

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



FEUP

Aplicação para controlo de um software de LCA através da sua COM interface

Daniel Filipe Pereira Sequeira

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Orientador: Armando Jorge Miranda de Sousa (Professor)

Co-orientador: Ana Rosanete Lourenço Reis (Professor)

28 de Junho de 2010

Aplicação para controlo de um software de LCA através da sua COM interface

Daniel Filipe Pereira Sequeira

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Rui Pedro Amaral Rodrigues (Professor Auxiliar Convidado)

Vogal Externo: Paulo Miguel Nogueira Peças (Professor Auxiliar)

Orientador: Armando Jorge Miranda de Sousa (Professor Auxiliar)

31 de Julho de 2010

Resumo

Vivemos actualmente numa “época de avaliação” onde as organizações necessitam cada vez mais de justificar o seu desempenho, sobretudo ao nível da preservação ambiental e utilização racional de recursos naturais. É neste contexto que se inserem os software de LCA (*Life Cycle Assessment*), os quais se caracterizam como ferramentas indispensáveis para integrar a metodologia de Ecodesign e facilitar a implementação do desenvolvimento sustentável de produtos nas empresas. Todas estas técnicas visam otimizar o desempenho ambiental dos produtos considerando todo o seu ciclo-de-vida. Actuando de forma contundente ainda numa fase bastante preliminar de design dos produtos.

O presente trabalho apresenta como objectivo central o desenvolvimento de uma aplicação para controlo de um software de LCA através da sua COM interface. Um dos propósitos aqui é que a aplicação desenvolvida faculte uma melhor interacção e compreensão das ferramentas de LCA, pois estas estão quase sempre associadas a um elevado grau de complexidade. Outra das finalidades inerentes a este trabalho é o estabelecimento de uma ligação entre a aplicação e um software de CAD (*Computer-Aided Design*), proporcionando dessa forma a actuação das técnicas de LCA e Ecodesign no estágio inicial de concepção dos produtos, acima mencionado.

O desenvolvimento desta aplicação é parte integrante de um projecto em que o principal objectivo passa pelo design e desenvolvimento de um produto. O papel da aplicação dentro deste projecto é executar a análise do impacto ambiental desse produto, integrando as práticas de Ecodesign e LCA. Estando assim de acordo com a directiva EuP (*Energy-using Products*) e a sua emenda, que visam obrigar as organizações a aumentarem o desempenho ambiental das suas actividades.

A aplicação desenvolvida estabelece uma ligação entre um software de CAD e LCA, promovendo a troca de dados entre os dois e considerando o ciclo-de-vida dos produtos desde o seu processo de modelagem. Posteriormente, a aplicação permite a introdução de dados relevantes, referentes à análise de ciclo-de-vida, sendo todos estes dados considerados para o cálculo do impacto ambiental dos produtos em estudo. Neste sentido, a aplicação é capaz de gerar resultados de impacto ambiental para diferentes métodos, tipos de normalização e indicadores ecológicos.

Este trabalho permite maximizar as vantagens e minimizar muitas das desvantagens associadas à utilização das ferramentas de LCA, distinguindo-se pela sua grande abrangência, interface intuitiva e capacidade para criar diversas alternativas de desenvolvimento para um mesmo produto. Ambiciona-se que os resultados deste trabalho auxiliem as organizações na integração do Ecodesign nos seus processos, expondo sempre qual a melhor alternativa para a actividade e área de negócio em que esta se insere. Alterando completamente a forma como as ferramentas de LCA são encaradas no mundo industrial e amplificando a utilização das mesmas na contemplação do ciclo-de-vida dos produtos.

Abstract

We live now in a "time of evaluation" in which organizations increasingly need to justify their performance, mainly at the level of environmental preservation and rational use of natural resources. This is the aim of LCA (Life Cycle Assessment) software's, which are characterized as indispensable tools for integrating the Ecodesign methodology and facilitate the implementation of the sustainable development of products in enterprises. All these techniques aim to optimize the environmental performance of products considering their whole life cycle. Operating in a very preliminary stage of product design.

This study presents as a central goal, the development of an application to control a LCA software through its COM interface. One of the proposes here is that the developed application provide a better interaction and understanding of LCA tools, because these are almost every time associated with a high degree of complexity. Another goal inherent to this study is the establishment of a connection between the application and a CAD (Computer-Aided Design) software, thereby providing the use of LCA and Ecodesign techniques in the initial stage of product design, as mentioned above.

The development of this application is an integral part of a project where the main goal is the design and development of a product. The role of the application within this project is to perform an environmental impact analysis of the product, integrating the practices of Ecodesign and LCA. Covering the EuP (*Energy-using Products*) directive and its amendment, that aims to compel organizations to optimize the environmental performance of their activities.

The developed application establishes a connection between a CAD and LCA software, promoting the exchange of data between these two and considering the products life-cycle since its modeling process. Subsequently, the application allows the input of relevant data, concerning to the life-cycle analysis, being all of these data considered to calculate the environmental impact of the analyzed products. In this context, the application is able to generate environmental impact results for different methods, normalization types and ecological indicators.

This work allows to maximize the advantages and minimize many of the disadvantages associated with the LCA tools utilization, distinguished by its large scope, user-friendly interface and ability to create various development alternatives for the same product. The results of this work aspire to help the organizations in the integration of Ecodesign in their processes, always showing the best alternative for the activity and business area where each organization operates. Completely changing the way LCA tools are seen in the industrialized world and amplifying their utilization in contemplation of products life-cycle.

Agradecimentos

Nada disto teria sido possível sem a cooperação de cada um dos elementos que constituem a equipa do projecto GreenBender.

Agradeço ao Eng. João Paulo Pereira por me ter elegido e acreditado que eu seria a pessoa certa para o desenvolvimento deste trabalho. À Eng.^a Marta Oliveira, uma das pessoas com maior capacidade de trabalho que conheci até à data, pela extraordinária gestão deste projecto e o seu incansável apoio e empenho na resolução de todos os problemas que surgiram. Agradeço também à Eng.^a Mariana Azevedo pelo auxílio prestado em relação à parte de engenharia mecânica intrínseca ao trabalho realizado. À Eng.^a Ana Reis pela orientação prestada dentro do INEGI e ao Hugo, meu companheiro ao longo de todo este processo, pela cooperação e ajuda concedida, mas essencialmente por todas as gargalhadas que partilhamos nos momentos de maior stress.

Quero agradecer ao meu orientador, Professor Armando Jorge Sousa, todo o apoio científico primordial para o sucesso deste trabalho, bem como o interesse que sempre mostrou durante a execução do mesmo. Agradeço-lhe também por toda a paciência e compreensão a que eu o obriguei e pela forma como me guiou e orientou em cada etapa desta Dissertação.

Agradeço aos meus pais e à minha irmã pelo seu amor e apoio incondicional que tanto os caracteriza. Mas sobretudo pela sua total compreensão da importância deste trabalho e por todo o espaço e serenidade que me disponibilizam durante a sua execução.

Termino agradecendo à Isabel, a minha principal motivação para cada um dos passos que fui tomando durante a minha formação académica. Por ser um exemplo de dedicação e perseverança nas tarefas que há a cumprir. Por acreditar sempre em mim e nas minhas capacidades. Por ser o meu apoio constante e o suporte da minha vida.

Daniel Filipe Pereira Sequeira

Conteúdo

1	Introdução.....	1
1.1	Contexto/Enquadramento	1
1.2	Projecto	2
1.3	Motivação e Objectivos	3
1.4	Contribuições Científicas	5
1.5	Estrutura da Dissertação	6
2	Revisão Bibliográfica	7
2.1	Ecodesign	7
2.1.1	Ecodesign na Indústria	7
2.2	LCA.....	9
2.2.1	Metodologias LCA.....	9
2.2.2	Metodologias Simplificadas vs LCA Completo	13
2.2.3	LCA Completo.....	13
2.3	CAD	15
2.3.1	CAD & LCA	16
2.4	Regulamentação.....	17
2.5	Conclusões	18
3	Problemática.....	19
3.1	Análise	19
3.1.1	Legislação	19
3.1.2	Implementação do Ecodesign	20
3.1.2.1	Dificuldades	21
3.1.3	Ferramentas LCA.....	22
3.1.3.1	Vantagens.....	23
3.1.3.2	Desvantagens/Dificuldades	24
3.2	Perspectiva de Solução.....	24
3.2.1	Controlo do software de LCA.....	24
3.2.2	Optimização do Ciclo-de-Vida	25
3.2.3	Ligação CAD & LCA	25
3.2.4	Bases de Dados LCA	26
3.2.5	<i>Stand-alone</i> vs. <i>Plugin</i>	27
4	Implementação	29
4.1	Definição do Projecto	29
4.2	Levantamento de Requisitos	30
4.2.1	Requisitos Funcionais	30
4.2.2	Requisitos Não-funcionais	33
4.3	Arquitectura	33
4.3.1	Diagrama de Classes UML	34
4.3.2	Estrutura da Base de Dados	36

4.4	Escolha de Ferramentas	38
4.4.1	SolidWorks	38
4.4.2	SimaPro.....	39
4.4.3	Microsoft Visual Studio 2010	40
4.5	Tecnologias Utilizadas.....	40
4.5.1	Framework .NET	40
4.5.2	C#.....	41
4.5.3	Microsoft SQL Server Compact	42
4.6	Detalhes de Implementação	42
4.6.1	COM interface	42
4.6.2	Principais Funcionalidades Implementadas	45
4.6.2.1	Árvore do Produto.....	45
4.6.2.2	Cálculos LCA.....	47
4.6.3	Validação dos Resultados	49
4.6.3.1	Caso de Estudo – Pórtico de Auto-estrada	49
4.6.3.2	Resultados	50
4.7	Interface com o Utilizador	52
4.7.1	Página Inicial	52
4.7.1.1	Carregar Produto	53
4.7.2	Módulo de Materiais	55
4.7.2.1	Editar Material	55
4.7.3	Módulo de Processos de Fabrico	56
4.7.3.1	Adicionar Processo.....	57
4.7.3.2	Editar Processo.....	58
4.7.4	Módulo de Transportes	59
4.7.4.1	Adicionar Transporte	59
4.7.4.2	Editar Transporte.....	61
4.7.5	Módulo de Embalamentos	62
4.7.5.1	Adicionar Embalamento.....	63
4.7.6	Módulo de Bases de Dados.....	64
4.7.6.1	Listagem de Registos	65
4.7.6.2	Adicionar Registo.....	66
4.7.6.3	Editar Registo.....	68
4.7.7	Módulo de Resultados.....	69
4.7.7.1	Cálculo e Apresentação de Resultados.....	70
4.8	Testes Usabilidade	71
5	Conclusões e Trabalho Futuro	73
5.1	Satisfação dos Objectivos	74
5.2	Trabalho Futuro	74
	Referências.....	73
A	Acesso à SW2SP Main Application	79
B	Exemplos de Código Implementado	81
B.1	Construção da Árvore do Produto	81
B.2	Cálculo dos Resultados LCA.....	82

Índice de Ilustrações

Ilustração 1: Aplicação baseada na metodologia ECODESIGN Toolbox.....	11
Ilustração 2: Aplicação baseada na metodologia Eco-PaS	12
Ilustração 3: Interface do SimaPro	14
Ilustração 4: Arquitectura da COM interface (API do SimaPro)	15
Ilustração 5: <i>Add-in</i> SustainabilityXpress (SolidWorks).....	16
Ilustração 6: Aplicação ecologiCAD.....	17
Ilustração 7: “Ecodesign Wheel” [BH97]	21
Ilustração 8: Fases do processo de LCA.....	23
Ilustração 9: Arquitectura da aplicação (“Main Application”) <i>stand-alone</i>	27
Ilustração 10: Arquitectura do projecto.....	34
Ilustração 11: Diagrama de classes UML.....	35
Ilustração 12: Estrutura da base de dados local ligada à aplicação	37
Ilustração 13: Estrutura da base de dados local dos ficheiros “.sdf”	37
Ilustração 14: Código exemplo para estabelecer sessão com a COM interface	43
Ilustração 15: Código exemplo para obter todos os materiais.....	44
Ilustração 16: Método definido para obter as unidades dos processos.....	45
Ilustração 17: Decomposição do nome dos componentes	46
Ilustração 18: Representação do algoritmo de construção da árvore do produto	47
Ilustração 19: Função definida para obter todos os métodos de cálculo	48
Ilustração 20: Material da abraçadeira inferior definido na SW2SP Main Application.....	51
Ilustração 21: Processos da abraçadeira inferior definido na SW2SP Main Application....	51
Ilustração 22: Resultados gerados na SW2SP Main Application.....	52
Ilustração 23: Resultados gerados no SimaPro.....	52
Ilustração 24: SW2SP Main Application – Página Inicial.....	53
Ilustração 25: Página Inicial – Carregar Produto.....	54
Ilustração 26: Página Inicial – Visualização da Árvore do Produto.....	54
Ilustração 27: Módulo de Materiais.....	55
Ilustração 28: Módulo de Materiais – Editar Material.....	56
Ilustração 29: Módulo de Processos	57
Ilustração 30: Módulo de Processos – Adicionar Processo	58
Ilustração 31: Módulo de Processos – Editar Processo	58
Ilustração 32: Módulo de Transportes	59
Ilustração 33: Módulo de Transportes – Adicionar Transporte (1)	60
Ilustração 34: Módulo de Transportes – Adicionar Transporte (2)	60
Ilustração 35: Módulo de Transportes – Editar Transporte (1)	61

Ilustração 36: Módulo de Transportes – Editar Transporte (2)	62
Ilustração 37: Módulo de Embalamentos	63
Ilustração 38: Módulo de Embalamentos – Adicionar Embalamento	64
Ilustração 39: Módulo de Bases de Dados.....	65
Ilustração 40: Módulo de Bases de Dados – Listagem de Registos	66
Ilustração 41: Módulo de Bases de Dados – Seleccionar Registo (utilizando o filtro)	67
Ilustração 42: Módulo de Bases de Dados – Adicionar Registo	67
Ilustração 43: Módulo de Bases de Dados – Adicionar Registo (operação bem sucedida). 68	
Ilustração 44: Módulo de Bases de Dados – Editar Registo.....	69
Ilustração 45: Módulo de Resultados	69
Ilustração 46: Módulo de Resultados – Apresentação de Resultados (1).....	70
Ilustração 47: Módulo de Resultados – Apresentação de Resultados (2).....	71
Ilustração 48: Módulo de Resultados – Apresentação de Resultados (3).....	71
Ilustração 49: Executar a SW2SP Main Application.....	79
Ilustração 50: Código implementado que constrói a árvore do produto.....	81
Ilustração 51: Peçaço do código que calcula os resultados LCA	82

Lista de Tabelas

Tabela 1: Tipos de Processo “ProcessType”	44
Tabela 2: Tipos de Indicadores de Resultados	48
Tabela 3: Dados de Inventário da abraçadeira inferior (caso de estudo).....	50
Tabela 4: Correspondência dos Dados Inventário/Base de Dados Local	50

Abreviaturas e Símbolos

API	Application Programming Interface
CAD	Computer-Aided Design
CATIA	Computer Aided Three-dimensional Interactive Application
CLR	Common Language Runtime
CPU	Central Processing Unit
CSS	Cascading Style Sheets
EuP	Energy-using Products
GUI	Graphical User Interface
HTML	HyperText Markup Language
IDE	Integrated Development Environment
IPP	Integrated Product Policy
LCA	Life Cycle Assessment
LCI	Life Cycle Inventory
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
LCC	Life Cycle Cost
MTBR	Mean Time Between Repair
SW2SP	SolidWorks to SimaPro
UML	Unified Modeling Language
XHTML	Extensible Hypertext Markup Language
XML	Extensible Markup Language

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contexto/Enquadramento

A crescente preocupação com as questões ambientais deve ter lugar quer a nível particular quer a nível empresarial, de forma a considerar o impacto de todas as actividades sobre o ambiente. Neste sentido, a indústria tem sofrido muitas pressões ao longo dos últimos anos, principalmente sob a forma de directivas, visando a melhoria do desempenho ambiental das suas actividades e a redução do impacto ambiental dos seus produtos e serviços. Neste sentido, a indústria deverá apostar na concepção de produtos ambientalmente mais “amigáveis”, através da substituição dos materiais e os processos industriais actuais por outros menos nocivos ao ambiente, e considerando na fase de concepção todo o ciclo-de-vida dos produtos.

Neste contexto, a metodologia Ecodesign é essencial para que se consiga atenuar o impacto ambiental dos produtos durante todo o seu ciclo-de-vida. O objectivo principal do Ecodesign é projectar produtos e processos que reduzam o uso de recursos não renováveis ou minimizem o seu impacto ambiental. O Ecodesign é uma ferramenta necessária para atingir o desenvolvimento sustentável, uma vez que promove a utilização otimizada de recursos para preservar o meio ambiente, atendendo às necessidades humanas, de forma a que possam ser satisfeitas não só no presente, mas também para as gerações futuras, de acordo com o definido pelas Nações Unidas [UN87]. No entanto, a metodologia Ecodesign ainda se encontra pouco implementada nas empresas, sobretudo devido a dificuldades inerentes à aplicação da mesma e que tornam urgente o desenvolvimento de novas técnicas que facilitem a sua implementação.

Na avaliação do ciclo-de-vida dos produtos, essencial para uma aplicação correcta da metodologia de Ecodesign, é imperativo recorrer à técnica de *Life Cycle Assessment* (LCA). Esta técnica permite quantificar e avaliar o impacto ambiental de um determinado produto ou serviço causado ou decorrente da sua existência. No entanto, o carácter abrangente desta técnica torna a sua aplicação completa bastante complexa e minuciosa, por obrigar ao inventário e análise de todas as fases do ciclo-de-vida do produto, nomeadamente a produção de matérias-primas, o fabrico, a distribuição, a utilização e a sua disposição no fim-de-vida. Actualmente, mesmo recorrendo a software específico de LCA, o utilizador é obrigado a um trabalho exaustivo e manual de recolha e estruturação de grandes quantidades de dados.

Neste enquadramento, o trabalho aqui apresentado descreve o processo de desenvolvimento de uma aplicação com vista a contornar os problemas inerentes à utilização dos software de LCA, oferecendo uma interface mais intuitiva e amigável ao utilizador. As principais funções desta aplicação serão a recolha e estruturação de dados relativos a todas as

fases do ciclo-de-vida de um produto complexo, o envio desses dados para o software de LCA, a recolha dos resultados da análise e a sua apresentação clara ao utilizador. As características físicas do produto, sobretudo associadas ao inventário das fases de pré-produção e fabrico do produto, deverão ser extraídas de um sistema de CAD (*Computer-Aided Design*). A selecção de materiais e processos a associar como dados do produto deverá ser efectuada a partir de bases de dados de formato normalizado, garantindo a sua compatibilidade com o software de LCA.

O desenvolvimento desta aplicação insere-se no âmbito do projecto GreenBender, levado a cabo dentro da Unidade de Inovação e Transferência de Tecnologia (ITT) do Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (INEGI) por uma equipa multidisciplinar, constituída por oito elementos, com formações em diferentes áreas.

O INEGI é uma Instituição de interface entre a Universidade e a Indústria vocacionada para a realização de actividade de Inovação e Transferência de Tecnologia orientada para o tecido industrial. Nasceu em 1986 no seio do Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (DEMEGI) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Mantém ainda hoje essa ligação insubstituível ao DEMEGI, que constitui uma das principais fontes de conhecimento e competências científicas e tecnológicas. Ao longo dos seus 20 anos de existência desenvolveu e consolidou uma posição de parceiro da indústria em projectos de I&D, sendo que presentemente cerca de 60% da sua actividade resulta de projectos com empresas. Com a figura jurídica de Associação Privada sem Fins Lucrativos e com o estatuto de “Utilidade Pública”, assume-se como um agente activo no desenvolvimento do tecido industrial Português e na transformação do modelo competitivo da indústria nacional. A missão do INEGI é contribuir para o aumento da competitividade da indústria nacional através da investigação e desenvolvimento, demonstração, transferência de tecnologia e formação nas áreas de concepção e projecto, materiais, produção, energia, manutenção, gestão industrial e ambiente. Sempre com a visão de ser uma Instituição de referência, a nível nacional, e um elemento relevante do Sistema Científico e Tecnológico Europeu, com mérito e excelência na Inovação de base Tecnológica e Transferência de Conhecimento e Tecnologia. Sendo que em relação à política de qualidade o seu objectivo é promover a melhoria contínua do desempenho da Organização na concretização dos seus objectivos estratégicos e operacionais, procurando permanentemente elevar o nível de satisfação de todas as partes interessadas, e assumindo o Sistema de Gestão da Qualidade como um instrumento essencial a esse desiderato.

Com a elaboração e respectivo sucesso deste trabalho, a implementação da metodologia de Ecodesign e, em particular, das ferramentas de LCA por parte das empresas será significativamente facilitada. Outras vantagens e desenvolvimentos paralelos permitidos pela aplicação desenvolvida serão devidamente referidos ao longo deste relatório.

1.2 Projecto

Como referido na secção anterior, todo o trabalho desenvolvido durante o período da Dissertação e descrito neste relatório faz parte do projecto GreenBender.

Este projecto de Investigação e Desenvolvimento (I&D), promovido pelo consórcio ADIRA/INEGI, enquadra-se na modalidade de investigação industrial e desenvolvimento experimental, conducentes à criação de novos produtos.

A ADIRA é um dos fabricantes europeus de referência no domínio das máquinas ferramentas para o trabalho de chapa metálica. Este projecto visa a concepção e desenvolvimento de uma nova máquina-ferramenta, do tipo quinadora, com integração plena de práticas de Ecodesign. A estratégia subjacente ao projecto assenta na diferenciação do produto final, desenvolvido com base na metodologia de Ecodesign, e numa estratégia de antecipação face a medidas reguladoras, como a directiva EuP (*Energy-using Products*) (2005/32/EC) e sua emenda (2008/28/EC), onde este tipo de máquinas foram recentemente classificadas como prioritárias no cumprimento das medidas objecto da directiva Eco Design.

Este é denotado como um projecto multidisciplinar, inserindo-se nas áreas da Engenharia Industrial e Gestão, da Engenharia Mecânica, da Engenharia Informática e do Design Industrial.

Cada uma destas áreas apresenta um papel preponderante dentro do projecto, sendo que o sucesso do mesmo depende em muito da correcta integração de práticas e também de conceitos a elas subjacentes.

Os resultados obtidos neste projecto irão permitir à ADIRA reforçar a sua política de Inovação e “Branding” aumentando a sua notoriedade a nível europeu e internacional.

1.3 Motivação e Objectivos

A motivação principal para a realização deste trabalho resulta da importância crescente da metodologia de Ecodesign e das técnicas de LCA (*Life Cycle Assessment*). De facto, as técnicas de LCA apresentam várias vertentes, sendo estas as metodologias de *Life Cycle Inventory* (LCI), *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) e *Life Cycle Cost* (LCC) que representam uma parte muito importante da investigação e dos procedimentos realizados na área do Ecodesign.

O facto de até à data não existir nenhuma aplicação comercial que combine as aplicações de CAD (*Computer-Aided Design*) e LCA no contexto do desenvolvimento de produtos foi outra motivação relevante. Os *papers* mais recentes, referidos no capítulo seguinte, abordam esta questão do ponto de vista metodológico e prospectivo sem no entanto apresentar nenhuma solução prática que contemple um software de LCA. Neste trabalho o problema foi analisado como parte integrante de um contexto mais alargado da implementação da metodologia de Ecodesign, incluindo a construção e normalização de novas bases de dados a partir das bases de dados LCA de inventário disponíveis (nomeadamente a EcoInvent). Apesar da análise LCC não ter sido implementada neste trabalho, a base de dados já contempla a definição dos custos associados aos materiais e processos utilizados de modo a possibilitar uma posterior análise de custos dos produtos (LCC), para além da análise do impacto ambiental dos mesmos. Considerando também *assemblies* e *subassemblies* como partes constituintes dos produtos em análise, bem como a importação para a aplicação de todos os dados provenientes do software de CAD relativos aos modelos dos produtos. E ainda a contemplação de diferentes cenários para os mesmos produtos e comparação desses cenários em termos do seu impacto ambiental. Foi também estudado, tendo em conta a experiência adquirida durante o desenvolvimento de produtos pelos profissionais da área, quais os indicadores para o cálculo do impacto ambiental que fornecem os resultados mais precisos e preponderantes para o cenário das máquinas-ferramenta. Estes resultados depois de obtidos necessitam de ser devidamente formatados, de forma a serem correctamente interpretados não só pelos utilizadores finais da aplicação desenvolvida, mas também por todas as partes interessadas.

O aumento do interesse mundial em relação às questões ambientais, directamente ligado à crescente preocupação com a poluição resultante de todas as nossas actividades, que prejudicam gravemente o equilíbrio e a “saúde” do nosso planeta, constituiu outra motivação evidente deste trabalho. Estas apreensões devem-se sobretudo à ocorrência cada vez mais frequente de catástrofes naturais, um pouco por todo o mundo e que têm um impacto enorme não só a nível social, mas também económico. A desmesurada mediatização de todas estas catástrofes naturais, bem como outros problemas já bem conhecidos por toda a sociedade mundial, como o desaparecimento da camada de ozono, o aquecimento global, o derretimento dos glaciares, as alterações climáticas, a subida do nível do mar, etc. têm trazido constantemente este tema à discussão, através de conferências, programas de televisão, etc. Resultando também em diversos livros e filmes que se concentram sobre esta problemática e que de uma forma geral alertam para o trágico futuro que nos está reservado, caso não comecemos de uma vez por todas a alterar os nossos hábitos para que estes não tenham um impacto tão negativo sobre o ambiente, ou pelo menos não tão negativo como têm vindo a apresentar até este momento.

Outra das motivações para a realização deste trabalho deveu-se à complexidade do projecto em si, não só por neste momento não existir no mercado uma solução que contemple a combinação das funcionalidades a que a implementação desta aplicação se propõe, mas também pela necessidade da existência de um estudo prévio e exaustivo sobre a área onde este projecto se insere. Alastrando-se para além da Engenharia Informática, para a correcta integração e

utilização da parte informática no mesmo, é imperativo a plena compreensão de todo o processo de desenvolvimento de produtos, bem como da semântica intrínseca a todas as actividades que o constituem. Neste contexto torna-se também crucial a familiarização com a COM interface (API - *Application Programming Interface*) do software de LCA, incluindo a total compreensão de como esta se encontra estruturada, de modo a que se apreenda qual a melhor forma para a implementação das funcionalidades pretendidas e da extracção da informação relevante para o cenário em questão.

Subsiste também a natural motivação que resulta do desenvolvimento de novas aplicações e da resolução dos vários problemas com que nos vamos deparando durante o seu desenvolvimento. Para além da enorme motivação que advém da participação em grandes projectos que compreendem grandes equipas de investigação científica, onde a utilidade dos resultados provenientes dos mesmos são facilmente identificados e rapidamente aplicáveis. No caso em questão, a aplicação dos mesmos será feita a curto ou médio prazo em problemas socialmente e economicamente relevantes, envolvendo todo o impacto ambiental inerente ao desenvolvimento de produtos.

O principal objectivo deste trabalho, como já foi referido anteriormente, consiste no desenvolvimento de uma aplicação para controlo de um software de LCA através da sua COM interface, sendo que COM interface neste contexto se refere à ligação com a API do software de LCA. Como ferramentas para a execução deste projecto foram seleccionadas o SolidWorks como software de CAD para a modelagem dos produtos e o SimaPro como software de LCA para a avaliação do impacto ambiental dos produtos previamente modelados no CAD.

Os objectivos específicos deste trabalho são os seguintes:

- Introdução à metodologia de Ecodesign e aos sistemas LCA;
- Estudo dos problemas específicos à integração da metodologia Ecodesign nas empresas, assim como a utilização para o efeito das ferramentas de LCA;
- Estudo do domínio da técnica de LCA, nas suas variadas vertentes, incluindo o inventário (LCI) e os custos (LCC) associados ao ciclo-de-vida, mas com particular ênfase na avaliação do impacto do ciclo-de-vida (LCIA) e na sua respectiva interpretação;
- Introdução ao software SimaPro e à sua COM interface;
- Pesquisa sobre projectos envolvendo API de software de LCA, nomeadamente envolvendo a API do SimaPro;
- Levantamento de requisitos;
- Definição de linguagens que permitam a utilização da API do SimaPro e a sua coordenação com a API do SolidWorks;
- Especificação da arquitectura da aplicação e das ferramentas de programação utilizar;
- Aquisição de conhecimento sobre as ferramentas a utilizar no projecto;
- Desenvolvimento da aplicação e respectiva interface com o utilizador (GUI - *Graphical User Interface*);
- Estabelecimento da ligação com a COM interface (API) do SimaPro de modo a se conseguir “controlá-lo”;
- Criação de uma base de dados local, partilhada entre a aplicação e o SolidWorks, contendo dados relativos aos materiais e processos utilizados no desenvolvimento dos produtos, copiados da base de dados LCA de inventário EcoInvent, garantindo assim a compatibilidade dos mesmos com o SimaPro;

- Ordenação do processamento de todos os dados relativos ao ciclo-de-vida dos produtos em análise e recolha dos respectivos resultados fornecidos pelo SimaPro;
- Apresentação dos resultados do LCA de forma clara e intuitiva;
- Adaptar a inserção dos dados na aplicação ao caso específico da quinadora considerada no contexto do projecto GreenBender.

Para além destes objectivos específicos, este trabalho também tem como objectivo demonstrar a validade dos resultados obtidos para diferentes cenários de análise do ciclo-de-vida dos produtos recorrendo à aplicação desenvolvida, através da comparação directa com a obtenção de resultados para os mesmos cenários, mas recorrendo à utilização directa do SimaPro. Esta comparação poderá também ser abrangida a projectos desenvolvidos em universidades ou noutros institutos de investigação de qualidade internacionalmente reconhecida.

1.4 Contribuições Científicas

Em termos das contribuições científicas desta Dissertação, elas são facilmente identificadas, prendendo-se sobretudo com o aumento da produtividade do INEGI ao nível do desenvolvimento sustentável de produtos.

Hoje em dia, em termos da avaliação do impacto ambiental dos produtos, os colaboradores do INEGI sempre que precisam de modelar um novo produto, em primeiro lugar têm de efectuar toda a modelagem desse mesmo produto no software de CAD (*Computer-Aided Design*), ao mesmo tempo que elaboram um inventário completo com todos os materiais e processos utilizados na sua concepção. Só depois do produto se encontrar completamente modelado e o inventário com os materiais e processos de todas as partes que o constituem feito, é que estes efectuem a avaliação do seu impacto ambiental. Para isso recorrem ao software de LCA (*Life Cycle Assessment*), onde têm de introduzir uma a uma, todas os componentes que compõem o produto em questão, enquanto verificam no inventário previamente elaborado os materiais e processos associados a cada um desses componentes, tendo que procurar no software de LCA os materiais e processos que correspondem aqueles presentes no inventário. Quando terminam a introdução de todos os componentes do produto e de cada um dos materiais e processos das mesmas, é que podem ordenar o processamento desses dados ao software de LCA e por fim verificar os resultados relativos ao impacto ambiental do ciclo-de-vida do produto desenvolvido.

Como facilmente se pode aferir, este é um processo bastante exaustivo, tanto ao nível do esforço que exige como ao nível do tempo que consome. Podendo no entanto se tornar ainda pior no caso dos resultados do impacto ambiental do produto não serem os ambicionados. Neste cenário será necessário voltar a recorrer ao software de CAD, proceder às alterações pretendidas no modelo, alterar o inventário de acordo com as modificações efectuadas no CAD e por fim recorrer de novo ao software de LCA para editar os dados previamente inseridos, fazendo-os corresponder aos novos dados.

