fase nº 1 – Definição do objectivo e âmbito do ACV

Uma clara e inequívoca definição do “Objectivo” e do “Âmbito” (ISO 14044, antiga ISO 14041) é fundamental para a condução do estudo. Embora pareça simples e óbvia, esta fase é crucial para o sucesso da condução do estudo e para a sua relevância e utilidade. De fato, o processo de estabelecer estas definições pode ser bastante complexo. Deve partir da clara definição do sistema de produto ou serviço. Isto envolve a definição da chamada “unidade funcional”, o que pode não ser trivial, mas que está intimamente ligada ao uso, à finalidade última do sistema de produto.

A unidade funcional deve indicar claramente a função do sistema que está a ser estudado e a sua escolha deve ser consistente com o objectivo e âmbito do estudo. A principal utilidade da unidade funcional consiste em estabelecer uma referência, de modo a relacionar as entradas e saídas do sistema. A unidade funcional deverá ter portanto em consideração a perspectiva do utilizador ou do sistema.

Nesta fase devem ser definidos respectivamente O sistema a ser estudado, a definição dos limites do sistema, a definição das unidades do sistema, o estabelecimento da função e da unidade funcional do sistema, os procedimentos de alocação, os requisitos dos dados, as hipóteses de limitações a estabelecer, a decisão de realização da avaliação de impacte e a metodologia a ser adoptada, a decisão, a decisão de realização da fase de interpretação, e a metodologia a ser adoptada, o tipo e por último o formato do relatório necessário ao estudo e a definição dos critérios para a revisão crítica, se necessário.

Fase nº 2 – Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

A “Análise do Inventário” (ISO 14044, antiga ISO 14041) constitui o processo “base” de todo o ciclo, dependendo dele a concretização de algo real e útil no contexto da avaliação ambiental.

Refere-se mais precisamente à colecta de dados e ao estabelecimento dos procedimentos de cálculo para que se possa facilitar o agrupamento destes dados em categorias ambientais normalmente utilizáveis e comparáveis, de modo semelhante a um balanço contabilístico.

Dentro de cada processo do ciclo de vida, as entradas podem ser de 2 géneros: matérias-primas e energia ou produtos e energia que resultam de saídas de outros processos. Por outro lado, as saídas dos processos do ciclo de vida podem ser de 2 tipos: emissões para o ambiente (solo, ar, água) ou produtos e energia. A partir das informações recolhidas sobre todos os processos do ciclo de vida e que se situam dentro da fronteira definida para a ACV, é construída uma tabela de inventário, em que todas as entradas e saídas existentes no ciclo de vida estão quantificadas.

Esta fase do ACV é considerada a mais difícil e trabalhosa, em função da indisponibilidade de dados, da qualidade dos dados disponíveis ou da necessidade de estimá-los. A qualidade da informação determina o grau de certeza e confiança dos resultados da ACV, devendo ser dada especial atenção à determinação deste parâmetro.

Especial consideração deve ser colocada na necessidade de uma estratégia cuidadosa na preparação para a colecta de dados, na colecta ou recolha de dados, no refinamento dos limites do sistema, na determinação dos procedimentos de cálculo, e na determinação dos procedimentos de alocação.

Fase nº 3 – Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida (AICV)

Conforme especificado nas normas ISO 14040:2006 (Princípios e Enquadramento) e 14044:2006 (Requisitos e Orientações), a 3ª fase da Avaliação de Ciclo de Vida corresponde à “Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida”, ou “AICV”. Em termos gerais, esta fase tem como propósito agregar os resultados da Análise de Inventário do produto ou serviço, e avaliar a significância dos potenciais impactes ambientais, envolvendo o relacionamento dos dados do ICV a “categorias de impactes” e correspondentes “indicadores de categorias”. As referidas categorias estão directamente ligadas com os aspectos principais da sustentabilidade, incluindo impactes ecológicos do planeta, dos eco-sistemas terrestres, da saúde e qualidade de vida humana, e da carga energética inerente.

Considera em primeiro lugar a preparação dos dados (materiais e processos) obtidos no ICV para avaliação, com uma organização de acordo com as suas características, composição, e possíveis impactes que poderão causar nas diferentes categorias utilizadas.

A norma indica especificamente a constituição do AICV, incluindo elementos obrigatórios e opcionais. Os elementos obrigatórios são constituídos por 3 fases ou etapas, (constituintes do chamado “mid-point” do processo), nomeadamente

- ◆ Seleção – São seleccionadas as “categorias de impactes”, os “indicadores de categorias”, e o modelo de caracterização a ser utilizado na análise.
- ◆ Classificação – Os dados do inventário são seleccionados e atribuídos às categorias de impacte específicas;
- ◆ Caracterização - Os dados do inventário são multiplicados por factores de equivalência para cada categoria de impacte, sendo os valores somados para obtenção de resultado único para cada categoria de impacte.

Para além destas fases, existe a possibilidade de utilização de elementos opcionais da fase de AICV (constituíntes do chamado “end-point” do processo), tais como:

- ◆ normalização - cálculo da magnitude dos resultados do indicador da categoria em relação a um valor de referência (chamado “adimensionamento”), como por exemplo o total de entradas e saídas de uma certa área, que pode ser global, regional, nacional ou local;
- ◆ agrupamento - atribuição das categorias de impacte a um ou mais conjuntos, podendo envolver também o estabelecimento de uma classificação, como por exemplo alta, média e baixa prioridade;
- ◆ ponderação - processo de conversão dos resultados do indicador das diferentes categorias de impacte a uma mesma base, empregando factores numéricos oriundos de atribuição de valores, ou seja, os diferentes impactes ambientais são ponderados entre si gerando um único número que representa o impacte ambiental total daquele sistema de produto.
- ◆ Análise da qualidade dos dados – compreensão da fiabilidade dos dados dos resultados, perfil do AICV.

Existem diversas metodologias de caracterização, conforme abaixo se indica, sendo a escolha feita com base em critérios estabelecidos de acordo com o âmbito pretendido. Na fase de classificação as substâncias que foram identificadas na fase de

Tabela 6 – Categorias de impacte ambiental consideradas no método Eco-indicador 95.

Categoria	Unidades	Impactes ambientais
Efeito de Estufa	kg CO ₂	Alterações climáticas aumento da radiação ultravioleta incidente no solo
Diminuição da camada de ozono	kg CFC11	Acidificação de solos, rios e lagos
Acidificação	kg SO ₄	Aumento de nitratos e outros fertilizantes nos rios, lagos e lençóis freáticos
Eutrofização	kg PO ₄	Toxicidade humana e os seres vivos em geral
Metais pesados	kg Pb	Saúde humana, aumento da incidência de cancro
Carcinogenia	kg B(a)P	Problemas respiratórios causados por partículas em suspensão
Smog de Inverno	kg SPM	Problemas respiratórios.
Smog de Verão	kg C ₂ H ₂	Criação de ozono ao nível do solo
Pesticidas	kg pesticidas	Contaminação de lençóis freáticos e dos solos
Energia	MJ	Consumo de energia
Resíduos Sólidos	kg	Produção de resíduos sólidos

Figura 8 – Exemplos de “Categorias de impacte ambiental”, unidades e impactes associados (método Eco-indicador 95).

Inventário como fazendo parte do ciclo de vida do produto são agregadas em diferentes classes de acordo com o seu impacto ambiental. O tipo de classes e o número destas dependem do método utilizado para a classificação de impactos ambientais. A agregação nas classes considera um factor de ponderação

Na fase de caracterização os contributos das intervenções ambientais são estabelecidos por comparação com uma intervenção ambiental de referência, nomeadamente conversão de emissões de CH₄ e de CO₂ em emissões de CO₂ equivalente. Estas comparações são estabelecidas através de critérios científicos. Algumas substâncias possuem efeitos em mais de que um tipo de impacto ambiental, sendo incluídas nas respectivas classes.

A norma estabelece ainda especial relevância para a significância, incerteza e sensibilidade dos resultados, recomendando análises de gravidade, incerteza e sensibilidade

Conforme é expectável, e pela própria indefinição e ausência de detalhe de procedimentos específicos da norma, tanto a preparação do Inventário, como a eleição de sistemas ou áreas de preocupação especiais, das categorias de impactos ambientais, dos indicadores de categorias, e ainda a interligação entre ambos, são procedimentos extensos, complexos, e com indefinições, existindo diversas alternativas em termos de estratégias a utilizar. Estas alternativas ou formas diferentes de desenvolvimento da avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) têm gerado grandes debates científicos, havendo que considerar as limitações do conhecimento científico no estabelecimento dos impactos potenciais e dos indicadores de impactos, aspectos como subjectividade nas análises ou diferenças entre indicadores e impactos.

De entre as diversas metodologias disponíveis de “AICV”, algumas de uso mais generalizado são respectivamente Eco-indicator 99 (substitui a Eco-indicator 95), EDIP2003 (substitui a EDIP97, apesar de ainda em utilização), EPS 2000d, (Dutch) LCA Handbook, IMPACT 2002(+), LIME, (SWISS), ECOSARCITY 1997, JEPIX (Japão), e TRACI (US EPA), SETAC, CML 2001, “Cumulative Energy Demand”, e IPCC 2001 (alteração de clima). Algumas destas metodologias são tipificadas no **Anexo III**, para efeitos referenciais.

A selecção da metodologia AICV a utilizar num determinado ACV depende de uma avaliação de conformidade com critérios específicos ao âmbito em consideração, e dos objectivos em causa, podendo ser considerados, a título de exemplo, os seguintes critérios:

- ❖ Possuir resultados relevantes de ACV's de sistemas de produtos;
- ❖ Disponibilidade de factores de caracterização para a zona/país da análise;
- ❖ Conter especificidades do local em análise;
- ❖ Possuir na generalidade validade científica;
- ❖ Possuir relevância para a comunidade ambiental, ecológica ou verde;
- ❖ Conter um conjunto compreensivo de categorias de impactos ambientais importantes;

- ❖ Identificar pontos finais de preocupação através dos modelos de caracterização;
- ❖ Possuir dados normalizados disponíveis sobre a zona/país;
- ❖ Etc.

A metodologia ACV é tipificada de duas formas, com base na selecção da metodologia AICV utilizada, respectivamente os ACV's "completos" ("full") e os "filtrados" ("screening"), sendo os últimos efectuados com recurso às bases de dados "standard", utilizadas pelas metodologias superiormente indicadas. Um ACV "completo" é efectuado de raiz, considerando exaustivamente todas as categorias de impacte, não limitando pois a análise, como é o caso das bases de dados existentes.

Fase nº 4 - Interpretação da Avaliação do Ciclo de Vida

A interpretação dos resultados de ACV (ISO 14044, antiga ISO 14043) é uma das etapas mais sensíveis, pois as hipóteses estabelecidas durante as fases anteriores, assim como as adaptações que podem ter ocorrido em função de ajustes necessários, podem afectar o resultado final do estudo.

Relatório Final: o relatório final deve ser elaborado de forma a possibilitar a utilização dos resultados e sua interpretação de acordo com os objectivos estabelecidos para o estudo. Este relatório deve seguir as prescrições das normas.

Apesar de toda a orientação normativa, os estudos de ACV continuam a ser descrições imperfeitas do sistema de produção. Existe um potencial de incerteza relativa à qualidade dos dados, e mesmo involuntariamente, uma certa subjectividade pode estar presente desde o início dos estudos. Para reduzir os riscos de manipulações, abusos na condução ou mesmo erros involuntários devido à complexidade dos estudos, a norma ISO 14044 salienta que uma revisão crítica pode ser realizada por um especialista independente do estudo de ACV. Contudo, quando se tratar de afirmações comparativas ou públicas, estas devem passar obrigatoriamente por uma revisão crítica externa, independente. Isto porque o uso de resultados de ACV para apoiar afirmações comparativas levanta preocupações especiais e requer análise crítica, uma vez que esta aplicação provavelmente afecta partes interessadas que são externas ao estudo de ACV.

Análises Críticas: para diminuir a probabilidade de mal-entendidos ou efeitos negativos em relação às partes interessadas externas, devem ser conduzidas análises críticas em estudos de ACV quando os resultados são usados para apoiar afirmações comparativas. O fato de uma análise crítica ter sido conduzida não implica de modo algum um endosso de qualquer afirmação comparativa que seja baseada num estudo de ACV.

A análise crítica externa pode ser efectuada tanto por um especialista externo quanto por uma comissão, a qual pode incluir representantes das partes interessadas. A declaração sobre a análise

crítica e o relatório da comissão de análise crítica, assim como comentários do especialista e quaisquer respostas às recomendações feitas pelo analista ou pela comissão, devem ser incluídos no relatório de estudo de ACV.

2.2.3 – Aspectos positivos e negativos da metodologia ACV

2.2.3.1 - Aspectos positivos:

- ❖ Focalização no sistema, evitando as sub-otimizações e mudanças de focagem de problema.
- ❖ Método estruturado, quantitativo e qualitativo de análise de sistemas complexos.
- ❖ Método permite determinar de uma forma exaustiva todos os impactes ambientais.
- ❖ Método é orientado por normas ISO (14040:2006, 14044:2006), estabelecendo um standard unificado entre utilizadores

2.2.3.2 - Aspectos negativos:

- ❖ Método de elevada complexidade de obtenção
- ❖ Método com elevadas exigências temporais e de custos, não permitindo ou suportando reduções de tempo ou abreviações.
- ❖ Método moroso, não compatível com o período do processo de desenvolvimento de um produto.
- ❖ Método requer entradas de dados ambientais de especialistas na matéria.
- ❖ Não existem métodos de reutilização ou actualização de parâmetros de avaliação à medida que se verificam alterações circunstanciais.
- ❖ Disponibiliza um “instantâneo” (“snapshot”) temporal das interações complexas do sistema, e portanto não contempla a natureza dinâmica da evolução do produto no processo de desenho.
- ❖ Grande parte das técnicas é utilizável pela primeira vez após a conclusão do desenho do produto, e não suporta a avaliação de ciclo de vida ao longo do processo de desenho.
- ❖ As presentes ferramentas de avaliação ambiental suportam o estilo convergente de aprendizagem dos cientistas.
- ❖ Método não considera uma exausção dos impactes ambientais, analisando apenas alguns.
- ❖ O resultado do ACV é definido pelo utilizador, com as consequentes influências.
- ❖ Dificuldade ou inacessibilidade de dados fiáveis e confiáveis.
- ❖ Dificuldade de actualização contínua de dados.

2.2.3.3 - Recomendações de utilização

The ISO-framework for LCA (ISO 14040:2006) recomenda que qualquer estudo relacionado com a utilização da metodologia de “Análise de Ciclo de Vida” (ACV), qualquer que seja o produto/processo, deverá considerar elevadas incertezas nas questões abordadas. São geralmente recomendados os seguintes pressupostos:

- Não esperar por dados “quase perfeitos”;
- Considerar alguma modéstia quanto às incertezas; declarar claramente os aspectos incertos e os pressupostos;
- Deduzir conclusões nos casos dos principais melhoramentos significativos; caso contrário, não deduzir não equivalências;
- Para casos de estados iniciais, os estudos devem focar a protecção dos humanos e do ambiente;
- Separar os indicadores categorizados; agrupá-los de acordo com a relevância e incerteza;
- Evitar colocar ênfase nos benefícios do produto/serviço, uma vez que a avaliação das metodologias melhorará e poderá mostrar problemas no futuro;
- Trabalhar com toxicologistas e outros cientistas (impactes geográficos e sócio-económicos) na revisão dos dados e limites da questão;
- Desagregar os dados disponíveis para futuras comparações de ACV’s.

2.3 - Ferramentas automáticas da metodologia ACV

2.3.1 - Introdução

Dadas as suas características, a avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método de utilização frequente para a avaliação do potencial impacte ambiental de produtos, serviços ou procedimentos. Pelo facto de se tratar de uma metodologia de avaliação ou análise com uma complexidade considerável, em termos de informações e respectivo tratamento, o recurso a ferramentas de tratamento informático do ACV tem crescido de importância nos últimos tempos. As primeiras aplicações das ferramentas, com aparecimento há cerca de 2 décadas, verificou-se em avaliações de processos produtivos, tendo posteriormente aparecido aplicações de gestão de resíduos.

Presentemente existe um número considerável de ferramentas de software, disponíveis actualmente através de várias organizações, existindo, conforme esperado, alguma diversidade elas, quer em termos de requisitos, quer em termos de qualidade de resultados, quer ainda no custo de aquisição associado. A escolha de utilização depende da adequação ao propósito

desejado, sendo contudo de extrema importância a qualidade da base de dados de suporte à ferramenta.

A avaliação destas ferramentas foi alvo de apreciação detalhada (Unger et al, 2004), através de uma utilização de cada programa aplicado a cenários de gestão de resíduos. Esta avaliação indicou muitas diferenças na qualidade das ferramentas testadas, diferenças estas relevantes para todos os tipos de ACV's. A partir desta avaliação, e de investigação adicional (Unger et al, 2004), foram delineados requisitos gerais considerados essenciais para a decisão qualitativa de ferramenta informática a utilizar.

Podemos classificar a utilização das ferramentas ACV através de grupos diferentes de utilizadores, nomeadamente Investigadores e cientistas (flexibilidade, fora do standard, complexidade), Utilizadores industriais (melhoramento de performance ambiental, optimização de processos, desenvolvimento produtos), Decisores (apoio à decisão).

Os processos ambientais são geralmente muito complexos e convulsos, tornando a modelação do ACV difícil de obter. Igualmente, o ACV é muito exigente em termos de dados, e da sua constante actualização e refinamento. A situação é agravada quando se trata de produtos ou processos relacionados com electrónica. A electrónica é um campo de contínua alteração e inovação, cujos produtos se encontram disponíveis com inúmeras facetas, formatos, e constituições, utilizando diversos tipos de componentes eléctricas e electrónicas, com diferentes níveis de integração. Por este facto, constitui um desafio para as ferramentas de ACV a modelação de sistemas electrónicos.

A decisão de qual software de ACV é o mais adequado a uma determinada situação constitui por vezes um dilema. Existem diversas comparações disponíveis na Internet (cf. Jönbrink et al., 2000; Frühbrodt, 2002; Unger, 2003, etc), as quais poderão auxiliar na decisão.

A ferramenta de software ACV consiste numa aplicação de modelação e de uma base de dados de alimentação à aplicação. A modelação consiste na interligação de processos sucessivos a fluxos de materiais, constituindo assim cadeias de processos. Cada processo representa uma fase ou estágio na produção e é definido pelas suas entradas/saídas., sendo estes elementos passados entre processos. A modelação de cadeias de processos “simples” pode ser feita numa camada ou nível. Às cadeias de maior complexidade é disponibilizada uma estrutura hierárquica, sendo a explosão dos processos principais (extração, produção, descarte) feita nas camadas ou níveis inferiores.

Para o caso de avaliação de ciclo de vida de produtos, a focalização é geralmente colocada no resultado ou dados de saída (output). A questão colocada é como poderá ser produzida uma certa quantidade de saída (produto), com o mínimo impacte ambiental. (cálculo orientado para a saída).

A implementação de uma caracterização documental relativa a um ACV deverá ser conforme a norma standard ISO 14040/14044.

Os dados deverão ser armazenados separadamente do módulo aplicativo, para garantir independência, deverão ser de boa qualidade, e ser actualizados de fontes fiáveis, preferencialmente de mais do que uma fonte, para garantir limitação de erros. Uma actualização automática deverá ser prevista, logo que novos dados ou dados de melhor qualidade sejam disponibilizados (incluindo origem, idade dos dados, composição, etc.).

O utilizador deverá claramente definir as condições sob as quais os dados são válidos, assim como a região de aplicação (a energia é diferente entre países). Ajuda a inclusão de um índice de qualidade de dados.

As ferramentas de software oferecem opções diferentes para a definição da proporção de entradas/saídas de processos. A forma mais simples é definir um balanceamento “mássico”, apesar de ser usualmente insuficiente. Sistemas de equações lineares são uma forma adequada de modelação de processos na maioria dos casos. Algumas ferramentas disponibilizam “scripts” iterativos de cálculo não linear de sistemas.

Até ao momento, as ferramentas de software de ACV têm ignorado os aspectos ligados à incerteza e variabilidade de parâmetros de modelação e de dados. O espectro de ferramentas para tratamento dos potenciais intervalos de distorção desde variações de parâmetros simples e análises de sensibilidade a métodos sofisticados, tais como computações lógicas “confusas” (“fuzzy”), estatísticas “bayesianas” ou simulações probabilísticas. Em particular, as simulações baseadas em métodos de modelação estatística parecem ser uma técnica promissora para tornar a incerteza operacional. 2 aproximações: método de Monte Carlo e a simulação do hipercubo latino – encontram-se presentemente implementadas em algumas ferramentas de software de ACV (Weidema and Mortensen, 1997),

Em termos internacionais, foram estabelecidos 2 métodos de avaliação de impacte (AICV’s), sendo considerados de utilização comum em ACV’s: Método CML 2001 (Guinée e tal., 2001); EcoIndicator 99 (Goedkoop e tal., 2000). Métodos menos utilizados, particularmente na Alemanha, incluem o “Eco-factors 1997” Suíço (BUWAL, 1998) e o método “German Federal Environmental Agency (UBA)” (UBA, 1999). O software deverá pelo menos providenciar ambos os métodos utilizados internacionalmente, devido ao facto de seguirem aproximações diferentes – CML: método orientado para o problema – e Eco-indicator: método orientado para o dano. Especialmente para o caso do método CML ser utilizado para a avaliação de impacte, o software necessita de providenciar outro auxílio para a interpretação de resultados.