O trabalho desenvolvido nesta Dissertação irá fornecer ao INEGI uma solução mais clara e bastante mais rápida de suporte ao desenvolvimento sustentável de produtos, integrando o software de CAD onde é modelado o produto com o software de LCA onde é efectuada a análise do impacto ambiental do seu ciclo-de-vida. Permitindo desta forma a poupança de grandes quantidades de tempo, deixando por exemplo de ser necessária a elaboração do inventário descrito anteriormente, bem como a inserção dos dados provenientes do CAD no software de LCA. Com a nova solução proposta nesta Dissertação esses dados serão automaticamente transmitidos entre o CAD e o software de LCA. Este trabalho irá assim contribuir para o aumento da produtividade do INEGI e consequente redução de custos, alterando de forma significativa a metodologia inerente ao desenvolvimento de produtos levado a cabo até à data pela empresa.

1.5 Estrutura da Dissertação

Esta Dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos dos quais, o primeiro é composto por esta introdução.

No segundo capítulo é descrito um estudo exaustivo do estado da arte relativo à metodologia de Ecodesign e às ferramentas de LCA (*Life Cycle Assessment*), sendo apresentados vários estudos e trabalhos realizados nesta área, identificando claramente os problemas que daí advêm e que demandam solução. Neste capítulo também é realizado um estudo sobre a regulamentação (ISO) que impera sobre os procedimentos aplicados nesta área.

O terceiro capítulo analisa com maior detalhe o problema a resolver, enunciando as principais dificuldades intrínsecas ao mesmo. Apresentando depois uma descrição teórica e sem detalhes da implementação da solução para o problema em questão e de como contornar cada uma das dificuldades declaradas.

O capítulo quatro diz respeito à exposição da implementação das soluções preconizadas no terceiro capítulo. Neste capítulo são enumerados e descritos os principais detalhes de implementação de baixo-nível, indispensáveis à compreensão do trabalho desenvolvido. Assim como o levantamento de requisitos, arquitectura proposta, estrutura das bases de dados, ferramentas e tecnologias utilizadas, validação dos resultados, testes de usabilidade e interfaces da aplicação desenvolvida.

O quinto e último capítulo apresenta as conclusões gerais deste trabalho, analisa o seu estado actual relativamente ao cumprimento dos objectivos propostos e propõe algumas perspectivas de desenvolvimento e outros aspectos a considerar em termos de trabalho futuro.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

2.1 Ecodesign

O Ecodesign ou “design for the environment” como também é conhecido, é a incorporação sistemática de considerações sobre o ciclo-de-vida de produtos ou serviços com o seu processo de design, de modo a reduzir o impacto ambiental dos mesmos. Este conceito não deve ser no entanto confundido com outros conceitos ecológicos, como: produtos verdes, tecnologia ambiental, design de tecnologia limpa ou mesmo *Life Cycle Assessment* (LCA). LCA é uma técnica utilizada para analisar todos os efeitos ambientais do ciclo-de-vida de um produto e apesar de esta poder ser usada no processo de Ecodesign, não é, ela própria, um processo de design.

A inclusão da metodologia de Ecodesign no processo de design dos produtos significa que o impacto ambiental irá influenciar as decisões que serão tomadas e consequentemente as direcções que serão seguidas relativamente a esse processo. Deste modo o impacto ambiental irá ter a mesma importância de outros valores industriais mais tradicionais, tais como: qualidade, funcionalidade, estética, ergonomia e imagem.

2.1.1 Ecodesign na Indústria

Este termo tem vindo a ganhar força nos últimos anos, tornando-se cada vez mais comum no sector industrial, principalmente nas indústrias ligadas ao fabrico de produtos que consomem energia. Podendo parecer estranho que conceitos como o de Ecodesign se possam desenvolver e conquistar a sua posição, muito menos no meio industrial, onde os lucros vêm sempre em primeiro lugar e o impacto ambiental é algo que simplesmente não é tido em consideração, a verdade é que isso tem-se vindo mesmo a verificar.

O que levou ao afastamento do Ecodesign de toda a incompatibilidade que muitas vezes se encontra associada com estes movimentos ecológicos em relação à sua implementação nas empresas, levando-os quase sempre a serem ignorados, foram as pressões que têm vindo a ser exercidas sobre as indústrias nos últimos anos, de forma a estas melhorarem o desempenho ambiental das suas actividades e limitarem o impacto ambiental dos seus produtos. Essas pressões resultam de várias políticas e regulamentos relacionados com o rendimento ambiental dos produtos. De entre todas estas normas destaca-se a directiva EuP (*Energy-using Products*),

adoptada em 2005 e que fomentou claramente todo o movimento relacionado com o Ecodesign através da imposição de requisitos para os produtos com grande consumo de energia.

A directiva de Ecodesign para produtos que consomem energia, ou directiva EuP como ficou conhecida, estabeleceu uma estrutura em que os fabricantes destes produtos são obrigados, durante as fases de design dos mesmos, a reduzir o seu consumo de energia e outros possíveis impactos ambientais negativos que possam ocorrer durante o seu ciclo-de-vida. Esta directiva também prevê a introdução de medidas de implementação para esses produtos, onde cada uma destas medidas é precedida de estudos preparatórios e uma avaliação do impacto ambiental levada a cabo por uma equipa de peritos independentes. Porém, esta legislação não foi a única razão para o crescente interesse das organizações empresariais em questões ambientais. Hoje em dia todas estas inovações ambientais encontram-se associadas e são movidas por uma mistura de estímulos internos e externos, de entre os quais se destacam: vantagem competitiva, avanço tecnológico, pressões exercidas pelos clientes, aumento da qualidade dos produtos, potenciais nichos de mercado e oportunidades de inovação. Resultando em que um grande número de empresas reconheçam, nos dias que correm, a sua responsabilidade em reduzir a sua carga ambiental e tornar os seus produtos mais ecológicos. Neste sentido as grandes empresas sentem mais pressão do que as pequenas e médias empresas, uma vez que estas se encontram sob o olhar atento dos media e mais vulneráveis às críticas de agentes externos. No entanto, de um ponto de vista ambiental, seria desejável que as pequenas e médias empresas adoptassem práticas ambientais. Isto porque e apesar das pequenas empresas pensarem que o seu impacto ambiental é insignificante quando comparado com as grandes empresas, colectivamente o seu impacto pode ser muito significativo.

Não obstante o crescente número de exemplos de aplicações de Ecodesign nas empresas e do desenvolvimento exponencial de ferramentas e técnicas utilizadas pelas equipas de investigação, tendo em conta alguns estudos recentes e contacto directo com as empresas, pode-se concluir que o Ecodesign ainda não se encontra completamente integrado nas empresas, em particular nos departamentos responsáveis pelo desenvolvimento de produtos.

A escassa aplicação da metodologia de Ecodesign nas empresas deve-se a dificuldades de integração da mesma, as quais surgem por diversas razões. Como a falta de empenho das administrações em promoverem o seu posicionamento ambiental em termos de imagem de marca, comunicação sobre a política ambiental da empresa, compromisso para alcançar normas ambientais reconhecidas e suporte a acções de formação ambiental. Aqui a cooperação e comunicação entre os diferentes departamentos da empresa é uma função vital no processo de design de novos produtos, especialmente com as mudanças que advêm da implementação de Ecodesign, sendo que o envolvimento das administrações torna-se essencial para a gestão e mediação destas relações.

O Ecodesign carece de novas técnicas e ferramentas para a sua correcta implementação no mundo industrial, que estão para além do conhecimento dos profissionais da área de desenvolvimento de produtos. Por outro lado os engenheiros responsáveis pelo design dos produtos, profissionais de elevadas competências, reagem com suspeição a possíveis alterações nos processos em que se encontram envolvidos, não só por estas comprometerem as soluções que se encontram implementadas para a resolução de problemas e que foram válidas durante muitos anos, mas também porque estas são as utilizadas por toda a concorrência.

Corroborando os obstáculos referidos em cima, existem alguns estudos [Bok06] que identificam uma série de factores intangíveis de origem sociológica, psicológica e emocional, como o fosso entre proponentes e executores, complexidades organizacionais e falta de cooperação, que a investigação nesta área deve ter em consideração como forma de melhor integrar as questões ecológicas com as práticas industriais.

Tendo em consideração o que foi exposto, verifica-se nitidamente a necessidade do desenvolvimento de metodologias e *frameworks* que possam levar à integração bem sucedida e sustentada do Ecodesign nos processos do negócio em geral e no processo de desenvolvimento de produtos em particular.

2.2 LCA

O Ecodesign requer a aplicação de métodos de avaliação do impacto ambiental e ferramentas que auxiliem a orientar o aperfeiçoamento ambiental dos produtos. É neste contexto que é estabelecida a ligação entre Ecodesign e LCA (*Life Cycle Assessment*), que é considerada a técnica de referência para a avaliação ambiental. É a ferramenta mais eficiente para este propósito, sendo aquela que permite a análise ambiental mais avançada possível, pois avalia todos os efeitos ambientais associados a um produto durante o seu ciclo-de-vida, como já foi referido anteriormente. Esta técnica analisa a contribuição de cada uma das fases do ciclo-de-vida de um produto para depois poder efectuar o cálculo da sua carga ambiental total, estas fases referem-se a todos os aspectos directamente ou indirectamente associados a um produto, como:

- Extracção;
- Transporte;
- Utilização;
- Manutenção;
- Reciclagem;
- Reutilização;
- Descarte.

Para efectuar todos os cálculos essenciais a uma correcta aplicação de LCA é necessário recorrer a ferramentas (software) desenvolvidas para o efeito. No entanto as ferramentas de LCA de que dispomos hoje em dia apresentam custos bastante significantes, sobretudo ao nível do tempo e esforço que consomem. Estas são ferramentas muito complexas, que necessitam de elevados níveis de formação e treino, entrada manual de grandes quantidades de dados e a análise dos resultados que estas disponibilizam não é nada intuitiva. Por estas razões a aplicação de LCA requer técnicas e habilidades especiais que dificultam a sua utilização nas empresas, principalmente em pequenas e médias empresas que pela natureza da sua estrutura têm dificuldade em integrar e implementar as mesmas.

2.2.1 Metodologias LCA

Nos últimos anos tem havido uma tendência para o desenvolvimento de métodos simplificados de LCA (*Life Cycle Assessment*), de modo a se contornarem as dificuldades aqui expostas, este tem sido um dos temas centrais para a investigação neste campo. Estas são metodologias com o objectivo de fornecer sugestões e dar respostas rápidas nas fases iniciais do design. Entre elas estão as metodologias: ECODESIGN Toolbox [HRW07] e Eco-PaS [DDASV02].

ECODESIGN Toolbox

A metodologia ECODESIGN Toolbox resultou de um projecto desenvolvido na Universidade Tecnológica de Viena, por três elementos de um grupo de investigação denominado de “ECODESIGN Research Group: Hurber Maria, Pamminer Rainer e Wimmer Wolfgang”.

O projecto consistiu na análise de três produtos bem diferentes, que oferecessem uma grande variedade em termos de funcionalidade, complexidade, aspectos ambientais, público-

alvo, etc. de modo a abranger a aplicação da metodologia a uma vasta gama de produtos e indústrias. Os três produtos investigados durante a realização deste projecto foram: um gravador digital de voz, um analisador de movimento de tacadas de golfe e uma máquina de modelagens por injeção. Cada um destes produtos foi sujeito a uma série de questões durante a investigação, focando-se estas na sua concepção e possível impacto ambiental associado a cada um deles.

Quanto à fase do projecto relativa à implementação da metodologia ECODESIGN Toolbox em concreto, esta combina duas abordagens diferentes, quanto aos requisitos ambientais e quanto aos requisitos das chamadas partes interessadas (clientes e mercado), de modo a se alcançar o conceito de produto verde. Neste sentido esta metodologia encontra-se estruturada em seis passos:

1. Descrição do produto;
2. Análise do produto;
3. Análise das partes interessadas (clientes e mercado);
4. Análise do processo;
5. Melhoramento do produto e processo;
6. Conceito de produto verde.

Estes seis passos têm como objectivo efectuar uma análise minuciosa dos produtos, abrangendo diferentes requisitos que estes devem cumprir, de modo a irem sendo melhorados e consequentemente o seu impacto ambiental reduzido. Os resultados deste projecto mostraram que o design dos produtos tem uma grande influência sobre o impacto ambiental dos mesmos ao longo do seu ciclo-de-vida e que esses impactos são determinados durante a fase de desenvolvimento.

No fim do projecto conclui-se que o melhoramento sistemático do produto com o auxílio da ECODESIGN Toolbox leva a um melhor desempenho do produto em termos de qualidade, custos de produção e impacto ambiental.

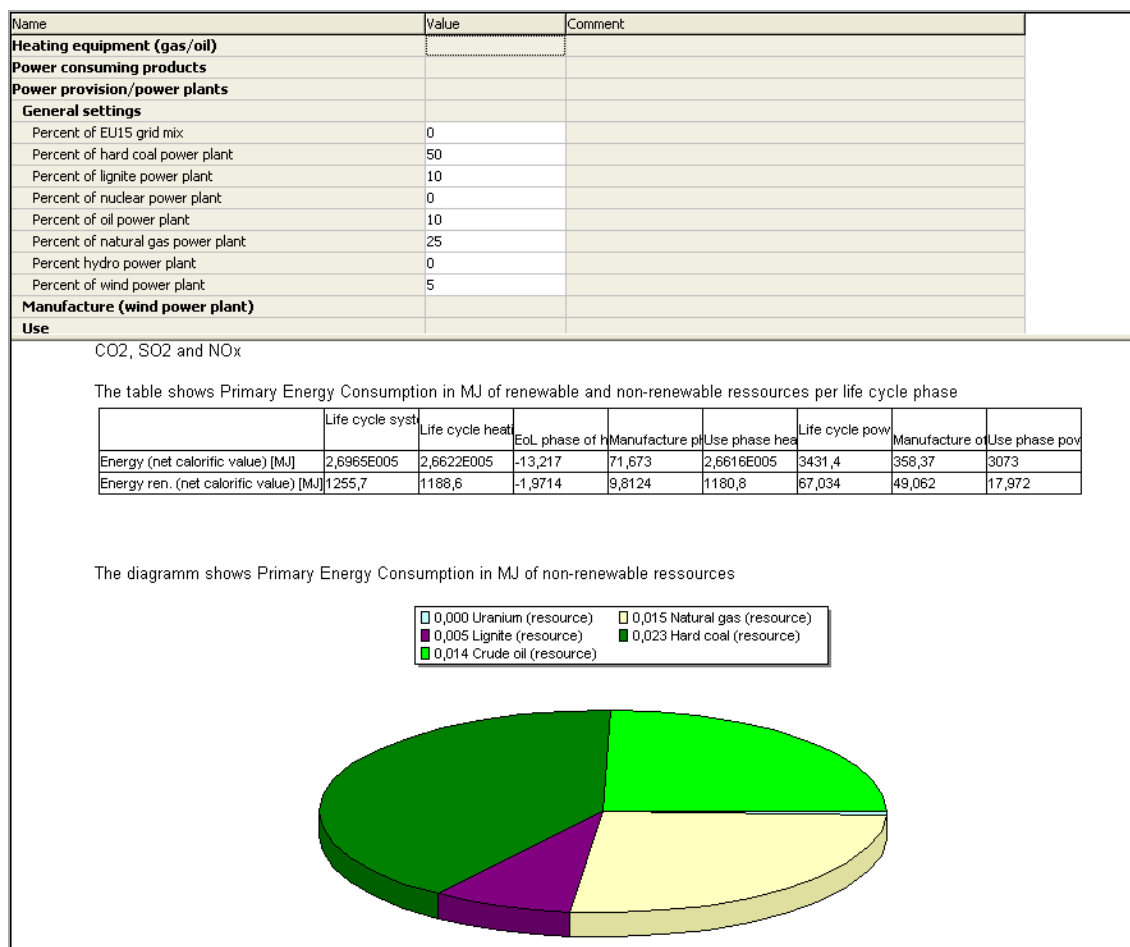


Ilustração 1: Aplicação baseada na metodologia ECODESIGN Toolbox

Eco-PaS

Quanto à metodologia Eco-PaS (*Eco-efficiency Parametric Screening*) esta foi desenvolvida por cinco elementos do Departamento de Engenharia Mecânica da *Katholieke Universiteit Leuven* na Bélgica, sendo eles: Joost Duflou, Wim Dewulf, Farid Al-Bender, Paul Sas e Christoph Vermeiren.

Esta metodologia é baseada num sistema que contém o conhecimento básico de uma gama de alternativas de design para diferentes subsistemas. Estes são colocados à disposição do designer como blocos funcionais. Com base nos requisitos funcionais especificados pelo designer, são determinadas especificações técnicas adequadas, que vão permitir uma comparação imediata entre diferentes alternativas de design para cada bloco funcional.

Nesse sentido a metodologia Eco-PaS é baseada nos seguintes princípios:

- A máquina é geralmente concebida como uma combinação inovadora de soluções padrão com funções elementares. Por exemplo, a função elementar "iluminação" é cumprida por uma selecção fora das soluções padrão do "sistema de iluminação";
- O sistema requer a entrada de descrições funcionais e restrições (parâmetros funcionais) em vez de parâmetros técnicos;
- O sistema retorna os seus resultados em termos de indicadores de desempenho de ecoeficiência quantificados, mesmo durante a fase conceptual;

- O sistema utiliza uma abordagem convergente: todas as soluções são consideradas viáveis a menos que o contrário seja provado;

Esta é também constituída por cinco módulos:

1. Um módulo de selecção preliminar para a pré-selecção de princípios de solução viáveis;
2. Um módulo de selecção métrica para seleccionar uma métrica apropriada para o desempenho ao nível da ecoeficiência.
3. Um módulo de dimensionamento para a estimativa paramétrica de parâmetros técnicos;
4. Um módulo de avaliação do desempenho paramétrico ao nível da ecoeficiência;
5. Um módulo de apresentação e documentação.

O Eco-PaS permite estimar o impacto ambiental das soluções técnicas com base em parâmetros funcionais disponíveis na fase inicial do processo de design. Conceitos de design, descrito como blocos funcionais que estão sujeitos a requisitos funcionais, são traduzidos em parâmetros técnicos. Estes parâmetros técnicos são, por sua vez, utilizados para avaliar a ecoeficiência da solução. A principal vantagem desta metodologia é de apenas necessitar da entrada de dados referente aos requisitos funcionais do produto, em vez de todos os parâmetros técnicos necessários nas aplicações típicas de LCA (*Life Cycle Assessment*). No entanto, para aumentar a aceitabilidade e utilidade desta metodologia, a aplicação de estatísticas e análises de sensibilidade é crucial.

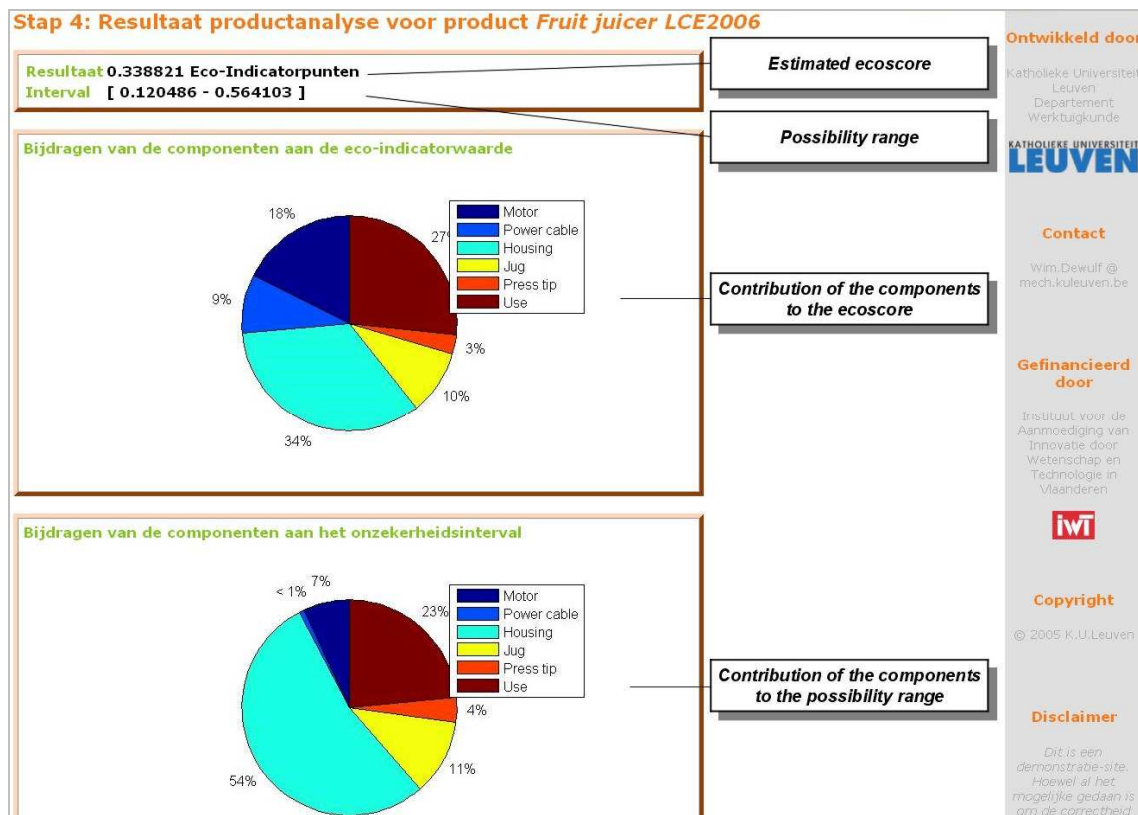


Ilustração 2: Aplicação baseada na metodologia Eco-PaS

2.2.2 Metodologias Simplificadas vs LCA Completo

Apesar das vantagens e benefícios que podem advir da utilização das metodologias simplificadas, referidas em cima, estão não são compatíveis com as normas ISO, o que resulta em que os utilizadores continuem a dar preferência à implementação típica e completa de LCA (*Life Cycle Assessment*), que embora seja muito mais complexa e custosa, os resultados obtidos da sua utilização são os mais precisos e fidedignos.

Um estudo foi realizado neste contexto por Hochschorner e Finnveden [HF03], o qual consistiu na comparação de duas metodologias simplificadas de LCA e na avaliação dos seus resultados com uma análise de LCA completa. Na conclusão deste estudo os autores chamam a atenção para a dificuldade de comparação dos resultados, que em muitos casos são apenas qualitativos, quando gerados por metodologias simplificadas.

Todas estas investigações e estudos realizados demonstraram que a criação de metodologias simplificadas de LCA não é o caminho a seguir quando o objectivo que se pretende alcançar é o de uma avaliação precisa e completa do impacto ambiental dos produtos, sobretudo quando a complexidade desses produtos aumenta, a utilização destas metodologias simplificadas pode introduzir erros significativos. Todos os produtos têm as suas particularidades, o que faz com que uns sejam mais complexos do que outros, resultando em que a avaliação do impacto ambiental para cada um deles também não seja a mesma. Estes factores antecipam a necessidade da existência de ferramentas e metodologias dedicadas para uma gama de produtos específica, mantendo no entanto um elevado grau de complexidade, de forma a evitar possíveis erros e impulsionado pela competição entre as empresas que se tornarão mais activas no que diz respeito aos aspectos ambientais. Deste modo os designers terão de criar e otimizar as suas técnicas no que concerne às ferramentas de LCA, principalmente LCA completo, suportado por essas ferramentas optimizadas.

2.2.3 LCA Completo

Quando se pensa em realizar uma análise LCA (*Life Cycle Assessment*) completa, pensa-se quase sempre em recorrer ao software SimaPro.

O SimaPro é o software de LCA mais utilizado no mundo, encontrando-se bem afastado da concorrência. Este oferece uma enorme flexibilidade, modelagem parametrizada, análise de resultados interactivos e tem uma grande base de dados incluída.

Apesar de o SimaPro ser uma ferramenta de LCA bastante versátil, por vezes é preciso mais do que uma ferramenta autónoma. Por exemplo, se o objectivo é analisar uma grande quantidade de dados automaticamente seria bastante útil integrar o SimaPro com o software onde esses dados são gerados ou se encontram armazenados.

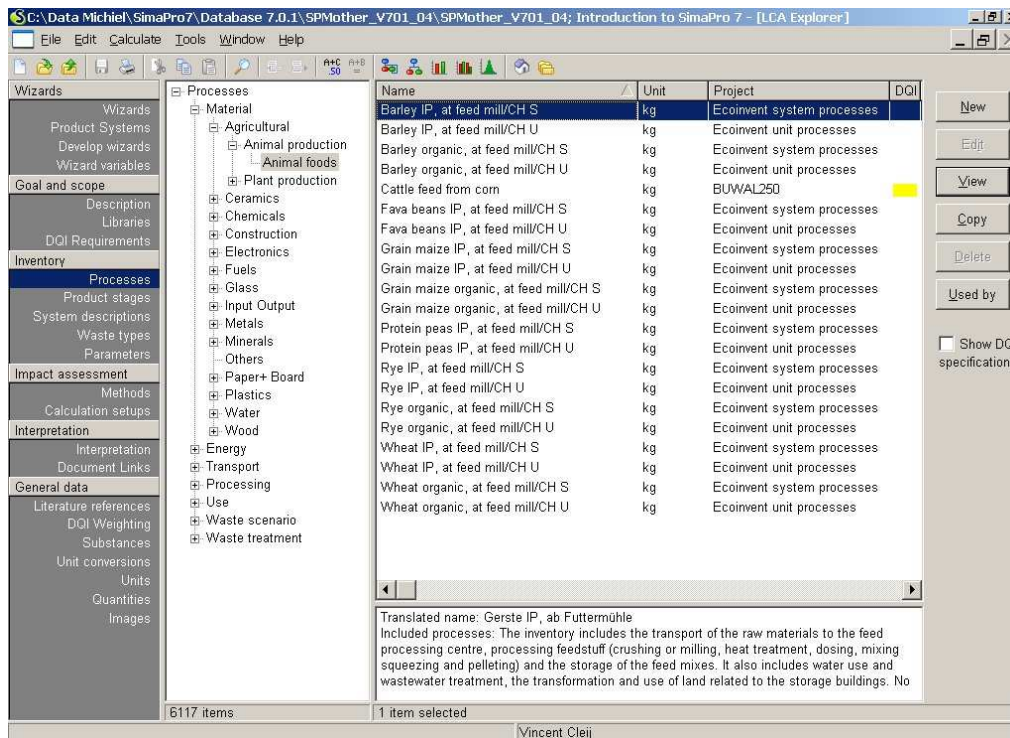


Ilustração 3: Interface do SimaPro

A versão *Developer* do SimaPro disponibiliza uma COM interface, ou seja, uma API (*Application Programming Interface*). Isto permite ao utilizador controlar o SimaPro através de várias aplicações e linguagens como:

- Excel, Word (VBA)
- NET
- Delphi
- C++
- PHP
- Visual Basic

Quanto às aplicações práticas deste tipo de utilização do SimaPro estas podem ser:

- Ligação a um sistema ERP;
- Análise de uma lista de materiais de outra ferramenta de software, tais como sistemas CAD (*Computer-Aided Design*);
- Exportação de dados para Excel;
- Criação de projectos a partir de folhas de cálculo Excel;
- Criação de um site com os resultados gerados pelo SimaPro;
- Criação de um site onde os utilizadores podem inserir dados em processos do SimaPro.

No que diz respeito à arquitectura deste tipo de interacção, cada utilizador na aplicação ou linguagem que este se encontra a utilizar, possui o seu próprio *workspace* dentro do SimaPro. Esse *workspace* contém uma base de dados aberta, um projecto e os resultados do último cálculo de LCA. A comunicação entre o SimaPro e a aplicação do utilizador é gerida pela COM interface, a qual recebe os pedidos do utilizador, redirecciona-os para o SimaPro, este efectua as operações necessárias, recorrendo à base de dados se for necessário, retornando os resultados das mesmas para a COM interface que por fim as envia para a aplicação do utilizador.

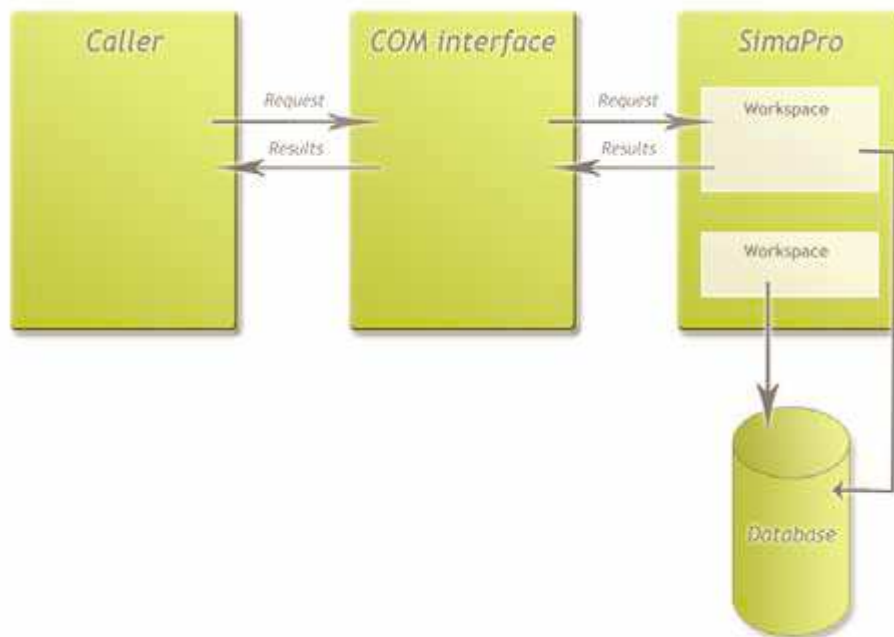


Ilustração 4: Arquitectura da COM interface (API do SimaPro)

2.3 CAD

Outro dos aspectos associados ao processo de design e desenvolvimento de um produto são as ferramentas de CAD (*Computer-Aided Design*). Estas ferramentas permitem a criação de modelos digitais dos produtos que serão desenvolvidos, modelos estes onde se encontra armazenada informação relevante para a compilação do *Life Cycle Inventory* (LCI) de um produto, especialmente quando estamos a lidar com produtos complexos com milhares de componentes. Neste sentido seria de esperar a existência de uma forte ligação entre os sistemas de CAD e as ferramentas de LCA (*Life Cycle Assessment*), o qual, no entanto, ainda não foi alcançado.

Investigações recentes, apontam para a existência de um *add-in* para o software de CAD SolidWorks 2009, denominado de SustainabilityXpress, que executa uma avaliação ambiental muito simples de cada uma das peças que compõem o produto, porém o SustainabilityXpress é incapaz de processar montagens e ignora a maior parte dos processos que constituem o ciclo-de-vida de um produto [SX09].

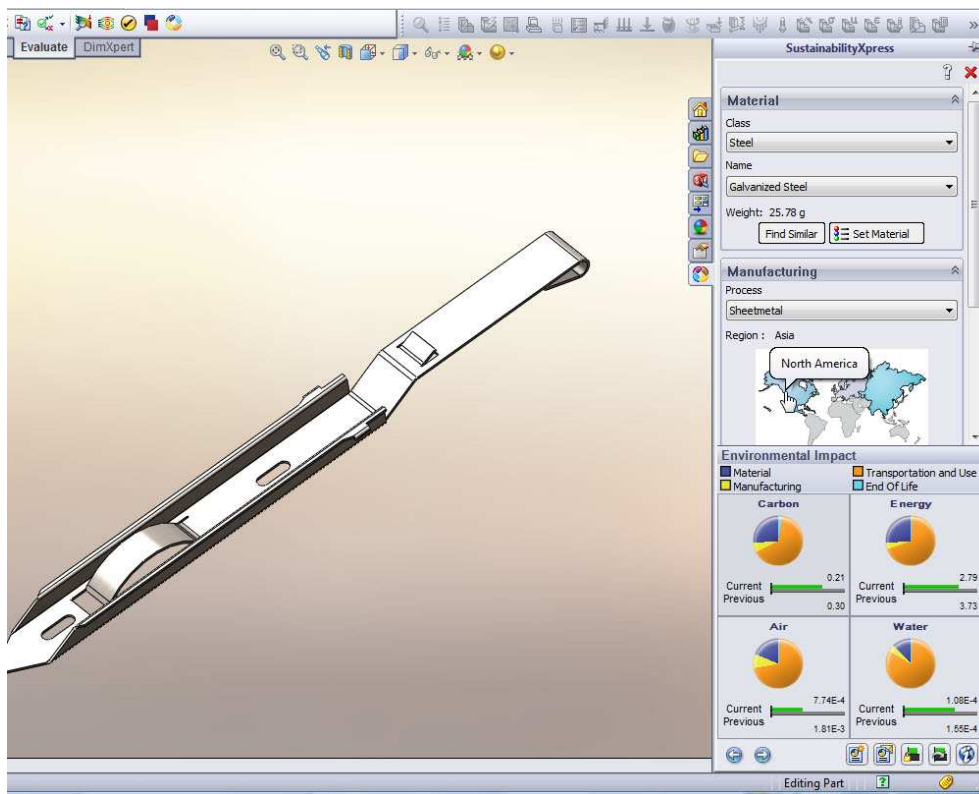


Ilustração 5: Add-in SustainabilityXpress (SolidWorks)

2.3.1 CAD & LCA

Apesar da escassez de soluções a este nível, existem várias referências e estudos que contemplam esta questão, destacando a necessidade de desenvolver soluções que integrem CAD (*Computer-Aided Design*) e LCA (*Life Cycle Assessment*). Uma integração bem sucedida entre estas duas ferramentas pode fazer com que alguns dos obstáculos relativos à utilização de LCA sejam contornados, por exemplo no que diz respeito à entrada manual dos dados, o que por ser lado pode conduzir a uma diminuição significativa das dificuldades de integração da metodologia de Ecodesign no sector industrial.

Alguns dos estudos efectuados nesta área como os documentados em [CDP06] e em [MA07] propõem apenas a implementação de uma metodologia, sendo que em outros casos como o de [OKMG03] há uma tentativa de validar a *framework* proposta. Porém em todos estes casos, são utilizadas ferramentas simplificadas para a avaliação do impacto ambiental e o uso de ferramentas de LCA completo não são preconizadas. Outro caso de estudo realizado por [MDFA07] focalizou-se nas dificuldades existentes da transferência de dados entre as ferramentas de software de CAD e LCA, concluindo que muitos dos dados que têm de ser introduzidos no software de LCA, não são fornecidos pelo modelo digital do produto, devendo estes ser disponibilizados pela base de dados do próprio software de LCA. Apesar de este estudo propor uma directriz para a transferência de dados entre estas duas ferramentas, este também refere a necessidade do desenvolvimento de uma ferramenta de rede capaz de transferir automaticamente os dados entre o software de CAD e de LCA. O que vai obrigar a que as comunidades de CAD e LCA cheguem a um acordo relativamente ao formato dos dados a serem transferidos e a melhorarem as suas ferramentas de software de forma a permitirem essa transferência de dados. Houve também quem fosse mais longe na sua investigação, como aconteceu com Leibrecht [Lei05], que desenvolveu mesmo uma aplicação, denominada de ecologiCAD, que utiliza a informação de um sistema de CAD, sincronizando-a com uma base de dados onde se encontra armazenada informação relevante acerca do produto e dos seus

processos. A aplicação também acedia a uma base de dados ecológica, de modo a avaliar o impacto ambiental do ciclo-de-vida do produto.

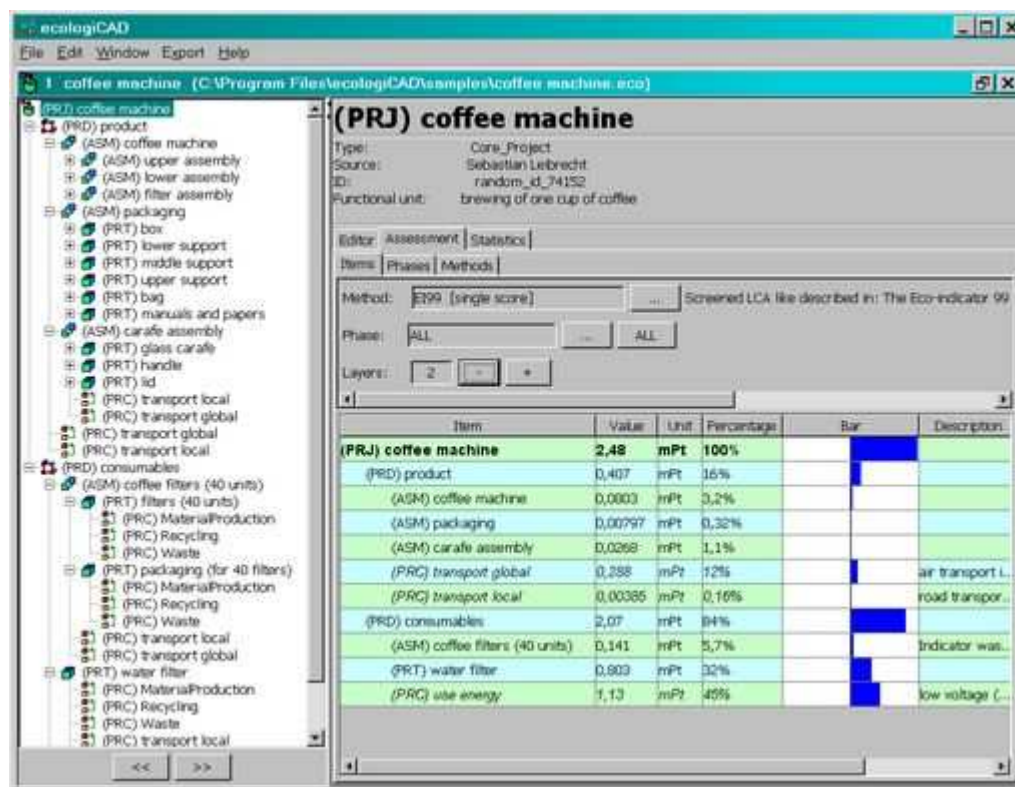


Ilustração 6: Aplicação ecologiCAD

É neste contexto que surge a necessidade da realização do projecto inerente a esta Dissertação, ou seja, o desenvolvimento de uma aplicação para o controlo de um software de LCA. De modo a reduzir as desvantagens enumeradas em relação à aplicação de um LCA completo e as dificuldades de comunicação entre este e um sistema de CAD.

2.4 Regulamentação

Em termos da regulamentação associada aos procedimentos e métodos utilizados nesta área, inerente aos conceitos de Ecodesign e LCA (*Life Cycle Assessment*), estes encontram-se definidos pelas Normas Europeias EN ISO 14040:2006 e EN ISO 14044:2006.

A Norma ISO 14040:2006, *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and Framework*, fornece uma visão clara da prática, aplicações e limitações de LCA a um vasto leque de potenciais utilizadores e outras partes interessadas, incluindo também aqueles com pouco conhecimento em LCA.

Quanto à Norma ISO 14044:2006, *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*, esta foi projectada para a preparação, condução e revisão crítica da análise de LCI (*Life Cycle Inventory*). Esta Norma Internacional também fornece orientação sobre a fase de avaliação do impacto de LCA e na interpretação dos resultados do mesmo, bem como na natureza e qualidade dos dados recolhidos.

O aparecimento destas normas veio facilitar o processo de avaliação dos impactos que um produto tem sobre o ambiente durante todo o seu ciclo-de-vida, encorajando desse modo o uso eficiente de recursos e a diminuição do passivo.

Como afirmou Melanie Raimbault [Rai06], secretária do subcomité ISO que desenvolveu estas normas “The development of the International Standards for life cycle assessment is an

important step to consolidate procedures and methods of LCA. Their contribution is crucial to the general acceptance of LCA by all stakeholders and by the international community.”, o aparecimento das mesmas foi determinante para a aprovação e consenso da terminologia de LCA, assim como de todos os procedimentos e métodos que dela resultam, entre a comunidade científica espalhada por todo o mundo.

2.5 Conclusões

Depois de realizado o estado da arte associado ao tema em questão, pode-se concluir que ao nível das soluções de software existem várias dificuldades e obstáculos no que diz respeito à correcta aplicação da metodologia de Ecodesign nas empresas, sendo essas dificuldades acrescidas com a obrigatoriedade da utilização das ferramentas de LCA (*Life Cycle Assessment*).

Apesar de existirem muitos estudos nesta área, a maior parte deles apenas aborda soluções teóricas para o problema aqui enunciado, através de sugestões e criação de metodologias para facilitar a implementação das técnicas de Ecodesign e LCA. No entanto a nível prático nota-se uma escassez de soluções, principalmente devido às complicações que daí resultam.

Para o trabalho que se pretende desenvolver importante perceber quais os dados mais relevantes para se efectuar a análise do impacto ambiental ao longo do ciclo-de-vida dos produtos, de modo a não nos perdermos no meio de todos os dados que um software de LCA comporta, neste caso particular o SimaPro. Depois de todos esses dados relevantes levantados, é importante perceber o formato mais adequado para a troca dos mesmos entre o SimaPro e outras aplicações, incluindo os sistemas de CAD (*Computer-Aided Design*), oferecendo o maior índice de compatibilidade possível, facilitando o seu tratamento e operações sobre os mesmos. Para este efeito é crucial se perceber como é que a COM interface (*API - Application Programming Interface*) do SimaPro funciona, as possibilidades que esta oferece e dentro dessas possibilidades apurar aquela ou aquelas que serão as mais adequadas para o caso específico das máquinas-ferramenta, a partir dos modelos digitais das mesmas que são desenvolvidos nos sistemas de CAD.

Capítulo 3

Problemática

3.1 Análise

O mundo empresarial tem vindo a ser obrigado a uma elevada modificação dos seus procedimentos ao longo dos últimos anos, tentando sempre se adaptar às constantes mudanças das necessidades da nossa sociedade e à exponencial evolução dos meios tecnológicos. Nunca deixando no entanto de procurar forma de se tornar cada vez mais eficiente, ou seja, produzir mais e melhor, com menos custos.

Estas alterações na indústria podem resultar de diversos factores: sociais, económicos, culturais, políticos, tecnológicos e no caso da problemática abordada nesta Dissertação, factores ambientais. Estes factores ambientais que tendem a influenciar a indústria, para se tornarem efectivos, têm obrigatoriamente que estar associados a algum tipo de legislação. Apesar de neste caso a legislação não dever ser vista como o único fundamento para a modificação dos processos industriais para processos mais ecológicos, o cumprimento da mesma não deixa de ser uma exigência, servindo como motor para a adopção de actividades de Ecodesign.

3.1.1 Legislação

Em termos de legislação ambiental identifica-se claramente a política IPP (*Integrated Product Policy*), que em português significa Política Integrada de Produto e também a directiva EuP (*Energy-using Products*), já referida no capítulo anterior.

Quanto à política IPP esta visa minimizar a degradação ambiental causada pelos produtos, quer esta ocorra no seu fabrico, utilização ou fim-de-vida. Deste modo devem ser observadas cada uma das fases que compõem o ciclo-de-vida dos produtos, agindo-se sobre a fase onde a minimização da degradação ambiental for mais efectiva. Esta política tem como intuito tentar estimular cada uma das partes que constituem as fases individuais do desenvolvimento do produto de forma a melhorar o seu desempenho ambiental. No entanto com a existência de tantos produtos e diferentes actores nestas situações, é impossível existir uma medida política que satisfaça todas elas. Em vez disso a IPP propõe toda uma variedade de ferramentas, tanto voluntárias como obrigatórias, que podem ser usadas para atingir o objectivo da minimização do impacto ambiental dos produtos. Estas incluem medidas como instrumentos económicos, proibição de substâncias, acordos voluntários, rotulagens ambientais e directrizes para o design de produtos.

No que diz respeito à directiva EuP, directiva de Ecodesign para produtos que consomem energia, esta tem como propósito a optimização de todo o ciclo-de-vida do produto, considerando os efeitos ambientais de todas as fases do ciclo-de-vida. Esta directiva implementa a política IPP, visto que o design do produto deve ser melhorado tendo em conta todo o seu ciclo-de-vida. De uma forma geral a directiva EuP visa actuar sobre os produtos que representam um volume significativo de vendas e comércio, compreendendo um impacto ambiental considerável e que apresentam um grande potencial para serem melhorados.

Sendo esta legislação associada às práticas de Ecodesign relativamente recente, é de prever que a curto prazo novas directivas baseadas na EuP surgirão, principalmente para definir requisitos e regulamentar produtos ainda não abrangidos pela directiva EuP. O futuro passará então necessariamente pela consciencialização ambiental da indústria, não só pela imposição da legislação, mas também pela natural evolução dos sistemas tecnológicos e consequente inovação dos processos de fabrico, que tornam a produção mais eficaz, menos cara e claro, mais ecológica.

3.1.2 Implementação do Ecodesign

Dentro deste contexto de aperfeiçoamento dos processos industriais e contemplação dos aspectos ambientais, muitas empresas, um pouco por todo o mundo, já se encontram neste momento a tentar integrar a metodologia de Ecodesign nos seus processos de fabrico. Isto acontece sobretudo ao nível do desenvolvimento de produtos, considerando todas as actividades do ciclo-de-vida dos mesmos. Apesar de todos acreditarem que este será o caminho a seguir, com o objectivo de atingir o desenvolvimento sustentável de produtos, ainda existem muitas dúvidas e incertezas relativamente à forma como esta integração do Ecodesign na indústria deverá ser feita, ou qual será a melhor forma de a fazer de modo ao desempenho do produto, à saúde, à segurança e aos interesses do consumidor não saírem prejudicados [Fer05]. Por consequência, do ponto de vista das empresas, ou seja, dos fabricantes dos produtos, o importante é os seus lucros não diminuírem como resultado da implementação do Ecodesign. Sendo que só desta forma este poderá alcançar o sucesso no mundo industrial, tendo sempre em consideração tanto o lado do consumidor como o lado do fabricante, estando este dois directamente ligados. A metodologia de Ecodesign terá que encontrar a melhor forma de se balancear entre estas duas extremidades, de forma a não prejudicar quer uma ou outra.

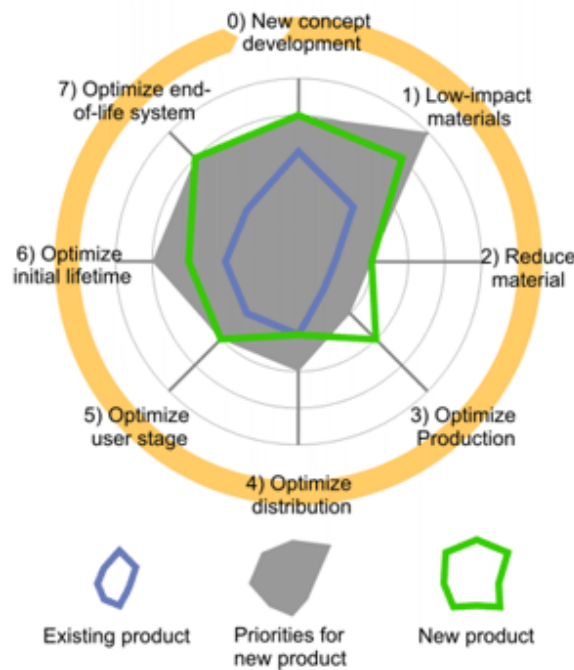


Ilustração 7: “Ecodesign Wheel” [BH97]

3.1.2.1 Dificuldades

Quanto às principais dificuldades que derivam da implementação do Ecodesign no desenvolvimento de produtos, identificam-se claramente três que são consideradas inultrapassáveis por [HC02]:

- Benefício ambiental pouco claro;
- Impacto ambiental não percebido como responsabilidade da empresa;
- Não existir solução alternativa.

Quando se decide implementar a metodologia Ecodesign no desenvolvimento de um determinado produto, devem ser levantados os vários requisitos ambientais do mesmo, como por exemplo: quantidade reciclável, consumo energético, poluição atmosférica, etc. e de entre esses requisitos ambientais quais aqueles que se considera mais importantes para serem otimizados. Para além dos requisitos ambientais do produto outro aspecto importante é a escolha dos materiais, que é considerada uma decisão difícil nomeadamente nos produtos compostos por vários materiais, como por exemplo acontece nos materiais compósito e nas ligas. Neste contexto surge a dificuldade de se saber à partida, quando e quais as situações de compromisso que irão surgir ao longo do desenvolvimento do produto, em relação à diminuição do seu impacto ambiental. Ficando a ideia de que é muito difícil conseguir otimizar tudo ao mesmo tempo.

Outras dificuldades devem-se ao escasso conhecimento sobre o desenvolvimento no campo da gestão ambiental por parte dos gestores das empresas. Apesar de estes garantirem a sua grande preocupação ambiental, ainda não possuem as capacidades e as competências necessárias para introduzir as práticas formais que os auxiliem na gestão do desempenho ambiental dos seus negócios.

Existem também algumas limitações no que diz respeito à forma como os projectos nesta área são conduzidos pela maior parte das empresas. Estes são sempre projectos fechados, desenvolvidos por pequenas equipas multidisciplinares e quase sempre desenvolvidos nas

unidades de I&D das empresas, estando bastante limitados a nível de custos e tempo. Neste contexto será imperativo disponibilizar mais fundos e tempo para estes projectos, abrindo-os a todos os departamentos das empresas responsáveis pelo desenvolvimento de produtos, facilitando assim uma maior aceitação desta temática e proporcionando a sua integração entre todas as equipas de desenvolvimento das empresas.

O Ecodesign demanda então uma mudança na atitude e nos hábitos das empresas, de forma a ser facilitada a sua implementação no mundo industrial.

3.1.3 Ferramentas LCA

Com vista a não só contornar as dificuldades da implementação da metodologia Ecodesign nas empresas, mas também a promover essa mesma implementação, estas recorrem às técnicas e ferramentas LCA (*Life Cycle Assessment*).

O LCA é uma abordagem relativamente complexa, dado que esta tem como finalidade investigar e avaliar o impacto ambiental de todos os recursos e emissões de um determinado produto ao longo de todo o seu ciclo-de-vida. Sendo também conhecida como análise do “berço até à cova” (“*cradle-to-grave analysis*”), facilmente se percebe que esta pretende analisar tudo o que está directamente ou indirectamente relacionado com um produto, desde o momento em que o seu fabrico é planeado até à sua extinção (fim-de-vida).

Todo o processo de LCA é realizado em quatro fases distintas, segundo as normas ISO 14040 e 14044:

- **Definição dos objectivos e âmbito do estudo** – Nesta primeira fase do processo LCA é formulado e especificado o objectivo e âmbito do estudo de acordo com a aplicação pretendida. Para além de descrever o produto, processo ou actividade em estudo, esta fase deve visar toda a estratégia utilizada para estabelecer os limites e efeitos ambientais a serem contemplados. Os limites e efeitos ambientais determinam quais os processos unitários que fazem parte do processo LCA e devem também reflectir a principal finalidade do estudo. Esta fase inclui ainda uma descrição do método utilizado para avaliar os potenciais impactos ambientais e quais as categorias de impacto que são consideradas.
- **Análise de inventário (*Life Cycle Inventory*)** – A fase do “Inventário” envolve a recolha de dados e modelação do produto, bem como a descrição e verificação dos dados. Estes dados dizem respeito às quantidades de entrada e saída incluindo entrada de materiais, energia, produtos químicos, etc. e saídas de emissões para a atmosfera, deposição de resíduos sólidos e descargas de efluentes líquidos. Algumas interpretações podem já ser feitas nesta fase, sendo que os resultados da análise de inventário compõem um LCI (*Life Cycle Inventory*) que fornece informações sobre todas as entradas e saídas na forma de um fluxo elementar de e para o ambiente originadas por todos os processos envolvidos no estudo em questão.
- **Avaliação do impacto (*Life Cycle Impact Assessment*)** – A terceira fase tem como objectivo avaliar a contribuição para cada uma das categorias de impacto, como o aquecimento global, a acidificação, a saúde humana, etc. A primeira etapa é denominada de caracterização, aqui as potencialidades do impacto são calculadas baseadas nos resultados do LCI. As outras etapas da avaliação do impacto são a normalização e o *weighting* (“pesagem”), considerados opcionais pela norma ISO. A normalização fornece uma base para a comparação entre os diferentes tipos de categorias de impacto ambiental, tendo todas a mesma unidade. O *weighting* implica a atribuição de um factor de “ponderação” para cada categoria de impacto em função da sua importância relativa.

- **Interpretação** – A fase de “Interpretação” é uma análise das principais contribuições, análise de sensibilidade e análise de incerteza do processo de LCA. É nesta fase que se tira todas as conclusões e se sugere recomendações fundamentadas pelas descobertas efectuadas nas fases precedentes do processo de LCA. Os resultados da interpretação do ciclo-de-vida devem ser relatados de uma forma transparente de modo a serem encontrados os requisitos da aplicação como descrito nos objectivos e âmbito do estudo.

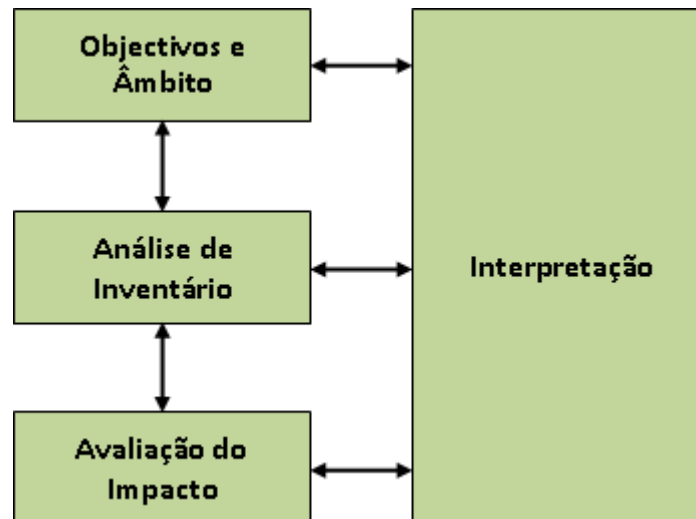


Ilustração 8: Fases do processo de LCA

3.1.3.1 Vantagens

No que diz respeito à implementação do Ecodesign nas empresas, as ferramentas LCA (*Life Cycle Assessment*) apresentam diversas vantagens, que as tornam quase como indispensáveis em relação à abordagem desta problemática. De entre todas essas vantagens destacam-se as seguintes:

- Revelam fluxos de materiais e energia que não podem ser verificados por outros métodos;
- Permitem uma avaliação sistemática das consequências ambientais associadas a um produto, incluindo a análise dos balanços ambientais (ganhos e perdas) associados a um ou mais produtos e compará-los entre si;
- Possibilitam uma percepção dos impactos ambientais na saúde humana, que normalmente não são ponderados aquando da selecção de um determinado produto ou processo;
- Dão apoio à decisão para novas formas efectivas de satisfazer as necessidades humanas com um menor impacto ambiental;
- Servem de base para listas de verificação e linhas de orientação, bem como para assimilar e debater acerca da importância relativa dos diferentes aspectos ambientais;
- Possibilitam a comunicação de resultados fora da empresa.

3.1.3.2 Desvantagens/Dificuldades

Não obstante todas as vantagens proporcionadas pelas ferramentas LCA (*Life Cycle Assessment*) na análise do desempenho ambiental dos produtos, sendo qualificadas como um forte apoio à implementação da metodologia de Ecodesign, a verdade é que estas também apresentam algumas desvantagens, sobretudo devido às dificuldades inerentes à sua utilização. Em primeiro lugar estas são ferramentas muito complexas que implicam processos muito lentos e dispendiosos para os seus utilizadores. Por serem ferramentas bastante abrangentes e detalhadas, impõem a introdução de enormes quantidades de informação, não sendo por isso aconselháveis aos principiantes em Ecodesign. Existe também pouca qualidade nos dados de que estas ferramentas se servem, a maior parte são baseados em pequenas séries de medidas, cálculos teóricos e estimativas. O que vai provocar a falta de dados de LCA fiáveis e que possam servir de comparação. Os resultados que fornecem, na maior parte das vezes, não são suficientemente explícitos relativamente às alternativas ao nível dos materiais e do design. Por esse motivo, estes devem ser sempre convenientemente analisados e ponderados. Outro aspecto relevante é o facto de estas serem ferramentas para avaliar produtos e não propriamente de design.

3.2 Perspectiva de Solução

Feita uma apresentação detalhada do problema a resolver neste trabalho, identifica-se claramente cinco obstáculos fundamentais que terão forçosamente de ser levados em conta, tendo em vista uma possível solução do problema:

- A ideia enraizada de que não é possível, em termos ambientais, otimizar todos os aspectos do ciclo-de-vida de um determinado produto durante o seu desenvolvimento (requisitos ambientais, escolha de materiais, processos utilizados, métodos de transporte, etc.);
- A quantidade de tempo e de esforço que se consome na introdução de toda a informação detalhada do produto a desenvolver, imperativa para que a análise do seu impacto ambiental possa ser realizada;
- A falta de dados LCA (*Life Cycle Assessment*) fiáveis e de qualidade, que estejam facilmente acessíveis, para servirem de comparação com os dados utilizados na fase de design do produto nos software de CAD (*Computer-Aided Design*);
- A inexistente ligação entre a fase de design do produto (CAD) e a fase de avaliação do seu impacto ambiental (LCA);
- A falta de clareza nos resultados fornecidos pelas ferramentas de LCA.

A perspectiva de solução do problema levantado nesta Dissertação, ou seja, o desenvolvimento de uma aplicação para controlo de um software de LCA, terá então que passar obrigatoriamente pelo contorno das dificuldades enumeradas em cima.

3.2.1 Controlo do software de LCA

A grande prioridade aqui é garantir o controlo do software de LCA (*Life Cycle Assessment*), tornando desnecessária a interacção do utilizador com o mesmo, actuando a nova aplicação como um intermediário entre os dois. Esta será a responsável pelo envio dos dados relativos ao produto em desenvolvimento para o software de LCA, ordenar o seu processamento, recolher os resultados da análise do seu impacto ambiental e apresentá-los ao

utilizador. Ao retirar da equação a interacção do utilizador com o software de LCA, as desvantagens inerentes à utilização das ferramentas de LCA, são na sua grande maioria ultrapassadas. Nomeadamente no que diz respeito à sua alta complexidade, que exige elevados níveis de treino e formação, ao facto da sua análise consumir bastante tempo e à necessidade já mencionada de esta requerer a entrada manual de grandes quantidades de dados. Para esse efeito será crucial que a aplicação desenvolvida ofereça uma interface amigável e bastante intuitiva. Sendo outro aspecto essencial a apresentação dos resultados provenientes do software de LCA de forma clara e bastante perceptível ao utilizador, independentemente da sua experiência relativamente às técnicas de LCA.

3.2.2 Optimização do Ciclo-de-Vida

Quanto a não ser exequível a optimização de todas as fases que constituem o ciclo-de-vida de um produto ao mesmo tempo, isso dependerá da estrutura da nova aplicação, ou seja, as funcionalidades que esta irá conter e a sua abrangência em relação às técnicas de LCA (*Life Cycle Assessment*). O que estará directamente ligado ao nível de controlo que a aplicação conseguir deter sobre o software de LCA. Se for possível implementar na aplicação a desenvolver cada uma das funcionalidades que compõem um LCA completo: os materiais e processos utilizados, cenários de transporte, tipos de embalagem, consumo de energia, tratamento de resíduos, cenários de fim-de-vida, etc. Então a impossibilidade referida de optimizar ao mesmo tempo tudo o que provoca o aumento do impacto ambiental de um determinado produto desaparecerá. Desde que tudo seja implementado mantendo sempre uma baixa complexidade em relação à nova aplicação, sendo que de outra forma as desvantagens provenientes da utilização das ferramentas de LCA voltariam a emergir.

3.2.3 Ligação CAD & LCA

Do ponto de vista desta perspectiva de solução outra das metas a alcançar é a ligação entre o software de CAD (*Computer-Aided Design*) e o de LCA (*Life Cycle Assessment*). Aqui a ligação entre as duas ferramentas será a aplicação a desenvolver, que funcionará como um intermediário entre as duas. Só com o alcance desta ligação é que se poderá colmatar a falta, até à data, de uma ligação entre a fase de design do produto e a fase de avaliação do impacto ambiental. Para além disso, esta ligação também será indispensável para a diminuição das elevadas cargas de tempo e esforço tantas vezes referidas como um dos principais problemas dentro desta área.

Com a ligação entre o CAD e o LCA estabelecida, todos os dados físicos do produto, como os dos materiais utilizados na concepção do mesmo, entre outros, serão automaticamente considerados pela nova aplicação e posteriormente transferidos para o software de LCA. Desta forma o utilizador após modelar todo o produto no CAD, para efectuar a análise do impacto ambiental do mesmo, não terá que voltar a introduzir todos os dados definidos no software de CAD de novo no software de LCA. Ou na perspectiva da solução aqui definida, não os terá que introduzir de novo na aplicação desenvolvida, visto que estes serão automaticamente carregados e armazenados na mesma, para que possam depois ser enviados para o software de LCA. Neste contexto outra das vantagens que se pode retirar desta ligação será em relação à falta de clareza e perceptibilidade dos resultados provenientes do software de LCA.

Para além dos dados já referidos que passam a ser automaticamente transferidos do software de CAD para a nova aplicação, também se poderá transferir do CAD a árvore do produto. Deste modo a aplicação iria não só considerar o produto como um todo, mas também os vários *assemblies* e *subassemblies* presentes no mesmo, bem como cada um dos componentes que o constituem. Do ponto de vista dos resultados obtidos do software de LCA, estes para além de poderem ser visualizados como um todo, para o produto completo, poderiam também ser visualizados apenas para um dado *assembly*, *subassembly* ou até componente

presente no mesmo. Assim facilmente se poderá averiguar quais os componentes do produto com maior ou menor impacto ambiental ao longo do seu ciclo-de-vida, sabendo-se exactamente quais os pontos críticos do produto em questão e onde será necessário se actuar para optimizar o seu impacto ambiental.

3.2.4 Bases de Dados LCA

Outro obstáculo mencionado no início desta secção, dizia respeito à falta de fiabilidade e acessibilidade dos dados LCA (*Life Cycle Assessment*). O grande problema aqui prende-se com a comparação destes dados com os dados relativos aos materiais e processos que são utilizados na fase de design do produto, ou seja, no CAD (*Computer-Aided Design*).

Todos os dados disponibilizados pelas ferramentas de LCA, quer seja em relação a materiais, processos, transporte, consumo de energia, tratamento de resíduos ou tipos de desperdício, pertencem a bases de dados específicas, construídas com o propósito de abordarem esta problemática e denominadas de bases de dados LCA de inventário ou apenas bases de dados LCA. Estas bases de dados LCA caracterizam-se pela sua extensa dimensão, possuindo muitas delas milhares de registos (*datasets*).