A pesagem dos resultados de acordo com a sua relativa importância geralmente é necessária para o interpretador dos resultados. Uma possibilidade para a agregação de resultados é a normalização, onde o cálculo da magnitude dos resultados indicadores relativamente à

informação de referência é possível. O software deverá providenciar parâmetros de normalização diferentes.

2.3.2 - Ferramentas de software de modelação de ACV

Sem dúvida que as bases de dados constituem um suporte prestimoso à inventariação de informações relativas à determinação dos processos e fluxos característicos de produtos e serviços, devendo a sua contribuição à constante actualização a que estão sujeitas.

As bases de dados só por si não servem de nada, ou eventualmente poderão auxiliar em situações muito específicas e delimitadas em espaço, materiais ou processos produtivos, sendo a sua utilização realizada através das diversas aplicações disponíveis para o efeito.

Relativamente à escolha de bases de dados, verifica-se que cada uma tende a especializar-se numa determinada área orientada para um determinado nicho de clientes, constatando-se que as aplicações geralmente utilizam conjuntos de bases de dados, retirando de cada as informações mais adequadas.

Difícilmente se poderá inferir numa conclusão sobre a aplicação mais adequada a uma situação, sendo para o efeito necessário testar todas elas, situação complicada não só em termos temporais como também em termos económicos. Contudo, é pertinente considerar uma visão geral do que existe disponível, incluído no **Anexo IV**.

3 – Desenvolvimento de ACV de um Computador Pessoal

3.1 – Pressupostos gerais

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de uma Análise de Ciclo de Vida (ACV) de um Computador Pessoal, com recurso a uma ferramenta informática de ACV – o “SimaPro 7” - tendo por base as especificações delineadas nas normas ISO 14040:2006 e 14044:2006, e considerando 4 fases constituintes, nomeadamente

- ◆ Definição de objectivos e âmbito do ACV
- ◆ Inventário do Ciclo de Vida (ICV)
- ◆ Análise de Impacte do Ciclo de Vida (AICV)
- ◆ Interpretação de resultados do ACV

No desenvolvimento do presente ACV são tidos em consideração, dentro das limitações existentes e complexidade da metodologia, as orientações adicionais das normas, nomeadamente

a revisão crítica e relatório, as limitações encontradas, o relacionamento entre as 4 fases, e as condições de utilização das escolhas de valores e elementos opcionais utilizados.

Em especial, são consideradas as limitações em termos de estabelecimento de selecções e pressupostos de limitação, dos limites do objecto em análise, da fiabilidade das fontes de informação de materiais e processos, e da selecção da metodologia de avaliação de impacte. Em termos de Inventário do Ciclo de Vida (ICV), inúmeras questões complexas são encontradas, nomeadamente alocação física e económica, produtos secundários, critérios de delimitação de análise (“cut-off”), questões de energia primária ao longo do ciclo de vida (“regional energy grid approach”), emissões da energia, e carbono sequestrado. Relativamente à Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV), denota-se a limitação da maioria das metodologias disponíveis, não permitindo a exaustão de impactes e categorias de impacte.

3.2 – Definição de Objectivos e Âmbito do ACV

3.2.1 – Objectivo do ACV

O objectivo principal do ACV consiste na identificação, qualificação e quantificação dos subsistemas, materiais e processos produtivos de um Computador Pessoal (PC), considerando o ciclo de vida completo, e a subsequente avaliação e interpretação dos impactes ambientais associados.

O desenvolvimento do ACV não pressupõe, à partida, objectivos de comparação de resultados com outros trabalhos semelhantes, podendo, eventualmente, e para efeitos meramente referenciais, serem comparados os resultados obtidos.

3.2.1.1 – Justificativo, aplicação de resultados, audiência

O presente estudo do ACV de um PC é desenvolvido no âmbito da dissertação de Mestrado em Ambiente, Segurança e Saúde do Departamento de Biologia da Universidade dos Açores, conjuntamente com a empresa SGS, S.A. O desenvolvimento do trabalho e os eventuais resultados obtidos servirão principalmente para a defesa da referida dissertação, podendo, caso se venham a revelar importantes, ser utilizados para fins de investigação e desenvolvimento posterior.

A audiência principal do trabalho será o conjunto dos docentes universitários e possíveis interessados que participarão na discussão formal da dissertação, podendo eventualmente ser divulgado de uma forma generalizada.

3.2.2 – Âmbito do ACV

3.2.2.1 – Sistema Computador Pessoal (PC)

O equipamento PC seleccionado para análise é do tipo “Pentium III”, fabricado em 1999 pela delegação francesa da “NEC Computer System Division”, com montagem em França, e adquirido através de distribuidor autorizado em Portugal. É constituído por 4 partes distintas, respectivamente unidade central, ecrã policromático “CRT ” (tubo de raios catódicos) de 15 polegadas, teclado “qwerty” standard português de 105 teclas, e rato de sistema de bola rotativa (“rolling ball”), cujas características e partes constituintes são detalhadas no **Anexo VI**.

O equipamento foi utilizado como terminal de rede/posto de trabalho de procedimentos administrativos, numa organização de dimensão média/grande com sede em Ponta Delgada, ilha de São Miguel, Região Autónoma dos Açores, Portugal. Foi adquirido em 2000, e utilizado durante um período de 4 anos, tendo sido considerado para substituição em 2004. Considerado como equipamento obsoleto na organização, o destino previsto para ele seria a devolução/retoma ao distribuidor local, com a subsequente entrada na respectiva fileira de resíduos.

Para efeitos de análise de ACV, considera-se ainda como parte constituinte do PC as embalagens de empacotamento para distribuição das componentes, cujos dados de referência são obtidos através de um estudo de ACV de um computador (“Atlantic Consulting and IPU”, 1998).

3.2.2.1.1 - Dados energéticos do PC

Com o objectivo de recolher os dados de consumo energético do equipamento PC para utilização na análise do Ciclo de Vida, foi efectuada uma medição de valores de potência eléctrica do PC para os vários modos de operação, conforme requisitos estabelecidos nas rotulagens ecológicas em vigor, com recurso a equipamento voltímetro e amperímetro (ver Quadro 6).

Modo operação	Unidade Central		Ecrã CRT 15”		Total	
	Intensidade (A)	Potencia (W)	Intensidade (A)	Potência (W)	Intensidade (A)	Potência (W)
Operação plena “full mode”	0,65	150,8	0,30	69,6	0,95	220,4
Operação “save screen”	0,36	83,5	0,19	44,1	0,55	127,6
Operação “suspenso”	0,21	48,7	0,02	4,6	0,23	53,3
Posição “off” (ligado tomada)	0,04	9,3	0,02	4,6	0,06	13,9

Nota: Medições de potência do PC @ monofásico 232 Vca, (Setembro 2007).

Quadro 5 – Dados de potência de consumo de energia eléctrica do PC.

3.2.2.2 – Limites de análise do PC

A definição normativa de “âmbito” é estabelecida através de três componentes, nomeadamente os limites de análise do sistema ou equipamento, a definição de “unidade funcional”, e as entradas/saídas do sistema em termos de materiais/energia ou espécies. As primeiras duas

componentes são definidas nesta parte. A terceira componente será definida no contexto do Inventário de Ciclo de Vida (ICV).

A definição dos limites de análise do sistema considera os fluxos elementares de entradas/saídas do processo relativo ao PC, sendo estabelecidas as seguintes fronteiras do sistema:

- ⇒ Extracção de matérias-primas e combustíveis do ambiente necessários aos processos produtivos de construção do equipamento, incluindo todos os recursos necessários a cada processo extractivo e produtivo;
- ⇒ Emissões para o ar, água, e solo dos processos de extracção, produção, transporte, utilização e descarte do equipamento;
- ⇒ Depósito do computador em lixeira, considerado como 100% resíduo sólido. Não são considerados, para efeitos simplificativos, processos de reciclagem parcial de componentes;
- ⇒ Manutenção relativa à limpeza das áreas de produção das placas de circuitos integrados e semicondutores durante a fase de produção.

Não foram considerados no projecto os seguintes elementos:

- ⇒ Operações directas de actividade humana e manutenção do equipamento industrial;
- ⇒ Operações indirectas, nomeadamente processos administrativos, vendas, recursos humanos, incluindo as emissões de aquecimento, iluminação, telecomunicações, equipamento de escritório e consumíveis, etc.;
- ⇒ Provisões de bens de capital e recursos financeiros;
- ⇒ Considerações económico-sociais do equipamento PC.

3.2.2.3 – Unidade funcional

A “unidade funcional” do projecto é o próprio PC, compreendendo 4 partes elementares, respectivamente unidade central, teclado, rato e ecrã, durante o seu período de vida útil, ou seja, desde a obtenção do minério, produção de materiais e componentes, transportes, utilização, até ao abate final do equipamento. A análise poderá ser feita no todo ou nas partes elementares constituintes.

3.2.2.4 – Referências

O desenvolvimento da análise ACV do Computador Pessoal é efectuado tendo por base a bibliografia apresentada, com especial realce para as referências indicadas no **Quadro 6**.

Referência bibliográfica	Temática recolhida
“Computer Display Industry and Technology Profile”, Microelectronics and Computer Technology Corporation (MCC), EPA 744-R-98-005, December 1998	Ecrãs de computadores PC’s do tipo CRT e TFT
“Desktop Computer Displays: A Life-Cycle Assessment”, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), December 2001	
“Solders in Electronics: A Life-Cycle Assessment”, EPA Design for the Environment Branch, Economics, Exposure, & Technology Division, Office of Pollution Prevention and Toxics (EPA), EPA744-R-05-001, August 2005	Tipos de solda, composição, processos e ACV
“LCA Report: EU Ecolabel for Personal Computers”, ATLANTIC CONSULTING and IPU, 1998	ACV de um Computador PC
“Profile of the electronics and computer industry”, “EPA” U.S. Environmental Protection Agency, Office of Compliance Sector Notebook Project, 1995	Semicondutores, placas de circuitos integrados (PWB’s), ecrãs CRT’s
“Guia Técnico Sectorial – Sector do material eléctrico e electrónico”, Plano Nacional de Prevenção dos Resíduos Industriais (PNAPRI), Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI), Departamento de Materiais e Tecnologias de Produção, Setembro 2001	Componentes eléctricas e electrónicas, cabos eléctricos
“Profile of the Fabricated Metal Products Industry”, “EPA” U.S. Environmental Protection Agency, Office of Compliance Office of Enforcement and Compliance Assurance, September 1995	Metais
“Profile of the Iron and Steel Industry”, “EPA” U.S. Environmental Protection Agency, Office of Compliance Office of Enforcement and Compliance Assurance, September 1995	
“The Life Cycle of Copper, its Co-Products and By-Products”, Ayres, R.U. et. al., International Institute for Environment and Development, January 2002	
“Profile of the Rubber and Plastics Industry”, 2nd Edition, “EPA” U.S. Environmental Protection Agency, Office of Compliance Office of Enforcement and Compliance Assurance, February 2005	Plásticos e Borracha
“Profile of the Stone, Clay, Glass, and Concrete Products Industry”, “EPA” U.S. Environmental Protection Agency, Office of Compliance Office of Enforcement and Compliance Assurance, September 1995	Vidro

Quadro 6 – Principais referências bibliográficas do ACV do PC.

3.2.2.5 – Pressupostos, selecção valores, elementos opcionais

3.2.2.5.1 – Forma de desenvolvimento do ACV

A análise do Ciclo de vida do PC é feita nos termos dos requisitos das normas ISO 14040:2006 e 14044:2006, com recurso à utilização de uma ferramenta de software de ACV denominada “SimaPro 7”, e considerando as fases de desenvolvimento constituintes, nomeadamente os Objectivos e Âmbito, a Análise de Inventário, a Análise de Impacte do Ciclo de Vida e a Interpretação de resultados.

3.2.2.5.2 – Complexidade

Um dos principais aspectos relacionados com a complexidade inerente a inventários de sistemas e produtos está relacionado com as denominadas regras de corte (“cut-off”), ou seja, o limite de consideração de representatividade de informação. Muitos dos projectos de inventário de ciclo de vida considera a seguinte regra de decisão de prioridades (ver **Figura 9**):

1. Contribuição da massa e material de cada componente – a massa é importante pela contribuição para o todo, mas principalmente pelo facto de que quanto mais significativa é, mais materiais e recursos são necessários para a sua produção, e mais significativo o impacte ambiental.

2. Materiais conhecidos ou suspeitos de significância de impacte ambiental (toxicidade) devem ser sempre considerados.

3. Materiais com uma carga energética grande devem ser considerados, uma vez que o impacte energético é sempre considerável.

4. Materiais com significância funcional para a operação devem ser considerados (p.e. parafusos, anilhas ou cobertura plástica não são).

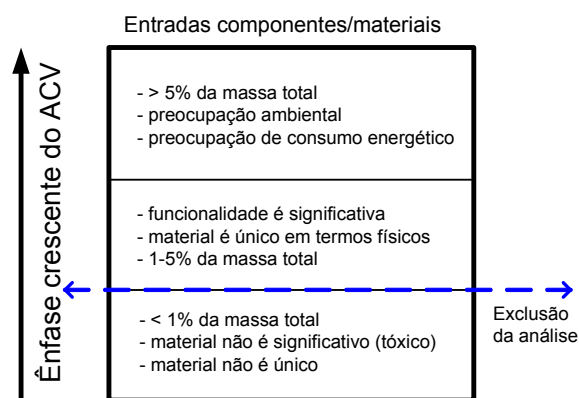


Figura 9 – Complexidade de análise do ACV – Regra de corte (“cut-off”).

Estas regras de decisão, conforme comprova não só o senso comum como também a clara evidência de lacunas, insuficiências e falhas de rigorosidade detectadas em análises de ACV consultadas, não podem ser aplicadas à risca, devendo antes ser estabelecido um processo de decisão iterativo, entre as condições apresentadas, e uma pesagem da importância das componentes no seu contexto sistémico. No presente caso, não se considera nenhuma regra de limitação de complexidade, considerando todos os componentes, à excepção daqueles para os quais não existe informação disponível.

3.2.2.5.3 – Selecção de valores para as fases do ciclo de vida

3.2.2.5.3.1 - Extracção de matérias-primas e produção de materiais e componentes

Considerando a dificuldade, em termos de informação disponível, na separação dos processos relativos à extracção e processamento de matérias-primas, e produção dos materiais e componentes, a análise considera estas fases integradas numa única fase.

3.2.2.5.3.2 – Transportes de materiais, componentes e equipamento

A componente de transportes associada ao ciclo de vida considera todos os transportes utilizados, desde a extracção das matérias-primas até ao abate do equipamento PC. O Quadro 7 abaixo indica a informação disponível neste sentido, assumindo que a montagem e teste do equipamento é efectuada em França.

Fase/equipamento	Origem	Destino	Distância	Meio Transporte
Extracção de matérias primas				
Extracção de minério e tratamento de matérias-primas	Desconhece-se a origem dos minérios e matérias-primas, dada a globalização da procura e oferta	Localização física das indústrias de produção de componentes	-----	-----
Produção				
Unidade Central	França	França	50 Km	-----
Monitor CRT 15"	Coreia do Sul	França	9 054 Km	-----
Teclado	Alemanha	França	931 Km	-----
Rato	China	França	9 212 Km	-----
Unidade CPU placa mãe	Malásia	Tailândia	1 808 Km	-----
Disco Rígido "Maxtor"	USA	França	5 906 Km	-----
Unidade CD-ROM	China	França	9 212 Km	-----
Fonte de alimentação	China	França	9 212 Km	-----
Placa principal da CPU	Tailândia	França	9 278 Km	-----
Distribuição				
1ª Fase	Paris (França)	Lisboa (Continente)	1 452 Km	Avião carga
	Lisboa (Continente)	Lisboa (Continente)	30 Km	Terrestre (Comercial, Diesel)
2ª Fase	Lisboa (Continente)	Lisboa (Continente)	30 Km	Terrestre (Comercial, Diesel)
	Lisboa (Continente)	P.Delgada (Açores)	1 445 Km	Marítimo (Diesel)
3ª Fase	P.Delgada (Açores)	Utilizador (P.Delgada)	20 Km	Terrestre (Comercial, Diesel)
Abate fim de vida				
1ª Fase	Utilizador (P.Delgada)	P. Delgada (Açores) Centro recolha/aterro	20 Km	Terrestre (Comercial, Diesel)

Quadro 7 – Informação relativa a transportes nas fases do ciclo de vida.

Os transportes da fase de extracção e produção consideram-se incluídos nos respectivos processos produtivos. Os transportes nas fases de distribuição e abate consideram os meios de transporte indicados.

3.2.2.5.3.3 – Fase de utilização de equipamento

Considerando a utilização do equipamento num ambiente de escritório de uma organização de fornecimento de bens e serviços, o número de horas de funcionamento é estimado através dos seguintes pressupostos:

- ◆ N° dias ano – 365 dias–feriados (15)–(sáb+dom) (104)–diversos (5%) = 234 dias
- ◆ N° de horas de expediente por dia = 7,5 horas /dia
- ◆ Período de utilização – 4 anos x 234 dias = 936 dias

	"full mode"	"save screen"	"suspended"	"off mode"
Período diário de tempo operação (hrs/dia)	70% de 7,5hrs	20% de 7,5 hrs	12:30-13:30 + 10% de 7,5 hrs	17:00-8:30
	5,25 hrs/dia	1,50 hrs/dia	1,75 hrs/dia	13,5 hrs/dia
Tempo oper.total (936 dias)	4 914 hrs	1 404 hrs	1 638 hrs	12 636 hrs
Potência eléctrica (W)	220,4 W	127,6 W	53,3 W	13,9 W
Energia consumida (936 dias)	1 083,05 kWh	179,15 kWh	87,31 kWh	175,64 kWh
Energia total 4 anos	1 525,15 kWh = 5,49 TJ			

Quadro 8 – Dados energéticos para empresa de fornecimento de bens e serviços.

Para o caso de P. Delgada, Açores, Portugal, e para o período em consideração (2000-2004), considera-se a informação disponibilizada nas Bases de Dados do “SimaPro 7” do processo “Electricity Low Voltage use in Portugal (S)”.

Na fase de utilização do Computador Pessoal, não são consideradas as seguintes situações:

- ◆ Os efeitos ou impactes negativos ou prejudiciais à saúde humana relativos aos seguintes equipamentos:
 - Computador pessoal – efeitos de “stress” de utilização, e ergonómicos, relativos à má posição de trabalho.
 - Ecrã – efeitos de “tensão ocular” e exposição a radiações electro-magnéticas (EMR)
 - Teclado e Rato – efeitos ergonómicos de danificação, dor ou incapacidade de articulações dos braços/mãos.
- ◆ Os consumíveis habituais, nomeadamente disquetes magnéticas e discos CD-ROM, nem ainda os processos de manutenção e reparação do equipamento.

3.2.2.5.3.4 – Fase de fim de vida (abate)

Sendo o sistema PC analisado um equipamento de 1999, não está apto a receber as últimas versões do sistema operativo “Microsoft Windows”, pelo que todos os equipamentos semelhantes encontram-se substituídos, e portanto armazenados nos proprietários, em lixeiras públicas ou reciclados. De acordo com estudos semelhantes, a fase de fim de vida de um computador é considerada repartida pelas actividades apresentadas no Quadro 9.

Destino	Unidade central, teclado e rato	Monitor CRT
Reciclagem (desmanche para recuperação partes)	4,5%	11%
Reciclagem (não regulada)	4,5%	
Re-manufactura	----	3%
Incineração	19%	15%
Lixeira resíduos perigosos	72%	46%
Lixeira resíduos sólidos		25%

Fonte: “Atlantic e IPU, 1998” e Socolof e tal., 2001

Quadro 9 – Tratamento fim de vida de computadores pessoais.

Para efeitos de simplificação, e tendo em conta a presente prática frequente, o equipamento é considerado deposto integralmente em aterro, sendo incluído o transporte “utilizador-centro recolha/aterro” indicado no Quadro 7.

3.2.2.5.4 – Informação para o Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

A informação necessária para o Inventário de Ciclo de Vida foi obtida através de decomposição das componentes do PC, e da análise de materiais e processos produtivos. O Inventário de Ciclo de Vida foi obtido com recurso à ferramenta de software de ACV “SimaPro 7”, com a selecção dos materiais e processos relativos ao equipamento. Para os efeitos, foram utilizadas as Bases de Dados disponíveis na ferramenta (ver “SimaPro 7”, **Anexo IV**), sendo a selecção dos elementos de cada associada à disponibilidade de informação para os materiais e produtos necessários. Os parâmetros de configuração utilizados no tratamento através da ferramenta “SimaPro 7” são indicados no **Anexo X**.

3.2.2.5.5 – Metodologia AICV e tipos de impactes

Não existem bases científicas de decisão sobre a melhor metodologia de Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV) a utilizar, sendo prática estabelecer-se um conjunto de critérios de selecção, e utilizar a metodologia que melhor se enquadre. A selecção da metodologia para este caso depende das metodologias disponíveis na ferramenta “SimaPro 7” (ver **Anexo IV**).

Segundo fundamentação de análises desenvolvidas em referências consultadas (p.e. US Green Building Council, 2006), a metodologia de AICV a utilizar é a TRACI, tendo sido eleita, através de avaliação de critérios de selecção, entre diversas metodologias, nomeadamente Eco indicator 99, EDIP97, EDIP2003, EPS 2000d, (Holandesa) LCA Handbook, IMPACT 2002(+), LIME, (Suíça), ECOSCARCITY, e JEPIX (Jaonesa). Os critérios de selecção considerados no caso foram respectivamente disponibilidade de factores de caracterização, contenção de especificidades locais, validação geral científica, relevância para a comunidade “verde”, contenção de conjunto compreensivo de categorias de impacte importantes, identificação de “end-points” de preocupação através do modelo de caracterização.

Pelo exposto, a opção para o presente caso é a metodologia TRACI, ainda que de acordo com a ferramenta “SimaPro 7” esta metodologia não se encontre totalmente adaptada à Base de Dados “Eco-invent” (aliás, verifica-se que nenhuma metodologia se encontra totalmente adaptada). Os tipos de impactes considerados foram os impactes característicos da metodologia. Para efeitos de verificação de adequação, foram efectuadas simulações com outras metodologias, nomeadamente IMPACT 2002+, Eco-indicator 99, EDIP 97 (recursos), e Cumulative Energy Demand.

3.2.2.6 – Limitações

Consideram-se como principais limitações ao adequado desenvolvimento do projecto as seguintes:

- ⇒ Dificuldade na obtenção de informação de fornecedores/entidades oficiais relacionadas com equipamentos informáticos e computadores, especificamente em termos de composição, processos construtivos e fluxos de materiais de componentes;
- ⇒ Dificuldade no acesso a informações, documentos informativos e de investigação relacionados com a temática (disponibilidade onerada);
- ⇒ Dificuldade na obtenção de ferramentas automáticas de ACV, e do acesso às Bases de Dados, com custos apreciáveis de aquisição/adesão;
- ⇒ Ausência de envolvimento e participação no projecto de entidades fornecedores e reguladores da indústria de electrónica/informática.

3.2.2.7 – Requisitos de qualidade de dados

Tendo em consideração o ambiente de desenvolvimento do projecto, e a total ausência de envolvimento de entidades relacionadas com a indústria electrónica e as entidades oficiais relacionadas com aspectos ecológicos de equipamentos informáticos, dificilmente se poderá introduzir exigências em termos de qualidade de resultados.

Dificuldade acrescida é colocada na verificação e garantia dos dados utilizados nas Bases de Dados utilizadas, uma vez que nada garante que a informação recolhida/utilizada tem qualidade e actualidade.

3.3 - Análise do Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

3.3.1 – Objectivos e Pressupostos gerais do ICV

Em termos de metodologia ACV, os “ciclos de vida” são colecções de fases, estados ou actividades inerentes ao desenvolvimento de produtos ou processos, nas quais são analisados os fluxos de entrada, a energia utilizada e emitida, e os fluxos de saída.

Na teoria, pode-se definir um número infinito de fases ou estados relacionados com qualquer produto ou processo, sendo geralmente necessário controlar a complexidade através de uma simplificação controlada. É prática corrente definir 5 fases ou estados de base, nomeadamente

1. Obtenção de minérios do solo e transformação em matérias-primas utilizáveis pela indústria de transformação;
2. Produção de materiais, componentes e sistemas, incluindo ensaios;
3. Distribuição de componentes e sistemas, considerando o intervalo entre a fábrica e o utilizador final;
4. Utilização de componentes e sistemas pelo utilizador durante o seu período de utilidade;

5. Descarte de componentes e sistemas pelo utilizador (lixreira, reprodução, reutilização, reciclagem, ou simples arquivo morto).

Estes estados são decompostos hierarquicamente de acordo com os requisitos e necessidades de análise dos produtos e processos, considerando, para além das ligações hierárquicas, os fluxos de materiais principais, materiais auxiliares e energia inerentes.

O principal objectivo deste capítulo é o de desenvolver, em termos concisos e detalhados, a finalidade, constituição e processos construtivos das componentes do Computador Pessoal (PC). Os processos construtivos serão analisados com adequada sintetização, para efeitos de tratamento de ciclo de vida, considerando-se explosões hierárquicas dos processos sempre que necessário, dentro das limitações de informação disponível.

3.3.2 – Metodologia de análise, caracterização e codificação de materiais do PC

Neste capítulo estabelece-se a metodologia de decomposição a utilizar, e os meios e formas de reconhecimento e codificação dos componentes e materiais que compõem as componentes do PC.

3.3.2.1 – Metodologia de análise do PC

Com o objectivo de obter a relação de componentes e materiais do PC, para efeitos de identificação e metrologia de dimensão e peso de componentes e materiais constituintes, utilizou-se uma metodologia de “engenharia reversiva” (“reverse engineering”) do equipamento, através da decomposição de todo o sistema, até à obtenção de unidades elementares ou de impossível sequente decomposição, nos termos dos seguintes pressupostos:

- ❖ Estruturas, suportes ou fixações metálicas, plásticas ou de outros materiais – decomposição com desagregação até às componentes elementares, ou de componentes do mesmo material.
- ❖ Placas de circuitos integrados (“PWB” - “Printed Wired Boards”) – decomposição por remoção de solda das componentes eléctricas e electrónicas individuais (elementos híbridos), nomeadamente circuitos integrados e bases de fixação, transístores, díodos, resistências, reóstatos resistivos, condensadores, indutâncias (“chokes”), “Led’s”, micro-interruptores e fins-de-curso, “shunts” de placa, e fichas de conectores de cabos de ligação exterior.

No caso das placas “PWB” de última geração, incluindo também elementos “micro-componentes” (circuitos integrados, resistências, condensadores e indutâncias) incorporados na própria placa (de difícil remoção), não se procedeu à remoção, considerando-se como elementos constituintes da própria placa.

- ❖ Componentes eléctricas e electrónicas considerando a seguinte decomposição:

- Componentes semicondutores, incluindo circuitos integrados (CI's), díodos, transístores, reguladores de potência e LED's;
 - Componentes passivas, incluindo resistências, condensadores, indutâncias (“chokes”), e ainda reóstatos resistivos/capacitivos, micro-interruptores e fins-de-curso;
 - Componentes eléctricas, incluindo bobines de indutância, enrolamentos e transformadores;
 - Componentes tipo “SMD” (Surface Mount Device), do tipo “microcomponentes”, incluindo componentes semicondutores e passivas
- ❖ Cinescópio do monitor de 15” – Não foi efectuada a decomposição do cinescópio, por impossibilidade de separação do vidro do painel frontal do funil e pescoço. Fichas de cabos de energia e instrumentação – decomposição de todas as fichas nos elementos de base, nomeadamente protecção exterior (caso aplicável), estruturas plásticas e metálicas de suporte, e contactos eléctricos.
- ❖ Cabos de energia e instrumentação – decomposição dos cabos e fios com separação dos elementos constituintes, nomeadamente bainha ou protecção exterior, material de estrutura e protecção interior, isolamento e fio condutor, considerando amostragens para cada tipo de cabo ou fio.

A pesagem das componentes foi efectuada com uma balança de precisão, marca “COBOS Precision”, modelo CB Júnior CBH-600J (0,01-600gr.), S/N01280025, em conformidade com as normas ISO 9001, gentilmente cedida para o efeito por uma organização farmacêutica. Para o caso das peças mais pesadas (> 600 gr.), utilizou-se uma balança comercial aferida.

3.3.2.2 – Caracterização e codificação de componentes e materiais do PC

Dos materiais constituintes de um PC, alguns são de fácil reconhecimento ou identificação, sendo contudo grande parte das componentes e materiais elementos compostos de vários materiais, ou materiais “dopados”, para efeitos de protecção ou de caracterização de funcionamento.

Conforme constatado, verificam-se lacunas consideráveis de informação em termos de materiais constituintes das componentes de equipamentos de “Tecnologias de informação” (IT's), com especial relevância para as componentes electrónicas.

No que respeita aos metais e plásticos, a situação já é mais conhecida, se bem que o número de componentes incluindo a codificação do material pelo fabricante é infelizmente ainda muito reduzido, situação que deverá, por razões de imperativos de desenho e rotulagem ecológica, vir a ser significativamente alterada.

Constata-se, através da investigação bibliográfica desenvolvida no âmbito deste trabalho, que a comunidade científica e técnica relacionada com o desenvolvimento de análises ecológicas e ambientais de Computadores Pessoais, utiliza geralmente como composição “aceite” e de referência por diversas fontes informativas, a composição indicada pela MCC em 1996, (ver **Quadro 10**), não existindo conhecimento de outras decomposições, pelo menos no enquadramento da pesquisa efectuada.

Com base num estudo de “Desenho para o Ambiente -1ª fase” (“HDP User Group International, Inc”, 2003), com objectivo de determinar a constituição de materiais em produtos de “Tecnologias de Informação” (IT’s), para decisões de “DfE”, e para o caso de Computadores Pessoais e Portáteis, são considerados 3 métodos de recolha de informação, nomeadamente

- Testes Analíticos – efectuados em placas de circuitos integrados, circuitos integrados, cartas adicionais, e cabos, de modo a determinar o conteúdo de metal. (análise limitada ao metal, por razões de facilidade de teste, e do relativo impacte ambiental dos não metais, muito menor que os metais)
- Consulta de literatura documental – utilização de publicações disponíveis, nomeadamente relatórios de análise e estudos, documentos de procedimentos de conferências, relatórios governamentais e de instituições ambientais.
- Sondagem de fornecedores – Para o caso de impossibilidade de testes analíticos, e indisponibilidade de dados na literatura, envio de questionários e sondagens aos fornecedores, com o objectivo de determinação do conteúdo de partes e componentes.

Material	% peso	Material	% peso	Material	% peso
Sílica	24,8803	Bário	0,0315	Índio	0,0016
Plásticos	22,9907	Magnésio	0,0315	Ruténio	0,0016
Ferro	20,4712	Prata	0,0189	Arsénio	0,0016
Alumínio	14,1723	Berílio	0,0157	Selénio	0,0013
Cobre	6,9287	Bismuto	0,0063	Gálio	0,0013
Chumbo	6,2988	Crómio	0,0063	Paládio	0,0003
Zinco	2,2046	Mercúrio	0,0022	Európio	0,0002
Estranho	1,0078	Germânio	0,0016	Nióbio	0,0002
Níquel	0,8503	Ouro	0,0016	Cobalto	0,0157
Tântalo	0,0157	Titânio	0,0157	Antimónio	0,0094
Cádmio	0,0094	Vanádio	0,0002	Yttrium	0,0002
Platina	vestígio	Rhodium	vestígio	Terbium	vestígio

(Fonte: Microcomputer and Computer Technology Cooperation, 1996)

Quadro 10 – Composição de um Computador Pessoal de Secretária com um peso aproximado de 70 libras (cerca de 31,78 Kg). (informação disponibilizada por uma empresa dos EUA “Handy and Harman Electronic Materials Corp., 72 Elm Street, North Attleboro, MA 02760”, www.handyharman.com).

Os testes analíticos recorrem a equipamentos de análise capazes de detectar e indicar qualitativamente e quantitativamente os materiais constituintes de amostragens de metais e polímeros, nomeadamente “Espectrometria por Fluorescência de Raios X”, “Espectroscopia de Infra-Vermelhos” (EIV), “Ressonância Magnética Nuclear” (RMN), “Difracção de Rais X” (DRX), “Microscopia Electrónica de Varrimento” (EDS), “Análise química qualitativa” (só para polímeros), etc.

Apesar de terem sido desenvolvidas diligências de obtenção de análises de amostragens retiradas das componentes, não foi possível a sua concretização, uma vez que ainda não é actividade standard solicitada pelos mercados económicos e governamentais, pelo que não foram feitos testes analíticos. Igualmente, foram desenvolvidas diligências de sondagens de fornecedores, através de contactos por “e-mail”, não tendo sido obtidas respostas. Por falta de alternativas, recorreu-se à consulta de literatura documental para a obtenção de informações de materiais e processos das componentes “compostas” do PC, situação de impossível concretização para alguns casos, conforme se indicará mais adiante.

3.3.3 – Caracterização dos materiais e processos construtivos do PC

Com recurso a referências bibliográficas e estudos de ACV’s disponíveis (ver 3.2.2.4), caracteriza-se neste capítulo os processos construtivos e fluxos de materiais necessários para a obtenção dos principais componentes e materiais do PC, com desenvolvimento detalhado no **Anexo VI**.

- ❖ Metais
- ❖ Plásticos e Borracha
- ❖ Vidro
- ❖ Semicondutores
- ❖ Placas de circuitos integrados (PWB’s)
- ❖ Componentes passivas
- ❖ Reóstatos, micro-interruptores, fins-de-curso e microfones
- ❖ Bobines indutância e transformadores
- ❖ Cinescópio do ecrã CRT de 15”
- ❖ Cabos e fichas de ligação
- ❖ Solda
- ❖ Retardador de chama

3.3.3.1 – Metais

Um número considerável de metais é utilizado na constituição das componentes do Computador Pessoal, evidenciando-se como mais significativos o Aço, o Cobre, o Alumínio, o Chumbo, o Estanho, o Níquel e a Ferrite magnética (ver **Quadro 16**). Todos os restantes entram na composição com valores inferiores a 0,05%, se bem que alguns dos metais raros (silício, germânio, gálio, arsénio, índio, tântalo, etc.) utilizados nos semicondutores sejam extremamente exigentes em termos de obtenção de minério e refinação.

A produção de metais considera 3 processos base (ver **Anexo VI**), nomeadamente fabrico de metal (minério, aditivos, fundição ou formatação, corte e refinação), preparação e acabamento de superfície (anodização, capeamento, electroplacagem, pintura, gravação e polimento). Em termos de fluxos de materiais, verifica-se a utilização de óleos de corte, solventes de limpeza, e soluções ácidas e alcalinas de tratamento.

O processo produtivo do aço é feito a partir do coque e do ferro, considerando métodos de fornalha de oxigénio ou de arco eléctrico, seguido de formatação e limpeza.

Muitos dos metais são obtidos por processos de separação e refinação dos minérios de ferro e cobre. A ferrite magnética geralmente é produzida a partir de “ferro mole” ou ferro altamente puro (ferro carbonil). Também é utilizado aço laminado, em aplicações que requerem controlo de correntes de indução, ou ainda material cerâmico, para aplicações de correntes de alta frequência.

3.3.3.2 – Plásticos e Borracha

Os plásticos são materiais produzidos a partir de recursos naturais como o petróleo, o gás natural, a hulha e o sal comum. Existem 3 tipos de plásticos, nomeadamente termoplásticos, “termosets” e espuma plástica. Os termoplásticos podem ser amolecidos e enrijecidos através de aquecimento sem perda de características (maioria dos plásticos). Os “termosets” são obtidos através de reacção química com agente endurecedor de modo a torná-los permanentemente rígidos, não sendo portanto reutilizáveis (epoxi, fenólico, poliuretanos, polyester não saturada, formol de ureia). A espuma plástica pode ser formada de qualquer dos tipos anteriores (espuma de poliuretano, poliestireno e polietileno).

A constituição do PC inclui cerca de 22% de plásticos, com especial realce para o ABS (Acrinolitriilo Butadieno Estireno), o PVC (Poli Cloreto de Vinilo), o PS (Poli Estireno, ou HIPS, de alto impacto), o PC (Poli Carbonado) e o PET (Polietileno Tereftalato), todos do tipo termoplástico.

O processo construtivo dos termoplásticos considera 4 fases principais (ver **Anexo VI**), nomeadamente a composição e mistura de componentes, em forma granular, a formação e moldagem, o arrefecimento e a rectificação e finalização. De especial realce é o processo de moldagem, considerando diversas formas aplicáveis conforme o tipo e utilização, nomeadamente

injecção, injecção-reacção, extrusão, sopro, termoformação, por rotação, compressão e transferência, fundição e encapsulamento e laminagem.

O processo produtivo da borracha é diferente do plástico, incluindo contudo processos gerais similares.

3.3.3.3 – Vidro

Os principais materiais utilizados na produção de vidro são areias de sílica (SiO₂), cinzas de soda (Na₂CO₃), pedra calcária, dolomite, raspas de vidro (CaCO₂), feldspato, e óxidos de chumbo, potássio, magnésio, zinco e bário. O processo produtivo considera 5 fases principais, respectivamente mistura, fundição e formação, temperamento e finalização (ver **Anexo VI**).

3.3.3.4 – Semicondutores

Os semicondutores são componentes electrónicas fabricadas a partir de material sólido cristalino (pastilhas de silício), considerando componentes do tipo díodos, transístores ou circuitos integrados (“CI”, compostos de transístores, díodos, resistências, condensadores, e indutores num único cristal semiconductor). O recurso à tecnologia de montagem de superfície (SMD’s – Surface Mount Devices) permite utilizar componentes de 1 quarto a 1 décimo da dimensão e peso das componentes tradicionais.

De acordo com dados referenciais (MCC, 1996), o processo produtivo das pastilhas semicondutores é muito complexo, incluindo mais de 400 passos, incluindo processos complexos de fotolitografia para isolamento, definição de portas, estabelecimento de contactos e ligações entre capeamentos. Os processos de fotolitografia utilizam uma quantidade significativa de produtos químicos, considerando “photoresists” (etilcrilatos, metilcrilatos,), reveladores (hidróxidos, silicatos, álcool, fosfatos, acetatos, éteres, hidrocarbonos), e solventes e agentes de limpeza (água em grandes quantidades, álcool, detergentes, ácidos, hidróxidos, éteres) (Fonte: US EPA, Office of Pollution Prevention and Toxics, DfE, 1993). A produção requer ambientes extremamente limpos e purificados de poeiras e contaminantes em suspensão.(ver **Anexo VI**)

Composição "standard" de uma Placa Circuito Integrado (PWB)	
Material	% Total
Placa Circuito Integrado (PWB)	100.0000%
Vidro (Óxido Silício)	48.0000%
Resina Epóxida	20.3000%
Cobre (Cu)	14.3000%
Ferro (Fe)	4.5000%
(TBBPA) (17% da epóxida)	4.2200%
Alumínio (Al)	2.8000%
Chumbo (Pb)	2.2000%
Estanho (Sn)	2.0000%
Níquel (Ni)	1.1000%
Zinco (Zn)	0.4000%
Prata (Ag)	0.0600%
Ouro (Au)	0.0600%
Crómio (Cr)	0.0400%
Berílio (Be)	0.0100%
Paládio (Pd)	0.0096%
Cádmio (Cd)	0.0004%

Fonte: Estudo ACV(ver.1.2), EU Ecolabels for Personal Computers, March 1998 - Atlantic Consulting e IPU

Quadro 11 – Composição “standard” de Placas (“PWB’s”) incluindo componentes.

3.3.3.5 – Placas de circuitos integrados (PWB’s)

As Placas de circuitos integrados (PWB's) são placas de fibra de vidro e cobre em substratos utilizadas como suporte mecânico e ligação eléctrica de semicondutores, de modo a obter unidades funcionais. Existem diversos tipos de placas, considerando placas de 1 face, 2 faces, multi-camadas e flexíveis, diferindo na complexidade construtiva. A fibra de vidro é substituída por vezes por papel fenólico ou papel preimpregnado ("prepeg" – combinação de base de fibra de vidro, material sintético e resina). Alguns exemplos de material "prepeg" são FR2-FR6, G-10, CEM-1-CEM-5. (ver composição "standard no **Quadro 11**).

Em termos de métodos construtivos, são utilizados 3 métodos principais, nomeadamente aditivo, substractivo e semi-aditivo, dependendo do processo de aplicação das camadas de cobre, sendo o desenvolvimento dos processos de construção similares (ver **Anexo VI**), envolvendo processos de fotolitografia utilizados nos semicondutores, e considerando os seguintes processos de base:

- Desenho do circuito;
- Transferência de imagem camada interna (fotolitografia);
- Laminagem da placa;
- Furação e limpeza;
- Metalização;
- Transferência imagem camada externa (fotolitografia);
- Tratamento superfície e acabamento;
- Soldagem de componentes, incluindo testes.