Isto sucede devido à grande abrangência e ao elevado nível de detalhe que as ferramentas de LCA exigem, de modo a conseguirem cobrir cada um dos aspectos que têm influência não só no desenvolvimento dos produtos, mas também durante todo o seu ciclo-de-vida. Não obstante todos os proveitos que podem surgir desta vasta abrangência de dados, esta contribui largamente para a morosidade associada ao processo de LCA. A imensidade de dados existentes nas bases de dados LCA, resulta muitas vezes em que a pessoa que se encontra a realizar a análise LCA de um determinado produto, gaste muito tempo à procura, por exemplo, do material ou tipo de transporte exacto a ser considerado no ciclo-de-vida desse produto, por entre os milhares e milhares de dados disponibilizados pela ferramenta de LCA. Pode ocorrer também que essa mesma pessoa não tenha a certeza de qual será a melhor escolha para o seu produto, devido à similaridade entre muitos dos *datasets* presentes nas bases de dados LCA.

Do ponto de vista das empresas não faz muito sentido que estas utilizem todos os *datasets* de materiais, processos, transporte, etc. pertencentes às bases de dados LCA, ou pelo menos não ao mesmo tempo, pois só vai dificultar a integração das ferramentas LCA nos procedimentos destas empresas. A melhor solução para este cenário será a filtragem destes *datasets* de acordo com a área de negócio de cada empresa, ou seja, a construção de bases de dados locais baseadas nas bases de dados LCA, que serão utilizadas pela aplicação a desenvolver. Deixando em aberto a possibilidade da edição dessas bases de dados locais pela aplicação, permitindo a adição de novos dados, sendo estes retirados das bases de dados LCA e também a remoção dos dados já existentes. Esta edição das bases de dados locais irá então depender da variação das necessidades de cada empresa ao longo do tempo.

No que diz respeito à aplicação a ser desenvolvida, esta para além de estar conectada a um software de CAD e a um software de LCA, terá também que possuir uma ligação a uma base de dados local. Em relação à edição das bases de dados esta será feita num módulo a desenvolver dentro da aplicação exactamente com esse propósito. Como a nova aplicação estará ligada ao software de LCA que por sua vez possui as bases de dados LCA, a edição das bases de dados locais torna-se bastante simples e rápida, na perspectiva de estas apenas poderem conter registos de *datasets* retirados das bases de dados LCA de inventário. Desta forma será garantido que não haverá inconformidade nos dados presentes nas bases de dados locais, sendo aceites pelo software de LCA quando enviados pela aplicação a desenvolver, pois estes serão idênticos aos *datasets* contidos nas bases de dados LCA de inventário.

3.2.5 *Stand-alone vs. Plugin*

Para além dos obstáculos referidos e das perspectivas de solução definidas para os mesmos, foram levantadas algumas questões relativamente à natureza da aplicação, como solução central para o problema levantado nesta Dissertação.

Numa primeira fase do projecto a aplicação a desenvolver foi pensada como sendo uma aplicação *stand-alone*, isto é, uma aplicação que, apesar de estar ligada e dependente de outros programas, não é um *plugin* de nenhum deles, nem do software de CAD (*Computer-Aided Design*), nem do software de LCA (*Life Cycle Assessment*), operando fora destes dois.

As vantagens de uma aplicação *stand-alone* neste caso prendiam-se sobretudo com o facto de que para utilizar a aplicação, não seria preciso recorrer nem ao software de CAD nem ao de LCA, visto que esta poderia muito bem ser executada de forma individual. Deste modo quem pretendesse usufruir da aplicação, não seria obrigado a possuir o software de CAD, o que é considerado uma grande vantagem da aplicação *stand-alone*, visto as licenças para software deste tipo serem bastante caras e não estarem ao alcance de qualquer um. Outra vantagem desta alternativa emerge quando a pessoa que modela o produto no software de CAD, não é a mesma pessoa que depois vai fazer a análise LCA. Neste contexto faz todo o sentido que a aplicação não seja um *plugin* do software de CAD.

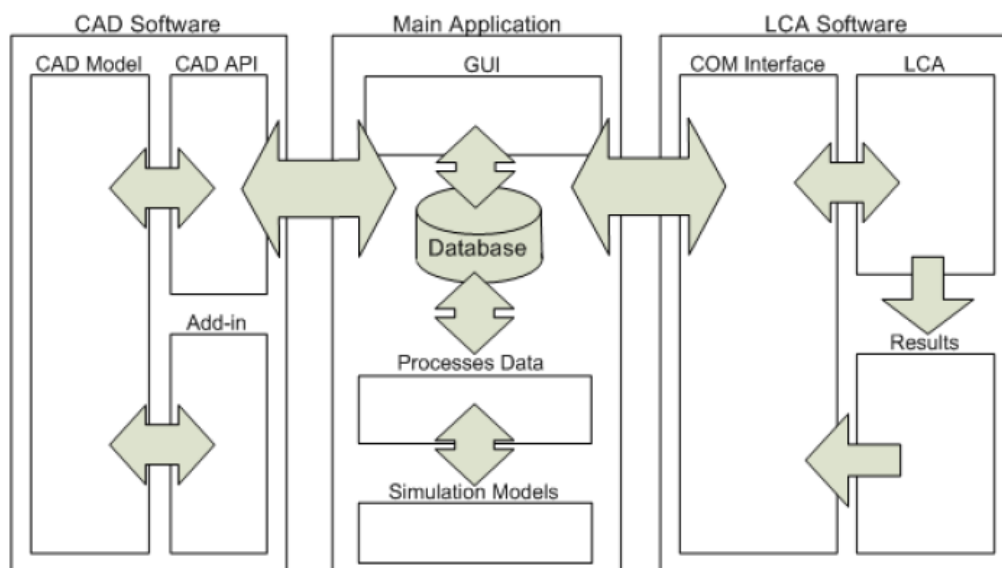


Ilustração 9: Arquitectura da aplicação (“Main Application”) *stand-alone*

No entanto e apesar das vantagens de uma aplicação *stand-alone* para este caso, esta também possui as suas desvantagens e algumas limitações. Desde logo na desvantagem já referida de se aceder a dois programas diferentes, um de CAD e outro de LCA, em que numa primeira fase temos de recorrer ao programa de CAD e só depois de terminamos a modelação do produto, é que podemos recorrer ao software de LCA para introduzirmos os dados para a análise do impacto ambiental do ciclo-de-vida desse produto. Ora com a aplicação *stand-alone* continua-se a utilizar dois programas diferentes, em que a nova aplicação substitui o software de LCA na situação referida, prevalecendo este trabalho em duas fases distintas, que só serve para consumir tempo e esforço aos utilizadores. Neste mesmo sentido, sempre que a análise LCA de um determinado produto não for satisfatória e se pretender alterar alguma característica do modelo do mesmo, surge de novo a desvantagem de a solução residir em dois programas diferentes. Neste cenário a aplicação teria de ser fechada, voltávamos a recorrer ao programa de CAD, tendo que nos lembrar dos componentes do produto onde pretendíamos efectuar as

alterações e só depois das alterações feitas é que se recorria de novo à aplicação para se realizar uma nova análise LCA.

Como as desvantagens de uma aplicação *stand-alone* superaram largamente as vantagens apresentadas para a mesma. Concluiu-se que uma aplicação *stand-alone* não seria a melhor a solução para este problema. Principalmente devido às poucas vantagens que esta trazia não fazerem muito sentido, sobretudo a nível empresarial, e também porque as suas desvantagens impediam o problema de ficar totalmente resolvido, pois mesmo com o desenvolvimento de uma nova aplicação *stand-alone*, algumas das dificuldades associadas às ferramentas de LCA continuariam a persistir.

Com a alternativa da aplicação *stand-alone* colocada de lado, a solução foi evidente, passando pelo desenvolvimento de uma aplicação que se apresentasse como um *plugin* do software de CAD. Só desta forma é que as desvantagens acima referidas poderiam ser ultrapassadas. Proporcionando uma ligação ainda mais forte e rápida, do que a inicialmente pensada, entre a parte do CAD e a parte do LCA. Sendo que o sucesso deste projecto depende em muito da qualidade dessa ligação.

Capítulo 4

Implementação

4.1 Definição do Projecto

Chegada a fase de implementação do trabalho e após uma análise mais aprofundada e reflectida sobre o mesmo. Torna-se crucial redefinir alguns dos pressupostos previamente assentes, bem como definir novos desígnios do trabalho que não foram ponderados e que urgem como essenciais para a sua implementação.

Como já foi mencionado no primeiro capítulo desta Dissertação e que será aprofundado mais à frente neste capítulo, as ferramentas decretadas como software de CAD (*Computer-Aided Design*) e LCA (*Life Cycle Assessment*) para a realização deste trabalho, foram o SolidWorks e o SimaPro respectivamente. É com o apoio e recurso a essas duas ferramentas que a implementação será efectuada, sendo que todos os detalhes e conclusões documentadas nesta fase dependerão única e exclusivamente da utilização e interacção com esses dois programas.

O projecto GreenBender onde se insere este trabalho, também contempla o desenvolvimento de um *add-in* para o SolidWorks. Esse *add-in* designado como SW2SP Addin, desempenha um papel preponderante no projecto.

O SW2SP Addin é o responsável pela definição de todos os materiais e processos, de cada um dos componentes que constituem o produto a ser modelado no SolidWorks. Os dados que este utiliza, relativos aos nomes dos materiais e processos utilizados são retirados de uma base de dados local, construída a partir dos *datasets* presentes nas bases de dados LCA de inventário do SimaPro, de modo a não surgirem incoerências entre os dados. Para além dos dados referidos, o SW2SP Addin também define as características físicas dos componentes do produto (volume, massa, etc.) e os custos (preço) associados a cada um deles, que vão depender dos materiais e processos utilizados, sendo uns mais caros do que outros.

Durante a utilização do SW2SP Addin é possível guardar as alterações feitas no produto que está a ser modelado, o que resulta na criação de um ficheiro de base de dados com a extensão “.sdf”. Cada um desses ficheiros de bases de dados representa um produto modelado no SolidWorks com a utilização do SW2SP Addin. Todos os dados presentes nesses ficheiros são armazenados por componente, isto é, cada registo da base de dados diz respeito a um componente do produto que foi modelado. O conjunto de todos os componentes presentes na base de dados constitui os *assemblies* e *subassemblies* que compõem a árvore do produto em questão.

Os ficheiros “.sdf” criados pelo SW2SP Addin serão carregados na aplicação que se pretende desenvolver, por forma a se conseguir aceder a todos os dados relativos à fase de

design do produto, que estes fornecem. É através deste ficheiros que a ligação entre o CAD e o LCA é alcançada, sendo os dados referentes ao design do produto transferidos para a aplicação através do carregamento (*load*) dos mesmos.

Durante a elaboração desta Dissertação a aplicação a desenvolver e que dá título à mesma, nunca possuiu um nome propriamente definido. Esta foi sempre referida como SW2SP Main Application, visto ter sido inicialmente pensada como uma aplicação *stand-alone*. Quando se chegou à conclusão, mencionada no capítulo anterior, que a melhor solução passaria por esta ser um *plugin* a funcionar dentro do SolidWorks, o nome SW2SP Main Application já não pareceu o mais apropriado. Porém como nunca se chegou a um nome que melhor se associasse à nova natureza da aplicação, esta será referida a partir daqui pelo seu nome original, ou seja, SW2SP Main Application.

As máquinas-ferramenta são o principal foco do projecto GreenBender onde se insere este trabalho, nomeadamente o desenvolvimento de uma quinadora obedecendo às metodologias de Ecodesign através do uso de ferramentas LCA. A implementação da aplicação SW2SP Main Application terá então em conta o caso específico das máquinas-ferramenta, sendo as suas interfaces e funcionalidades desenvolvidas nesse sentido.

4.2 Levantamento de Requisitos

Antes de se proceder à especificação da arquitectura, ferramentas a utilizar e à implementação propriamente dita, é necessário se efectuar um levantamento de todos os requisitos funcionais e não funcionais essenciais ao bom desenvolvimento deste trabalho. Estes requisitos são indispensáveis a uma correcta e precisa implementação, pois enumeram de forma clara todas as funcionalidades que a SW2SP Main Application deverá abarcar, descrevendo também o seu modo de funcionamento e como todas as suas funcionalidades se devem interligar.

4.2.1 Requisitos Funcionais

Quanto aos requisitos funcionais da SW2SP Main Application, estes encontram-se listados de seguida:

- Deve ser capaz de importar todos os dados do modelo em análise, incluindo a árvore do produto, provenientes do SolidWorks, assim como todos os dados fornecidos pelo SW2SP Addin;
- Permitir a visualização, selecção e edição de todos os dados relacionados com um *assembly*, *subassembly* ou componente, directamente da árvore do produto;
- Todos os dados relativos aos materiais e processos utilizados devem ser editados por componente, enquanto os detalhes referentes às fases de transporte e embalamento apenas devem ser aplicáveis ao *assembly* total (produto em análise);
- A edição dos dados deve suportar a contínua actualização e melhoramento da base de dados local;
- Permitir a importação de novos *datasets* de inventário a partir das principais bases de dados LCA (*Life Cycle Assessment*) e a sua categorização paralela de acordo com os campos da base de dados local;
- A base de dados LCA de inventário a ser considerada para efeitos de teste da aplicação deve ser a EcoInvent v2;

- As informações adicionais relacionadas com as fases de ciclo-de-vida do produto (uso, transporte e fim-de-vida) devem ser estruturadas em interfaces gráficas (GUI - *Graphical User Interface*) intuitivas e organizadas de acordo com os requisitos do SimaPro;
- Deve permitir a introdução de dados adicionais ou alternativos (como o custo) directamente em caixas de texto ou através de opções disponibilizadas ao utilizador compatíveis com os dados presentes na base de dados local;
- Elevar o nível de detalhe das características das partes padrão e das *black boxes*, que não são modeladas em pormenor pelo designer e cujas características devem ser parametrizadas em paralelo de modo a serem personalizadas para efeitos de LCI (*Life Cycle Inventory*);
- Permitir o carregamento dos dados de inventário (pelo menos materiais e processos) da *black box* seleccionada;
- A principal entrada para cálculos de inventário na fase de uso deve ser o tempo de vida do produto em anos;
- Os módulos de consumo e manutenção de electricidade (consumíveis e peças sobressalentes) devem ser previstos. Outros módulos, relacionadas com outras fontes de energia ou operações de manutenção regularmente aplicadas durante a utilização do produto, também devem ser considerados;
- No módulo relativo à electricidade devem ser considerados diferentes cenários de consumo, dependendo do modo de utilização da máquina;
- O valor total de electricidade a ser processada no SimaPro deve ser obtido através do valor de consumo diário em kWh e da frequência de utilização do produto em horas por dia ou dias por ano. A este valor deve ser associada uma categoria e uma subcategoria de um *dataset* de electricidade presente na base de dados LCA;
- Para uma análise de custos deve ser usado o valor total de electricidade consumida, em que a unidade de custo a ser considerada deve ser carregada automaticamente a partir da selecção da electricidade. Outras fontes de energia devem seguir a mesma estrutura;
- Os componentes para os quais devem ser consideradas peças sobressalentes devem ser claramente identificados, juntamente com o seu tempo de vida respectivo;
- Deve ser gerada automaticamente uma lista de peças sobressalentes, permitindo no entanto que sejam feitas selecções adicionais de outras peças presentes na árvore do produto;
- O número de peças por componente a serem consideradas deve ser obtido através do rácio entre o tempo de vida do produto e os valores de MTBR (*Mean Time Between Repair*);
- Todos os valores a serem processados no SimaPro relativos a materiais e processos anteriormente associados a uma parte devem ser multiplicados pelo número de peças auferido e os novos valores totais obtidos devem ser armazenados para transferência;
- A lista de consumíveis deve ser produzida exclusivamente na interface da aplicação, visto que estes não são partes estruturais do CAD (*Computer-Aided Design*);

- A estrutura da interface para os consumíveis deve ser similar à das peças sobressalentes, mas os dados relativos aos materiais e processos devem ser criados a partir do zero. O valor de MTBR deve também ser introduzido nesta parte;
- Processos importantes e críticos utilizados durante operações de manutenção devem ser listados num módulo da interface à parte;
- O input principal para efeitos de cálculos de inventário na fase de transporte do produto deve ser a distância total de transporte percorrida;
- Deve ser permitida a possibilidade de se analisar diferentes cenários de transporte, sendo que para cada um dos cenários deve ser possível introduzir a percentagem da distância total e a categoria e subcategoria do transporte em questão, seleccionadas a partir da base de dados local;
- A unidade de transporte considerada para todas as entradas deve ser tKm;
- Deve ser possível a edição de todos os dados relativos aos cenários de transporte previamente introduzidos;
- A lista de materiais de embalamento deve ser construída através da selecção directa de materiais ou processos directamente da base de dados local;
- Deve ser permitido a edição de todos os dados relativos aos materiais de embalamento previamente introduzidos;
- Deve ser fornecida a possibilidade de analisar diferentes valores para cada um dos parâmetros críticos de impacto ambiental, construindo desse modo cenários por fase de ciclo-de-vida. Esta funcionalidade deve suportar a possibilidade de comparação entre diferentes projectos ou cenários;
- A comparação entre diferentes cenários deve ser permitida, suportando a criação de cenários com pequenas diferenças;
- Deve ser capaz de importar/exportar resultados LCA do/para o SimaPro, controlando-o através da sua COM interface (API - *Application Programming Interface*);
- O método de cálculo da avaliação do impacto ambiental a ser utilizado para efeitos de teste deve ser o EcoIndicator99 (EI99);
- Depois da transferência dos resultados do SimaPro, os diferentes cenários de resultados LCA devem ser acessíveis através da árvore do produto e visualizados no respectivo módulo de resultados;
- Os resultados a serem transferidos do SimaPro: contribuições para o impacto ambiental por fase do ciclo-de-vida, *subassembly*, *datasets* de componentes e processos devem ser apresentados em todos os formulários disponibilizados pelo EI99, por categoria de danos e de impacto ambiental;
- Os resultados devem ser apresentados em tabelas e gráficos de barras de forma a facilitar a sua posterior análise;
- As análises de comparação entre diferentes cenários devem ser apresentadas sob a forma de gráficos de barras.

4.2.2 Requisitos Não-funcionais

Em baixo encontram-se enumerados os principais requisitos não-funcionais, a serem considerados no desenvolvimento da SW2SP Main Application:

- Todos os resultados apresentados na aplicação relativos às análises LCA (*Life Cycle Assessment*) efectuadas sobre os produtos devem estar correctos, ou seja, de acordo com os resultados obtidos para os mesmos produtos através da utilização do SimaPro;
- A aplicação deve ostentar uma boa performance, não consumindo muito tempo no processamento das trocas de dados com o SolidWorks e o SimaPro;
- A aplicação deve ser segura, disponibilizando mensagens de aviso ou funcionalidades que impeçam o utilizador de cometer erros que façam com que esta deixe de funcionar correctamente;
- A aplicação deve cumprir os predicados para uma boa usabilidade, ou seja, ser bastante intuitiva e facilitando a interacção do utilizador com a mesma. Sendo que a interface da aplicação deve permitir que o utilizador perceba indubitavelmente qual o papel de cada uma das funcionalidades que lhe são disponibilizadas;
- A linguagem ou os termos utilizados na aplicação devem fazer parte da semântica empregada em Ecodesign e LCA, de modo a não serem estranhos para os seus utilizadores finais.

4.3 Arquitectura

Concluído o estudo das várias perspectivas de solução e o levantamento dos requisitos para o desenvolvimento da SW2SP Main Application. Segue-se então a definição de toda a arquitectura implementada para a elaboração deste trabalho.

Um dos aspectos fundamentais a ter em atenção neste cenário em relação à arquitectura inicialmente proposta, considerando a aplicação como *stand-alone*, seria uma nova definição da aplicação agora como um *plugin* do SolidWorks.

A aplicação para além de comunicar com a API (*Application Programming Interface*) do SolidWorks e a COM interface (API) do SimaPro, tem de comunicar com a base de dados local, de onde vai retirar dados físicos (volume, massa, etc.), de custo (preço) e também alguns dados LCA (materiais e processos utilizados) relativamente aos produtos modelados. O acesso à base de dados LCA de inventário presente no SimaPro é alcançado através da comunicação da aplicação com a COM interface.

Presente na arquitectura também se encontra o SW2SP Addin. Este está ligado à API do SolidWorks e partilha a base de dados local com a SW2SP Main Application. Este *add-in* é o responsável pela criação dos ficheiros de bases de dados “.sdf” com todos os dados relativos a cada um dos componentes, que constituem os produtos modelados no SolidWorks.

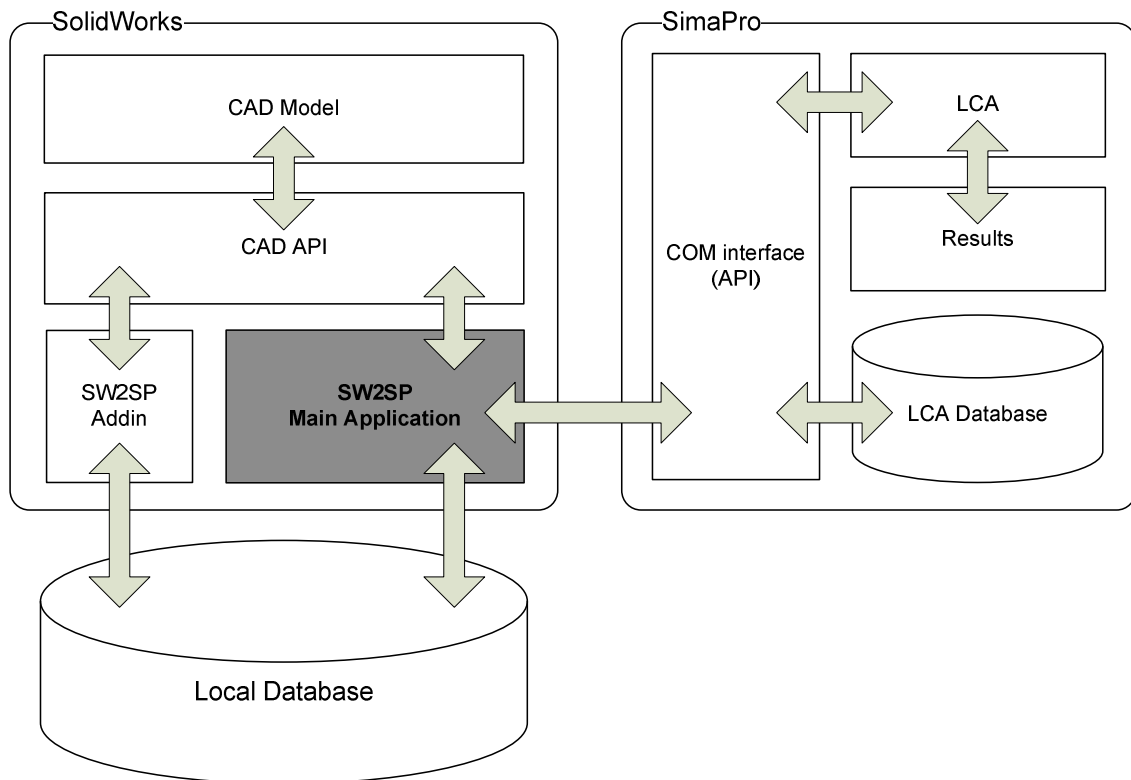


Ilustração 10: Arquitectura do projecto

4.3.1 Diagrama de Classes UML

O diagrama de classes UML (*Unified Modeling Language*) destina-se a representar o conjunto de classes e respectivas associações que serão processadas por parte de todo o sistema implementado (ver Ilustração 10). Este diagrama, depois de devidamente formado, serve como suporte para a definição das tabelas que irão compor a base de dados local.

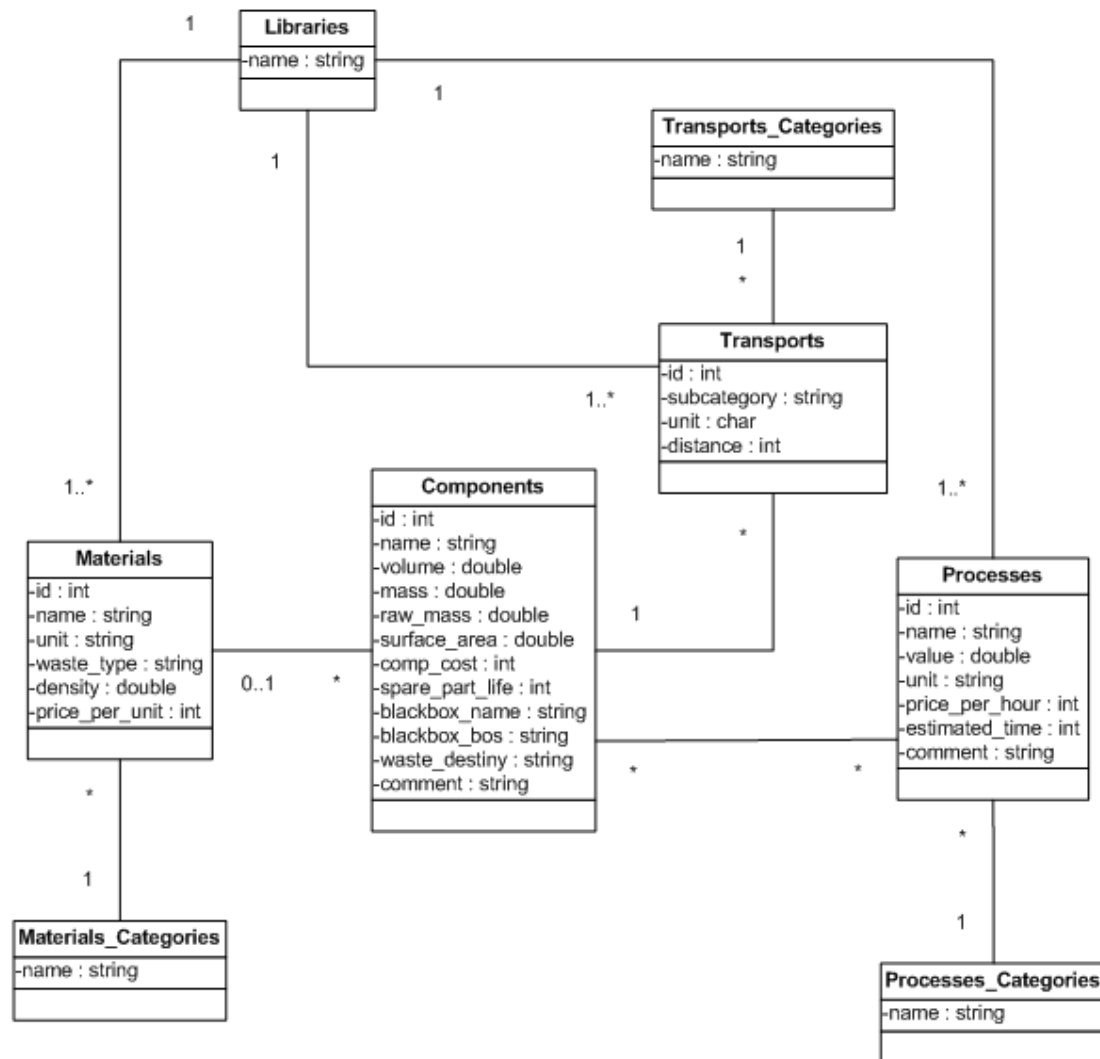


Ilustração 11: Diagrama de classes UML

A informação representada no diagrama UML refere-se apenas ao estado actual da implementação deste projecto. Onde apenas são considerados materiais, processos e cenários de transporte como variáveis para o cálculo do impacto ambiental dos produtos.

As classes principais são “Materials”, “Processes” e “Transports”. Associadas a estas entidades estão as respectivas parametrizações de categorias, nomeadamente, “Materials_Categories”, “Processes_Categories” e “Transports_Categories”. Todas estas classes estão agrupadas por livrarias. Estas livrarias dizem respeito às “libraries” e projectos presentes no SimaPro, onde cada uma dessas “libraries” contém um vasto número de *datasets* de diferentes tipos: materiais, processos, cenários de transporte, etc. No sistema implementado as diferentes livrarias servem exclusivamente para agrupar e distinguir os diversos tipos de dados que pertencem a cada uma delas. Identificando também a livraria do SimaPro a que estes pertencem.

A classe “Components” diz respeito a todas as peças, *assemblies* e *subassemblies* que compõem a árvore de um produto. Cada um dos “Components” está associado a um material, diversos processos e vários cenários de transporte. Podendo no entanto não se encontrar associado a nenhuma das entidades referidas, caso estas ainda não tenham sido definidas.

A definição do diagrama de classes UML contempla o requisito enunciado anteriormente de todos os dados relativos aos materiais e processos utilizados serem aplicáveis por

componente, enquanto os detalhes referentes às fases de transporte são aplicáveis ao *assembly* total, ou seja, ao produto em análise.

4.3.2 Estrutura da Base de Dados

As bases de dados foram um dos aspectos, durante a realização deste trabalho, que necessitaram demandaram mais tempo e esforço para ficarem devidamente definidas e implementadas. A dificuldade aqui prendeu-se sobretudo com a incerteza instaurada a uma dada altura, sobre qual seria a melhor solução ao nível das bases de dados para o projecto em curso.

Numa primeira fase do trabalho os dados disponibilizados pela aplicação eram os existentes nas bases de dados LCA (*Life Cycle Assessment*) de inventário presentes no SimaPro. O acesso a esses dados era realizado através da COM interface do SimaPro, o que resultava em alguns problemas, nomeadamente ao nível do tempo que estes dados demoravam a ficar disponíveis. Sempre que se pretendia associar um material ou um processo a um determinado componente, tinha de ocorrer um acesso remoto à base de dados LCA através da COM interface. Devido a esses dados relativos aos materiais ou processos não estarem disponíveis localmente, o que causava alguma demora na apresentação dos mesmos. Para além do tempo consumido, outra desvantagem do acesso remoto aos dados surgia pela falta de categorização dos mesmos. Como neste momento não existe nenhum método na COM interface do SimaPro que aceda aos dados por categorias, a não ser pelas livrarias a que estes pertencem ou pelo seu tipo, isto é, é possível listar todos os materiais existentes numa dada livraria, mas dentro desses milhares de materiais não é possível aceder só aos aços, ou aos ferros, plásticos, borrachas, etc. Isto resulta em que o utilizador por exemplo tenha de percorrer *combo-boxes* com milhares de elementos, sempre que pretender aceder a um dado material, processo, cenário de transporte, etc.

Visto o acesso remoto às bases de dados LCA não se apresentar como a melhor solução para este trabalho, pareceu óbvio que o caminho a seguir seria aceder às bases de dados LCA directamente, sem utilizar a COM interface do SimaPro como intermediária. No entanto essas bases de dados não podem ser acedidas ou abertas a não ser pelo SimaPro, encontrando-se os ficheiros relativos às mesmas codificados e num formato desconhecido. Isto não acontece por acaso, mas sim porque os proprietários do SimaPro assim o desejam, como forma de preservar a confidencialidade das suas bases de dados, sobretudo ao nível da sua estrutura, pois segundo eles é aí que reside a grande vantagem competitiva do SimaPro em relação à concorrência.