3.3.3.6 – Componentes passivas

As componentes electrónicas designadas por resistências e condensadores são incluídas nas Placas de circuitos integradas a 3 níveis, respectivamente como parte integrante dos circuitos integrados, como "micro-unidades" ou "SMD's" (Surface Mount Devices), e como unidades "híbridas" ou fixas por soldagem à Placa "PWB". São utilizados 3 tipos de resistências (Wikipédia, 2007, Sandra Muller, 2007), respectivamente

Bobines indutância e Transformadores	% Peso	Material
Corpo	20%	PVC
Enrolamento	20%	Cu, isolado c/laca
Núcleo	60%	Ferrite magnética

Fonte: "Atlantic Consulting and IPU", 1998

Quadro 12 – Composição "standard" de Bobines de indutância e Transformadores.

- Resistências de filme de carbono (grafite) – tubo cerâmico (ou de vidro) coberto por um filme (película) de carbono; valor da resistência eléctrica obtido através de sulco no filme,

com fita em espiral cuja largura e espessura determinam o valor; terminais soldados na extremidade do filme; aplicação de camada de material isolante para protecção. (cor beige).

- Resistências de filme metálico – semelhante ao de carbono, só que o tubo cerâmico é coberto por um filme de uma liga metálica (níquel/crómio). (cor azul).
- Resistências de fio - tubo cerâmico (ou vidro) enrolado por fio condutor de alta resistividade (níquel/crómio), cujo comprimento e diâmetro determinam o valor da resistência eléctrica; terminais soldados nas extremidades do fio; aplicação de camada de material isolante para protecção. (cor verde).

Em termos de condensadores são utilizados 5 tipos (Wikipédia, 2007, Sandra Muller, 2007), respectivamente

- Condensadores electrolíticos (alumínio polarizado ou tântalo) - tira de metal coberta por uma camada de óxido (alumínio, Al_2O_3 , ou tântalo Ta_2O_5), o dieléctrico; sobre a camada de óxido é colocada uma tira de papel impregnado com um líquido condutor chamado electrólito, ao qual se sobrepõe uma segunda lâmina de alumínio em contacto eléctrico com o papel.
- Condensadores cerâmicos (multi-camada) - suporte tubular de cerâmica, em cujas superfícies interna e externa são depositadas finas camadas de prata, e às quais são ligados ou enrolados os terminais através de um cabo soldado sobre o tubo.
- Condensadores de poliéster (película) - enrolamento de uma ou mais folhas de poliéster entre folhas metálicas, envolvidas em resina termoplástica.
- Condensadores de policarbonato (película) - idêntico ao de poliéster, com substituição de material dieléctrico.
- Condensadores de stiroflex ou poli estirene (película) - idêntico ao de poliéster, com substituição de material dieléctrico.

Apesar de existir informação qualitativa da composição de materiais dos componentes passivos, não se encontra disponível informação quantitativa, o que torna difícil a inclusão destes equipamentos no ACV.

3.3.3.7 – Reóstatos, micro-interruptores, fins-de-curso e microfones

Componentes electrónicas utilizadas nas placas “PWB’s” para funções de ajuste de resistência e capacitância de circuitos, comando e delimitação de movimento de peças móveis, e de ligação áudio exterior (microfone). São constituídos por 2 componentes, respectivamente a estrutura

exterior de suporte, e contactos/elementos metálicos internos e externos. Não existe informação disponível para estes componentes relativamente à composição, materiais utilizados e processos construtivos. Em estudos similares (“Atlantic Consulting and IPU”, 1998), assumem que a estrutura é de PS/HIPS (poli estirene/poli estirene alto impacto), os contactos eléctricos de cobre estanhado (Cu-92%, Sn-8%) e os elementos metálicos de aço ou alumínio.

Estes componentes são considerados como incluídos nas componentes passivas.

3.3.3.8 – Bobines de indutância e Transformadores

As bobines de indutância são utilizadas em filtros de sinais analógicos, conjuntamente com resistências e condensadores. Existem 2 tipos de bobines, nomeadamente

- Bobines tipo “rf-choke”, incluídas nas componentes passivas, com formato hermético e cilíndrico, constituídas por um corpo de material magnético, soldado aos terminais, e protegido exteriormente por resina termoplástica (PP ou PS).
- Bobines de indutância, constituídas por uma estrutura plástica (quando aplicável), um núcleo de ferrite magnética, e um enrolamento em fio de cobre isolado a laca ou resina, ligado a contactos.

Os transformadores são utilizados para transformar valores de tensão/intensidade, e são semelhantes às bobines de indutância, possuindo contudo 2 enrolamentos de cobre distintos, ligados a contactos de um primário e secundário, e suportados por uma estrutura plástica (PVC, PS).

A constituição geral das bobines de indutância e transformadores é indicada no **Quadro 12**, valores estes confirmados através de desmontagem e pesagem.

3.3.3.9 – Cinescópio do monitor CRT de 15”

Os materiais constituintes (ver **Quadro 13**) e processos construtivos do cinescópio do monitor de 15” foram obtidos através de um estudo de ACV comparativo entre ecrãs monitores CRT 17” e LCD 15” (Socolof, 2001).

Composição cinescópio monitor 15”			
Componente	Material	% total	Peso (gr)
Monitor 15”		100.00%	11.835.798
.....			
Cinescópio		58.18%	6.885.814
Painel,funil,pescoço	Vidro	37.50%	4.438.424
	Chumbo (PbO)	2.10%	248.552
Máscara sombra	Aço+Níquel (64%/36%) (invar)	2.75%	325.484
Perfil (frame)	Aço	5.95%	704.230
Montagem (suportes)	Aço+Níquel (64%/36%) (invar)	2.09%	247.368
Protecção interna	Alumínio (Al)	0.65%	76.900
Banda externa implosão	Aço	2.28%	269.776
Fita isolamento banda	Polyester	0.05%	5.778
União vidros	Frit (vidro solda, 70% PbO)	0.32%	37.875
"Coating" face	Fósforo	0.08%	9.469
"Coating" matriz máscara	Aquadag (grafite)	0.07%	8.285
"Fotoresist"	éter de polietilene (PEE)	3.47%	410.702
"Coating" laca+elem.	Fosfato trifeníl	0.25%	29.589
	Fosfato tricresil	0.11%	13.019
	Fosfato "éster"	0.04%	4.734
Canhão (electron gun)	Aço (Fe, Ni,Cr ?)	0.47%	55.628
	Borosilicato vidro	vest.	
	Fio Tungsténio,Oxido alumínio	vest.	
	Miscelâneos	vest.	

(Fonte: Socolof et al., “Desktop Computer Display – A Life Cycle Assessment”, 2001)

Quadro 13 – Composição “standard” do cinescópio do ecrã “CRT” 15”.

Os processos construtivos do ecrã CRT são descritos no **Anexo VI**. Apesar de existir informação qualitativa dos processos construtivos do ecrã, não existe informação quantitativa, pelo que não é possível um tratamento ACV adequado desta componente.

3.3.3.10 – Cabos e fichas de ligação

A composição de materiais dos cabos de potência considerada é a seguinte:

- ◆ Cabos de potência/instrumentação completos – isolamento PVC, elementos de estrutura e armadura de cobre estanhado, papel de plástico e de prata isolante, fio de fibra sintética (instrumentação); condutores isolados a PVC, com fio condutor de cobre (cor de cobre) ou cobre estanhado.
- ◆ Cabos de potência/instrumentação simples (1 fio isolado) - condutores isolados a PVC, com fio condutor de cobre (cor de cobre) ou cobre estanhado.
- ◆ Cabos de instrumentação em “banda” ou “fita” – isolamento a PS (Poli Estirene), fio condutor de cobre estanhado.

Os processos construtivos dos fios e cabos são apresentados no **Anexo VI**.

Para o caso dos terminais e fichas dos cabos de potência de 230Vc.a, considera-se PVC para o material protector e isolador, e fio condutor de cobre estanhado. Para o caso das fichas de contactos dos cabos internos, considera-se PS/HIPS (Poli Estirene/Poli Estirene alto impacte) para a estrutura plástica, alumínio para a estrutura metálica, e fio condutor de cobre estanhado.

3.3.3.11 – Solda

O estudo de ACV do produto “solda” utilizada em Placas de circuitos integrados (Geibig e Socolof, EPA, 2005), permite retirar os seguintes considerandos:

- Os 2 métodos principais de soldagem são respectivamente soldagem por pasta e por barra. O método de pasta considera um ecrã de solda sobre a Placa, facilitando a colocação das componentes, após o qual é feito um refluxo (aplicações alta tecnologia), passando a Placa num forno. O método de barra (aplicações de baixo custo) utiliza a projecção através de um jacto, que passa em onda sobre a Placa.

Produção de Solda	Quant. (gr/m2)	Total (%)
Chumbo (Pb)	105.13	30.74%
Estanho (Sn)	178.85	52.30%
"Flux"	8.01	2.34%
Azoto (N2)	50.00	14.62%
Total	341.99	100.00%

Fonte: “Atlantic Consulting and IPU”, 1998
Quadro 14 – materiais utilizados na produção de solda.

- Existem diversos tipos de solda, com recurso a combinações de vários metais, nomeadamente estanho, chumbo, cobre, prata, e bismuto, variando na percentagem de composição, e com diferenças relativamente ao método de soldagem. A solda de maior utilização é composta por estanho e chumbo (63Sn/37Pb), servindo ambos os métodos de soldagem, apesar de apresentar maior impacte.

Com base no exposto, a opção para o presente projecto será a consideração de solda do tipo “63Sn/37Pb”, com densidade de 8,4 gr/cc, e temperatura de liquefacção de 183°C, sendo dada preferência à informação quantitativa utilizada no “ACV do Computador” (“Atlantic Consulting and IPU”, 1998), conforme indicado no **Quadro 14** (valor muito baixo de 42,0 gr/m² segundo ACV da solda).

Não existe informação relativa aos processos produtivos de solda. Em termos de soldagem das componentes aos circuitos, e enquanto que no caso das placas da Unidade Central é passível de consideração uma metodologia de refluxo, para os restantes casos verifica-se a utilização de métodos manuais de soldagem.

O produto “flux” indicado é um removedor de oxidação, formado por cloreto de amónia ou de zinco, ou por ácido hidrocloreídrico ou “bórax”.

3.3.3.12 – Retardador de chama (Flame Retardant)

Os retardadores de chama (FR – “Flame Retardant”) são utilizados para proteger ou reduzir o risco de incêndio dos equipamentos electrónicos. Existem mais de 75 tipos de retardantes de chama brominados (BFR’s), sendo neurotoxinas, utilizados em plásticos, borracha e testeis, na indústria electrónica. Um dos químicos de maior utilização é o “Poli Bromo Difenil Éter” (PBDE), do qual existem 3 variantes – penta, octa e deca BDE’s. Existem ainda os retardantes de chama, incluindo compostos orgânicos halogenados ou brominados (TBBA) e compostos inorgânicos (compostos de antimónio), que são utilizados nas resinas epóxicas de Placas de circuitos integrados (PWB’s) e nos próprios circuitos integrados.

Componente do PC	Peso componente	
	(gr.)	(%)
Teclado	1.021,207	4,3%
Rato	132,503	0,6%
Monitor 15"	11.835,798	49,9%
Un. Central	10.730,973	45,2%
Un. Disquetes	408,850	1,7%
Un. Disco rígido	524,816	2,2%
Un. CD-ROM	729,719	3,1%
Total	23.720,481	100,0%

Quadro 15 – Peso das componentes principais do PC

O trióxido de antimónio é frequentemente utilizado com halogenados retardantes de chama como elemento de sinergia de retardação de chama (EEB 2001). A utilização de “Poli Bromo Bifenil” (PBB’s) como retardante de chama em tampas exteriores foi descontinuada à cerca de 7-10 anos.

Verifica-se alguma incerteza na utilização de “Poli Clorinados Bifenílicos” (PCB’s), utilizados principalmente no arrefecimento e lubrificação de condensadores e transformadores, de computadores de grande porte, apesar da “Electronic Industries Alliance” (EIA, 2000) e a “Silicon Valley Toxics Coalition” (SVTC, 2001) desmentirem este facto.

Em termos da aplicação de “retardantes de chama”, e com base no estudo do ACV do computador da “Atlantic Consulting and IPU” (1998), considera-se o seguinte:

- ◆ Placas de circuitos integrados e semicondutores (circuitos integrados, transístores, díodos, reguladores potência) – a resina epóxida utilizada como material base nas placas de circuitos contém 17% do peso de tetrabromobisphenol-A (TBBPA); A resina epóxida dos componentes contém aprox. 2% do peso. (aprox. 90 g TBBPA/m² “PWB”).
- ◆ Protecção das estruturas plásticas exteriores do ecrã – Poli Bromo Difenilo Éter (PBDE), numa concentração de 20% do plástico.

3.3.4 – Composição de materiais do PC

Conforme referido anteriormente, o equipamento PC possui 4 partes constituintes, nomeadamente Unidade Central, Monitor de 15”, Teclado e Rato, cujas características e composição são incluídas no **Anexo V**. Aplicando a metodologia de decomposição indicada em 3.3.2, e com base na caracterização dos materiais desenvolvida em 3.3.3, a relação de peças e materiais elementares do PC, denominada “conta de materiais” (“BOM - bill of materials”), é disponibilizada no **Anexo VII**.

3.3.4.1 – Informações relevantes da “conta de materiais”

A informação disponibilizada pela “conta de materiais” do PC permite a formulação dos seguintes considerandos:

1 - O peso do Computador Pessoal (ver **Quadro 15**) é de cerca de 23,72 Kg, correspondendo respectivamente 45,2 % à unidade central, 49,9 % ao monitor de 15”, 4,3 % ao teclado e 0,6 % ao rato. As unidades de memória de massa (unidade disquetes, disco rígido e CD-ROM) representam cerca de 7,0 % do peso total do computador. (Considerando as embalagens, com um peso de 4,5 Kg, o peso total do computador é de cerca de 28,22 Kg).

2 – O Computador Pessoal possui 2 426 componentes elementares ou indecomponíveis (exceptuando o cinescópio), compreendendo as seguintes:

- ❖ 23 Placas de circuitos integrados;

- ❖ 1578 componentes electrónicas, das quais 822 (cerca de 52 %) são componentes tipo “SMD” (Surface Mount Device);
- ❖ 89 componentes eléctricas (bobines, transformadores, cabeças magnética/óptica, quartzos, pilha);
- ❖ 736 componentes metálicas e plásticas.

Realça-se a significância do número de componentes, tendo em consideração a dimensão do equipamento, e o facto de existirem 736 componentes metálicas e plásticas (cerca de 30%), relativas a estruturas de encapsulamento, suporte interno, fixação e componentes de partes móveis dos dispositivos, número considerado elevado face ao contexto da reciclabilidade do equipamento.

3 – Os principais materiais utilizados na constituição do PC são os seguintes (ver

Quadro 16):

- ❖ 44,36 % - Aço e Ferro;
- ❖ 21,91 % - Plástico;
- ❖ 21,02 % - Vidro
- ❖ 09,76 % - Cobre, Alumínio, Chumbo e Estanho
- ❖ Restantes 3% - Materiais diversos

Em termos comparativos da composição obtida com a relação de materiais utilizada por diversas fontes de informação (MCC, 1996), apresentada no **Quadro 10**, verifica-se existir enquadramento de valores dentro do expectável, apesar de existirem algumas diferenças, com especial realce para os metais.

Componente / Material	peso (gr.)	% peso total (%)
Aço	9,333.279	39.34692%
Plástico	5,196.238	21.90612%
Vidro (SiO)	4,985.063	21.01586%
Ferrite magnética (Fe)	1,189.881	5.01626%
Cobre (Cu)	933.765	3.93654%
Alumínio (Al)	878.220	3.70237%
Chumbo (Pb)	271.811	1.14589%
Estanho (Sn)	231.199	0.97468%
Níquel (Ni)	217.857	0.91843%
Resina Epóxida	214.620	0.90479%
Borracha	126.285	0.53239%
Fosfatos	47.343	0.19959%
TBBPA	44.616	0.18809%
Fósforo	9.469	0.03992%
Laca cola	8.636	0.03641%
Aquadag (grafite)	8.285	0.03493%
Prata (Ag)	8.038	0.03389%
Papel	6.858	0.02891%
Zinco (Zn)	4.229	0.01783%
Ouro (Au)	2.734	0.01153%
Esponja	0.806	0.00340%
Fibra	0.615	0.00259%
Crómio (Cr)	0.423	0.00178%
Berílio (Be)	0.106	0.00045%
Paládio (Pd)	0.101	0.00043%
Cádmio (Cd)	0.004	0.00002%
Total materiais Computador Pessoal	23,720.481	100.0%

Quadro 16 – Materiais de composição do PC.

3.3.5 – Processos construtivos das componentes do PC

A caracterização dos materiais e processos construtivos do PC do ponto 3.3.3, e a “*conta de materiais*” referida no ponto 3.3.4 permitem a definição e constituição dos processos construtivos

das componentes do PC, apresentados em forma de diagrama de blocos. Para efeitos de simplificação, e porque nalguns casos se verifica omissa informação, são excluídos da representação os fluxos de materiais relativos aos processos. A produção de metais inclui os processos de obtenção de minério a partir das respectivas minas.

3.3.5.1 – Unidade Central

No caso da Unidade Central, são considerados 5 diagramas de processos, respectivamente para a Unidade Central (global), fonte de alimentação, unidade de Disquetes 3,5”, unidade Disco rígido, e unidade de “CD-ROM”, apresentados nas **Figuras 10, 11, 12, 13 e 14**.

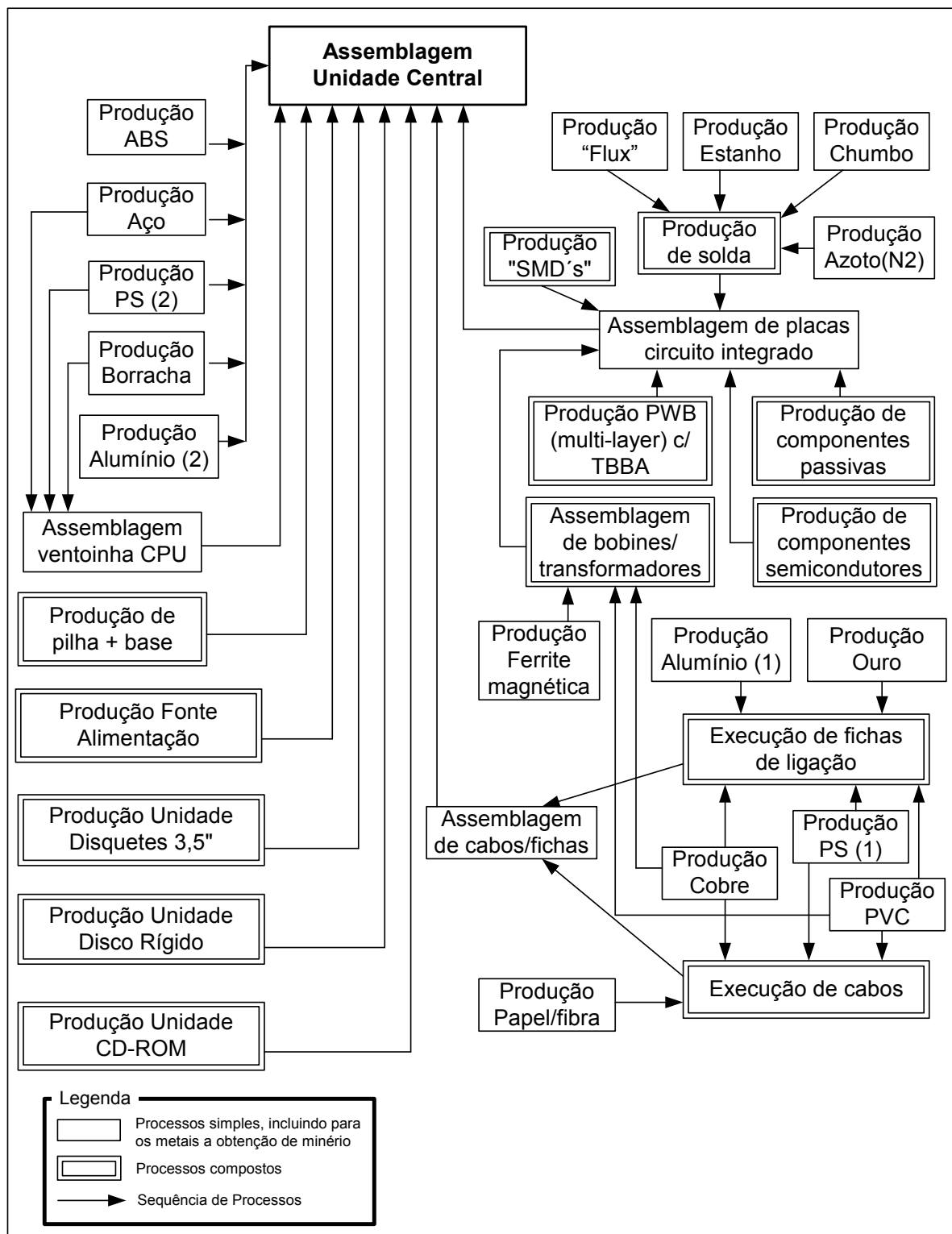


Figura 10 – Processo construtivo da Unidade Central do PC.

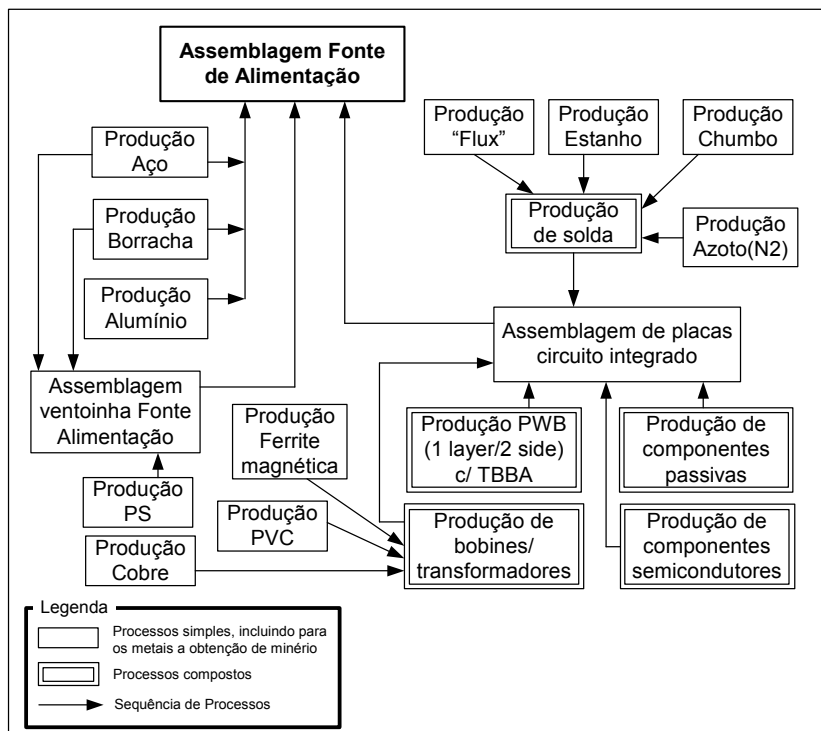


Figura 11 – Processo construtivo da Fonte de Alimentação do PC.

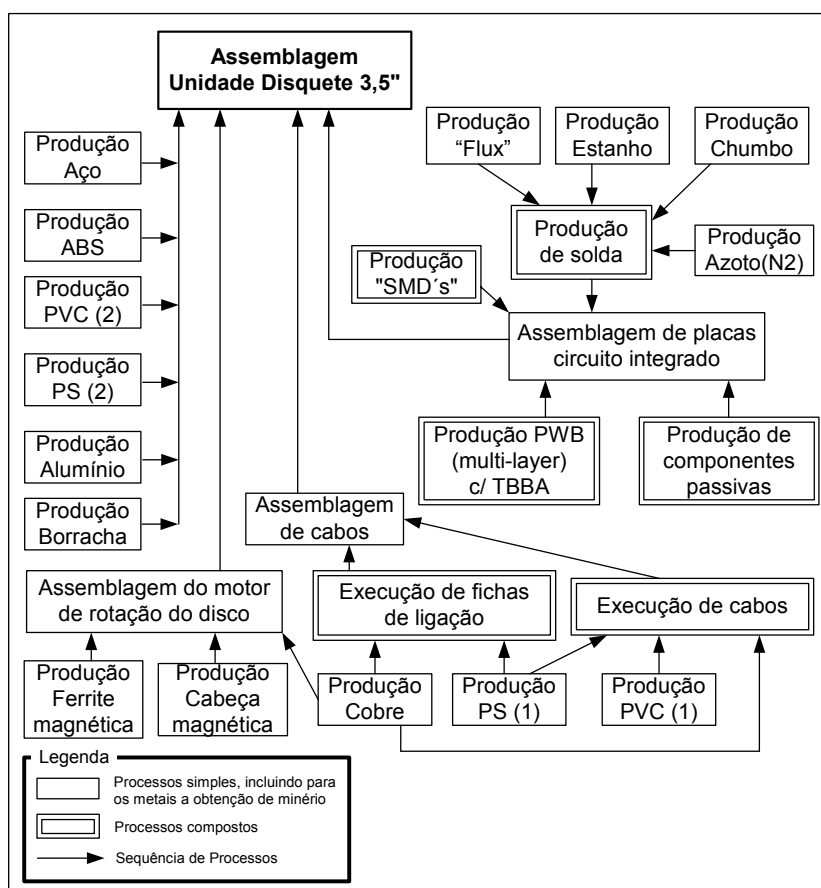


Figura 12 – Processo construtivo da Unidade Disquetes 3,5'.

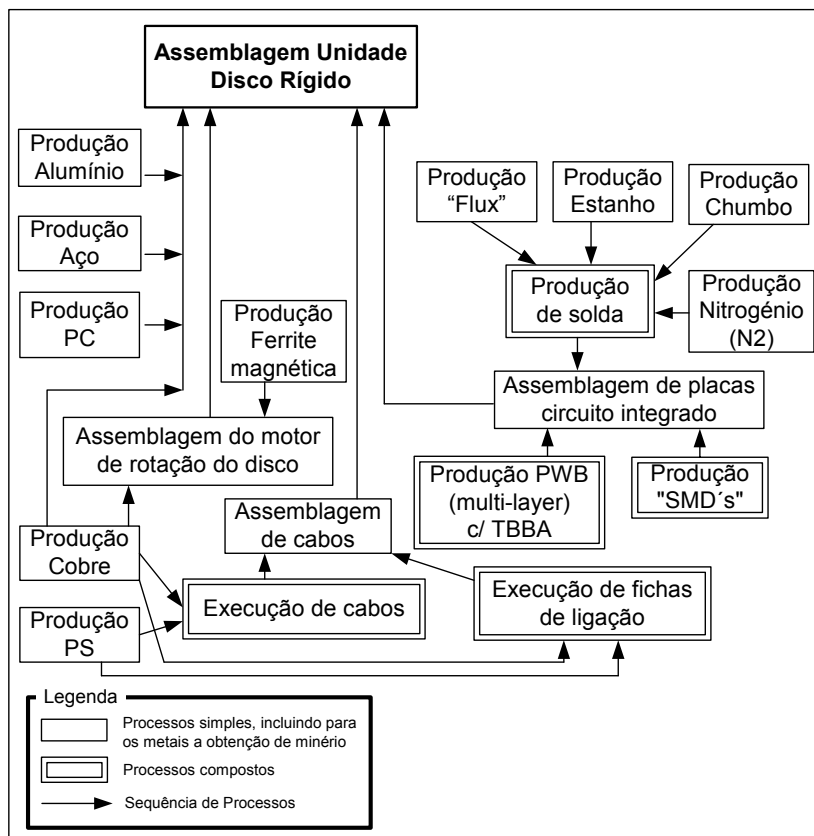


Figura 13 – Processo construtivo da Unidade de Disco Rígido.

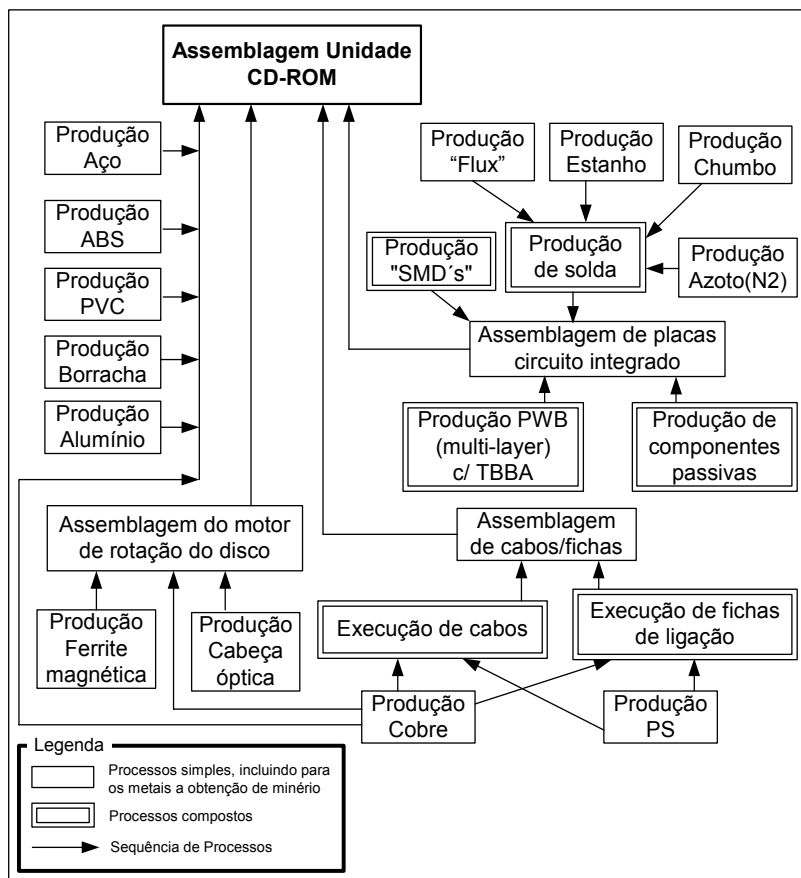


Figura 14 – Processo construtivo da Unidade de CD-ROM.

3.3.5.2 – Ecrã CRT de 15”

No caso do Ecrã CRT são apresentados 2 diagramas de processos, relativos ao Ecrã (global) e ao Cinescópio do Ecrã, utilizando as **Figuras 15 e 16**.

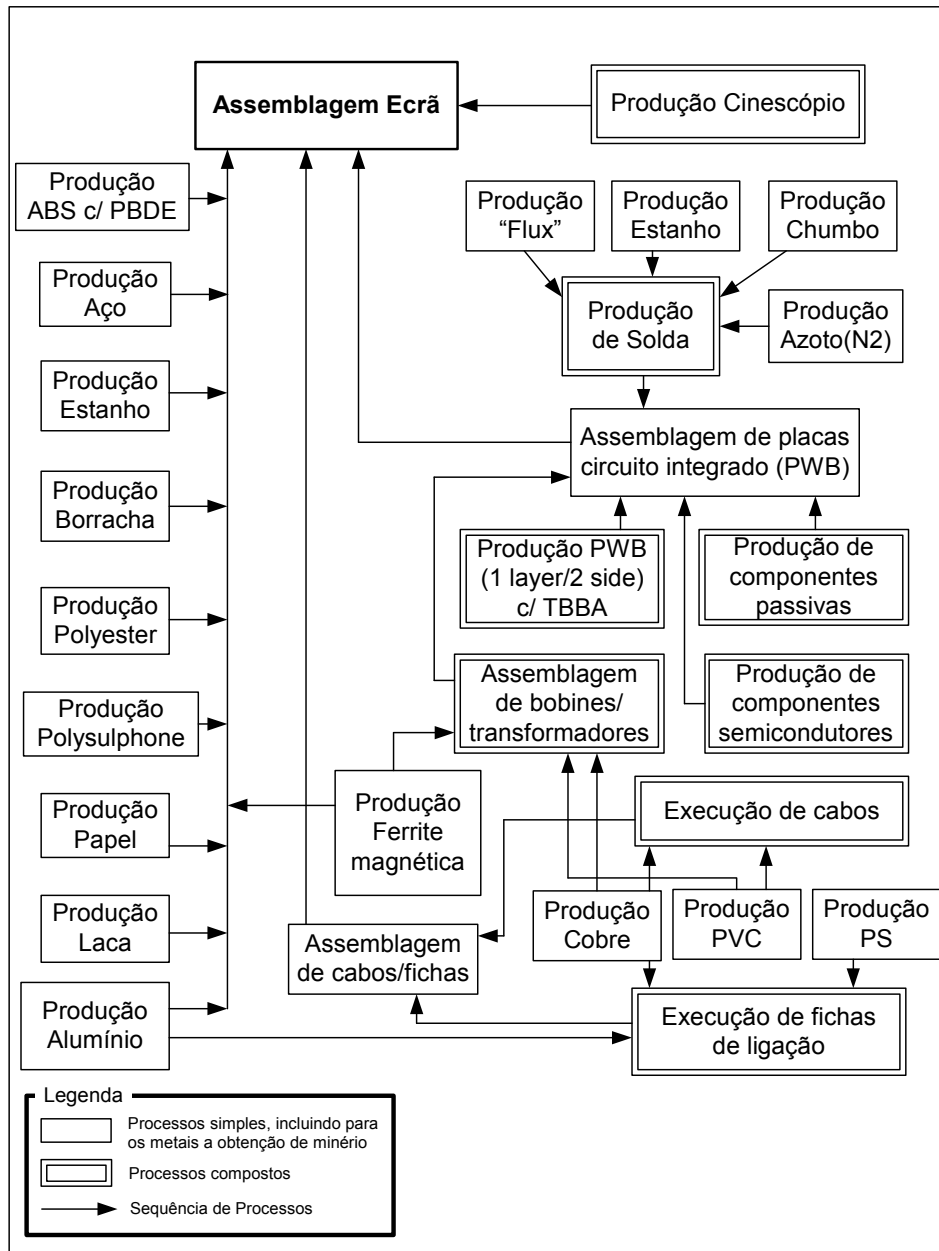


Figura 15 – Processo construtivo do Ecrã monitor CRT de 15”.

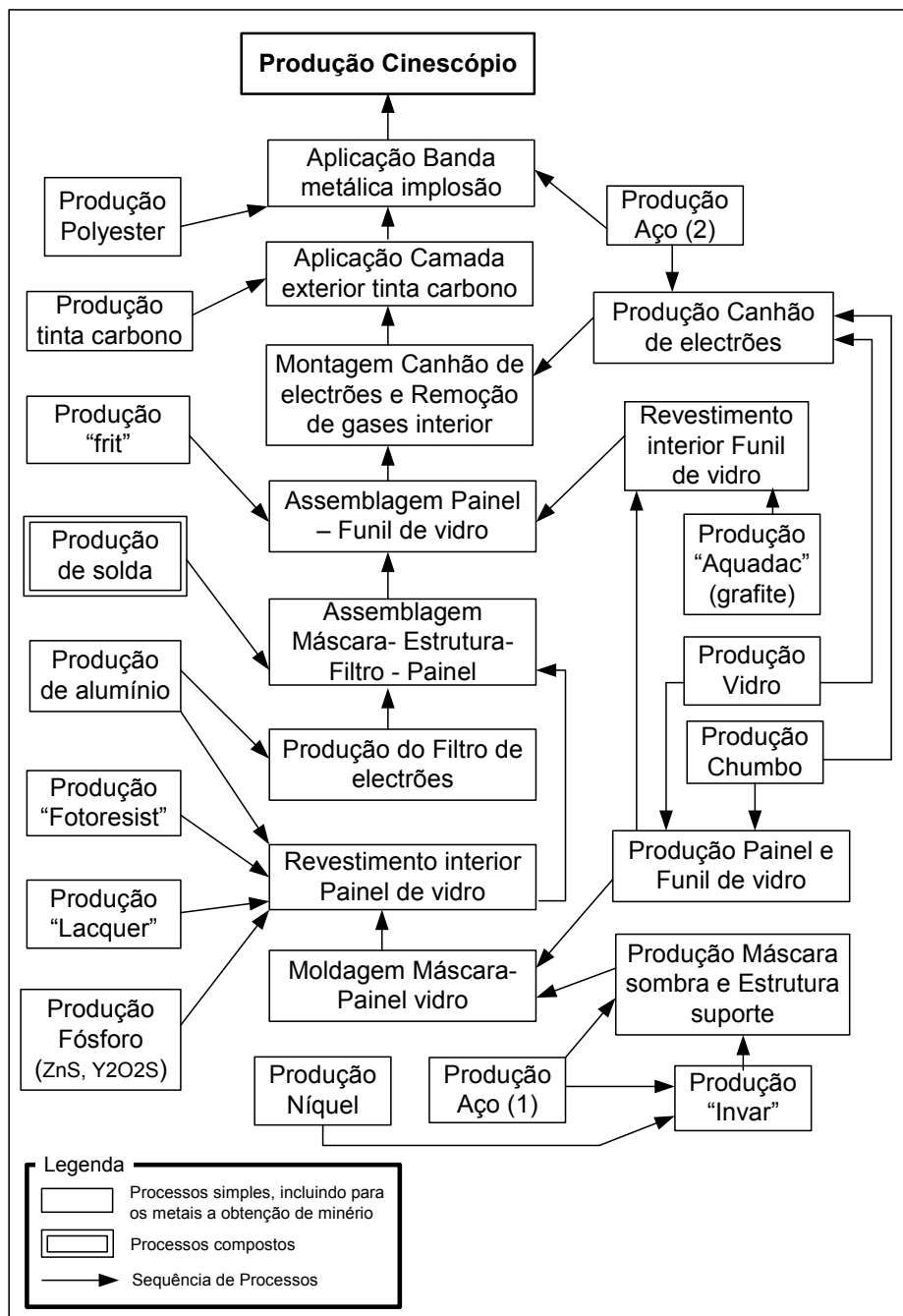


Figura 16 – Processo construtivo do Cinescópico do Ecrã monitor CRT 15”.

3.3.5.3 – Teclado

No caso do Teclado do PC é apresentado na **Figura 17** o processo construtivo geral.

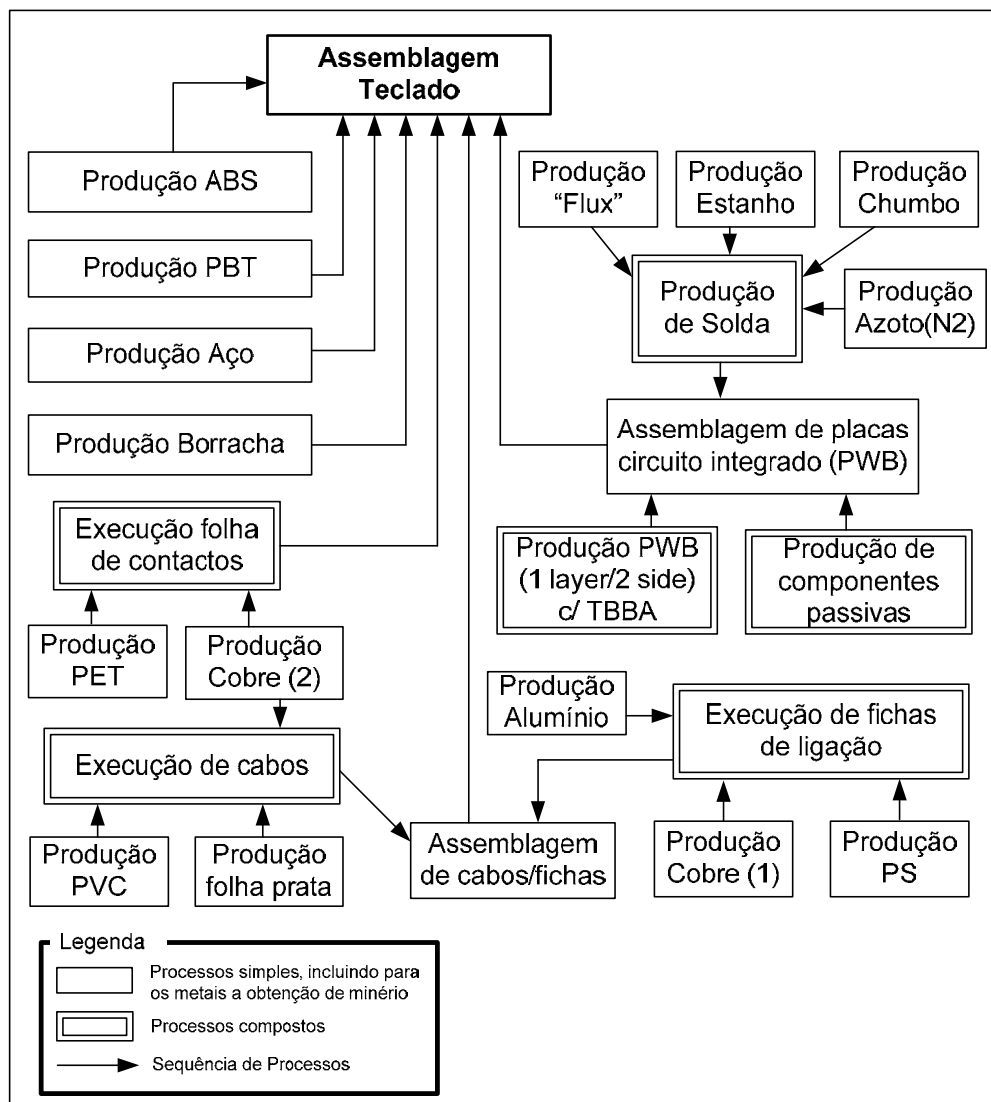


Figura 17 – Processo construtivo do Teclado do PC.

3.3.5.4 – Rato

No caso do Rato do PC é apresentado na **Figura 18** o processo construtivo geral.

- ◆ Processo de produção de solda;
- ◆ Todos os processos de montagem ou “assemblagem” das componentes.