Devido à impossibilidade de se aceder directamente às bases de dados LCA e pelo acesso remoto às mesmas originar algumas desvantagens relevantes, a solução adoptada foi a construção da já referida base de dados local, construídas a partir dos *datasets* presentes nas bases de dados LCA do SimaPro. Essa construção da base de dados local é feita num módulo da SW2SP Main Application, desenvolvido exactamente para esse efeito. Visto que a sua elaboração manual iria resultar em ainda mais desvantagens para o utilizador, nomeadamente devido aos níveis colossais de tempo e de esforço que todo esse processo manual iria demandar.

A solução encontrada vai possibilitar a personalização e categorização das bases de dados por parte dos utilizadores da aplicação. O acesso às bases de dados LCA é executado apenas para retirar o nome e a livraria do *dataset* (materiais, processos, etc.) que se pretende adicionar à base de dados local, podendo depois ser-lhe associada uma categoria definida na altura pelo utilizador. Desta forma cada utilizador da SW2SP Main Application possuirá a sua própria bases de dados com os processos categorizados ao seu gosto, facilitando a sua manipulação dos mesmos e a interacção com a aplicação.

No estado actual da implementação, apenas se encontram definidas na base de dados local tabelas para os materiais, processos e cenários de transporte. Apresentando-se estes como prioritários em relação aos outros tipos de processos LCA considerados pelo SimaPro, como o consumo de energia, tratamento de resíduos, tipos de embalagem, cenários de fim-de-vida, etc. No entanto facilmente se consegue definir novas tabelas para os processos LCA em falta, a

partir das funcionalidades disponibilizadas pela aplicação. Que é precisamente o que está previsto ser feito a curto prazo, no contexto de futuros desenvolvimentos.

Neste momento, a base de dados local construída a partir das bases de dados LCA, que é acedida pelo SW2SP Addin e pela SW2SP Main Application para a definição dos processos LCA associados a um determinado produto é constituída por três tabelas: “Materials”, “Processes” e “Transports”.

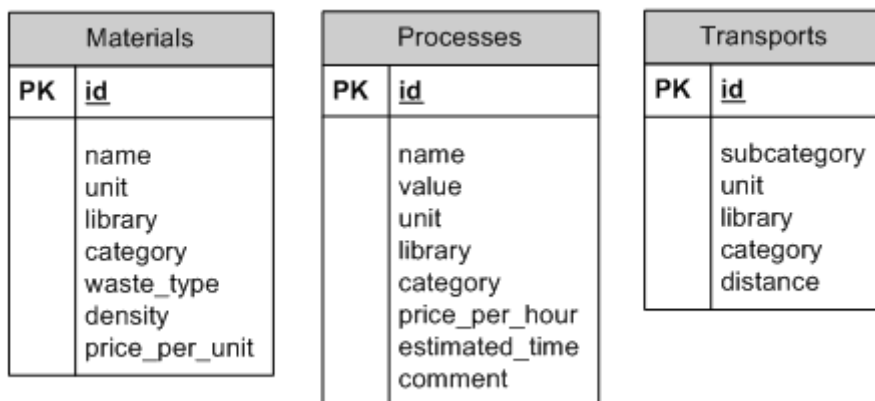


Ilustração 12: Estrutura da base de dados local ligada à aplicação

Os campos “name” (“subcategory” para transportes), “library” e “unit” presentes nas tabelas são retirados das bases de dados LCA, para quando estes forem enviados para o SimaPro sejam identificados e processados pelo mesmo, pois correspondem aos *datasets* presentes nas suas bases de dados LCA. Todos os outros campos das tabelas são definidos pelo utilizador, quer na fase de design do produto, quer na fase de definição do seu ciclo-de-vida.

Para além da base de dados ilustrada na Ilustração 12, existe ainda outro tipo de base de dados que está ligada à aplicação. Esta diz respeito aos ficheiros “.sdf” que são criados pelo SW2SP Addin para um determinado produto, durante a sua modelagem no SolidWorks e posteriormente carregados pela SW2SP Main Application. A base de dados definida em cada ficheiro “.sdf” contém todas as informações respeitantes a cada um dos componentes que compõem o produto modelado.

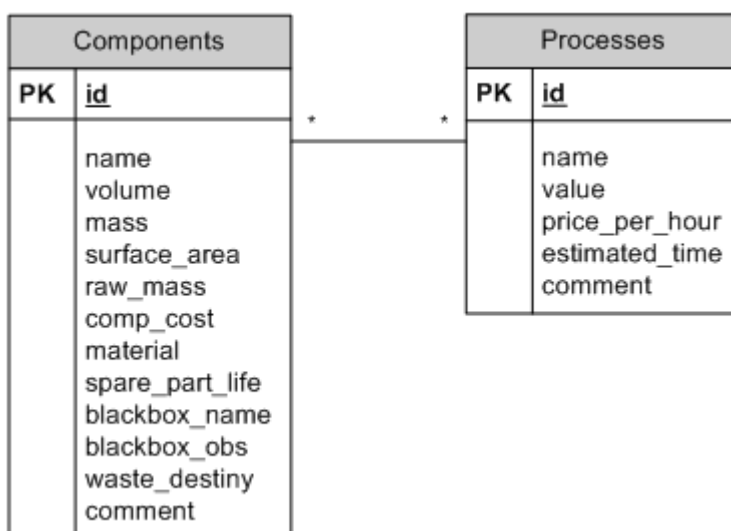


Ilustração 13: Estrutura da base de dados local dos ficheiros “.sdf”

Os campos “name” destas tabelas são retirados da base de dados local ilustrada na Ilustração 12, através do acesso às mesmas por parte do SW2SP Addin. Todos os outros campos ou são retirados automaticamente do modelo físico do produto projectado no SolidWorks, como a “mass”, “surface_area”, “volume”, etc. ou então são definidos pelo utilizador, como o “value”, “material”, “estimated_time”, “waste_destiny”, etc.

A ligação entre as duas tabelas deve-se ao facto de um componente constituinte de um determinado produto, poder estar sujeito à utilização de vários processos. No entanto não existe aqui uma ligação com uma presumida tabela “Materials”, visto que cada componente só pode ter um material, sendo o nome desse material armazenado no campo “material” da tabela “Components”. Quando estes dados são processados pela SW2SP Main Application, esta vai fazer a correspondência entre o nome presente nesse campo “material” com os materiais existentes na base de dados local relativa aos processos LCA (ver Ilustração 12), para lhe associar a respectiva unidade (“unit”), livraria (“library”), categoria (“category”) e tipo de desperdício (“waste type”). Sendo o mesmo procedimento utilizado para os registos da tabela “Processes”.

4.4 Escolha de Ferramentas

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas três ferramentas. Duas delas já estavam definidas mesmo antes de se iniciar o trabalho, tendo sido já mencionadas anteriormente nesta Dissertação, nomeadamente o software de CAD (*Computer-Aided Design*) utilizado, que foi o SolidWorks e o software de LCA (*Life Cycle Assessment*), ou seja, o SimaPro. A escolha prévia destas ferramentas deve-se ao facto de estas serem, cada uma dentro da sua função, as ferramentas mais utilizadas no INEGI. Não tendo qualquer cabimento a escolha recair sobre outras ferramentas de CAD e LCA senão estas, visto que no INEGI os produtos são modelados recorrendo-se sobretudo ao SolidWorks e a análise do seu ciclo-de-vida efectuada no SimaPro.

Para além destas duas ferramentas previamente definidas, era necessário decidir qual a ferramenta a utilizar para o desenvolvimento da aplicação pretendida. Aqui a escolha recaiu sobre o Microsoft Visual Studio 2010, devido a esta permitir a utilização da maior parte das linguagens suportadas pela COM interface (API - *Application Programming Interface*) do SimaPro e também pela vasta experiência adquirida no Visual Studio em anteriores projectos de sucesso, nomeadamente na disciplina de Laboratório de Gestão de Projectos, leccionada no 4ºano do Mestrado.

Em baixo encontra-se uma pequena descrição de cada uma das ferramentas utilizadas neste trabalho.

4.4.1 SolidWorks

O SolidWorks é hoje em dia o software de CAD (*Computer-Aided Design*) mais utilizado em todo o mundo. Estima-se que neste momento este é utilizado por cerca de 3,4 milhões de engenheiros e designers distribuídos por mais de 100,000 empresas espalhadas pelo planeta.

Este foi apresentado no ano de 1995 como um concorrente a outros software de CAD, como por exemplo o Pro/ENGINEER, o I-DEAS, o Autodesk Mechanical Desktop e o CATIA (*Computer Aided Three-dimensional Interactive Application*), ultrapassando-os claramente com o passar dos anos, tendo neste momento vendido mais de um milhão de licenças.

O SolidWorks baseia-se na computação paramétrica, permitindo a criação de formas tridimensionais a partir de formas geométricas elementares. No que diz respeito à interacção com o programa propriamente dito, a criação de um sólido ou superfície começa quase sempre com a definição da topologia num esboço de duas ou três dimensões. Essa topologia define a

conectividade e alguns relacionamentos geométricos entre vértices e curvas, em relação ao esboço e externos ao esboço.

Outros dos aspectos a ressaltar neste programa reside no facto dos desenhos poderem ser criados a partir de peças ou *assemblies*, algo crucial para este trabalho, nomeadamente na perspectiva de se alcançar o nível de detalhe pretendido em relação à análise LCA (*Life Cycle Assessment*).

Este programa disponibiliza ainda uma API (*Application Programming Interface*) bastante ampla e flexível, que permite o desenvolvimento sobre o mesmo em vários tipos de linguagens.

4.4.2 SimaPro

O SimaPro, como já foi referido anteriormente nesta Dissertação, é uma ferramenta poderosa de avaliação do ciclo-de-vida (ferramenta LCA). Com mais de mil utilizadores em oitenta países, este é o software de LCA (*Life Cycle Assessment*) mais utilizado mundialmente, principalmente pelas grandes indústrias e consultorias, através de institutos de investigação e universidades. Este caracteriza-se por permitir a análise e modelação de complexos ciclos-de-vida de uma forma sistemática e transparente. Apesar de hoje em dia este não ser apenas utilizado para a avaliação do produto, a sua configuração genérica significa que a sua utilização se expandiu para análise de processos e serviços.

O nome deste programa resulta de “System for Integrated Environmental Assessment of Products”, em português, sistema para avaliação ambiental integrada de produtos.

O SimaPro 7, a versão mais recente do SimaPro disponível neste momento no mercado, é uma ferramenta profissional que contempla uma série de aplicações:

- Design de produtos;
- Desenvolvimento de indicadores chave de desempenho;
- Cálculo de pegadas de carbono;
- Determinação do impacto ambiental de produtos e serviços;
- Declaração de produtos ambientais;
- Execução de relatórios ambientais.

Quanto às suas características, o SimaPro apresenta todas aquelas que se pode esperar num pacote de software profissional LCA:

- Uma interface com utilizador bastante completa, o explorador LCA guia o utilizador através do seu LCA seguindo os princípios das normas ISO 14040 e ISO 14044;
- Modelagem com a ajuda de assistentes poderosos;
- Modelagem parametrizada com análise de cenários;
- Bases de dados de inventário, incluindo milhares de processos, bem como os métodos de avaliação do impacto ambiental mais importantes;
- Filtragem de inúmeras opções disponíveis para todos os resultados;
- Análise de tratamentos de resíduos complexos e cenários de reciclagem;
- Análise de Monte Carlo, permitindo a contemplação da incerteza dos dados.

4.4.3 Microsoft Visual Studio 2010

O Microsoft Visual Studio é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE - *Integrated Development Environment*) da Microsoft. Este pode ser usado para desenvolver aplicações de consola e aplicações gráficas (GUI - *Graphical User Interface*) assim como aplicações de formulários Windows (Windows Form Applications), Websites, aplicações Web e serviços Web.

O Visual Studio encontra-se especialmente dedicado à *Framework* .NET, oferecendo suporte em diferentes linguagens de programação como Visual Basic (VB), C, C++, C# (C Sharp) e J# (J Sharp). O suporte para outras linguagens, tais como Python e Ruby, é disponibilizado através de serviços instalados separadamente. Este também suporta XML (*Extensible Markup Language*), HTML/XHTML (*HyperText Markup Language/Extensible Hypertext Markup Language*), Javascript e CSS (*Cascading Style Sheets*).

O Visual Studio caracteriza-se por ser um produto bastante utilizado no desenvolvimento Web, servindo-se da plataforma ASP.NET para o efeito. As linguagens utilizadas com maior frequência nessa plataforma são o VB.NET e o C#.

As principais funcionalidades do Visual Studio são:

- Edição moderna e inteligente de código;
- Inclusão de um *debugger*;
- Acesso a uma série de designers visuais para auxiliar no desenvolvimento de aplicações;
- Ampla extensibilidade, permitindo a criação de extensões com vista a estender as capacidades do Visual Studio.

4.5 Tecnologias Utilizadas

Após serem levantadas todas as ferramentas fundamentais para a elaboração deste trabalho, foi necessário definir quais as tecnologias a utilizar, não só ao nível das linguagens de programação, mas também relativamente à estruturação das bases de dados.

Neste contexto é de referir a utilização da *Framework* .NET como plataforma para o desenvolvimento da aplicação em questão, a linguagem C# como linguagem de programação utilizada, que faz parte e é executada na plataforma .NET e o Microsoft SQL Server Compact para a construção das bases de dados locais.

De seguida é realizada uma breve descrição de cada uma das tecnologias aqui enumeradas.

4.5.1 *Framework* .NET

A *Framework* .NET é uma iniciativa da Microsoft, que visa uma plataforma única para o desenvolvimento e execução de sistemas e aplicações. Todo e qualquer código gerado para .NET pode ser executado em qualquer dispositivo que possua uma *framework* de tal plataforma.

Esta inclui uma grande biblioteca de soluções codificadas para problemas comuns de programação e uma máquina virtual que gere a execução de programas escritos propositadamente para esta *framework*.

A *Framework* .NET suporta várias linguagens de programação de forma a permitir a interoperabilidade entre elas, cada linguagem pode utilizar código escrito em outras linguagens, em particular, a biblioteca .NET está disponível a todas as linguagens que o .NET engloba. Estas linguagens são:

- APL

- C#
- C++
- Fortran
- Haskell
- Java
- J#
- Pascal
- Perl
- Python
- Ruby
- Scheme
- Visual Basic

A biblioteca de classes da *framework* fornece uma ampla gama de recursos, incluindo a interface com o utilizador, conectividade das bases de dados, criptografia, desenvolvimento de aplicações Web, algoritmos numéricos e comunicações de rede. Esta é utilizada por programadores que a combinam com o seu próprio código para desenvolver aplicações.

Os programas desenvolvidos para .NET executam num ambiente de software que gere os requisitos de execução do programa. Também faz parte da *Framework* .NET o ambiente de execução conhecido como *Common Language Runtime* (CLR). Este fornece a aparência de uma aplicação de máquina virtual de modo a que os programadores não precisem de considerar as capacidades do CPU (*Central Processing Unit*) que irá executar o programa. O CLR também oferece outros serviços importantes, como segurança, gestão de memória e manipulação de excepções.

O CLR em conjunto com a biblioteca de classes constitui a *Framework* .NET.

4.5.2 C#

O C# (lê-se C Sharp) é uma linguagem de programação orientada a objectos, desenvolvida pela Microsoft, fazendo parte da plataforma .NET. A sua sintaxe orientada a objectos foi principalmente fundamentada na linguagem C++, incluindo no entanto várias influências provenientes de outras linguagens de programação, como por exemplo o Java e o Delphi.

Durante o desenvolvimento da plataforma .NET, todas as bibliotecas foram elaboradas originalmente numa linguagem denominada de *Simple Managed C* (SMC), linguagem esta que possuía um compilador próprio. Mas a partir do início do ano de 1999 surgiu a necessidade de otimizar a SMC e se desenvolver outra linguagem. Daí resultou a criação da linguagem Cool. Um pouco mais tarde, no ano 2000, o projecto .NET foi apresentado ao público, onde a linguagem Cool foi renomeada e passou a ser conhecida como C#.

Entre as características que constituem a linguagem C#, ressalva-se as seguintes:

- Suporta um colector de lixo, utilizado para a manutenção de memória;
- Não existe herança múltipla, cada classe só pode herdar apenas uma outra classe e não mais do que uma;

- Definição de destrutores, que são funções responsáveis pela realização das tarefas necessárias de executar quando um dado objecto deixa de existir;
- Permite a sobrecarga de métodos e operadores;
- Não comporta a utilização de argumentos padrão;
- Admite três tipos de passagens de parâmetros: por valor, por referência e por saída;
- Suporta polimorfismo, ou seja, as entidades dos programas desenvolvidos podem ter mais do que uma forma ou tipo de implementação.

Tal como o Microsoft Visual Studio e a *Framework .NET*, a linguagem C# foi escolhida como linguagem de programação para o desenvolvimento da aplicação inerente a este trabalho devido à óptima experiência já adquirida na mesma em projectos anteriores. Permitindo a economia de algum tempo no que diz respeito à parte de familiarização com as ferramentas e tecnologias a utilizar no trabalho.

4.5.3 Microsoft SQL Server Compact

O Microsoft SQL Server Compact é uma base de dados relacional compacta produzida pela Microsoft para aplicações que executam em dispositivos móveis e desktops. Esta tecnologia só foi escolhida quando surgiu a necessidade de construir a já mencionada base de dados local e os ficheiros “.sdf” com os dados de cada produto. A sua eleição deveu-se ao facto de esta ser bastante fiável, intuitiva e fácil de utilizar, e sobretudo por suportar o desenvolvimento em *Framework .NET* e na linguagem C#, permitindo a sua integração com o Visual Studio. Outro aspecto relevante nesta decisão foi a capacidade comportada por esta base de dados, pois tendo em consideração a quantidade dos dados a serem inseridos na base de dados local e dos ficheiros “.sdf”, era imperativo que esta não “explodisse” com facilidade.

4.6 Detalhes de Implementação

Grande parte da programação produzida durante o desenvolvimento da SW2SP Main Application, bem como as principais funcionalidades implementadas contemplaram fundamentalmente pormenores e aspectos de baixo-nível. Antes da elaboração das interfaces com o utilizador, descritas na próxima secção deste capítulo, foi necessário estudar e compreender o modo de funcionamento da COM interface (*API - Application Programming Interface*) do SimaPro. Incluindo as possibilidades e também limitações que esta oferecia para a resolução do problema levantado. Nomeadamente ao nível do cálculo dos resultados de LCA (*Life Cycle Assessment*) do produto.

Foi também imperativo apreender qual a melhor forma de efectuar a ligação entre o SW2SP Addin (SolidWorks) e a SW2SP Main Application, sendo a troca de dados entre os dois um aspecto crucial para o sucesso deste projecto. Dentro do contexto da troca de dados CAD (*Computer-Aided Design*) para LCA e vice-versa, insere-se a questão das bases de dados, que caracterizou-se como outro dos detalhes essenciais nesta implementação.

4.6.1 COM interface

O controlo do SimaPro pela SW2SP Main Application é alcançado através da COM interface que este disponibiliza. Em termos informáticos a COM interface desempenha o papel de uma API (*Application Programming Interface*), daí a comparação constante feita ao longo

desta Dissertação entre as duas. A denominação de COM interface deve-se ao facto de para o utilizador aceder aos métodos e às propriedades que esta oferece, tem em primeiro lugar que estabelecer uma sessão com a mesma, através da execução de um login.

O login na COM interface é efectuado com a criação de um objecto do tipo “SimaProServer”, tendo-se posteriormente que definir uma série de propriedades desse objecto, como o endereço da máquina (ip) onde o SimaPro se encontra instalado, a localização (url) das bases de dados LCA (*Life Cycle Assessment*) do SimaPro no computador e o nome da base de dados LCA a que se pretende aceder. Para concluir este processo invoca-se os métodos do objecto “SimaProServer” para abrir a base de dados definida, executar o login propriamente dito e terminar com o método para abrir um projecto existente no SimaPro, dentro do qual se vai realizar a análise LCA.

```
public SimaProServer session = new SimaProServer();  
public void connect()  
{  
    session.Server = "local server"; //o SimaPro encontra-se instalado no computador onde é executada a aplicação  
    session.Alias = "C:\\Users\\Public\\Documents\\SimaPro\\Database"; //url das bases de dados LCA  
    session.Database = "Professional";  
    session.OpenDatabase();  
    session.Login("Manager", ""); //necessário definir o tipo de permissões do utilizador que se autentica  
    session.OpenProject("Greenbender", "");  
}
```

Ilustração 14: Código exemplo para estabelecer sessão com a COM interface

Aqui já se pode identificar três limitações da COM interface. Primeiro ter que ser definida a localização das bases de dados, quando esta podia ser descoberta automaticamente. Assim sempre que a aplicação é executada noutro computador, ou que essa localização é alterada por alguma razão, é necessário voltar-se a defini-la na aplicação. Ainda no que diz respeito às bases de dados, outra limitação é o facto de a COM interface apenas conseguir utilizar uma das bases de dados LCA por sessão. O que limita em muito a abrangência de dados LCA a que a SW2SP Main Application irá ter acesso. Por último, o aspecto de apenas ser permitido ao utilizador interagir com o SimaPro através da COM interface dentro de um projecto existente no mesmo. Isto provoca que, para se poder utilizar a aplicação, tenha de existir sempre projectos criados no SimaPro e que o utilizador saiba o nome de algum deles. Caso não exista projectos criados no SimaPro, o utilizador terá que ir ao programa criar um projecto antes de utilizar a SW2SP Main Application.

Com a conexão à COM interface estabelecida, prosseguiu-se com a compreensão da forma como este se encontra estruturada. Para acelerar e facilitar essa mesma compreensão, recorreu-se à documentação fornecida pelo SimaPro sobre o funcionamento da sua COM interface.

Numa primeira fase foi estudado como os vários tipos de processos LCA: materiais, processos, consumo de energia, cenários de transporte, etc. se encontravam organizados e eram identificados na COM interface, para ser posteriormente definido o melhor método de manipulação dos mesmos dentro da aplicação. Verificou-se então que o tipo de todos estes processos é identificado pela propriedade “ProcessType” pertencente à classe “Process” da COM interface.

Tabela 1: Tipos de Processo “ProcessType”

Tipo de Processo	Descrição
ptAssembly	<i>Assemblies</i> constituídos por materiais, processos de fabrico, consumo de energia, cenários de transporte e utilização
ptDisassembly	Processos de desmontagem de <i>assemblies</i> que consideram cenários de disposição e resíduos
ptDisposalScenario	Cenários de disposição de <i>assemblies</i> que consideram os processos de desmontagem dos mesmos e possíveis cenários de reutilização
ptEnergy	Tipos de consumo de energia de produtos
ptLifeCycle	Conjunturas de ciclos-de-vida de <i>assemblies</i> que consideram cenários de disposição, cenários de resíduos e também ciclos-de-vida adicionais
ptMaterial	Tipos de materiais
ptProcessing	Tipos de processos de fabrico
ptReuse	Processos de reutilização de <i>assemblies</i>
ptTransport	Cenários de transporte
ptUse	Cenários de utilização de produtos
ptWasteScenario	Cenários de resíduos
ptWasteTreatment	Tratamento de resíduos

Após o reconhecimento do método de identificação dos vários tipos de processos LCA, seguiu-se a averiguação do modo de acesso aos mesmos. Esse acesso é realizado através da execução de um ciclo que percorre todos os processos LCA existentes na base de dados e projecto do SimaPro definidos para a sessão estabelecida, em que para cada um dos processos é possível extrair o seu nome, projecto (livraria para a base de dados local), tipo de processo e o nome do tipo de processo. Toda esta informação é obtida através de métodos do objecto “SimaProServer” (ver Ilustração 15), criado antes do estabelecimento da sessão com a COM interface, e pode ser categorizada pelo tipo de processo (ver Tabela 1).

```
public void getMaterialsSP() //obter todos os materiais existentes na sessão estabelecida com o SimaPro
{
    List<Product> materials = new List<Product>(); //lista que onde são inseridos os materiais

    for (int i = 0; i < session.ProductCount; i++) //ciclo que percorre todos os processos de ciclo de vida
    {
        TProcessType type = session.get_ProductProcessType(i); //obtem-se o tipo de cada processo

        if (type == TProcessType.ptMaterial) //verifica-se se é um material, se for...
        {
            Product prod = new Product //cria-se um objecto para esse material
            {
                Name = session.get_ProductName(i), //obtem-se o nome do material
                ProjectName = session.get_ProductProjectName(i), //projecto
                ProcessType = session.get_ProductProcessType(i), //tipo de processo
                ProcessTypeName = session.get_ProductProcessTypeName(i) //nome do tipo de processo
            };
            materials.Add(prod); //adiciona-se o objecto criado à lista de materiais
        }
    }
}
```

Ilustração 15: Código exemplo para obter todos os materiais

Como é ilustrado na Ilustração 15, a categorização dos processos LCA é feita pelo seu tipo, neste caso, são obtidos todos os materiais. No entanto o normal é existirem milhares de materiais, o que demanda a uma categorização mais pormenorizada destes processos. Caso

contrário no presumível cenário da selecção de um dado material na aplicação, o utilizador gastará imenso tempo à procura do material desejado. O que não abona em nada no que concerne à usabilidade pretendida para a SW2SP Main Application. Como a COM interface não disponibiliza mais nenhum método ou propriedade que permita essa categorização mais detalhada dos processos, surge então a tal de necessidade da existência da base de dados local. Estas vão permitir uma maior categorização dos dados por parte do utilizador, facilitando grandemente a sua interacção com a aplicação.

Para além da inexistência de funções na COM interface que facultem a tal categorização ambicionada, verificou-se também a falta de um método para a obtenção das unidades associadas aos vários processos LCA. Principalmente para os processos utilizados nos produtos, que apresentam uma grande variedade de unidades entre eles. Por exemplo, o processo de laminação a quente é medido em kg, enquanto o processo de maquinagem a laser é medido em horas. Neste contexto foi imperativo o desenvolvimento de um método, que tendo em conta um determinado processo LCA, obtenha a unidade considerada pelo SimaPro para o mesmo (ver Ilustração 16).

```
public void setUnit(Product product) //obter e definir unidade para o processo de ciclo-de-vida (product) em questão
{
    SimaPro.Process process = null; //é criado um objecto Process
    session.FindProcess(product.ProjectName, product.ProcessType, product.Name, out process);
    //através do projecto, do tipo e nome do processo de ciclo-de-vida é encontrado e definido um objecto do tipo Process para o mesmo

    if (process != null)
    {
        for (int j = 0; j < process.get_LineCount(TProcessPart.ppProducts); j++) //percorre-se todas linhas do objecto Process definido
        {
            ProcessLine l = process.get_Line(TProcessPart.ppProducts, j);
            if (l.ObjectName.Equals(product.Name)) //para a linha em que o nome do objecto é igual ao do processo de ciclo-de-vida
            {
                product.Unit = l.UnitName; //é associada a unidade correspondente
            }
        }
    }
}
```

Ilustração 16: Método definido para obter as unidades dos processos

Com cada processo com a sua unidade definida, sendo efectivamente a mesma que é também considerada pelo SimaPro. A SW2SP Main Application fica então em total concordância com o SimaPro, encontrando-se as duas a “falar a mesma língua”, evitando desta forma o surgimento de problemas, sobretudo ao nível do processamento da informação.

4.6.2 Principais Funcionalidades Implementadas

Dos algoritmos desenvolvidos, aqueles que se destacaram, pelo tempo que demoraram a ser implementados correctamente e também pela dificuldade que ofereceram, foram os algoritmos relativos aos cálculos do impacto ambiental de ciclo-de-vida e o da importação da árvore do produto do SolidWorks para a aplicação.

4.6.2.1 Árvore do Produto

A importação da árvore do produto, previamente modelado no SolidWorks, é feita através da base de dados do ficheiro “.sdf” gerado pelo SW2SP Addin para o produto em questão. Esta base de dados é constituída pela informação de cada um dos componentes que compõe o produto modelado, onde cada registo da base de dados diz respeito a um desses componentes. A sua utilização para a importação da árvore do produto para a aplicação, deve-se ao facto do nome de cada um dos componentes armazenado na base de dados possuir toda a informação relativa ao seu *path* na mesma. Por exemplo, se um componente A é “filho” de um componente B na árvore, o nome do componente A na base de dados é representado por B/A. O método para

a importação da árvore do produto tem então que percorrer a base de dados do ficheiro “.sdf”, verificando o nome de cada um dos componentes para a devida definição de todos os nós que a constituem.

Este método denominado de “createComponentTree” recebe o nome do ficheiro “.sdf” como argumento, que como representa o nome do produto, será também o nome da raiz da árvore do mesmo dentro da aplicação. Todos os componentes do produto são previamente retirados da base de dados presente no ficheiro “.sdf” e colocados numa lista. Essa lista, intitulada de “Components” é percorrida dentro do método “createComponentTree” em que para cada um dos componentes, o seu nome é decomposto pelos vários componentes que o antecedem na árvore e que definem o seu *path*, sendo estes armazenados numa lista como um *array* de *strings* (ver Ilustração 17).

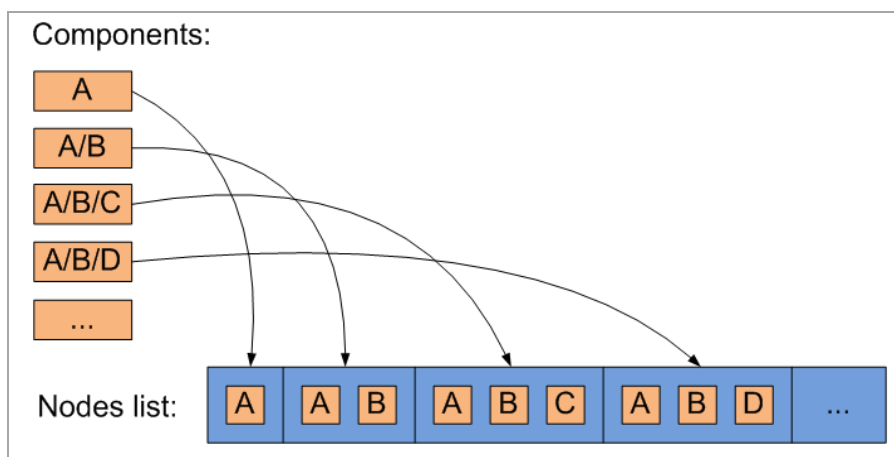


Ilustração 17: Decomposição do nome dos componentes

Com a lista dos nomes de todos os componentes decompostos, intitulada de “nodes_list”, todos os seus elementos são percorridos e sujeitos a uma série de verificações antes de serem adicionados à árvore de produto, de modo a esta ficar correctamente construída. Aqui o algoritmo adiciona o nome na primeira posição do *array*, presente no primeiro elemento da lista “nodes_list”, à árvore como um novo nó. Depois vai verificar se o *array* desse elemento da lista tem mais posições para serem consideradas, ou seja, se a esse componente sucedem outros componentes. Em caso afirmativo, estes serão adicionados ao nó anteriormente acrescentado na árvore, como seus filhos, netos e assim sucessivamente, até não existirem mais posições no *array*. Verificado todo o *array* presente na primeira posição da “nodes_list”, o algoritmo prossegue para o próximo elemento da mesma. Neste segundo elemento é apurado se o nome na primeira posição do *array* aí contido é igual ao nome da primeira posição do *array* do elemento da “nodes_list” anterior a este. Se forem iguais, este não é adicionado à árvore como um novo nó, pois um nó representativo do mesmo já foi adicionado à árvore na iteração anterior do algoritmo. O *array* deste segundo elemento da lista “nodes_list” é então percorrido sequencialmente, no caso de algum dos nomes desse *array* ainda não estar presente na árvore, é então adicionado na posição respectiva, como “filho” de um dos nós adicionados anteriormente, até se chegar ao fim do *array* para esse elemento da lista. Caso contrário, se o nome na primeira posição do *array* do segundo elemento da “nodes_list” não for igual à primeira posição do *array* do primeiro elemento da mesma. O nome na primeira posição do *array* deste segundo elemento é adicionado na árvore como um novo nó e é então verificado se este contém mais posições. Caso contenha, este é percorrido como aconteceu com o *array* presente no primeiro elemento da “nodes_list”, sendo adicionados à árvore os novos nós que daí resultam. Todo este processo é então repetido para cada um dos *arrays* de todos os elementos da “nodes_list”, até a árvore do produto estar completa.