Em termos de Bases de Dados de processos e materiais da fase de “Montagem” disponíveis na ferramenta “SimaPro 7”, denota-se a inexistência de informação precisa e concisa que permita perceber devidamente o contexto dos mesmos, e a respectiva aplicabilidade e limite de consideração.

Quanto a informação relativa a Ciclo de vida, verifica-se igualmente inexistência de informação em termos de produtos e materiais consumíveis, e de processos relacionados com efeitos de impacto humano na utilização de equipamentos.

Quanto aos Cenários de destino final, a “SimaPro 7” é extremamente pobre em informações disponíveis. No presente caso, a selecção de “cenário de disposição em aterro” apenas considera alguns dos materiais do PC (aço, alumínio, estanho, cartão e papel, vidro e plásticos). As principais substâncias e materiais de maior impacto como por exemplo “retardadores de chama” e metais raros (prata, ouro, etc.) não se encontram disponíveis e utilizáveis nas Bases de Dados associadas à ferramenta.

3.3.6.2 – Pressupostos específicos da inventariação

Conforme já indicado anteriormente, e por razões de impossibilidade de separação das fases de extracção de minérios, produção de matérias-primas e de produção de metais, estas serão consideradas como constituintes da fase de produção.

Para efeitos de Inventário de ACV, e nos termos associados à organização da Ferramenta “SimaPro 7”, são consideradas 3 fases, nomeadamente

- ⇒ Montagem, considerando os processos produtivos das componentes do PC e os transportes;
- ⇒ Ciclo de Vida ou utilização do PC durante a vida útil;
- ⇒ Cenário de destino final ou abate em fim de vida do PC.

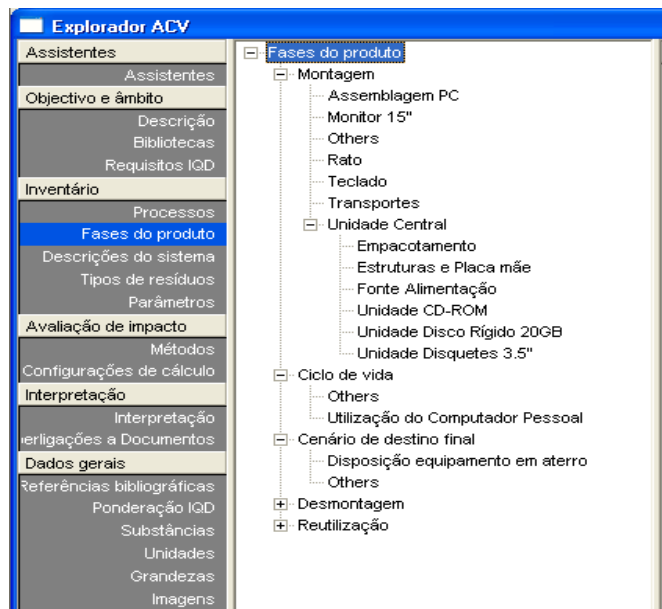


Figura 19 – Estrutura de fases do ciclo de vida da ferramenta SimaPro 7.

Os processos produtivos das componentes do são organizados de acordo com uma estrutura hierárquica apresentada na **Figura 19**, permitindo assim uma desagregação com capacidade de análise individual.

De acordo com limitação imposta pela utilização da ferramenta de software “SimaPro 7”, todos os materiais, processos e fluxos constituintes do Inventário são apresentados em inglês, uma vez que se trata da linguagem de uniformização e manuseamento das Bases de Dados disponíveis.

3.3.6.3 – Resultado do Inventário ICV

Com base nos “*limites de análise do ACV*” (**Anexo VIII**), e após inserção dos dados na ferramenta “SimaPro 7”, o *Inventário do Ciclo de Vida (ICV)* do PC é apresentado no **Anexo IX**, sendo constituído por uma relação de materiais e substâncias de entrada/saída dos processos construtivos do equipamento, considerando uma divisão em 5 partes, respectivamente matéria prima, emissões para o ar, água, solo, e produção de resíduos.

3.4 - Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida (AICV)

3.4.1 – Pressupostos gerais

A Avaliação do Impacte de Ciclo de Vida (AICV) é desenvolvida de forma automática, pela ferramenta “SimaPro 7”, a partir dos materiais e substâncias obtidas no Inventário de Ciclo de Vida (ICV), considerando a separação nas 5 partes indicadas em 3.3.6.3, através da avaliação dos respectivos impactes ambientais relativamente às **categorias de impacte** e **indicadores de categorias**, definidos e aplicados pela metodologia de avaliação de impacte utilizada.

A decisão quantitativa e qualitativa das **categorias de impacte** depende da aplicação pretendida, sendo o acréscimo ou redução de categorias feito à medida que a comunidade científica decide da sua adequação ou reexaminação, e do ênfase pretendido. A maior parte das **categorias de impacte** encontra-se em constante aperfeiçoamento, estando associada a um determinado número de impactes ambientais, com um determinado peso relativo à grandeza referencial.

Existem dúvidas quanto à utilidade e representatividade neste caso específico dos elementos opcionais do AICV (normalização, agrupamento e ponderação), uma vez que o único benefício advindo é o de reduzir a informação a uma base comum, que permita comparações entre sistemas, produtos ou processos em análise. Tendo em consideração o equipamento em análise – o Computador Pessoal, a inerente diversidade de processos construtivos, e ainda a característica multi-nacional da sua execução (Coreia, China, EUA, Europa, etc.), não se considera oportuna a aplicação de normalização e ponderação de resultados.

Note-se que a norma ISO 14044 indica que a fase do AICV apenas é requerida para situações de necessidade de comparação de sistemas/produtos/processos, não sendo portanto obrigatória em ACV's de caracterização ou avaliação de produtos de uma forma isolada.

Todas as metodologias de AICV consideram 3 fases de desenvolvimento, nomeadamente selecção da metodologia, e a combinação das fases de classificação e caracterização numa só.

3.4.2 – Selecção do AICV

A ferramenta “SimaPro 7” permite a selecção de qualquer uma das metodologias AICV (ver **Anexo IV**), a qual é aplicada aos dados de Inventário já armazenados na aplicação. Conforme indicado na definição de objectivos e âmbito do ACV, a metodologia a utilizar é a metodologia “TRACI” (“Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts”, desenvolvida pela “US Environment Protection Agency”).

A ferramenta “SimaPro 7” considera para a metodologia TRACI a utilização de 14 **categorias de impacte**, indicadas no **Quadro 17**.

Categoria	Descritivo	Unidade	Meio de análise
Aquecimento global (GWP)	Emissões produzidas, que mantêm o solo mais quente do que o devido.	Kg CO ₂ equivalentes/ Kg emissão	Ar
Acidificação	Chuva ácida, origem na combustão de fuels e biomassas; danos em árvores, solo, edifícios, animais e humanos.	deposição de moles H+ equivalentes/Kg emissão	Ar
Toxicidade para a Saúde (cancerígena, superfície - G e sub-solo - R) (6 categorias)	Exposição a substâncias industriais e naturais, irritação transiente ou disfunção ou morte.	Kg benzeno (C6H6) equivalentes/Kg emissão e Kg toluene equivalentes/Kg emissão	Ar, Água
			Solo (superfície)
			Solo (sub-solo)
Toxicidade para a Saúde (critérios poluentes, ponto origem e móvel) (2 categorias)	Critérios poluentes do ar com origem em actividades de combustão, operação de veículos, produção de energia, manuseamento de materiais, operações de esmagamento e trituração, incluindo partículas pequenas nocivas às condições respiratórias tais como asma, e partículas pequenas que podem causar doenças e sintomas respiratórios mais sérios.	Kg PM2.5 anos de vida ajustados a incapacidade (DALYs) equivalente/Kg emissão	Ar
Eutrofização	Adição de quantidades de nutrientes minerais ao solo e água, provocando mudanças nas espécies e eco-sistemas, e redução de diversidade ecológica.	Kg de nitrogénio equivalentes/Kg emissão	Ar, Água
Potencial de deflexão do ozono (ODP)	Deflexão ou estreitamento da camada estratosférica de ozono, permitindo a entrada de radiações de onda curta prejudiciais, com alterações de eco-sistemas, agricultura, cancro de pele, cataratas nos olhos humanos, etc.	Kg de CFC-11 equivalentes/Kg emissão	Ar
Potencial de eco-toxicidade	Toxicidade ecológica mede o potencial de poluentes de origens específicas que danificam eco-sistemas terrestres e aquáticos.	Kg 2,4-D equivalentes/Kg emissão	Ar, Água, Solo
Potencial de oxidante fotoquímico (POC)	“Smog” dentro de determinadas condições climáticas, quando as emissões de ar ficam presas a nível do solo, reagindo com o Sol, originando impactes perigosos na saúde humana e vegetação.	Kg NO _x equivalentes/Kg emissão	Ar

Quadro 17 – Categorias de impacte da metodologia “TRACI” da “SimaPro 7”.

Apesar da metodologia TRACI considerar a **categoria de impacte** “utilização de combustíveis fósseis” (MJ excesso de energia/MJ de energia extraída), esta é omissa na implementação “SimaPro 7”.

3.4.3 – Classificação/Caracterização do AICV

Utilizando os dados obtidos no Inventário de Ciclo de Vida (ICV, **Anexo IX**), o “SimaPro 7” aplica a classificação e caracterização da metodologia na determinação da *Análise de Impacte AICV* do equipamento PC, considerando a decomposição de impactes pelos componentes, conforme apresentado no **Quadro 18** (ver **Anexo XI**).

Categoria de Impacto	Meio	Indicador Categoria	Resultado do Indicador de Categoria								
			Matérias Primas e Produção				Transportes	Utilização	Fim Vida	Total	
			Rato	Teclado	Un. Central	Monitor					PC
Aquecimento global (Global Warming)	Ar	CO2 eq.	2,01E+01	3,80E+00	7,39E+02	5,89E+02	1,35E+03	4,43E+00	1,17E+06	3,02E+00	1,17E+06
Acidificação (Acidification)	Ar	H+ moles eq.	4,61E+00	3,38E+00	1,78E+02	1,55E+02	3,41E+02	2,00E+01	6,19E+05	6,73E-01	6,19E+05
Toxicidade (cancer.) (HH Cancer)	Ar,Água	benzene eq.	3,84E-02	1,97E-02	2,12E+00	1,72E+00	3,90E+00	9,21E-02	2,50E+03	5,24E-03	2,50E+03
Toxicidade (HH cancer Ground-surface)	Solo (sup.)	benzene eq.	7,19E-06	3,17E-05	1,95E-04	4,77E-04	7,11E-04	2,55E-03	3,46E+01	7,90E-05	3,46E+01
Toxicidade (HH cancer Root-Zone)	Subsolo	benzene eq.	7,18E-06	3,17E-05	1,94E-04	4,77E-04	7,10E-04	2,55E-03	3,45E+01	7,89E-05	3,45E+01
Toxicidade (cancer.) (HH Cancer)	Ar,Água	toluene eq.	1,01E+03	5,35E+02	5,96E+04	3,78E+04	9,89E+04	6,84E+02	3,60E+07	5,63E+01	3,61E+07
Toxicidade (HH cancer Ground-surface)	Solo (sup.)	toluene eq.	2,17E-02	9,30E-02	6,47E-01	1,76E+00	2,52E+00	1,35E+01	1,01E+05	1,21E+00	1,01E+05
Toxicidade (HH cancer Root-Zone)	Subsolo	toluene eq.	4,94E-02	2,12E-01	1,46E+00	3,91E+00	5,63E+00	2,94E+01	2,31E+05	2,55E+00	2,31E+05
Toxicidade (HH criteria Air - ponto origem)	Ar	PM2.5 eq.	1,98E-02	8,26E-03	8,81E-01	6,25E-01	1,53E+00	4,96E-02	1,23E+02	3,25E-04	1,25E+02
Toxicidade (HH criteria móvel)	Ar	PM2.5 eq.	2,03E-02	8,45E-03	8,98E-01	6,39E-01	1,57E+00	5,26E-02	1,48E+02	3,92E-04	1,50E+02
Eutroficação (Eutrophication)	Ar,Água	N eq.	1,16E-02	1,63E-03	4,32E-01	3,49E-01	7,94E-01	5,86E-02	2,14E+02	3,93E-03	2,15E+02
Depleção do Ozono (Ozone Depletion)	Ar	CFC-11 eq.	8,97E-07	8,90E-07	4,09E-05	3,14E-05	7,41E-05	1,60E-05	8,70E-01	1,49E-06	8,70E-01
Eco-toxicidade (Ecotoxicity)	Ar,Água,Solo	2,4-D eq.	1,45E+01	3,89E+00	6,88E+02	5,00E+02	1,21E+03	1,56E+01	1,23E+06	7,02E-01	1,23E+06
Oxidante fotoquímico (Smog)	Ar	NOx eq.	3,65E-02	2,10E-02	1,19E+00	9,62E-01	2,21E+00	3,48E-01	3,00E+03	8,70E-03	3,00E+03

Quadro 18 – Análise AICV da metodologia “TRACI” do “SimaPro 7”.

Os **Quadros 19 e 20** apresentam a análise percentual das classes de impacte relativamente às fases de ciclo de vida do PC, e às partes componentes do sistema.

Categoria de Impacto	Meio	Indicador Categoria	M.Primas e Produção	Transporte	Utilização	Fim Vida	Total
Aquecimento global (Global Warming)	Ar	CO2 eq.	0,12%	0,00%	99,88%	0,00%	100,00%
Acidificação (Acidification)	Ar	H+ moles eq.	0,06%	0,00%	99,94%	0,00%	100,00%
Toxicidade (cancer.) (HH Cancer)	Ar,Água	benzene eq.	0,16%	0,00%	99,84%	0,00%	100,00%
Toxicidade (HH cancer Ground-surface)	Solo (sup.)	benzene eq.	0,00%	0,01%	99,99%	0,00%	100,00%
Toxicidade (HH cancer Root-Zone)	Subsolo	benzene eq.	0,00%	0,01%	99,99%	0,00%	100,00%
Toxicidade (cancer.) (HH Cancer)	Ar,Água	toluene eq.	0,27%	0,00%	99,72%	0,00%	100,00%
Toxicidade (HH cancer Ground-surface)	Solo (sup.)	toluene eq.	0,00%	0,01%	99,98%	0,00%	100,00%
Toxicidade (HH cancer Root-Zone)	Subsolo	toluene eq.	0,00%	0,01%	99,98%	0,00%	100,00%
Toxicidade (HH criteria Air - ponto origem)	Ar	PM2.5 eq.	1,23%	0,04%	98,73%	0,00%	100,00%
Toxicidade (HH criteria móvel)	Ar	PM2.5 eq.	1,05%	0,04%	98,92%	0,00%	100,00%
Eutroficação (Eutrophication)	Ar,Água	N eq.	0,37%	0,03%	99,60%	0,00%	100,00%
Depleção do Ozono (Ozone Depletion)	Ar	CFC-11 eq.	0,01%	0,00%	99,99%	0,00%	100,00%
Eco-toxicidade (Ecotoxicity)	Ar,Água,Solo	2,4-D eq.	0,10%	0,00%	99,90%	0,00%	100,00%
Oxidante fotoquímico (Smog)	Ar	NOx eq.	0,07%	0,01%	99,91%	0,00%	100,00%

Quadro 19 – Análise AICV (TRACI) - Análise percentual das fases do ciclo de vida do Computador pessoal.

Categoria de Impacto	Meio	Indic. Cat.	Matérias Primas e Produção				
			Rato	Teclado	Un. Central	Monitor	PC
Aquecimento global (Global Warming)	Ar	CO2 eq.	1,49%	0,28%	54,66%	43,57%	100,00%
Acidificação (Acidification)	Ar	H+ moles eq.	1,35%	0,99%	52,20%	45,46%	100,00%
Toxicidade (cancer.) (HH Cancer)	Ar,Água	benzene eq.	0,99%	0,51%	54,39%	44,12%	100,00%
Toxicidade (HH cancer Ground-surface)	Solo (sup.)	benzene eq.	1,01%	4,46%	27,43%	67,10%	100,00%
Toxicidade (HH cancer Root-Zone)	Subsolo	benzene eq.	1,01%	4,47%	27,33%	67,19%	100,00%
Toxicidade (cancer.) (HH Cancer)	Ar,Água	toluene eq.	1,02%	0,54%	60,24%	38,20%	100,00%
Toxicidade (HH cancer Ground-surface)	Solo (sup.)	toluene eq.	0,86%	3,69%	25,66%	69,79%	100,00%
Toxicidade (HH cancer Root-Zone)	Subsolo	toluene eq.	0,88%	3,76%	25,93%	69,43%	100,00%
Toxicidade (HH criteria Air - ponto origem)	Ar	PM2.5 eq.	1,29%	0,54%	57,43%	40,74%	100,00%
Toxicidade (HH criteria móvel)	Ar	PM2.5 eq.	1,30%	0,54%	57,35%	40,81%	100,00%
Eutroficação (Eutrophication)	Ar,Água	N eq.	1,46%	0,21%	54,39%	43,94%	100,00%
Depleção do Ozono (Ozone Depletion)	Ar	CFC-11 eq.	1,21%	1,20%	55,21%	42,38%	100,00%
Eco-toxicidade (Ecotoxicity)	Ar,Água,Solo	2,4-D eq.	1,20%	0,32%	57,03%	41,45%	100,00%
Oxidante fotoquímico (Smog)	Ar	NOx eq.	1,65%	0,95%	53,86%	43,54%	100,00%

Quadro 20– Análise AICV (TRACI) - Análise percentual das componentes do Computador pessoal.

3.5 - Interpretação de resultados

A fase de Interpretação do Ciclo de Vida utiliza os resultados da análise de inventário (ICV) e da avaliação de impacto (AICV) no desenvolvimento dos seguintes tópicos:

- A avaliação do grau de finalização, sensibilidade e consistência dos resultados;
- A identificação das questões significativas dos resultados das fases de inventário e impacto ambiental;
- As conclusões, limitações e recomendações do ACV.

3.5.1 - Avaliação do grau de finalização, sensibilidade e consistência dos resultados

A identificação das questões significativas dos resultados do ACV não poderá ser devidamente efectuada sem que se proceda à análise de precisão e de incerteza dos dados, pressupostos e elementos informativos utilizados durante o desenvolvimento do trabalho.

Em termos de decomposição, codificação de componentes e materiais e pesagem de elementos constituintes, no **Quadro 21** é apresentada uma análise estatística, da qual se podem retirar os seguintes considerandos:

◆ No que respeita à codificação de componentes e materiais, e utilizando valores médios das partes constituintes do equipamento, verifica-se um índice de cerca de 60,7% de identificação correcta dos materiais e componentes. Dos restantes 39,3%, cerca

Componente do PC	Conhecimento material componentes				Determ. peso componentes	
	Confirmado	Estimado	Desconhec.	Referências	Pesagem	Estimado
Teclado	64,49%	2,08%	0,02%	33,41%	97,59%	2,41%
Rato	83,76%	4,04%	2,05%	10,16%	99,58%	0,42%
Monitor 15"	26,46%	1,33%	1,37%	70,83%	99,44%	0,56%
Un. Central	68,24%	8,91%	1,47%	21,38%	98,28%	1,72%
Un. Disquetes	10,43%	48,98%	0,39%	40,21%	93,77%	6,23%
Un. Disco rígido	2,43%	1,80%	0,00%	95,77%	86,65%	13,35%
Un. CD-ROM	22,22%	12,82%	1,23%	63,74%	93,28%	6,72%
Média	60,74%	4,09%	1,23%	33,94%	98,72%	1,28%

Quadro 21 – Dados informativos relativos ao conhecimento de materiais e pesagem das componentes do PC.

de 34,0% foram identificados através de referências bibliográficas e estudos de equipamentos similares (considera-se neste caso uma fiabilidade de informação de $34,0\% \times 50\% = 25,5\%$).

A incerteza relacionada com esta parte do trabalho é de cerca de **25,0%**.

◆ Quanto à determinação de pesagem directa elementar de componentes e materiais, o índice de execução foi de cerca de 98,7%, sendo os restantes 1,3% estimados, referentes quase exclusivamente à situação dos materiais e componentes interiores ao cinescópio do monitor de 15". Para esta parte a incerteza é de cerca de **1,3%**.

◆ Relativamente aos processos produtivos, fluxos auxiliares e energéticos das componentes e sistemas, obtidos através das Bases de Dados da aplicação "SimaPro 7", a situação não é tão explícita, uma vez que existem lacunas significativas em termos de informação qualitativa e quantitativa dos processos e dos fluxos de materiais auxiliares e energia necessária, incluindo informação concisa da respectiva abrangência.

Refere-se ainda a indisponibilidade de informação relativa a processos de componentes electrónicas, componentes passivas, de produção do Cinescópio do Ecrã, e dos processos de montagem dos equipamentos, processos estes com complexidade considerável.

Sem dúvida que a incerteza originada pela falta de detalhe da descrição dos processos origina sérias dúvidas quanto à aplicabilidade dos processos no contexto do presente trabalho.

◆ Dos 332 processos produtivos considerados para o caso do PC (ver **Anexo VIII**), apenas foram considerados 245 processos (cerca de 74,0% do total), dos quais alguns suscitam dúvidas de aplicabilidade no presente caso, conforme já referido anteriormente (o índice de confiança da informação deverá ser de 50%). Dentro dos processos não considerados encontram-se alguns considerados de elevada importância, como é o caso dos processos de componentes "SMD's, componentes passivas, produção do Cinescópio do Ecrã, montagem de componentes, e soldagem. A incerteza para esta parte é de cerca de **63,0%**.

Tendo como referência os considerandos e valores de incerteza indicados, atribuem-se ao presente trabalho os seguintes coeficientes de fiabilidade de resultados:

- ❖ **Precisão relativa ao peso dos materiais e componentes – 98,7%**
- ❖ **Grau de confiança na codificação de materiais e componentes – 75,0%**
- ❖ **Grau de confiança na informação dos processos produtivos – 37,0%**

3.5.2 - Identificação das questões significativas dos resultados das fases de inventário e impacte ambiental

Em termos gerais, o objectivo e o âmbito do ACV delineados no ponto 3.2, foram cumpridos neste trabalho, considerando principalmente os pressupostos estabelecidos. Apesar de não ter sido possível analisar na totalidade os limites definidos, foram satisfatoriamente definidas as funções, unidade funcional e os limites do sistema a analisar.

A decomposição do Computador Pessoal foi efectuada com detalhe e precisão até às componentes elementares, à excepção do cinescópio do monitor, por razões de segurança.

Em termos de inventário de ciclo de vida, e conforme constatado no **Anexo VIII** (âmbito do ACV do PC), o trabalho enferma de exclusão de processos considerados importantes e cruciais, situação incontornável por não ser acessível informação para o efeito.

Uma das principais lacunas do trabalho prende-se com a ausência de análise relativa especificamente com as questões energéticas relacionadas com os processos das fases de extracção e produção do equipamento, devendo-se principalmente à impossibilidade de acesso a informação adequada para o efeito.

Apesar do exposto, o inventário ICV foi desenvolvido, considerando os materiais e substâncias utilizados como recursos, e emitidos para o ar, água e solo, conforme apresentado no **Anexo IX** (ICV do Computador Pessoal).

O desenvolvimento do ACV através da ferramenta “SimaPro 7” demonstrou os seguintes considerandos:

- ◆ A ferramenta é um potente instrumento organizador do Inventário do equipamento;
- ◆ A ferramenta enferma em termos de descrição detalhada dos processos e materiais;
- ◆ A ferramenta é incompleta em termos de características das metodologias de impacte;
- ◆ A ferramenta necessita de melhoramentos em termos de apresentação de resultados;
- ◆ A ferramenta não considera uma parte de maior dificuldade do ACV, relativa à inventariação de materiais e processos construtivos do equipamento;
- ◆ As Bases de Dados associadas são muito incompletas, não permitindo a análise de todos os processos e materiais;
- ◆ As Bases de Dados não possuem informação de grau de incerteza associada à maioria dos processos e materiais, não permitindo assim, conforme informado, análises estatísticas adequadas.

Em termos de recursos utilizados, especial realce é colocado no consumo de energia na produção da unidade central e monitor, e na fase de utilização, e no consumo de bauxite, barro, gravita, ferro, água e madeira na fase de utilização. Relativamente a emissões dos processos, especial relevância merecem as seguintes situações:

- Emissões para o ar - especial realce para a emissão de monóxido, dióxido de carbono, hidrogénio, óxidos de nitrogénio, partículas, óxidos sulfurosos, e xénon para o ar (especialmente a fase de utilização), na perda de calor para a atmosfera, e na emissão de espécies radioactivas e rádon 220 e 222 (fase de produção).
- Emissões para a água - especial realce para a emissão de alumínio, barite, cálcio, cobalto, ferro, magnésio, sódio (fase de utilização), espécies radioactivas (fase de produção).
- Emissões para o solo - especial realce para a perda de calor e produção de resíduos indiferenciados (fase de produção).

Os resultados da fase de avaliação de impacte AICV demonstram a tendência verificada em outros estudos de ACV's sobre equipamento electrónico, ou seja um peso significativo da fase de utilização do equipamento relativamente às outras fases, originada pelos impactes associados à produção de energia eléctrica.

No presente trabalho, verifica-se que a predominância da fase de utilização é quase total, com cerca de 99% do impacte total. Esta situação poderá ser originada por duas situações, respectivamente pelo peso considerado para o processo de produção de energia eléctrica em Portugal, e pela ausência de consideração, no inventário do ciclo de vida, de processos e fluxos fundamentais já referidos. Contudo, os valores obtidos enquadram-se dentro dos valores de outros estudos de ACV's realizados.

Em termos de categorias de impacte, maior significância assumem o aquecimento global (10^6), a acidificação (10^5), a toxicidade (toluene) (10^7) e a eco-toxicidade (10^6), com especial incidência para as emissões para o ar, sendo a fase de utilização a principal responsável por este facto.

A fase de fim de vida utilizada (aterro/lixreira a 100%) apresenta valores de impacte considerados baixos. Esta situação deve-se à limitação de materiais utilizados pelos processos da ferramenta "SimaPro 7".

Relativamente à participação nos impactes das componentes do PC, e conforme expectável, denota-se que a Unidade Central e o Monitor representam o maior peso, respectivamente com valores médios entre categorias de impacte de 47% e 50% do total. O peso relativo de impacte do teclado e rato são pouco significativos.

3.5.3 - Conclusões, limitações e recomendações do ACV

Conforme já referido anteriormente nos pressupostos do ACV, o desenvolvimento foi efectuado em termos manuais, com recurso a folha de cálculo, tendo sido utilizadas diversas bases de dados para obtenção dos processos, fluxos e energia do inventário de ciclo de vida do PC. Esta situação, apesar de ter permitido um melhor conhecimento da metodologia, introduz algumas limitações em termos de situações de não consideração ou até mesmo esquecimento de interligações importantes em termos de processos e fluxos de inventário, e de materiais e substâncias em termos de impactes e categorias de impactes.

Uma das principais limitações do trabalho prende-se com o desconhecimento e a dificuldade de obtenção de informações relativas aos processos produtivos, fluxos de materiais e energia utilizados na construção do Computador Pessoal. Esta situação aliás é denotada de uma forma generalizada, a qual é agravada pela globalização da produção de componentes e equipamentos, e pela organização actual dos “OEM’s” relacionados com a produção e distribuição de equipamento electrónico.

Em termos de transportes de componentes, a situação é igualmente considerada limitada em termos de análise efectuada, uma vez que, de acordo com os elementos informativos disponíveis, a produção de componentes foi efectuada em diversos países, como por exemplo Coreia, China, Japão, Malásia, EUA, etc., para os quais deveriam ser tidos em consideração os transportes, factor de peso significativo.

Em termos energéticos, a situação é semelhante aos transportes, uma vez que as fases de extracção, produção e transporte se desenvolvem em países diferentes, sendo necessária a consideração energética para cada caso.

A utilização da ferramenta “SimaPro 7” é considerada moderadamente satisfatória, pois apesar de permitir um tratamento eficaz de Inventário ICV e análise AICV, permitindo ainda ensaios e simulações rápidas das diversas metodologias de impacte de AICV, enferma por não nas Bases de Dados disponíveis elementos informativos dos principais processos produtivos de equipamento electrónico, e por não disponibilizar informações adequadas dos processos produtivos. Sem dúvida que a utilização de uma ferramenta de “software” orientada para sistemas electrónicos, como é o caso das ferramentas “GaBi” ou “JEMAI LCA-Pro”, com bases de dados adequadas traria benefícios significativos ao trabalho, tendo em especial consideração o grau de detalhe conseguido na fase de decomposição do Computador Pessoal.

Este trabalho permitiu sobretudo a constatação de que o desenvolvimento de uma análise ACV, de qualquer sistema, equipamento ou processo, processo já de si complexo e exigente, efectuado sem a directa participação, intervenção ou simples aconselhamento de entidades directamente ligadas ao “ramo do negócio”, nomeadamente produtores, distribuidores, agentes oficiais de

programas específicos de regulamentação, enferma de omissões e erros de informação que comprometem seriamente os resultados obtidos, não só em termos de composição de inventário, como também de sensibilidade para os factores e classes de impacte ambiental de maior importância no contexto.

4 – Conclusões e Recomendações

A experiência do desenvolvimento da metodologia de ACV do Computador Pessoal (PC) permite estabelecer as seguintes conclusões:

- Em termos gerais, a fase de Inventário de ciclo de vida (ICV) é a fase de maior dificuldade, considerando a complexidade associada à determinação dos materiais, processos, fluxos e energia associados ao ciclo de vida do equipamento. Neste contexto, o recurso a ferramentas informáticas de ACV é de pouca utilidade;
- A informação relativa aos processos construtivos de um PC é ainda desconhecida e de difícil obtenção, criando sérias limitações ao rigor necessário na metodologia;
- Os PC's geralmente não são constituídos pelos mesmos materiais e componentes, verificando-se com especial realce a existência de várias versões ou tipos de Placas de circuitos integrados, com um misto de gerações incluído, o que torna difícil a respectiva análise e decomposição;
- As componentes do PC de maior importância e com maior impacte ambiental são as Placas de circuitos integrados, as componentes semicondutores e o cinescópico do monitor "CRT". O fabrico de circuitos integrados é considerado (Ayres, 2003) um dos processos de maior complexidade na indústria. Para cada Kg de "wafer" de silício são necessários 200 Kg de produtos químicos, não incluindo a água utilizada nas sucessivas lavagens necessárias;
- Em termos de ecrãs monitores dos PC's, verifica-se que os do tipo "CRT" são componentes com elevadas exigências construtivas, e com elementos constituintes de substancial impacte ambiental em termos de processos construtivos. Esta situação já se encontra ultrapassada com a crescente substituição dos monitores "CRT" pelos monitores de ecrã plano tipo "TFT" ou "LCD". Note-se que mesmo estes possuem componentes de algum impacte ambiental.

- O desenvolvimento de um ACV com recurso a “ferramentas de software” permite sem dúvida concentrar esforços nos aspectos de maior importância, ou seja, na análise dos processos construtivos, fluxos e energias utilizados na construção do equipamento, e na selecção e classificação da metodologia de impactes ambientais mais adequada ao equipamento.
- A selecção da “ferramenta de software” a utilizar constitui uma tarefa de alguma complexidade, não só pelas bases de dados oferecidas pela ferramenta, como também pelas características de orientação a produtos específicos das mesmas.
- A metodologia ACV apenas considera a vertente ambiental de sistemas/produtos/processos. Tendo em consideração a importância dos aspectos económicos e sociais, ou seja, da consideração da sustentabilidade em si mesma, a metodologia ACV deverá ser repensada de modo a considerar estes aspectos.

4.1 - Contributos para a definição de políticas orientadoras para a redução do impacto ambiental do PC

A temática de investigação de conceitos e orientações para o desenho ecológico dos equipamentos eléctricos e electrónicos, com especial realce neste caso para os Computadores Pessoais encontra-se muito desenvolvida, existindo uma quantidade considerável de referências bibliográficas na temática.

Em termos de actuação das entidades governamentais, assiste-se a uma tentativa de regulamentar alguns aspectos importantes dos equipamentos eléctricos e electrónicos, em termos de componentes perigosos e com impactes ambientais significativos, e de consumo de energia, como é o exemplo da introdução dos rótulos ecológicos como meio de certificação e garantia para todos os interessados – entidades governamentais, produtores, utilizadores, habitantes do planeta terra. Contudo, as exigências e limitações dos rótulos ecológicos apenas constituem tentativas incrementais de solução de impactes nos equipamentos, estando longe ainda do conceito de produtos ecológicos no verdadeiro sentido da palavra.

Por outro lado, reconhece-se a importância das “Tecnologias de informação e comunicação” no contexto do desenvolvimento económico e social da sociedade, sendo considerado, apesar de posições contrárias, como um veículo para o desenvolvimento da sociedade e do bem estar humano.

Os movimentos relacionados com o “desenho para o ambiente” (DfE), “desenho para a reciclagem” (DfR) e “desenho para a desmontagem” (DfD) representam um passo crucial para a

caracterização de desenho ecológico dos equipamentos eléctricos e electrónicos, e em especial para o Computador Pessoal.

A reciclagem considera em si facilidade de desmontagem, minimização de tipos de junções, identificação completa de materiais, minimização de materiais simples e compostos, projecto modular de componentes, e sobretudo, venda de serviço, ao contrário de venda de produto, incrementando assim a responsabilização do produtor, factor de enorme importância.

Em termos de produtos electrónicos, reconhece-se as lacunas em termos de informação de materiais utilizados e energia dispendida na sua produção, a deficiência de materiais em termos de nocividade ambiental, e as limitações actuais em termos de necessidade cada vez maior de substâncias mais perigosas e mais difíceis de obter dos minérios terrestres, para fazer face ao desenvolvimento das componentes electrónicas.

O desenvolvimento de produtos ambientalmente mais “conscienciosos” pressupõe a adopção das seguintes estratégias:

- Exclusão de substâncias causadoras de depleção da camada de ozono, tais como metais pesados e compostos orgânicos de cloro;
- Controlo da libertação de substâncias e gases com efeito de estufa (NO_x, etc.);
- Controlo da utilização de recursos metálicos e combustíveis fósseis;
- Maior utilização de recursos florestais e outros recursos orgânicos;
- Consideração de equipamentos de fácil reparação e substituição, com períodos longos de entre reparações e manutenções, com funções “expandidas”;
- Consideração de uma fácil desmontagem de equipamentos, com circuitos de recolha adequados:
- Utilização de materiais que tornem os produtos de fácil reciclagem, com desenho considerando simplicidade de separação, desmontagem e divisão;
- Utilizar o máximo possível produtos recolhidos e reciclados;
- Minimização do recurso a incineração.

Bibliografia

AEA Technology plc, (2001).

“*Revision of the EU ecolabel criteria for computers*”,

A report produced for Department for the Environment, Food and Rural Affairs

AEAT/ENV/R/0751, rev. 1

AEA Technology, (2001).

“*The proposed criteria for Personal and Portable Computers - Second discussion paper – March 2001*”,

http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/pdf/personal_computers/draft_criteria_explanation_0103.pdf, (Acedido Nov 22 2007)

Agassi, J., (1991).

“*The Gro Brundtland Report (1987), or, The Logic of Awesome decisions*”

International Review of Sociology, Monographic On Modernization Theory: Monographic Series, 3, (Tel-Aviv University and York University, Toronto)

Aragão, M.A.S., (2004).

“*Código dos Resíduos*”,

Livraria Almedina - Coimbra,

www.almedina.net

APME, (1998).

“*Eco-profiles of the European plastics industry, Report 16: PET film production*”,

Association of Plastics Manufactureurs in Europe, Brussels

Argus, (2001).

“*European Packaging Waste Management Systems*”,

European Commission DGXI.E.3

Atlantic Consulting and Orango AB, (1999).

“*EU ecolabel for portable computers – suggested criteria*”,

Orango AB and Atlantic Consulting

Atlantic Consulting and IPU, (1998).

“*LCA Study of the Product Group Personal Computers in the EU Ecolabel Scheme, LCA Study Version 1.11*”

Ayres, R. et al., (2003)

“*Is the US Economy Dematerializing? Main Indicators and Drivers*”,

Center for the Management of Environmental Resources, INSEAD

Fontainebleau, France, January 2003

Ayres, R.U. et al., (2002),

“*The Life Cycle of Copper, its Co-Products and By-Products*”,

IIED – International Institute for Environment and Development,

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development,

MMSD - Mining, Minerals and Sustainable Development, January 2002

Bare, J.C. et al., (2000).

“*An International Workshop on Life Cycle Impact Assessment Sophistication*”

U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory, EPA/600/R-00/023,

www.epa.gov/ORD/WebPubs/600r00023.pdf (Acedido em 25 Junho 2006)

Bare, J.C., (2002).

“*Developing a Consistent Decision-Making Framework by Using the U.S. EPA's TRACI*”

Systems Analysis Branch, Sustainable Technology Division, National Risk Management, Research Laboratory, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 2002

<http://www.epa.gov/nrmrl/std/sab/traci/aiche2002paper.pdf>, (Acedido em 26 Abril 2007)

- Behrendt, S., et al., (1997).
 “*Life Cycle Design: A manual for small andmMedium-Sized Enterprises*”,
 Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, USA.
- Bengtsson, M. (2000).
 “*Weighting in Practice: Implications for the Use of Life-Cycle Assessment in Decision Making*”,
 Journal of Industrial Ecology, Vol 4, nº 4, pp.47-60.
- Bergman, R. et al., (2003).
 “*Design for Environment, Phase I, rev. final*”,
 HDP User Group International, Inc, 20 Feb 2003
<http://www.hdpug.org/> (Acedido Julho 2007)
- Bergstein, J., (2005).
 “*EPA’S Work Related to Design, Procurement & Use, and End-of-life Management of Electronics*”
 GLRPPR Summer Conference, August, 2005
- Bhander, G.S. “Raja”, (2003).
 “*Implementation of LCA in the early stages of product development*”,
 Department of Manufacturing Engineering and Management (IPL)
 Technical University of Denmark
 LCM2003 Conference, Seattle, USA, 22 – 25 September 2003
www.p2pays.org/ref/37/36273.pdf (Acedido em 25 Junho 2006)
- Bird, H., (2006).
 “*Chapter 3.5 – Design for Environment, ME 4604 – Product Design for Manufacturability*”,
 Lucent Technologies, Bell Labs Innovations
- Bjorklund, A., Finnveden, G., (s.d.)
 “*Welcome to a course in Life Cycle Assessment*”,
 Centre for Environmental Strategies Research,
 KTH Architecture and the built environment
<http://www.infra.kth.se/fms/utbildning/lca> (Acedido em 25 Junho 2006)
- Brezet, I.J.C., Bijma, I.A., Silvester, I.S., (s.d.)
 “*Innovative Electronics as an Opportunity for Eco-efficient Services*”,
 Delft University of Technology, The Netherlands
- Bruce E, Tonn, B.E., Yuracko, K.L. (1999).
 “*Life Cycle Analysis for Sustainability Decision Making: On Your Desktop in the future*”
 Oak Ridge National Laboratory
- Calder, R. (1994).
 “*Análise do Ciclo de Vida de Embalagens*”,
 Centro de Embalagem de Produtos Alimentares,
 Escola Superior de Biotecnologia, Universidade Católica Portuguesa, Lisboa.
- Carlson, M., Hartman, L., Portmess, K., Sambataro, J., (2003).
 “*Analytic Tools for Industrial Ecology*”,
 NTRES 318: Environmental Strategies, May 9, 2003
- Castro, M. e Remmerswaal, G. (s.d.),
 “*Comparison of Several Evaluation Methods for Life Cycle Analysis*”,
 Delf University of Technology, Delft, Holanda.
- Centre Catalã del Reciclatge, (2007).
 “*Design for Recycling*”,
 Junta de Residus, Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya
http://www.arc-cat.net/en/publicacions/pdf/ccr/diss_reci.pdf, (Acedido a 22 Out 2007)
- Charter, M., (s.d.)
 “*Eco-design: state of the art in Japan home appliances and electronics sector*”,

The Centre for Sustainable Design, Surrey Institute of Art & Design,
University College, UK
www.cfsd.org.uk (Acedido Setembro 2006)

Chen, P.J., (s.d.)

“*Analysis of Computer Recycling Awareness of Residents Near Education and Computer Recycling Center of Santa Clara*”,
Education and Computer Recycling Center (CRC) of Santa Clara

Coltro, L., (2007).

“*Avaliação do Ciclo de Vida como instrumento de gestão*”,
CETEA/ITAL, Campinas, Brazil, ISBN 978-85-7029-083-0

Dormann, J., Holliday, C., (2002).

“*Innovation, Technology, Sustainability and Society*”,
World Business Council for Sustainable Development,
www.wbcsd.org (Acedido 10 Dezembro de 2007)

EEA, (1997).

“*Life Cycle Assessment (LCA), a guide to approaches, experiences and information sources*”, Environmental Issues Series No. 6,
European Environment Agency, Copenhagen, Dinamarca.

EEA, (1999).

“*Environment in the European Union at the turn of the century – Environment assessment report No. 2*”,
European Environment Agency, Copenhagen, Dinamarca.

EIA, (2000).

“*Addressing end-of-life electronics through design: a compendium of Design-For-Environment efforts of EIA members*”,
Electronics Industries Alliance,
www.eia.org/download/eic/21/dfc-comp.html (Acedido em Junho 2007)

Engel, H.W., (s.d.)

“*EMAS 2000 - um instrumento dinâmico para a salvaguarda ambiental e para o desenvolvimento sustentável - Benefícios para as Empresas e Gestão Ambiental na Região Mediterrânea*”
ELABORADO E PUBLICADO COM O APOIO FINANCEIRO DA DG AMBIENTE
<http://www.europa.eu.int/comm/environment/emas> (Acedido Novembro 2006)

EPA (Environmental Protection Agency), (2001).