Como o algoritmo descrito é relativamente complexo de perceber, mesmo com a sua explicação efectuada, este é representado na Ilustração 18, para o caso da “nodes_list” ilustrada

na Ilustração 17. Quanto ao código referente à implementação do mesmo, este encontra-se exposto no anexo B.

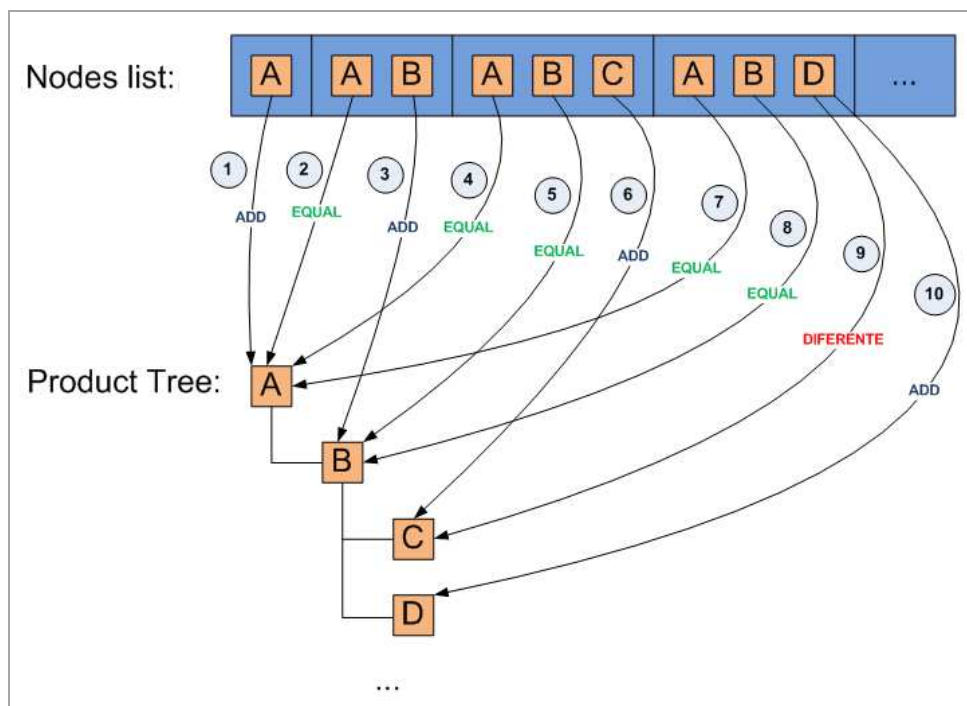


Ilustração 18: Representação do algoritmo de construção da árvore do produto

4.6.2.2 Cálculos LCA

O cálculo do impacto ambiental do ciclo-de-vida dos produtos levado a cabo pela aplicação, resulta apenas da interacção desta com o SimaPro. Do ponto de vista teórico, a aplicação deve enviar os dados relativos a cada um dos componentes, que constituem o produto a ser analisado, para o SimaPro. Este procede à sua análise, gerando todos os resultados de LCA (*Life Cycle Assessment*) possíveis para os mesmos. A aplicação dentro desses resultados define aquelas que lhe afectam, formatando-os e apresentando-os ao utilizador.

No entanto do ponto de vista prático, este processo já não se afigurou tão intuitivo. O desafio neste cenário, era averiguar quais os métodos ou funções da COM interface que deveriam processar os dados, referentes aos diferentes processos LCA do produto em análise. E posteriormente aos cálculos serem efectuados, qual a forma de extrair os resultados pretendidos para a SW2SP Main Application.

Em primeiro lugar antes de se efectuar qualquer tipo de cálculo, é necessário definir um método de cálculo e um tipo de normalização para os resultados obtidos através do mesmo. O SimaPro disponibiliza vários métodos de cálculo de LCA, sendo estes facilmente obtidos através da COM interface pela função “get_MethodName” invocada através do objecto “SimaProServer”. Todos os métodos de cálculo, bem como os tipos de normalização disponibilizados por cada um deles, foram obtidos e armazenados numa lista (ver Ilustração 19), de modo a estes poderem ser acedidos pelo utilizador na aplicação, sempre que este pretender executar qualquer tipo de cálculo de impacto ambiental.

```

public List<Method> getMethods() //função que obtém todos os métodos de cálculo disponibilizados pelo SimaPro
{
    List<Method> methods = new List<Method>();

    for (int i = 0; i < session.MethodCount; i++) //percorre todos os métodos de cálculo existentes
    {
        Method m = new Method //cria um objecto Method para cada um deles
        {
            Index = i, //guarda os seus dados no objecto criado
            Name = session.get_MethodName(i),
            Project = session.get_MethodProjectName(i)
        };

        StdVCL.IStrings nws = session.get_NWSets(m.Project, m.Name); //obtem os tipos de normalização existentes
        for (int j = 0; j < nws.Count(); j++) //para o método de cálculo em questão
        {
            m.NormalizationWeightingSets.Add(nws.get_Item(j).ToString()); //e armazena-os numa lista do objecto criado
        }
        methods.Add(m); //por fim adiciona o objecto Method com toda a informação do método de cálculo considerado à lista
    }

    return methods;
}

```

Ilustração 19: Função definida para obter todos os métodos de cálculo

Com o método de cálculo e o seu tipo de normalização definidos, procedeu-se à implementação do algoritmo de cálculo propriamente dito. Consoante o componente seleccionado na árvore do produto que é apresentado na aplicação, é identificado o material e os processos que lhe estão associados, sendo todos os dados relativos aos mesmos retirados da base de dados local. Seguidamente deve ser invocada a função “Analyse” do objecto “SimaProServer” para o material do componente e cada um dos processos utilizados para o mesmo. Esta função recebe a livreria, nome e tipo do processo LCA em análise (materiais ou processos), assim como o método e o tipo de normalização a serem considerados. O papel desta função é verificar se consoante os dados recebidos é possível obter resultados LCA dos mesmos, retornando verdadeiro se for esse o caso. Este passo é realizado para verificar a autenticidade e qualidade da informação recebida relativamente ao ciclo-de-vida do produto, daí ser tão importante a coerência dos dados partilhados entre a SW2SP Main Application e o SimaPro.

Partindo do princípio que a função “Analyse” retorna verdadeiro, deve-se verificar se efectivamente foram gerados resultados para o processo LCA em questão. Este passo é realizado através do método “get_ResultCount” do objecto “SimaProServer”, que recebe como argumento o tipo dos resultados a serem apresentados, ou seja, o indicador a ser considerado para esses resultados. Caso este método retorne um valor maior do que zero, então significa que existem resultados para o indicador que lhe foi passado como argumento.

O SimaPro considera seis tipos de indicadores de resultados (ver Tabela 2), dentro dos quais estes podem ser definidos e apresentados.

Tabela 2: Tipos de Indicadores de Resultados

Tipo de Indicador	Descrição
rtCharacterisation	Resultados de caracterização
rtDamage	Resultados de danos
rtNormalisation	Resultados normalizados
rtWeighting	Resultados ponderados (“pesados”)
rtSingleScore	Resultados de pontuação (igual a resultados ponderados)
rtInventory	Resultados de inventário (LCI)

Para cada um dos indicadores de resultados disponíveis é executado um ciclo no algoritmo, que percorre todos os resultados gerados para o mesmo. Em cada iteração do ciclo, ou seja, para cada resultado gerado é criado um objecto do tipo “SimaProAnalyseResult” através da invocação do método “AnalyseResult”, que também recebe o indicador do resultado em questão

como argumento. Os vários objectos “SimaProAnalyseResult” gerados contêm todos os dados relativos aos resultados que foram calculados: categoria de impacto, unidade e valor. Uma parte do código desenvolvido para a execução de todo este processo, é exibido no anexo B.

As grandes limitações do algoritmo aqui descrito, para a execução dos cálculos de LCA, devem-se à COM interface apenas permitir a análise de um processo LCA de cada vez. Em que os resultados para cada um dos indicadores existentes também têm de ser determinados separadamente. Isto significa que no cálculo do impacto ambiental de um determinado componente, que possui por exemplo um material e dois processos associados, o algoritmo primeiro tem de fazer a análise do material e calcular os seus resultados para cada um dos indicadores e depois fazer o mesmo para cada um dos dois processos isoladamente. Estas restrições vão provocar problemas, nomeadamente ao nível do tempo consumido pela SW2SP Main Application, para a execução dos cálculos de resultados LCA. No entanto, neste momento, devido à forma como a COM interface se encontra estruturada e às limitações que esta oferece, não existe possibilidade de otimizar o algoritmo de cálculo da aplicação. Visto que cada um dos passos definidos, têm mesmo de ser executados para a obtenção de resultados LCA correctos e coincidentes com os obtidos pelo SimaPro para situações idênticas.

4.6.3 Validação dos Resultados

A partir do momento que foram obtidos resultados de LCA (*Life Cycle Assessment*), na SW2SP Main Application, foi crucial proceder à sua validação, de modo a comprovar a fidelidade dos mesmos. Este aspecto caracteriza-se como capital para o sucesso de implementação da aplicação, pois caso esta retorne resultados errados, de nada serve a sua utilização dentro da problemática onde esta se encontra inserida.

4.6.3.1 Caso de Estudo – Pórtico de Auto-estrada

A validação dos resultados foi efectuada com a realização de um caso de estudo, referente ao desenvolvimento de um pórtico das auto-estradas. Este caso de estudo consistia em duas fases distintas: uma primeira fase em que era efectuado todo o processo manual de modelação do produto e a sua posterior análise de ciclo-de-vida. E uma segunda fase em que era realizado o mesmo processo, só que desta vez utilizando o SW2SP Addin e Main Application para o efeito.

Assim sendo, numa primeira fase deste caso de estudo, um colaborador do INEGI ligado ao desenvolvimento de produtos devia modelar o pórtico no SolidWorks, ao mesmo tempo que realizava um inventário de todos os materiais e processos associados a cada um dos componentes que o constituem. Depois da modelação e inventário do pórtico consumados, o colaborador em questão teria então que recorrer ao SimaPro para realizar a análise LCA (*Life Cycle Assessment*) e obter os resultados de impacto ambiental do seu ciclo-de-vida.

Na segunda fase o modelo do pórtico no SolidWorks era sujeito ao SW2SP Addin, que ia associar a cada um dos seus componentes os materiais e processo respectivos, bem como todos os dados referentes aos mesmos, colocados no inventário elaborado na fase anterior do caso de estudo. Seguidamente a se encontrar tudo definido pelo SW2SP Addin, este gerava os ficheiros “.sdf”, com toda a informação de cada um dos componentes do pórtico. Este ficheiro era carregado pela SW2SP Main Application, de forma a esta executar os cálculos LCA relativos ao mesmo.

No final do caso de estudo, os resultados obtidos em cada uma das fases, teriam apenas de ser comparados. Caso os resultados das duas fases do caso de estudo fossem iguais, uma respeitante ao antigo processo manual e a outra ao novo processo automatizado para a modelação e análise LCA de produtos. A validação dos resultados gerados pela SW2SP Main Application era considerada como atingida.

4.6.3.2 Resultados

Devido ao inventário elaborado para o caso de estudo ser bastante extenso, este não é aqui apresentado na sua totalidade. Sendo que apenas será exposta uma pequena parte do mesmo, de modo a se provar que a validação dos resultados foi alcançada com sucesso.

A parte do inventário aqui exposta é referente à abraçadeira inferior do pórtico, onde todos os dados associados à mesma se encontram especificados na Tabela 3.

Tabela 3: Dados de Inventário da abraçadeira inferior (caso de estudo)

Componente	MIC-ESTM
Nível	3
Código	130600
Designação	Abraçadeira inferior
Desenho	(não definido)
Tipo	Peça
Fornecedor/Fabricante	(não definido)
Unidades (total)	1
Material	St44
Massa Unitária [kg]	46,68
Massa Total [kg]	46,68
Operações	Corte, quinagem e galvanização
Operações de Fabrico	Laminagem
Massa Inicial [kg]	57581,52
Perímetro [m]	3839,87
Tempo [h]	2,13
Massa da Máquina [kg]	(não definido)
Comprimento de Soldadura [m]	(não definido)
Área de Superfície [m²]	0,85

Os dados da abraçadeira inferior presentes no inventário, relativos ao seu material e processos (operações) utilizados, têm de ser correspondidos aos dados da base de dados local a que dizem respeito (ver Tabela 4), para poderem ser processados pelo SimaPro através da aplicação.

Tabela 4: Correspondência dos Dados Inventário/Base de Dados Local

Tipo	Nomes do Inventário	Nomes da Base de Dados (correspondentes)
Material	St44	Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U
Operação	Corte	Steel product manufacturing, average metal working/RER U
Operação	Quinagem	Hot rolling, steel/RER U
Operação	Galvanização	Zinc coating, pieces/RER U
Operação de fabrico	Laminagem	Laser machining, metal, with CO2-laser, 2000W power/RER U

Realizada a correspondência entre os dados referidos no inventário referentes à abraçadeira inferior do pórtico, estes foram carregados para a SW2SP Main Application (Ilustração 20 e 21).

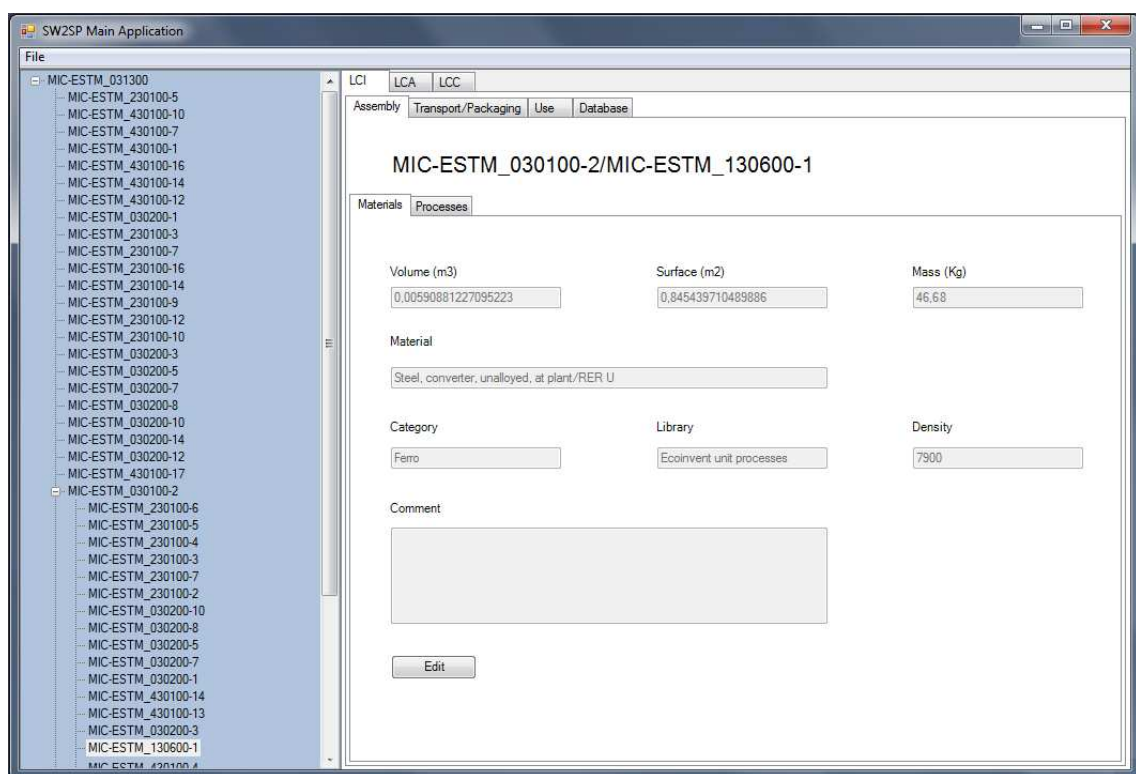


Ilustração 20: Material da abraçadeira inferior definido na SW2SP Main Application

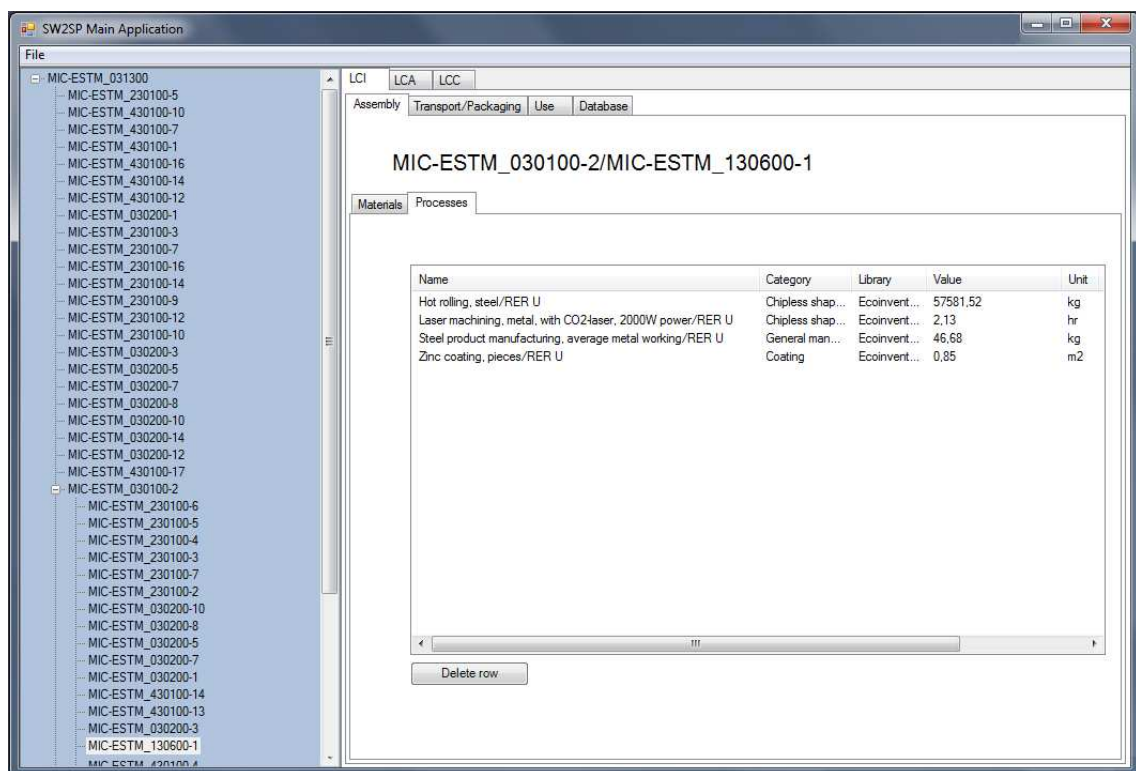


Ilustração 21: Processos da abraçadeira inferior definido na SW2SP Main Application

Em relação aos resultados deste caso de estudo, estes foram calculados para o método de avaliação do impacto ambiental EcoIndicator99 (EI99) e para o tipo de normalização H/A desse

método. Pois foi este o método definido para utilização neste projecto no cálculo dos resultados LCA (*Life Cycle Assessment*) a serem considerados.

Dos resultados obtidos para o método e tipo de normalização referidos, tanto para a aplicação como para o SimaPro, apenas serão exibidos os referentes ao indicador “rtSingleScore”, por categoria de danos, de modo à visualização da comparação entre os mesmos ser simplificada.

Quanto aos resultados do caso de estudo gerados pela SW2SP Main Application estes são exibidos na Ilustração 22, enquanto os originados para o mesmo cenário pelo SimaPro são mostrados na Ilustração 23.

Damage Category	Unit	Total	Steel, converter, unal...	Hot rolling, steel/RE...	Laser machining, metal, ...	Steel product manuf...	Zinc coating, pieces/F
Total	Pt	1139,68712052357	4,94762610456694	1128,12360345907	0,00070006690791252	5,54148937029824	1,07370152272187
Human Health	Pt	504,604128379997	3,56805456399429	498,466943755745	0,000347986783509823	2,24348661902207	0,325295454452043
Ecosystem Quality	Pt	78,9298830726751	0,292973792419834	77,357174278379	7,32625075919734E-05	0,696936902134941	0,582724837233759
Resources	Pt	556,15310907089	1,08659774815281	552,299485424943	0,000278817616810724	2,60106584914122	0,165681231036067

Ilustração 22: Resultados gerados na SW2SP Main Application

Damage category /	Unit	Total	Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	Hot rolling, steel/RER U	Laser machining, metal, with CO2-laser, 2000W power/RER U	Steel product manufacturing, average metal working/RER U	Zinc coating, pieces/RER U
Total	Pt	1,14E3	4,95	1,13E3	0,0007	5,54	1,07
Human Health	Pt	505	3,57	498	0,000348	2,24	0,325
Ecosystem Quality	Pt	78,9	0,293	77,4	7,33E-5	0,697	0,583
Resources	Pt	556	1,09	552	0,000279	2,6	0,166

Ilustração 23: Resultados gerados no SimaPro

Pela comparação entre os resultados ilustrados nas Ilustrações 21 e 22, verifica-se que os resultados são idênticos. A única diferença é que os resultados gerados na aplicação não se encontram arredondados, enquanto os do SimaPro sim. Com esta verificação efectuada podemos concluir que a validação dos resultados calculados pela SW2SP Main Application foi alcançada.

4.7 Interface com o Utilizador

O desenvolvimento das interfaces da SW2SP Main Application caracterizou-se como uma fase basilar da implementação deste trabalho. Estas têm o propósito de apresentar as informações, relacionadas com as várias fases do ciclo-de-vida do produto, bem estruturadas, organizadas e de acordo com os requisitos do SimaPro.

Os módulos implementados concernem às fases de fabrico do ciclo-de-vida do produto (“Assembly”), transporte e embalagem. Sendo que a fase de fabrico divide-se em materiais e processos.

De notar que as imagens das interfaces expostas ao longo desta secção, foram ligeiramente editadas, nomeadamente ao nível do seu tamanho e das suas proporções, em virtude de se garantir a sua melhor legibilidade. Assim sendo é possível que as proporções de algumas das interfaces apresentadas não correspondam à realidade.

4.7.1 Página Inicial

A interface relativa à página inicial da SW2SP Main Application (ver Ilustração 24) surge após se seleccionar a opção para aceder à mesma, através do SolidWorks (ver anexo A).

Neste primeiro ecrã apresentado, já é possível assimilar a generalidade da estrutura da aplicação. Esta encontra-se organizada em duas partes distintas: uma parte de cor azul à esquerda, que diz respeito ao espaço para onde é carregada a árvore do produto e uma parte do

lado direito onde estão presentes todas as informações do ciclo-de-vida do produto, divididas por diferentes módulos, incluindo módulos de exibição dos resultados das análises LCA (*Life Cycle Assessment*) e de construção da base de dados local.

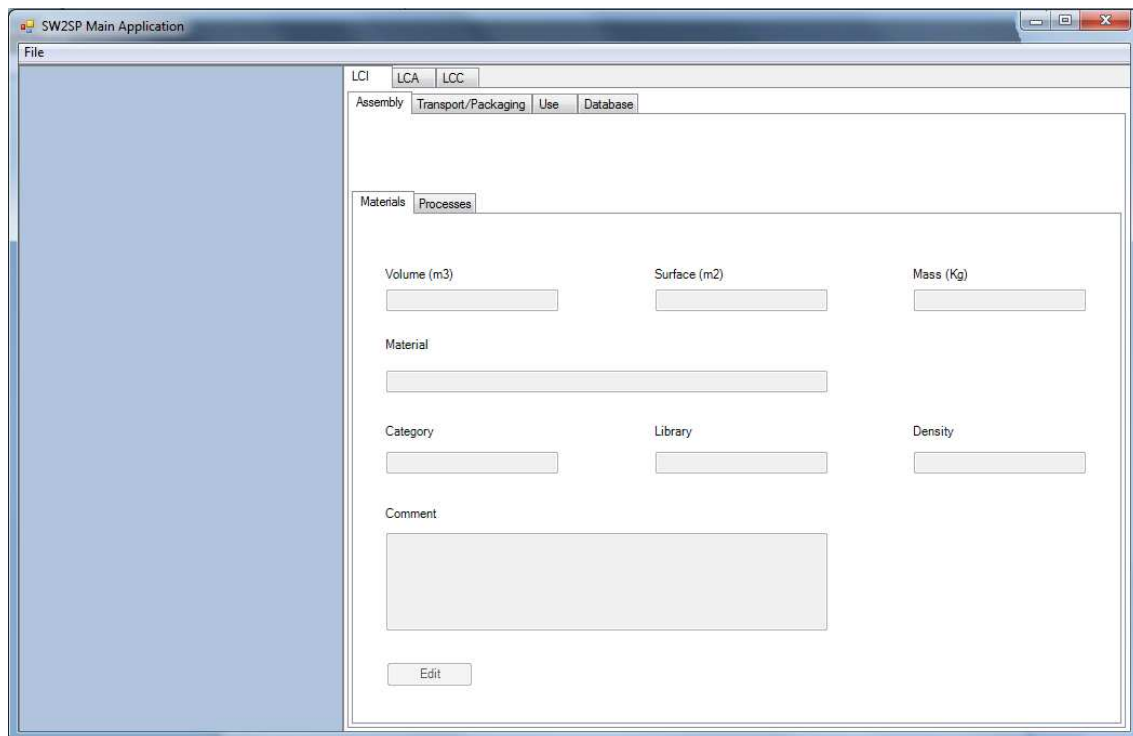


Ilustração 24: SW2SP Main Application – Página Inicial

4.7.1.1 Carregar Produto

Para se proceder à utilização da aplicação é necessário carregar a informação relativa a um produto previamente modelado no SolidWorks, a partir de um dos ficheiros “.sdf” de base de dados, gerados pelo SW2SP Addin. Nesse sentido o utilizador deve clicar no menu “File”, dentro do qual selecciona a opção “Load” (ver Ilustração 25) e escolhendo de seguida o ficheiro “.sdf” relativo ao produto que pretende carregar.

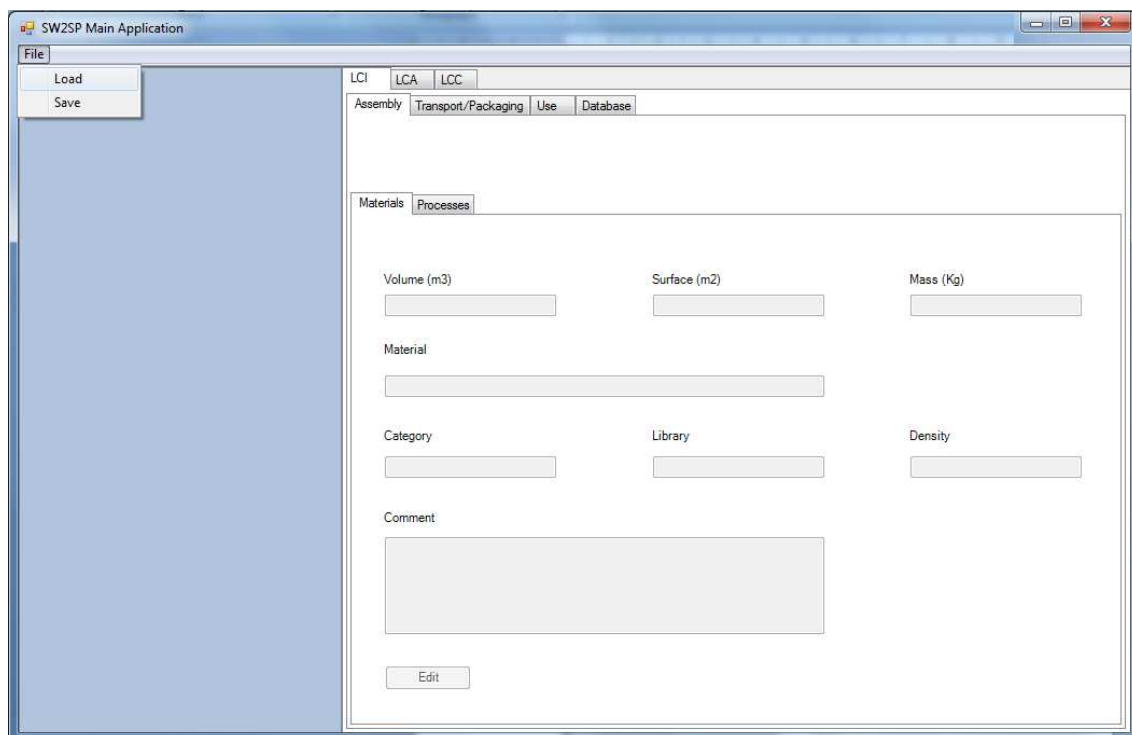


Ilustração 25: Página Inicial – Carregar Produto

Após o carregamento do produto com sucesso, a árvore referente ao mesmo surge na parte azul do lado esquerdo da aplicação (ver Ilustração 26). Com a visualização da árvore do produto, é possível ao utilizador aceder a toda a informação presente em cada um dos seus componentes, *assemblies* e *subassemblies*, bastando para isso que clique no nó da árvore correspondente à parte do produto cuja informação deseja visualizar.

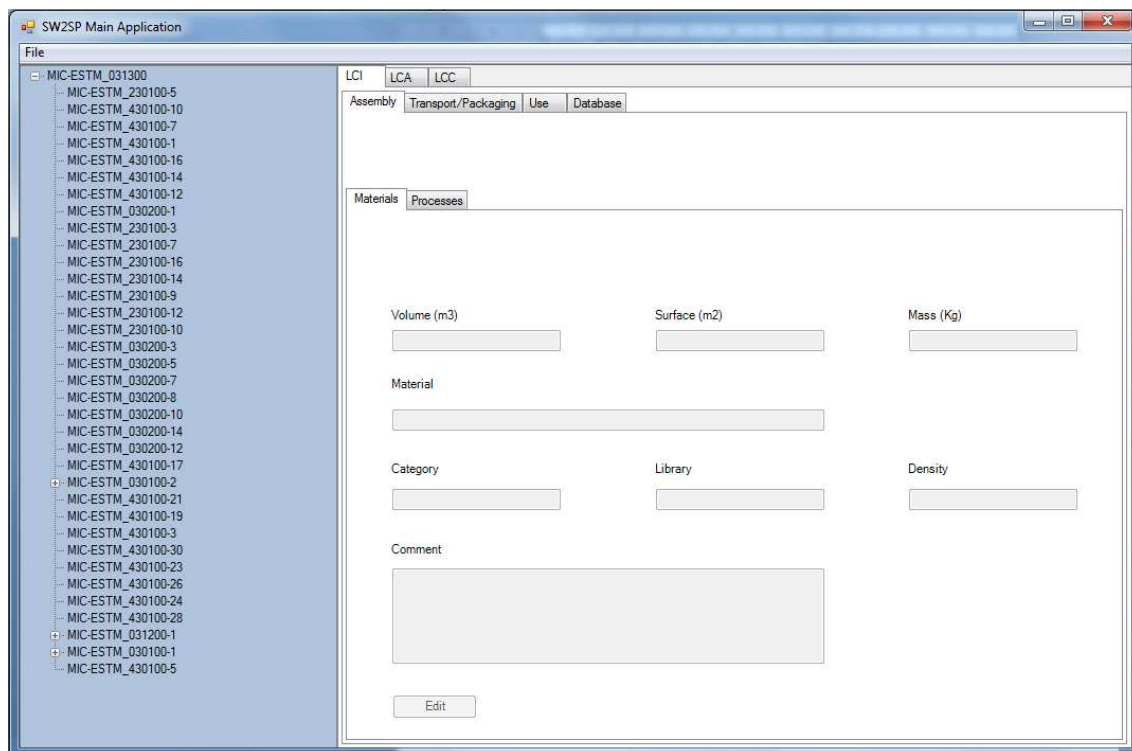


Ilustração 26: Página Inicial – Visualização da Árvore do Produto

4.7.2 Módulo de Materiais

Na página de materiais são apresentadas todas as informações disponíveis relativamente ao material do componente seleccionado na árvore do produto (ver Ilustração 27). Enquanto no topo da página é exibido o nome do componente seleccionado, mais a baixo temos os dados referentes ao nome do material de que este é formado, categoria e livreria a que esse material pertence, comentários associados ao mesmo e ainda dados ligados aos aspectos físicos do componente: densidade, área de superfície, volume e massa.