“*Electronics: A New Opportunity for Waste Prevention, Reuse, and Recycling*”
Solid Waste and Emergency Response,
EPA 530-F-01-006, June 2001
<http://www.epa.gov/epr> (Acedido a 12 Outubro de 2006)

EPA (Environmental Protection Agency), (1995).

“*Electronics Industry Environmental Roadmap*”,
Sponsored by the Advanced Research Projects Agency (ARPA),
the Environmental Protection Agency (EPA), and The United States Department of Energy
The Microelectronics and Computer Technology Corporation (MCC), 1st Reprint, June 1995

EPA (Environmental Protection Agency), (2004).

“*Innovations Pilot - Measuring the Environmental Benefits of Federal Electronic Equipment Management Practices*”,
Office of Solid Waste and Emergency Response, EPA 500-F-04-002
www.epa.gov/oswer/ (Acedido em Setembro 2006)

EPA (Environmental Protection Agency), (2005).

“*Solders in Electronics: A Life-Cycle Assessment Summary*”,
EPA-744-S-05-001, August 2005
<http://www.epa.gov/dfepubssolderlcaindex.htm> (Acedido em 22 Outubro 2007)

EPA (Environmental Protection Agency), (1998).

“Design for Environment, Computer Display Project – Assessing Life Cycle Impacts”,
Pollution Prevention Information Clearinghouse,
U.S. EPA - Pollution Prevention and Toxics, EPA 744-F-98-010, August 1998
<http://www.epa.gov/dfe/pubs/projects/index.htm> (Acedido Julho 2006)

EPA (Environmental Protection Agency), (1995).
“Profile of the Electronics and Computer Industry”,
US EPA Office of Compliance Sector Notebook, Office of Enforcement and Compliance Assurance. Washington, DC, EPA310-R-95-002, September 1995
<http://www.epa.gov/oeca/sector> (Acedido Junho 2007)

EPA (Environmental Protection Agency), (1995).
“Profile of the Iron and Steel Industry”
US EPA Office of Compliance Sector Notebook, Office of Enforcement and Compliance Assurance. Washington, DC, EPA/310-R-95-005, September 1995

EPA (Environmental Protection Agency), (2005).
“Profile of the Rubber and Plastics Industry 2nd Edition”
US EPA Office of Compliance Sector Notebook, Office of Enforcement and Compliance Assurance. Washington, DC, EPA/310-R-05-003, February 2005
<http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/rubber.html>

EPA (Environmental Protection Agency), (1995).
“Profile of the Stone, Clay, Glass, and Concrete Products Industry”
US EPA Office of Compliance Sector Notebook, Office of Enforcement and Compliance Assurance. Washington, DC, EPA/310-R-95-017, September 1995

EPA (Environmental Protection Agency), (1995).
“Profile of the Fabricated Metal Products Industry”
US EPA Office of Compliance Sector Notebook, Office of Enforcement and Compliance Assurance. Washington, DC, EPA/310-R-95-007, September 1995

Erkman, S., (2006).
“Analyse du Cycle de Vie – Un outil pour l’évaluation des impacts environnementaux”,
Cours Ecologie Globale, UNIL, Université de Lausanne, 2006, (Acedido a 28 Junho 2007)

Ernzer, M., Oberender, C., Birkhofer, H., (s.d.)
“Methods to support ecodesign in the product development process”,
Darmstadt University of Technology, Institute for Product Development and Machine Elements, Magdalenenstr. 4, 64289 Darmstadt, Germany
<http://csdl2.computer.org/persagen/DLabsToc.jsp?resourcePath=/dl/proceedings/&toc=comp/proceedings/ecodesign/2001/1266/00/1266toc.xml> (Acedido Outubro 2006)

Ferrão, P. (1998),
“Introdução à gestão ambiental: a avaliação do ciclo de vida de produtos”,
Coleção Ensino da Ciência e da Tecnologia, IST Press, Lisboa.

Falkman, E.G., (1995).
“Sustainable Production and Consumption – A Business perspective Waste Management International”,
Sustainable Production and Consumption Working Group
World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), 1995

Fraunhofer IZM, (2005).
“A Guide for EcoDesign Tools - 2nd Edition”,
<http://www.ecodesignarc.info/servlet/is/203/A%20Guide%20for%20EcoDesign%20Tools%202nd%20edition.pdf?command=downloadContent&filename=A%20Guide%20for%20EcoDesign%20Tools%202nd%20edition.pdf>
(Acedido Dezembro 2007)

Fiering, L., (2006).
“Best Practices in PC Life Cycle Services”,
Gartner Research, G00138551

Figueiredo, J.M., (2001)

“*Guia Técnico Sectorial – Sector do material eléctrico e electrónico*”,
Plano Nacional de Prevenção dos Resíduos Industriais (PNAPRI)
Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI)
Departamento de Materiais e Tecnologias de Produção, Setembro 2001

Five Winds International, (2000).

“*The Role of Eco-Efficiency: Global Challenges and Opportunities in the 21st Century Part 2: Industry Case Studies*”, Prepared for the Eco-efficiency Working Group, Sustainability Project,
Policy Research Initiative

Fuse, K., Oikawa, S. (2005).

“*Evaluation of Notebook and Desktop Personal computer through the EcoLeaf Type III Environmental Label*”,
Fujitsu Ltd., EcoDesign 2005 Dec. 12-14, 2005
4th International symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing
<http://www.jemai.or.jp/english/ecoleaf/outline.cfm> (acedido Agosto 2006)

Fuse, K., Oikawa, S., (2005).

“*Methodology for the Ecoleaf eco-label*”,
Fujitsu Ltd., <http://www.jemai.or.jp/english/ecoleaf/outline.cfm> (Acedido Setembro 2007)

Gable, C., Shireman, B., (2001).

“*Computer and Electronics Product Stewardship: Are We Ready for the Challenge?*”
© 2001 by Cate Gable, Axioun Books.

Gaines, L., and Stodolsky, F., (1997).

“*Life-Cycle Analysis: Uses and Pitfalls*”
Argonne National Laboratory, Transportation Technology R&D Center
Conference: Air & Waste Management Association 90th Annual Meeting & Exhibition, Date: June 8-13, 1997,
Location: Toronto, Ontario, Canada
www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/104.pdf (Acedido em 25 Junho 2006)

Gamage, G.B., (s.d.)

“*Sustainability through Risk Assessment: A Case Study of Resource Risk*”,
International Centre for Sustainability Engineering and Research,
Department of Civil and Environmental Engineering, U. of Auckland

Geibig, J.R., Socolof, M.L., (2001).

“*Cleaner Production Sixth International High-level Seminar*”,
University of Tennessee Center for Clean Products and Clean Technologies under grant # X-82931801 from EPA's
Design for the Environment Branch, Economics, Exposure, & Technology Division, Office of Pollution Prevention
and Toxics, Montreal, ISSN 0378-9993, Industry and Environment, Volume 24 No. 1-2, January – June 2001

Geibig, J.R., and Socolof, M.L. (2005).

“*Lead-Free Solders: A Life-Cycle Assessment*”,
US EPA, United States Environmental Protection Agency, 2005
www.epa.gov/dfe (Acedido a 8 Dez 2007)

Goedkoop, M., Oele, M. (PRé Consultants), (2004),

“*SimaPro 6 – Introduction to LCA with SimaPro*”, PRé Consultants, September 2004

Gutowski, T.G. et. al., (2001),

“*Environmentally Benign Manufacturing*”,
International Technology Research Institute, World Technology (WTEC) Division, April 2001
ISBN 1-883712-61-0

Hadala K., and Yamamoto R., (2001).

“*The Current Status of Research and Development on Ecomaterials around the World*”,
MRS Bulletin, p. 871-879, November, 2001.

Hunkeler, D., Rebitzer, G., (2005).

“*The Future of Life Cycle Assessment*”,
Int J LCA, 2005 - scientificjournals.com
<http://82.98.75.226/sj/lca/Pdf/aId/7632> (Acedido Julho 2006)

- Hermann, M., Kohler, N., Schloerber, D., (s.d.)
 “Comprehensive and scaleable method for LCA-cost and energy calculation”,
 Institut für Industrielle Bauproduktion - Universität Karlsruhe, Germany
www.ifib.uni-karlsruhe.de/web/ifib_dokumente/downloads/Scale.pdf (Acedido em 25 Junho 2006)
- Hershberger, C., (s.d.)
 “A review of model design-for-environment assessment tools “
 WEPSI market drivers subgroup, US EPA. Energy Star program.
 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY AND THE DEPARTMENT OF ENERGY, UNITED STATE
 FEDERAL GOVERNMENT.
<http://www.energystar.gov> (Acedido Junho 2006)
- Hilty, L.M., and Ruddy, T., (2002).
 “Resource Productivity in the Information Age , Sustainability in the Information Society” programme co-funded by
 the Council of the Swiss Federal Institutes of Technology., 2002
- Hischier, R., Wager, P., Gaughhofer, J., (2005).
 “Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss
 take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE)”
 Environmental Impact Assessment Review 25 (2005) 525– 539, @ 2005 Elsevier Inc.
www.elsevier.com/locate/eiar (Acedido Maio 2006)
- Karsten Schischke, K., Griese, H., (s.d.)
 “Is small green? Life Cycle aspects of technology trend in microelectronics and Microsystems”,
 Berlin Center of Advanced Packaging (BeCAP), Technical University of Berlin, Gustav-Meyer-Allee 25, 13355
 Berlin,
- Kemna, R., et al., (2005).
 “Eco-design of Energy-using Products - A Methodology Study – MEEuP Interim Report”
 VHK - Van Holsteijn en Kemna BV, European Commission - DG ENTR, Unit ENTR/G/3
www.eupproject.org (Acedido Janeiro 2006)
- Klöpffer, W., (s.d.)
 “Life-Cycle Based Sustainability Assessment of Product“,
 LCA Consult & Review, International Journal of Life Cycle Assessment
www.lcm2007.org/presentation/Mo_3.06-Kloepffer.pdf (Acedido em 3 Setembro 2007)
- Laitner, J.A. “Skip”, (2000).
 “The Information and Communication Technology Revolution: Can it be Good for both the Economy and the
 Climate? – Discussion draft”,
 EPA Office of Atmospheric Programs, Washington, DC,
<http://enduse.lbl.gov/Projects/ITrevolution.pdf> (Acedido a 5 Outubro 2007)
- Lefebvre, E., et al.,(s.d.)
 “Life Cycle Design Approach in SMEs”,
 École Polytechnique de Montréal, Mathematics and Industrial Engineering Department
 International Journal of Life Cycle Assessment
www.ieeexplore.ieee.org/iel5/7608/20753/00960532.pdf (Acedido em 25 Junho 2006)
- Loerincik, Y., Jolliet, O., Norris, G., (2002).
 “Comparison of the Impacts of the EPFL Computer Network Using Process and Input-Output LCA”
 Gate to EHS: Life Cycle Management – Global LCA Village, April 9th, 2002
www.scientificjournals.com/sj/lca_village/Pdf/aId/4919 (Acedido em 25 Junho 2006)
- Lu, L. et al., (2003).
 “Recycling Notebook Computers in Taiwan: A Preliminary Study”,
 Journal of the Chinese Institute of Environment Engineering, Vol13, N°4, pp 225-231, 2003
- Lymberidi, E., (2001).
 “Towards waste-free Electrical and Electronic Equipment”,
 EEB – European Environmental Bureau, March 2001
http://www.eeb.org/publication/2001/Towards_waste-free.pdf (acedido Dezembro 2007)

- Marquez, R.L.M., (2001).
 “*Análisis de Ciclo de Vida (ACV)*”,
 Centro Nacional de Produccion Más Limpia Y Tecnologías Ambientales,
 Seminário sobre las perspectivas del sector industrial en los mercados verdes; una oportunidad para la industria nacional, Medellín, 4 Dezembro 2001
<http://www.cnplm.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID15.pdf> (Acedido 9 Dez 2007)
- Marsmann, M., (2000).
 “*The ISO 14040 Family*”, Int. J. LCA 5 (6) 317 – 318
- MCC (Microelectronics and Computer Technology Corporation), (1993).
 Environmental Consciousness: A Strategic Competitiveness Issue for the Electronics and Computer Industry. Austin, TX, 1993
- McRae, G., (2004).
 “*Information Technology (IT) - Implications for Future Science at EPA*”
 MIT – Chemical Engineering, US EPA Science Advisory Board, 2004
- Meinhardt Infrastructure & Environmental Group for Environmental Austrália, (2001).
 “*Computer and Peripherals Material Project*”,
 Department of the Environment and Water Resources, Government of Australia,
 ISBN 0642547734
<http://www.environment.gov.au/settlements/publications> (Acedido a 10 Dez 2007)
- Mizuki, C. and Schuldt, G., (1998).
 “*Computer Display Industry and Technology Profile*”,
 Microelectronics and Computer” Technology Corporation (MCC),
 EPA 744-R-98-005, December 1998
- Muller, S., (2007).
 “*Componentes eletrônicos - Práticas de laboratório*”,
 Universidade Federal do Espírito Santo,
<http://www.ceunes.ufes.br> (Acedido Julho de 2007)
- Moon, S., Im, H., (2003).
 “*Survey on Green Purchasing Activities in Korea*”
 Korea Environmental Labelling Association, March 2003
- Mundada, M.N., Kumar, S., and SHEKDAR, A.V., (2003).
 “*E-waste: A new challenge for waste management in India*”,
 Solid Waste Management Division, National Environmental Engineering Research Institute (NEERI), Nehru Marg,
 Nagpur – 440 020 (INDIA), September 11, 2003
- Munasinghe, M., (2007).
 “*Tools and methods for integrated analysis and assessment of sustainable development*”,
 Munasinghe Institute for Sustainable Development, Encyclopedia of Earth,
http://www.eoearth.org/article/Tools_and_methods_for_integrated_analysis_and_assessment_of_sustainable_development (Acedido a 10 Dezembro de 2007)
- New York State Department of Environmental Conservation Pollution Prevention Unit, (1999).
 “*Environmental Compliance and Pollution Prevention Guide for the Electronics and Computer Industry*”
<http://www.dec.state.ny.us/website/ppu> (Acedido Junho 2007)
- Nordic Ecolabelling, (2007).
 “*Swanlabelled Review summary for Personal Computers - Draft to version 5.0*”,
www.ymparistomerkki.fi/files/1103/3_d_PC_Remiss_sammanstallning.pdf (Acedido 21 Nov 2007)
- Norris, G.A., Notten, P., (2002)
 “*Current Availability of LCI Databases in the World*”,
<http://www.sylvatica.com/unepsumm.htm> (Acedido em Setembro 2007)
- NSC (National Safety Council), (1999).

- “*Electronic Product Recovery and Recycling Baseline Report: Recycling of Selected Electronic Products in the United States*”, Washington, D.C. May, 1999
- O’Brien & Company, (2001).
 “*An Overview of “Eco-Labels” and Product Certifications for Computers, Monitors, and Printers*”,
 O’Brien & Company for Seattle Public Utilities (SPU), September 2001
- Orango A.B. and Atlantic Consulting, (1999).
 “*EU Eco-Label for Portable Computers-Suggested Criteria, Version 1.12*”,
 Göteborg, Sweden. May 19, 1999.
- Partidário, M.R., (2006).
 “*Termos de Referência e Metodologia para Avaliação Ambiental Estratégica*”,
 Observatório do QCAIII - Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, IST, Abril de 2006
http://www.qren.pt/store/files/Tdr_AAE.pdf (Acedido a 16 Jan 2007)
- Plepys, A.; Schischke, K., (2004).
 “*Beyond the walls of semiconductor fabs - energy intensity of high grade chemical manufacturing*”,
 Electronics Goes Green 2004+, Berlin, September 6-8, 2004 (in preparation)
- Plepys, A., (2002).
 “*The grey side of ICT, Environmental Impact Assessment Review*”,
 The International Institute of Industrial Environmental Economics,
 Lund University, Sweden
 Elsevier Science Inc, www.elsevier.com/locate/eiar (Acedido a 15 Setembro 2007)
- Plepys, A., (s.d.)
 “*Information and Communication Technologies’ role in productivity changes, Rebound effect and sustainable consumption*”,
 The International Institute of Industrial Environmental Economics, Lund University, Sweden
[www.iiiee.lu.se/Publication.nsf/\\$webAll/16FFDD9BC5CCFB67C1256C60003DD2FB/\\$FILE/andrius.pdf](http://www.iiiee.lu.se/Publication.nsf/$webAll/16FFDD9BC5CCFB67C1256C60003DD2FB/$FILE/andrius.pdf) (Acedido a 6 Outubro 2007)
- Scholl, G., Baumann, W., Muth, A., (1997).
 “*European Ecolabel for Batteries for Consumer Goods Final Summary Report*”
 (Ecological Economics Research Institute), Heidelberg (FRG), July 1997
- Sinha-Khetriwal, D., Kraeuchi, P., Schwaninger, M., (2005).
 “*A comparison of electronic waste recycling in Switzerland and in India*”,
 Environmental Impact Assessment Review 25 (2005) 492– 504, © 2005 Elsevier Inc.
www.elsevier.com/locate/eiar (Acedido Março 2006)
- Stutz, M., (2005).
 “*Supporting eco-design requirements for EuP: EPIC-ICT*”,
 Motorola General Business Use, EPIC-ICT DoW, 21 Fev. 2005
- SVTC, (2007).
 “*Eco-labeling Comparison – Desktop Computers*”,
<http://svtc.igc.org/cleancc/greendesign/ecodesktop.htm> (Acedido Nov 2007)
- Tukker, A., (1999)
 “*Life Cycle assessment as a tool in environmental impact assessment*”,
 Environmental Impact Assessment Review, Elsevier
www.elsevier.com/locate/eiar
- Thurston, D.L., (1994).
 “*Environmental Design Trade-offs*”, Journal of Engineering Design, Vol. 5, No. 1, pp. 25 - 36
- Unger, N., et al., (s.d.)
 “*General requirements for LCA software tools*”,
 Institute of Waste Management, BOKU – University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna,
 Austria
<http://www.iemss.org/iemss2004/pdf/infotech/ungegene.pdf> (Acedido 18 Dez 2007)

US Department of Commerce, (2006).
“*Recycling Technology Products - An Overview of E-Waste Policy Issues*”,
US Department of Commerce - Technology Administration -Office of Technology Policy, (s.d.)
<http://www.technology.gov/reports/2006/Recycling/Beg-Apendix7.pdf>(Acedido a 20 Outubro 2007)

US Green Building Council, (2006).
“*Integrating LCA into LEED Working Group B (LCA Methodology) - Interim Report #1*”,
<https://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=2240> (Acedido em 28 Junho 2007)

Warren R. Staley, W.R., (2005).
“*Building A Sustainable Global Enterprise*”,
Speech at the 20th Anniversary of the Johnson Graduate School of
Management Cornell University (15 April 2005)
www.cargill.com/news/media/040415staley.htm (Acedido a 10 Dezembro 2007)

Widmer, R. et al., (2005).
“*Global perspectives on e-waste*”,
Environmental Impact Assessment Review 25 (2005) 436– 458
www.elsevier.com/locate/eiar (Acedido Setembro 2006)

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), (s.d.)
“*Eco-efficiency Leadership for Improving Economic and Environmental Performance*”,
UNEP – Environment Programme

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), (s.d.)
“*Eco-efficiency and Cleaner Production – Charting the Course to Sustainability*”,
UNEP – Environment Programme

World Commission on Environment and Development, (1987).
“*Our Common Future (The Brundtland Report)*”, Oxford University Press, 1987

Legislação, Normas

- Decreto-Lei 239/97, de 9 de Setembro, e 230/2004, de 10 de Dezembro
- Portaria 209/2004 de 3 de Março
- Directivas 2002/96/CE de 27 de Janeiro, 2003/108/CE de 8 de Dezembro (WEEE), 75/442/CE, 91/689/CE
- Decisão da CE 2000/532/CE de 3 de Maio, 2001/118/CE de 16 de Janeiro, 2001/119/CE de 22 de Janeiro, 2001/573/CE de 23 de Julho
- ISO/DIS 14040 (1998), Environmental management – Life cycle assessment –
- Principles and framework, ISO 14000 International Standards Compendium,
- International Organization for Standardization (ISO), Genebra, Suíça.
- ISO/DIS 14041 (1998), Environmental management – Life cycle assessment – Goal
- and scope definition and inventory analysis, ISO 14000 International Standards
- Compendium, International Organization for Standardization (ISO), Genebra,
- Suíça.
- ISO 14042 (2000), Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle
- impact assessment, ISO 14000 International Standards Compendium,
- International Organization for Standardization (ISO), Genebra, Suíça.
- ISO 14043 (2000), Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle
- interpretation, ISO 14000 International Standards Compendium, International
- Organization for Standardization (ISO), Genebra, Suíça.
- ISO 14040:2006 – Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework, 2006
- ISO 14044:2006 – Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines, 2006

Anexos