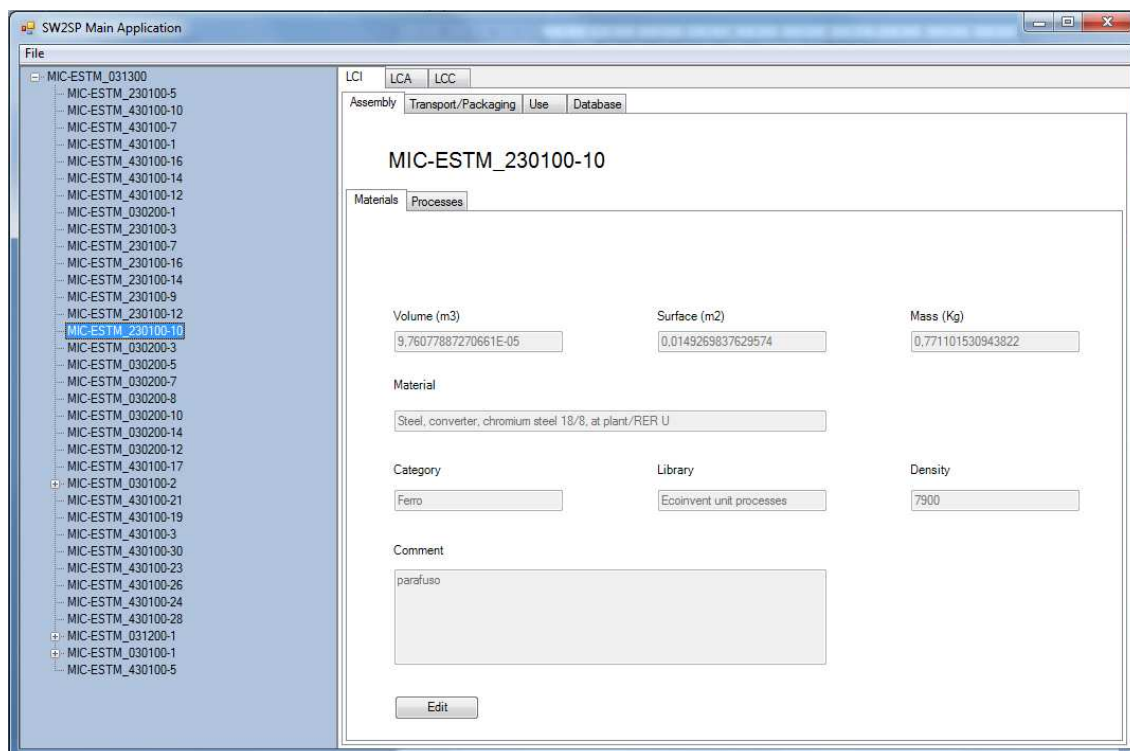


Ilustração 27: Módulo de Materiais

4.7.2.1 Editar Material

Ao clicar no botão “Edit” do Módulo de Materiais é permitido ao utilizador alterar o material do componente seleccionado (Ilustração 28). Neste cenário o utilizador pode escolher outro material para associar ao componente em questão, escolhendo um novo material da mesma categoria e livreria do material antigo ou então seleccionando um material de outra categoria ou livreria. Quando tiver terminado todas as alterações desejadas, o utilizador deve carregar em “Save”. Podendo no entanto cancelar todo este processo a qualquer momento premindo o botão “Cancel”.

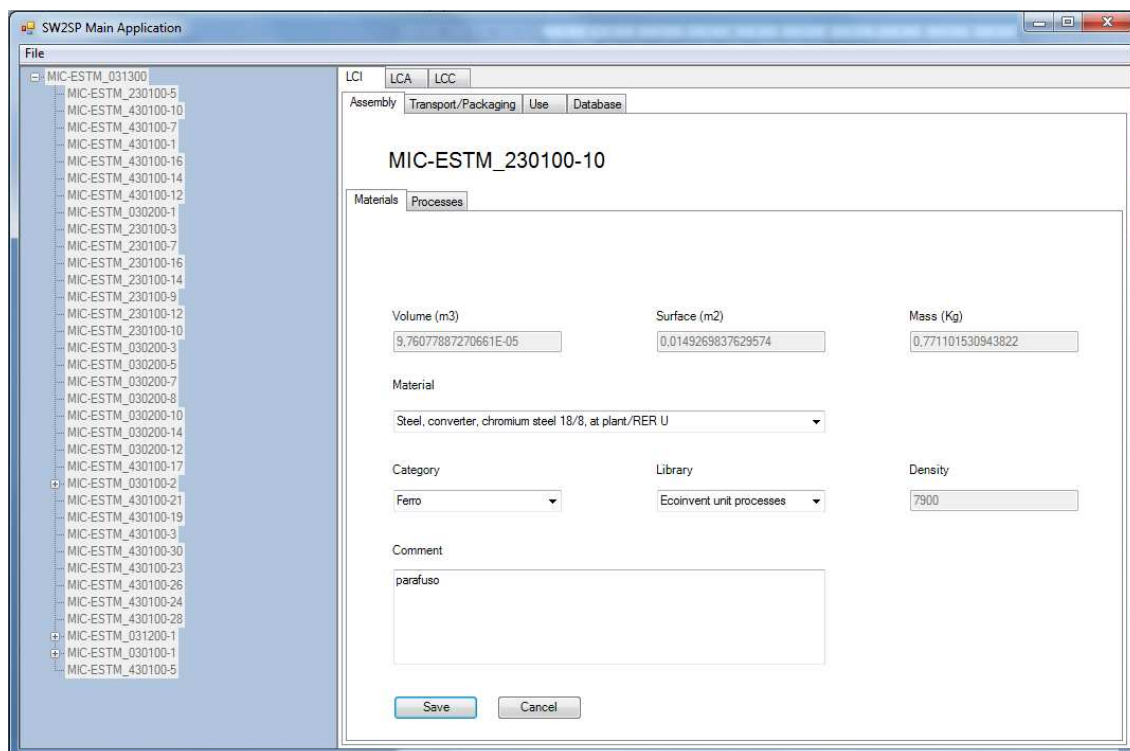


Ilustração 28: Módulo de Materiais – Editar Material

4.7.3 Módulo de Processos

Na página de processos (ver Ilustração 29) é exibida uma lista com todos os processos utilizados e considerados, durante a confecção do componente seleccionado na árvore do produto e também um formulário para associar novos processos ao componente, inserindo-os nessa lista. Cada linha da lista referida diz respeito a um processo, contendo todos os dados referentes ao seu nome, categoria e livreria a que este pertence, comentários associados ao mesmo, tempo estimado para a execução do processo e valor da sua quantidade. A unidade em que o valor da quantidade do processo deve ser considerado não pode ser alterada. Pois cada processo possui apenas uma unidade, que lhe é automaticamente associada pela aplicação, de acordo com a unidade que está prevista em termos de processamento para esse mesmo processo no SimaPro.

Name	Category	Library	Value	Unit	Estimated time	Comment
Hot rolling, steel/RER U	Chipless shap...	Ecoinvent...	547...	kg	4	
Laser machining, metal, with CO2-laser, 2000W po...	Chipless shap...	Ecoinvent...	234	hr	7	corte
Steel product manufacturing, average metal workin...	General man...	Ecoinvent...	43...	kg	3	quinagem

Library:

Category:

Name:

Value:

Time [h]:

Comment:

Ilustração 29: Módulo de Processos

4.7.3.1 Adicionar Processo

Quando o utilizador pretende adicionar um novo processo ao componente seleccionado na árvore do produto, deve proceder ao preenchimento do formulário como ilustrado na Ilustração 30. Em primeiro lugar deve ser seleccionada a livreria seguida da escolha de uma das categorias pertencentes a essa livreria. Depois o utilizador deve prosseguir com a selecção de um dos processos presentes na categoria em questão e a introdução dos dados relativos ao valor da quantidade do processo, o tempo de execução do mesmo e possíveis comentários que devam ser referidos em relação a este. A unidade associada ao valor da quantidade do processo que se quer adicionar é gerada automaticamente e apresentada no formulário. No fim, com todos os campos do formulário preenchidos, o utilizador deve clicar no botão “Add” para adicionar o novo processo à lista.

LCI LCA LCC

Assembly Transport/Packaging Use Database

MIC-ESTM_030100-2/MIC-ESTM_031400-1/MIC-ESTM_130100-1

Materials Processes

Name	Category	Library	Value	Unit	Estimated time	Comment
Hot rolling, steel/RER U	Chipless shap...	Ecoinvent...	547...	kg	4	
Laser machining, metal, with CO2-laser, 2000W po...	Chipless shap...	Ecoinvent...	234	hr	7	corte
Steel product manufacturing, average metal workin...	General man...	Ecoinvent...	43...	kg	3	quinagem

Library: Ecoinvent unit processes

Category: General manufacturing

Name: Metal working factory operation, average heat energy/RER U

Value: 23 kg

Time [h]: 5

Comment: nada a comentar

Delete row Add

Ilustração 30: Módulo de Processos – Adicionar Processo

4.7.3.2 Editar Processo

Para editar qualquer um dos processos, o utilizador terá que fazer um duplo-clique sobre o processo da lista cujos dados tenciona editar. Após o duplo-clique efectuado, todos os dados do processo em questão ficam disponíveis para edição (ver Ilustração 31). O utilizador pode então proceder à alteração desses dados, terminando com a selecção da opção “Save”. Podendo também cancelar a edição dos dados a qualquer momento premindo o botão “Cancel”.

LCI LCA LCC

Assembly Transport/Packaging Use Database

MIC-ESTM_030100-2/MIC-ESTM_031400-1/MIC-ESTM_130100-1

Materials Processes

Name	Category	Library	Value	Unit	Estimated time	Comment
Hot rolling, steel/RER U	Chipless shap...	Ecoinvent...	547...	kg	4	
Laser machining, metal, with CO2-laser, 2000W po...	Chipless shap...	Ecoinvent...	234	hr	7	corte
Steel product manufacturing, average metal workin...	General man...	Ecoinvent...	43...	kg	3	quinagem
Metal working factory operation, average heat ene	General man...	Ecoinvent	23	kg	5	nada a come

Library:

Category:

Name:

Value:

Time [h]:

Comment:

Delete row Save Cancel Add

Ilustração 31: Módulo de Processos – Editar Processo

4.7.4 Módulo de Transportes

Na página de cenários de transporte (ver Ilustração 32) são apresentados todos os dados relativamente aos vários cenários de transporte associados ao produto. Ao contrário dos materiais e dos processos, os cenários de transporte não são definidos para cada componente da árvore do produto, mas dizem respeito a toda o produto, representando o transporte do produto ao longo do seu ciclo-de-vida. Enquanto no topo da página é exibida uma caixa de texto, onde o utilizador deve introduzir a distância total de transporte determinada para o produto em questão, mais a baixo é exibida uma lista com todos os cenários de transporte considerados e um formulário para associar novos cenários de transporte ao produto, inserindo-os na lista. O formulário para introduzir um novo cenário de transporte só fica disponível ao utilizador depois de este introduzir no topo da página a distância total de transporte do produto. Cada linha da lista referida diz respeito a um cenário de transporte, contendo todos os dados referentes ao valor da distância percorrida pelo mesmo em km e à categoria e subcategoria a que este pertence. A categoria diz respeito ao tipo do transporte, por água, terra, ar, etc. enquanto a subcategoria se refere ao nome descritivo do mesmo.

Category	Sub-Category	Value [Km]
----------	--------------	------------

Ilustração 32: Módulo de Transportes

4.7.4.1 Adicionar Transporte

Quando o utilizador pretende adicionar um novo cenário de transporte ao produto, deve primeiro inserir o valor referente à distância total de transporte associada a esse produto e só depois é que lhe é permitido proceder ao preenchimento do formulário como é exibido na Ilustração 33. Primeiro deve ser seleccionada a categoria (tipo do transporte) seguida de uma das subcategorias (nome descritivo do transporte) pertencentes à categoria escolhida. Depois o utilizador deve prosseguir à introdução da percentagem da distância total, inserida anteriormente no topo da página, que diz respeito ao cenário de transporte a ser adicionado. O valor da distância do novo cenário de transporte é então calculado em função da percentagem da distância total de transporte que esse representa. No caso da Ilustração 33, a distância total introduzida é de 500 km e a percentagem dessa distância total referente ao novo cenário de transporte 15%, assim o valor da distância desse novo cenário de transporte a ser introduzido na

lista é de 125 km, 15% de 500 km. De modo a ajudar o utilizador é disponibilizada no formulário uma mensagem, que o informa sobre a percentagem da distância total de transporte ainda disponível. No fim, com todos os campos do formulário preenchidos, o utilizador deve clicar no botão “Add” para adicionar o novo cenário de transporte à lista.

Ilustração 33: Módulo de Transportes – Adicionar Transporte (1)

Após a inserção do novo cenário de transporte na lista, o valor da distância associada a este é então calculada, como referido anteriormente, sendo depois apresentado na lista ao lado da categoria e subcategoria do mesmo (ver Ilustração 34). Enquanto a mensagem relativa à percentagem da distância total ainda disponível é actualizada, sendo-lhe reduzido o valor da percentagem associada ao novo cenário de transporte adicionado.

Ilustração 34: Módulo de Transportes – Adicionar Transporte (2)

4.7.4.2 Editar Transporte

Para editar qualquer um dos cenários de transporte, presentes na lista de transportes do produto, o utilizador terá que fazer duplo-clique sobre o cenário de transporte da lista cujos dados tenciona alterar. Após o duplo-clique feito, todos os dados do cenário de transporte em questão ficam disponíveis para edição (ver Ilustração 35), o utilizador pode então proceder à alteração desses dados, terminando com a selecção da opção “Save”. Podendo também cancelar a edição dos dados a qualquer momento premindo o botão “Cancel”.

Quando a soma dos valores das distâncias de todos os cenários de transporte presentes na lista é igual ao valor da distância total de transporte no topo da página, o formulário deixa de estar acessível para a adição de um novo transporte, visto que a percentagem da distância total de transporte disponível é 0% (ver Ilustração 35).

Category	Sub-Category	Value [Km]
Water	Freighter inland ETH S	125
Road	Car (pg) I	375

Ilustração 35: Módulo de Transportes – Editar Transporte (1)

Quando o utilizador ao editar um cenário de transporte presente na lista altera o valor da sua distância, de modo a que a soma dos valores de todos os cenários de transporte da lista, seja superior ao valor da distância total de transporte considerada para o produto. A mensagem referente à percentagem da distância total de transporte disponível fica a vermelho, alertando o utilizador sobre a situação ocorrida e indicando a negativo a percentagem da distância total que está a mais (ver Ilustração 36).

LCI LCA LCC

Assembly Transport/Packaging Use Database

Total Transport Distance [Km]: 500

Delivery Packaging

Category	Sub-Category	Value [Km]
Water	Freighter inland ETH S	125
Road	Car (pg) I	400

Category:

Sub-Category:

% Total Distance: (available -5%)

Add

Delete row

Ilustração 36: Módulo de Transportes – Editar Transporte (2)

4.7.5 Módulo de Embalamentos

Na página de cenários de embalagem (ver Ilustração 37) são apresentados todas as informações relativas aos vários cenários de embalagem associados ao produto. Como acontece com os cenários de transporte, também os cenários de embalagem são definidos para todo o produto e não para cada componente da sua árvore. Nesta página é exibida uma lista com todos os cenários de embalagem considerados e um formulário para associar novos cenários de embalagem ao produto, inserindo-os na lista. Cada linha da lista referida diz respeito a um cenário de embalagem, contendo todos os dados referentes ao nome do material utilizado nesse embalagem, o tipo dos resíduos que resultam desse material, o seu cenário de disposição (fim-de-vida) e a sua massa em kg.

LCI LCA LCC

Assembly Transport/Packaging Use Database

Total Transport Distance [Km]: 500

Delivery Packaging

Material	Waste Type	Disposal	Mass
----------	------------	----------	------

Waste Type:

Material:

Disposal:

Mass [Kg]:

Add

Delete row

Ilustração 37: Módulo de Embalamentos

4.7.5.1 Adicionar Embalamento

Quando o utilizador pretende adicionar um novo cenário de embalagem ao produto, deve proceder ao preenchimento do formulário como ilustrado na Ilustração 38. Em primeiro lugar deve ser seleccionada o tipo dos resíduos que resultam do material utilizado no embalamento em questão, o qual é escolhido de seguida de entre todos os materiais associados ao tipo de resíduo previamente seleccionado. Depois o utilizador deve também escolher o cenário de disposição (fim-de-vida) desse material e introduzir a massa do mesmo. No fim, com todos os campos do formulário preenchidos, o utilizador deve clicar no botão “Add” para adicionar o novo cenário de embalamento à lista.

LCI LCA LCC

Assembly Transport/Packaging Use Database

Total Transport Distance [Km]: 500

Delivery Packaging

Material	Waste Type	Disposal	Mass
Aluminium 100% recycled ETH U	Aluminium	Aluminium to MWI U	14

Waste Type: Aluminium

Material: Aluminium 100% recycled ETH U

Disposal: Aluminium to MWI U

Mass [Kg]: 14

Add

Delete row

Ilustração 38: Módulo de Embalamentos – Adicionar Embalamento

Quanto à edição dos cenários de embalamento presentes na lista, esta é executada de modo similar ao descrito para os cenários de transporte, exposto na Ilustração 35.

4.7.6 Módulo de Bases de Dados

A página relativa à definição da base de dados local (ver Ilustração 39) permite a edição e remoção de todos os *datasets* presentes na base de dados local, bem como a adição de novos *datasets* às mesmas, retirados das bases de dados LCA (*Life Cycle Assessment*) de inventário do SimaPro. No topo desta página encontra-se uma *combo-box* para a escolha do tipo de processos LCA presentes na base de dados local, materiais, processos ou transporte, aqueles a que pretendemos aceder.

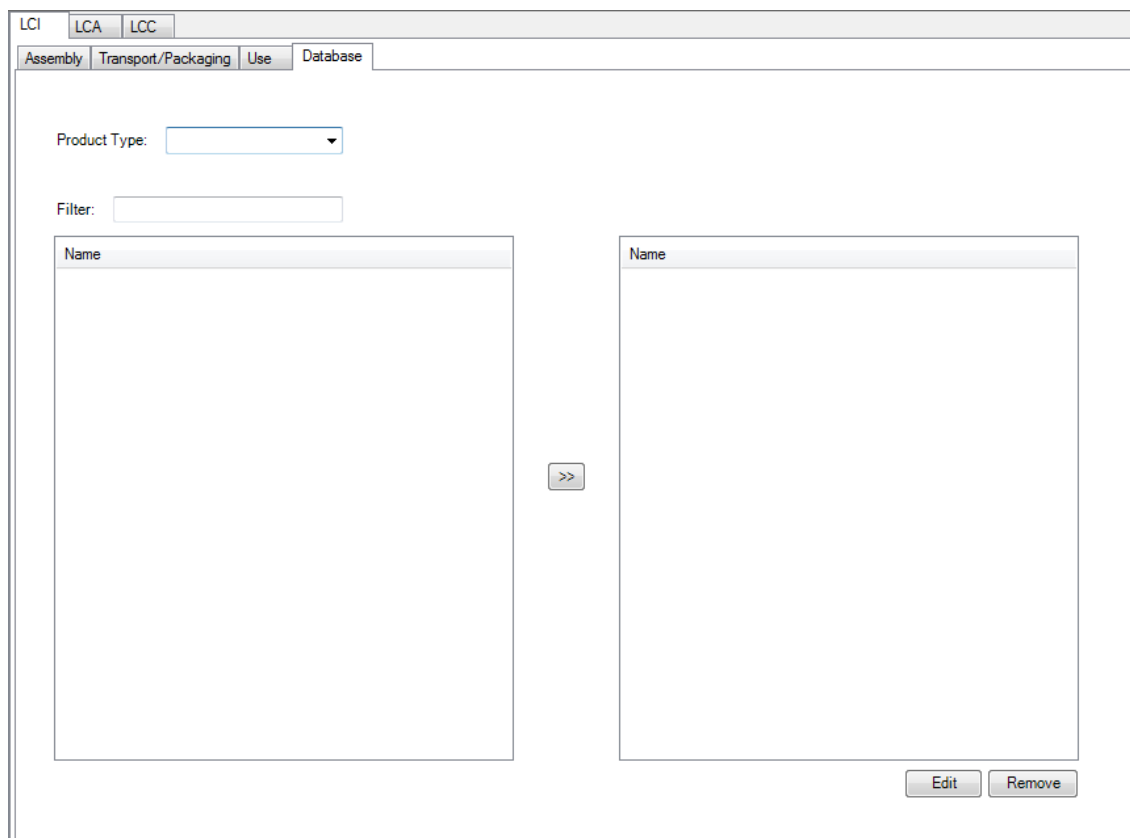


Ilustração 39: Módulo de Bases de Dados

4.7.6.1 Listagem de Registos

A página do módulo de bases de dados possui ainda duas listas, na lista à direita são listados todos os *datasets* da base de dados local, relativos ao tipo de processo LCA (*Life Cycle Assessment*) que foi anteriormente seleccionado. Na lista à esquerda são listados todos os *datasets* presentes nas bases de dados LCA, que ainda não estão presentes na base de dados local (ver Ilustração 40). Existe ainda um filtro por cima da lista referente aos *datasets* das bases de dados LCA, que tem como objectivo ajudar o utilizador a encontrar mais rapidamente o *dataset* referente ao material, processo de ou transporte que tenciona adicionar à base de dados local. Visto o número de *datasets* nas bases de dados LCA serem na ordem dos milhares.

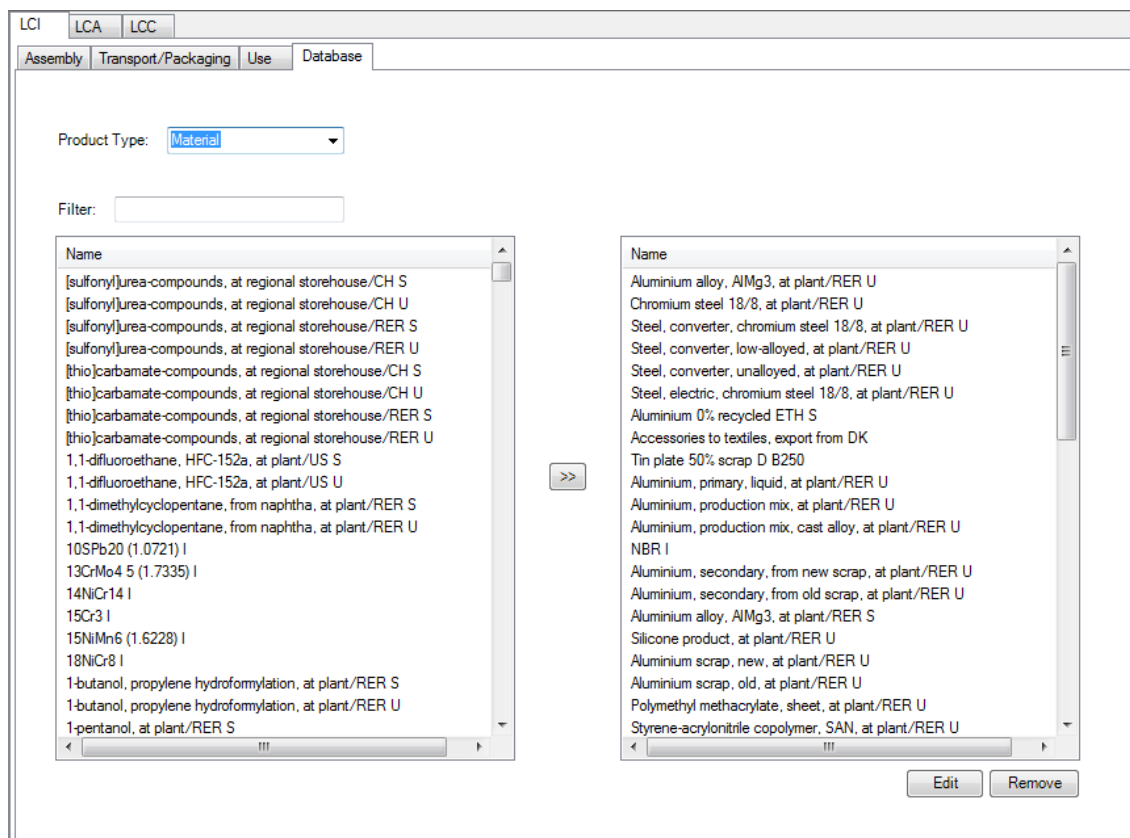


Ilustração 40: Módulo de Bases de Dados – Listagem de Registos

4.7.6.2 Adicionar Registo

Quando o utilizador tenciona adicionar um dos *datasets* presentes nas bases de dados LCA (*Life Cycle Assessment*) à base de dados local da aplicação, deve em primeiro lugar seleccionar o material, processo ou transporte, dependendo do tipo de processo LCA seleccionado anteriormente, que pretende adicionar. Nesta situação é recomendável que o utilizador, caso saiba o nome associado ao *dataset* em questão, faça uso do filtro disponibilizado. Depois de efectuada essa selecção, o utilizador deve clicar no botão que se encontra entre as duas listas, representado pelas duas setas “>>”(ver Ilustração 41).

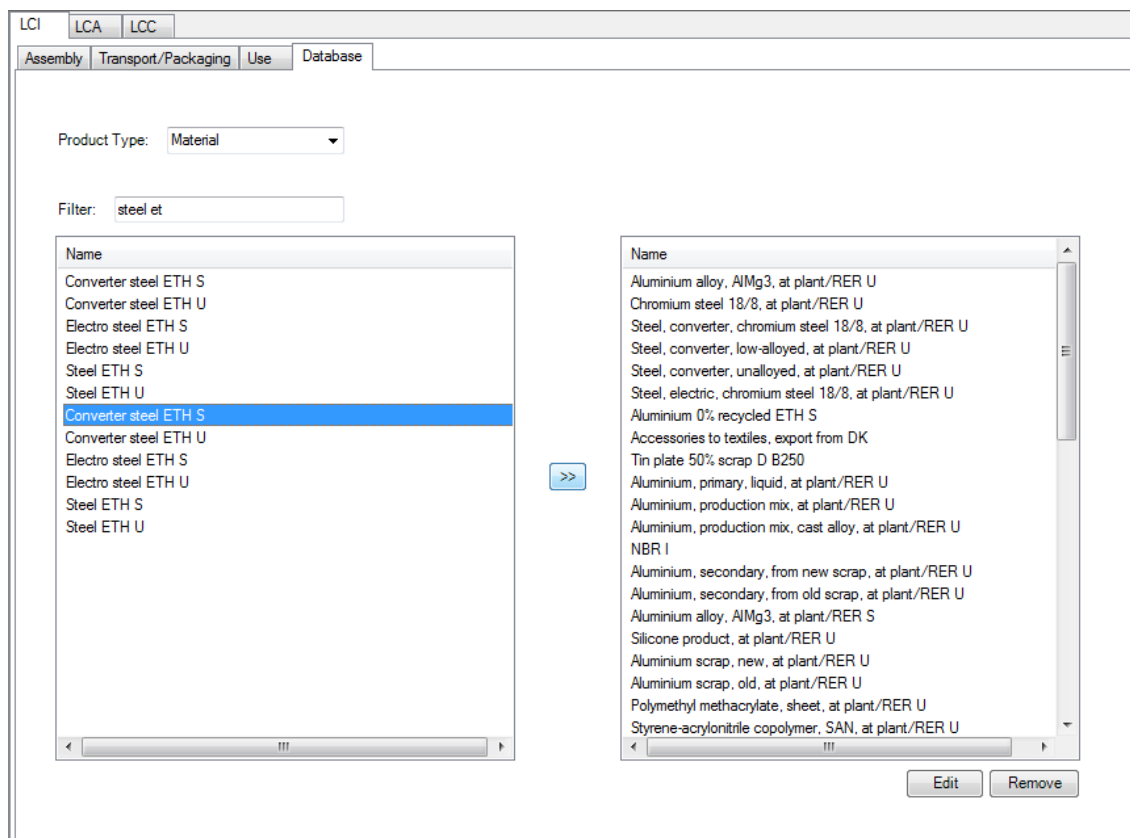


Ilustração 41: Módulo de Bases de Dados – Seleccionar Registo (utilizando o filtro)

Após o clique no botão “>>” colocado entre as duas listas, é gerada uma janela *pop-up* com um formulário dos dados relativos ao *dataset* a ser adicionado na base de dados local (ver Ilustração 42). Aqui o utilizador deve proceder ao preenchimento dos dados em falta no formulário, em relação a esse *dataset*. Os dados referentes ao nome, livreria (projecto do SimaPro) e unidade dos *datasets* não podem ser alterados, visto estes serem os que estão definidos nas bases de dados LCA, identificados pelo SimaPro para efeitos de processamento. A sua alteração iria provocar inconsistência nos dados trocados entre a SW2SP Main Application e o SimaPro. No fim, com todos os campos do formulário preenchidos, o utilizador deve clicar no botão “Add” para adicionar o novo *dataset* à base de dados local. Podendo também cancelar todo este processo a qualquer momento premindo o botão “Cancel”.

Ilustração 42: Módulo de Bases de Dados – Adicionar Registo

Depois de adição do novo *dataset*, este passa a estar presente na lista referente à base de dados local, não sendo mais visualizado na lista dos *datasets* das bases de dados LCA (ver Ilustração 43). O que comprova ao utilizador o sucesso da operação realizada.

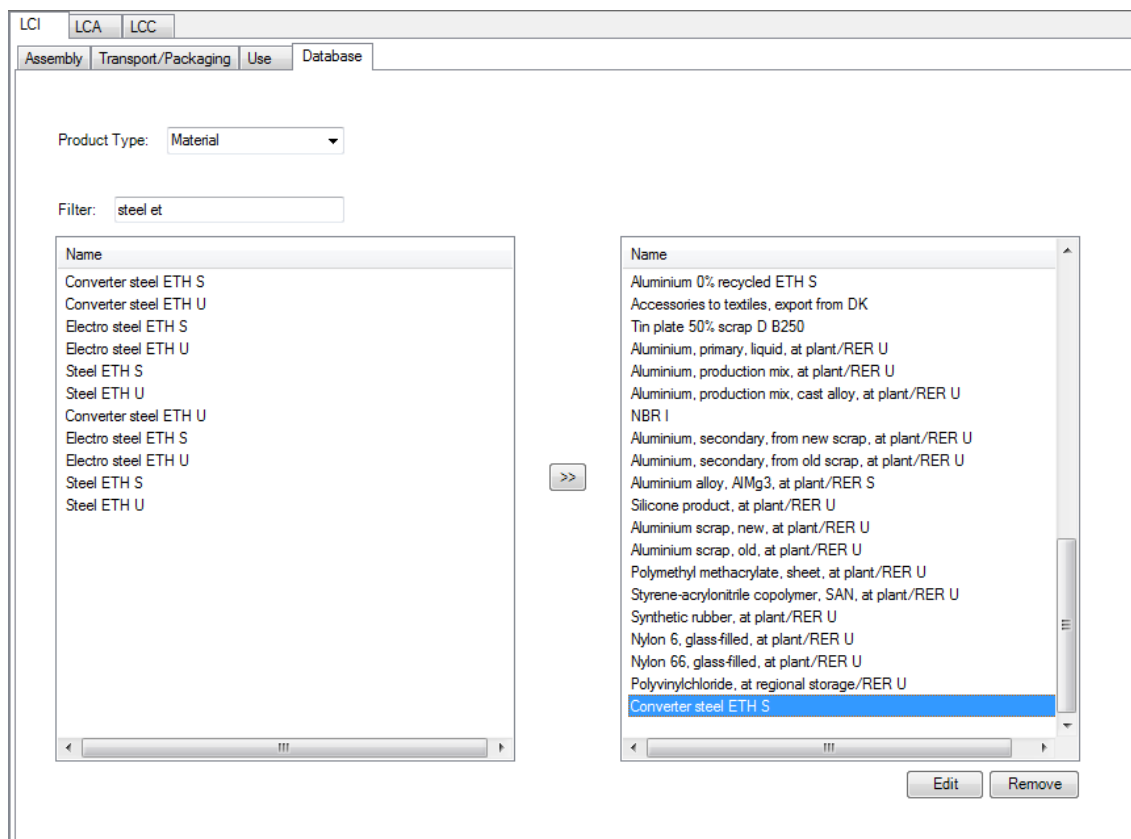


Ilustração 43: Módulo de Bases de Dados – Adicionar Registo (operação bem sucedida)

4.7.6.3 Editar Registo

Sempre que o utilizador pretender editar os dados relativos a um *dataset* presente na base de dados local da aplicação. Este deve em primeiro lugar seleccionar da lista em questão o *dataset* que tenciona editar e depois premir o botão “Edit” colocado por baixo da lista de registos da base de dados local (ver Ilustração 43).

Ao clicar no botão “Edit” surge uma janela *pop-up* (ver Ilustração 44) com todos os dados relativos ao *dataset* previamente seleccionado. Aqui o utilizador deve efectuar as alterações pretendidas no formulário com os dados desse *dataset*, terminando com a selecção da opção “Save”. Podendo também cancelar a edição dos dados a qualquer momento premindo o botão “Cancel”. Como acontece no processo de adição de um novo *dataset* à base de dados local, aqui os dados referentes ao nome, livraria (projecto do SimaPro) e unidade dos *datasets* editados também não podem ser alterados.

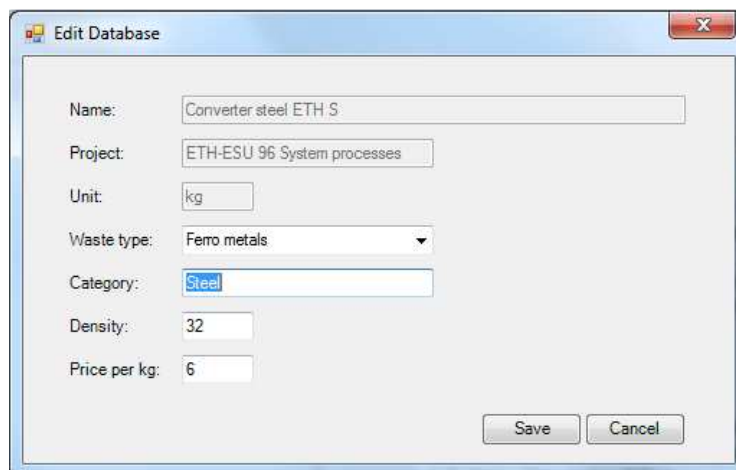


Ilustração 44: Módulo de Bases de Dados – Editar Registo

4.7.7 Módulo de Resultados

Na página de resultados LCA (*Life Cycle Assessment*) encontram-se definidas todas as opções e informações para o cálculo e apresentação dos resultados relativos ao componente seleccionado na árvore do produto (ver Ilustração 35). Para calcular ou analisar os resultados do produto completo, o utilizador deve seleccionar a raiz da árvore do produto.

Esta página encontra-se dividida em duas partes. A parte à esquerda diz respeito à execução do cálculo dos resultados, onde se deve seleccionar o método de cálculo e tipo de normalização referentes aos resultados de impacto ambiental a serem calculados. O cálculo dos resultados é apenas considerado no formato de análise (“Analyze”), devido aos formatos de comparação (“Compare”) e de análise de incerteza (“Uncertainty Analysis”) ainda não terem sido implementados. A parte da direita apresenta esses mesmos resultados para os diferentes indicadores considerados pelo SimaPro (ver Tabela 2), visualizados por categoria de danos ou impacto. Estes resultados apenas são apresentados no que diz respeito à avaliação do impacto (“Impact Assessment”) e no formato de tabela, visto que a parte de contribuição de processos (“Process Contribution”) e os gráficos de barras que também seriam utilizados para a representação dos mesmos não foram desenvolvidos.

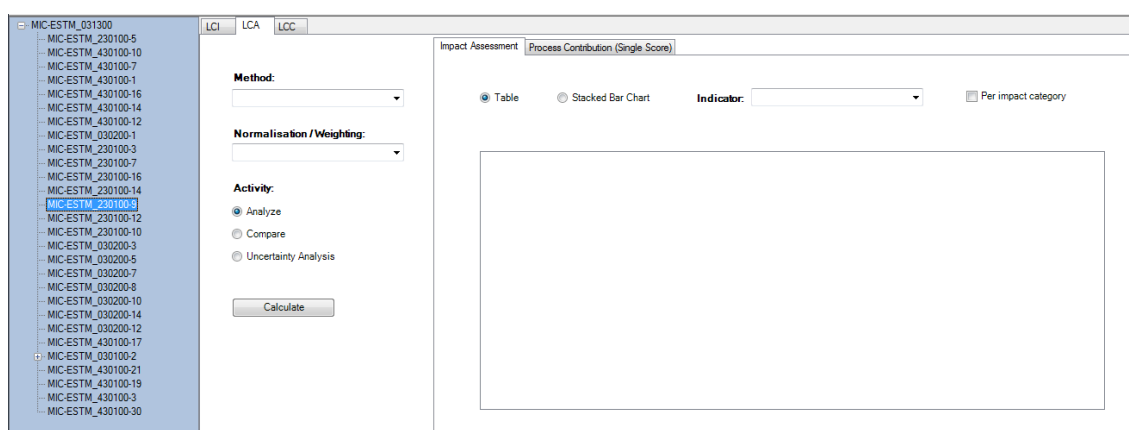


Ilustração 45: Módulo de Resultados

4.7.7.1 Cálculo e Apresentação de Resultados

Quando o utilizador pretende calcular o impacto ambiental do ciclo-de-vida de qualquer um dos componentes da árvore do produto. Primeiramente deve seleccionar na árvore do produto o componente pretendido (ver Ilustração 45). Após a escolha do componente é necessário seleccionar o método de cálculo e o tipo de normalização desejado para os resultados. Por fim o utilizador deve clicar no botão “Calculate” para a aplicação proceder ao cálculo dos resultados para o componente, método de cálculo e tipo de normalização em questão.

Depois da SW2SP Main Application realizar o cálculo dos resultados LCA (*Life Cycle Assessment*), estes são apresentados no formato de tabela para cada um dos indicadores de resultados disponibilizados pelo SimaPro. A tabela de resultados é composta pelo valor de cada um dos processos LCA (materiais, processos, etc.) associados ao componente em questão para cada uma das categorias de dano consideradas, a soma total desses valores e a unidade em que estes se encontram representados (ver Ilustração 46).

Damage Category	Unit	Total	Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	Hot rolling, steel/RER U
Total	Pt	187015.306...	6.15045482329025	187009.156120856
Human Health	Pt	82635.3477...	4.43549248449168	82630.9122689025
Ecosystem Quality	Pt	12823.8702...	0.364199322382694	12823.5060744552
Resources	Pt	91556.0885...	1.35076301641588	91554.7377774986

Ilustração 46: Módulo de Resultados – Apresentação de Resultados (1)

Se o utilizador pretender visualizar os resultados por categoria de impacto, em vez de categoria de danos ilustrada na Ilustração 46. Este deve seleccionar a opção “Per impact category”, que quando é activada efectua a transformação da tabela de resultados, passando a apresentar o valor de cada um dos processos LCA (materiais, processos, etc.), associados ao componente em questão, para cada uma das categorias de impacto que constituem cada uma das categorias de danos, previamente visualizadas na tabela (ver Ilustração 47). As categorias de impacto que pertencem à mesma categoria de danos, possuem a mesma cor na tabela, oferecendo ao utilizador uma melhor compreensão dos resultados LCA apresentados.

Method: Eco-indicator 99 (H)

Normalisation /Weighting: Europe EI 99 H/A

Activity: ☒ Analyze ☐ Compare ☐ Uncertainty Analysis

Calculate

Impact Assessment Process Contribution (Single Score)

Indicator: rtSingleScore ☒ Per impact category

Impact Category	Unit	Total	Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	Hot rolling, steel/RER U
Total	Pt	187015.306...	6,15045482329025	187009.156120856
Carcinogens	Pt	16413.9675...	0,127274618106961	16413.8402268385
Resp. organics	Pt	130.298553...	0,00098403739398539	130.297569797122
Resp. inorganics	Pt	51063.6153...	3,77130301846881	51059.8440868029
Climate change	Pt	14443.5346...	0,520267380213834	14443.0143751133
Radiation	Pt	368.925651...	0,00437048124587174	368.921280649745
Ozone layer	Pt	5.64401882...	5,53416743897114E-05	5,64396348408808
Ecotoxicity	Pt	91083.5281...	1,76972461462855	91081.758453391
Acidification/ Eutrophication	Pt	2202.18444...	0,106950829225448	2202.07749891658
Land use	Pt	1508.84622...	0,0801486065303641	1508.76607340341
Minerals	Pt	3845.01057...	0,439196097681032	3844.571374318
Fossil fuels	Pt	87638.8057...	0,910500658297624	87637.8952545439

Ilustração 47: Módulo de Resultados – Apresentação de Resultados (2)

Caso o utilizador queira visualizar os resultados relativos a outro indicador, deve seleccionar o nome do indicador pretendido de entre os disponíveis na *combo-box* presente por cima da tabela de resultados (ver Tabela 2). Após a alteração do indicador, os resultados referentes ao mesmo são automaticamente apresentados na tabela (ver Ilustração 48).

Method: Eco-indicator 99 (H)

Normalisation /Weighting: Europe EI 99 H/A

Activity: ☒ Analyze ☐ Compare ☐ Uncertainty Analysis

Calculate

Impact Assessment Process Contribution (Single Score)

Indicator: rtCharacterisation ☒ Per impact category

Impact Category	Unit	Total	Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	Hot rolling, steel/RER U
Carcinogens	DALY	0,63193774...	4,900072797118E-06	0,631932848733281
Resp. organics	DALY	0,00501649...	3,78854396684375E-08	0,00501645643718918
Resp. inorganics	DALY	1,96594919...	0,000145195166211049	1,96580399734191
Climate change	DALY	0,55607608...	2,00302941382326E-05	0,556056053441861
Radiation	DALY	0,01420363...	1,68263527966062E-07	0,0142034693050152
Ozone layer	DALY	0,00021729...	2,13065446396539E-09	0,000217292594137391
Ecotoxicity	PAF*m2yr	1168146,24...	22,6967181826112	1168123,55216474
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	28243,0155...	1,37164438481637	28241,6439236051
Land use	PDF*m2yr	19350,9527...	1,02790587875192	19349,9248913987
Minerals	MJ surplus	161682,694...	18,4681959074874	161664,226290072
Fossil fuels	MJ surplus	3685211,78...	38,2865526814151	3685173,49545357

Ilustração 48: Módulo de Resultados – Apresentação de Resultados (3)

4.8 Testes Usabilidade

Os testes de usabilidade efectuados para a SW2SP Main Application foram realizados durante o caso de estudo previamente descrito neste capítulo. Dado que este é um procedimento que deve ser feito pelos futuros utilizadores da aplicação, de modo a detectar falhas de usabilidade no mesmo, foi aproveitado o caso de estudo efectuado para colocar um colaborador do INEGI, ligado à modelação e análise LCA (*Life Cycle Assessment*) de produtos, a interagir com a SW2SP Main Application.

Neste sentido foi medido o tempo que o utilizador, isto é, o colaborador do INEGI demorou a efectuar todo o processo manual de modelação do produto no SolidWorks e posterior análise LCA no SimaPro. Assim como o tempo que este consumiu mais tarde, a realizar o

mesmo processo mas de forma automatizada, ou seja, servindo-se do SW2SP Addin e da SW2SP Main Application.

No fim, não foram encontradas grandes falhas de usabilidade na aplicação, analisadas através da interacção do utilizador com a mesma. Tendo este facilmente assimilado o papel de cada uma das funcionalidades oferecidas, não perdendo muito tempo a tentar compreender como teria de realizar as várias operações disponibilizadas pela aplicação que lhe permitiriam atingir o seu objectivo dentro desta, ou seja, o cálculo dos resultados LCA do produto. Esta facilidade deve-se sobretudo à SW2SP Main Application se encontrar estruturada e organizada segundo os requisitos do SimaPro, com o qual o utilizador em questão já se encontra familiarizado.

Para além do referido, verificou-se uma grande discrepância ao nível do tempo consumido pelo utilizador nos dois processos realizados. Onde o processo automatizado, utilizando a SW2SP Main Application, demorou cerca de um quarto do tempo consumido pelo processo manual efectuado antes deste.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalho Futuro

Para atingir o tão famigerado desenvolvimento sustentável, que ao longo tempo tem-se afigurado cada vez mais difícil de alcançar, designadamente pela necessidade de compreender como este deve ser atingido devido a todos os factores que o mesmo comporta, tem-se apelado fortemente à implementação do Ecodesign no mundo industrial. O principal objectivo neste contexto é tentar melhorar o desempenho ambiental dos produtos actuando ainda na sua fase de design (projecto, modelagem) e ponderando todo o ciclo-de-vida.

Na indústria as principais preocupações surgiram com a directiva EuP (*Energy-using Products*), que como o seu nome indica são focalizadas nos produtos que consomem energia. Desta directiva resultou a designação das máquinas-ferramenta como casos de estudo capitais do Ecodesign, graças ao seu potencial de melhoramento no que diz respeito ao consumo de energia e à escolha inteligente e cuidada de materiais.

Nos últimos anos as empresas têm-se refugiado na utilização de ferramentas LCA (*Life Cycle Assessment*), como o caminho certo a seguir para a implementação completa do Ecodesign. No entanto este caminho afigurou-se bastante mais longo e difícil do que inicialmente previsto, severamente dificultado pelas complexidades acarretadas da utilização dessas ferramentas.

Numa fase prévia deste trabalho foi efectuado um estudo sobre as diversas metodologias e ferramentas de Ecodesign e LCA existentes. Sendo que dentro das ferramentas apuradas, a maior parte falhava pela sua limitada abrangência e baixo-nível de detalhe relativo ao ciclo-de-vida dos produtos.

Conclui-se então que o trabalho a ser produzido durante esta Dissertação teria que se focar no desenvolvimento de uma aplicação com o propósito de controlar um software de LCA (SimaPro), substituindo-o no processo de implementação do Ecodesign, nomeadamente na sua interacção com o utilizador em virtude das dificuldades oferecidas pelo mesmo serem contornadas. Concluindo-se também que a melhor solução para esta aplicação seria o seu desenvolvimento como *plugin* de um software de CAD (*Computer-Aided Design*), o SolidWorks, de forma a fortalecer a ligação entre a fase de design e a fase de avaliação do ciclo-de-vida do produto. Uma ligação praticamente inexistente até este momento e que contribui largamente para a familiarização dos designers de produtos, com as ferramentas LCA. Para além de facilitar o acesso e utilização das mesmas.

5.1 Satisfação dos Objectivos

A aplicação desenvolvida, intitulada de SW2SP Main Application, permite a importação da árvore completa de componentes relativa ao modelo de qualquer produto desenvolvido no SolidWorks, através do carregamento de ficheiros de bases de dados gerados durante a fase de design do produto. Depois disso, a aplicação permite a edição e remoção de todos os dados provenientes do CAD (*Computer-Aided Design*), relativos às características dos materiais e processos empregues no produto durante o seu desenvolvimento. Permitindo também a introdução de novos dados relevantes e alusivos ao seu ciclo-de-vida, como por exemplo cenários de transporte e de embalagem.

Relativamente ao módulo da aplicação que incorpora a fase de transporte do produto, o input principal considerado para efeitos de cálculo é a distância total percorrida por todos os cenários de transporte. A aplicação permite então a análise de diferentes cenários de transporte, sendo que para cada um dos cenários é possível introduzir a percentagem da distância total que lhe diz respeito.

Posteriormente a todos os dados referentes ao ciclo-de-vida do produto estarem definidos, a aplicação pode calcular a avaliação do impacto ambiental de todo o produto, ou então de cada um dos componentes que o constituem, ou mesmo ainda dos vários *assemblies* ou *subassemblies* que o compõem e que são facilmente identificados na árvore do mesmo. Estes cálculos podem ser realizados recorrendo a todos os métodos e tipos de normalização de resultados oferecidos pelo SimaPro. Incluindo o método EcoIndicator99 que foi utilizado como referência para este efeito. Os resultados são então apresentados pela aplicação, pela forma de tabelas, podendo estes ser visualizados por categoria de danos e de impacto ambiental para cada um dos indicadores de resultados existentes no SimaPro. Estes estão acessíveis através da árvore do produto, sendo apresentados na interface da aplicação os resultados respeitantes ao componente da árvore seleccionado, ou então de todo o produto caso se seleccione a raiz da árvore.

A interface da SW2SP Main Application fornece ainda um módulo relativo às bases de dados, que possibilita a criação e edição de uma base de dados local, à qual a aplicação recorre, a partir de dados retirados das bases de dados LCA (*Life Cycle Assessment*) do SimaPro e que são acedidas através da COM interface do mesmo. Isto permite a importação de novos *datasets* de inventário presentes nas bases de dados LCA para a base de dados local, bem como a sua categorização paralela de acordo com os campos definidos pelo utilizador nesta última. Este módulo apresenta como mais-valia, a possibilidade da contínua actualização e melhoramento da base de dados local que é utilizada pela aplicação.

O módulo relativo aos tipos de embalagem utilizados no ciclo-de-vida do produto, apesar de se encontrar totalmente implementado, não está a ser considerado para efeitos de cálculo do impacto ambiental. Isto sucede em virtude de ainda persistirem algumas dúvidas relativamente à melhor forma de incorporação de alguns dados para esses cenários, nomeadamente referentes ao tratamento de resíduos e aos tipos de desperdício que resultam dos mesmos.

A SW2SP Main Application encontra-se devidamente preparada para a contemplação do caso específico das máquinas-ferramenta, fornecendo um nível de detalhe apropriado para este cenário, tendo em consideração todas as suas singularidades. Permitindo também realizar a apreciação de várias alternativas em termos de impacto ambiental, procedendo-se para o efeito à simples modificação dos dados presentes na aplicação.

5.2 Trabalho Futuro

Tendo em conta as restrições temporais associadas à elaboração de uma Dissertação, acrescida do elevado grau de ambição deste trabalho, algumas das funcionalidades da aplicação

ficaram por implementar. Funcionalidades essas que serão seguramente contempladas em trabalho futuro, dando continuidade ao desenvolvimento da SW2SP Main Application.

As funcionalidades até este momento contemplaram fundamentalmente os detalhes de baixo-nível da aplicação, sendo dada prioridade à estabilidade e solidez da mesma em detrimento de uma maior amplitude e de um design mais atractivo. A maior parte dos aspectos que faltam implementar na aplicação dizem sobretudo respeito a pormenores de alto-nível.

Dentro das funcionalidades de alto-nível que não foram desenvolvidas, destaca-se a falta de definição de módulos na aplicação que considerem outras fases do ciclo-de-vida dos produtos, como a energia, consumíveis, peças sobressalentes, fim-de-vida, etc. Os módulos neste momento implementados na aplicação referem-se ao uso de materiais, processos utilizados, cenários de transportes e tipos de embalagem, apesar deste último não ser considerado para efeitos de cálculo como já foi referido. A definição destes módulos não aconteceu por acaso, mas porque ficou determinado, mediante do tempo disponível, que estes seriam os módulos que ostentavam maior prioridade.

Para trabalho futuro ficou também reservado a apresentação dos resultados sobre a forma de gráficos de barras, para além do formato em tabela que se encontra implementado neste momento. Assim como a definição e elaboração de outras categorias para apresentação dos resultados, nomeadamente a contribuição de processos (“Process Contribution”) e análises de incerteza (“Uncertainty Analysis”).

Outro dos objectivos deste trabalho que ficou por cumprir e que terá de ser implementado, diz respeito à possibilidade de considerar diferentes cenários para o mesmo produto dentro da aplicação e permitir a comparação de resultados entre dois produtos diferentes, desenvolvendo interfaces próprias para o efeito.

Fora do âmbito do trabalho futuro relacionado com o incumprimento dos objectivos, será crucial, tendo em vista futuros desenvolvimentos, um estudo bem mais aprofundado acerca da COM interface do SimaPro. Primeiro por ser imperativo optimizar os métodos de cálculo implementados na aplicação, devido ao tempo que estes demoram a ser processados. Apesar dos métodos implementados, em termos do cálculo do impacto ambiental, serem os sugeridos na documentação da COM interface e também pelos técnicos do SimaPro. Estes comportam um processo bastante complexo e exaustivo, que só prejudica a performance da aplicação. Deste modo, em termos futuros, será essencial averiguar a possibilidade de estes métodos de cálculo serem estruturados de outra forma, que melhore significativamente o desempenho da aplicação. Ainda neste contexto, é imperativo um maior e melhor conhecimento da COM interface do SimaPro, sabendo exactamente quais as verdadeiras potencialidades e limitações da mesma, o que irá permitir a optimização de todo o código desenvolvido para a aplicação, em termos da sua estruturação, definição de métodos, funções, etc. Um factor crucial no que diz respeito a futuras implementações, em virtude do contínuo melhoramento da performance e robustez da SW2SP Main Application.

Como este trabalho se insere numa área relativamente recente ao nível do desenvolvimento informático, particularmente em termos da utilização de APIs de ferramentas LCA (*Life Cycle Assessment*). Convém continuar a investigar os desenvolvimentos que vão surgindo neste campo, sobretudo ao nível das bases de dados LCA, que apesar da sua enorme extensão, não deixam de oferecer um conjunto limitado de materiais e processos. Resultando muitas vezes em que os utilizadores deliberem eles próprios valores para as suas condições particulares, o que pode afectar fortemente os resultados da análise de LCA.

No que concerne à SW2SP Main Application, esta ainda está numa fase preambular do seu desenvolvimento, se tivermos em conta as suas enormes potencialidades. Pode-se afirmar que neste momento a aplicação encontra-se numa versão beta bastante robusta e completa, estando esta já a ser empregue no contexto da concepção da quinadora inserido no projecto GreenBender. Devido às potencialidades que a aplicação oferece, é essencial comportá-la com o resto das funcionalidades necessárias para o alcance de uma versão mais final da mesma, que considere todas as fases do ciclo-de-vida dos produtos.

Para além do caso específico das máquinas-ferramenta, a SW2SP Main Application está preparada para a consideração de qualquer outro cenário de desenvolvimento de produtos.

Apresentando um contributo primordial para a implementação do Ecodesign nas empresas e para a mudança do paradigma em relação à utilização das ferramentas LCA.

Referências

- [Bok06] Casper Boks. *The soft side of ecodesign*. Journal of Cleaner Production, pages 1396-1408, 2006.
- [BH97] Brezet, H. e Van Hemel, C. *Eco Design: A Promising Approach to sustainable production and consumption*. Delft University of Technology, UNEP, page 37, 1997.
- [CDP06] Federico Cappelli, Massimo Delogu e Marco Pierini. *Integration of LCA and EcoDesign guideline in a virtual cad framework*. Proceedings of 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Leuven, Maio 2006.
- [DDASV02] J. Duflou, W. Dewulf, F. Al-Bender, P. Sas e C. Vermeiren. *Parametric Eco-Efficiency Analysis: A DfE Support Tool*. Proceedings of 9th CIRP Life Cycle Seminar, Erlangen, pages 121-127, 2002.
- [Fer05] Ferrão, P. *Introdução às Estratégias de EcoDesign – Porquê, o quê e como?*. Instituto Superior Técnico, 2005.
- [HC02] Hemel, C. e Cramer J. *Barriers and stimuli for ecodesign in SMEs*. Journal of Cleaner Production, volume 10, pages 439-453, 2002.
- [HF03] E. Hochschorner e G. Finnveden. *Evaluation of Two Simplified Life Cycle Assessment Methods*. Internacional Journal of Life Cycle Assessment, volume 8, number 3, pages 119-128, 2003.
- [HRW07] M. Huber, P. Rainer e W. Wimmer. *ECODESIGN Toolbox for the Development of Green Product Concepts – Applied examples from industry*. 2nd International Conference ECO-X Sustainable Recycling Management & Recycling Network Centre, Tech Gate, Wien. *Proceedings of ECO-X 2007*, pages 253-262, 2007.
- [Lei05] Sebastian Leibrecht. *Fundamental Principles for CAD-based Ecological Assessments*. International Journal of LCA, pages 436-444, 2005.
- [MA07] Katharina Melk e Reiner Anderl. *A Generic Framework for Life Cycle Applications*. 3rd International Conference on Life Cycle Management, Zurich, University of Zurich at Irchel, Agosto 2007.
- [MDFA07] Nora Markosky, Julia Dose, Gunter Fleischner e Robert Ackermann. *Challenges of Data Transfer between CAD and LCA Software Tools*. 3rd International Conference on Life Cycle Management, Zurich, University of Zurich at Irchel, Agosto 2007.

- [OKMG03] Harald E. Otto, Fumihiko Kimura, Ferruccio Mandorli e Michele Germani. *Integration of CAD Models with LCA*. Proceedings of EcoDesign2003: Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo, Japan, Dezembro 2003.
- [Rai06] Melanie Raimbault. *ISO standards for life cycle assessment to promote sustainable development*, Julho 2006. Disponível em <http://www.iso.org/iso/de/pressrelease.htm?refid=Ref1019>.
- [SX09] SustainabilityXpress, Setembro 2009. <http://labs.solidworks.com/Products/Product.aspx?name=sustainability>.
- [UN87] United Nations. Report of the World Commission on Environment and Development. *General Assembly Resolution 42/187*, Dezembro 1987.

Anexo A

Acesso à SW2SP Main Application

O acesso à SW2SP Main Application é realizado através do SolidWorks. Para executar a aplicação o utilizador terá que seleccionar a opção do menu “SW2SP” e depois clicar em “Main Application” (ver Figura 48).

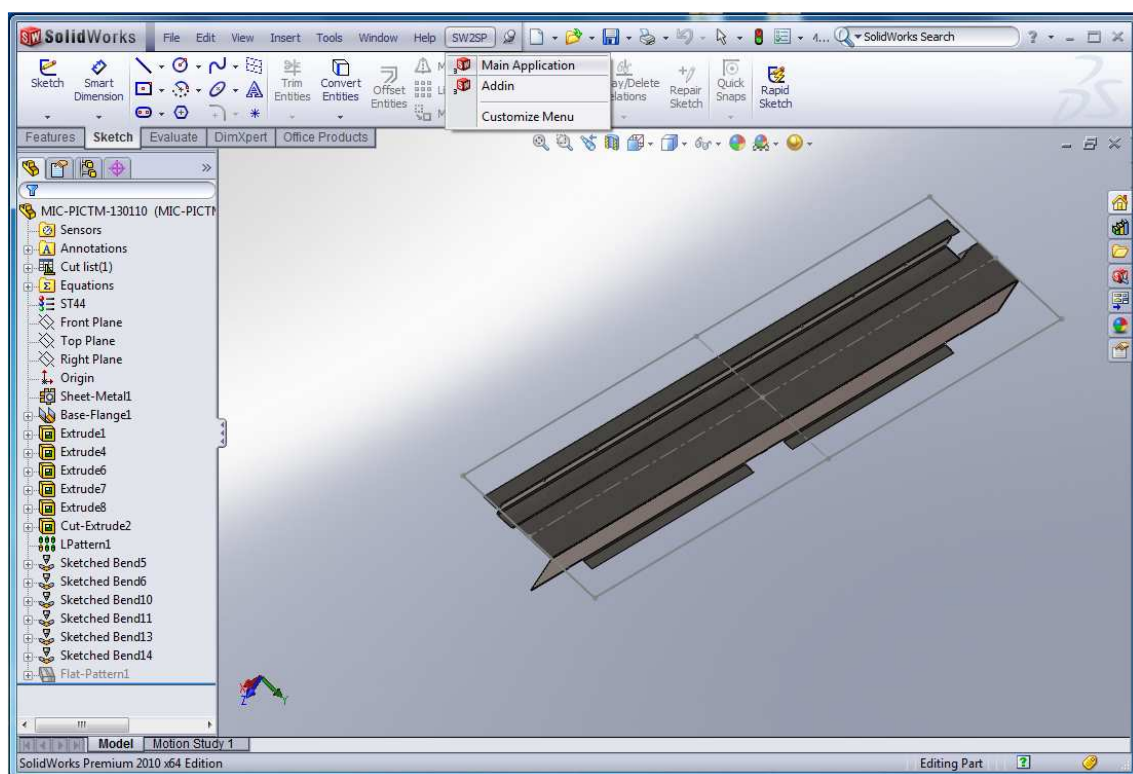


Ilustração 49: Executar a SW2SP Main Application

Anexo B

Exemplos de Código Implementado

B.1 Construção da Árvore do Produto

O código implementado relativo à construção da árvore do produto na SW2SP Main Application é exibido na Figura 49.

```
void createComponentTree(string rootName)
{
    treeView1.Nodes.Clear();

    TreeNode root, node, last_node;
    TreeNode aux = new TreeNode();
    string[] field;
    List<string> nodes_list = new List<string>();

    root = treeView1.Nodes.Add(rootName);
    for (int i = 0; i < Component.Components.Count; i++)
    {
        field = Component.Components[i].Name.Split('/');
        nodes_list.Add(field);
    }

    for (int i = 0; i < nodes_list.Count; i++)
    {
        if (i == 0 || nodes_list[i][0] != nodes_list[i - 1][0])
        {
            node = root.Nodes.Add(nodes_list[i][0]);

            if (nodes_list[i].Length > 1)
            {
                addNodes(node, aux, nodes_list[i], 1);
            }
        }
        else if (i != 0 && nodes_list[i][0] == nodes_list[i - 1][0])
        {
            last_node = root.Nodes[root.Nodes.Count - 1];
            addNodes(last_node, aux, nodes_list[i], 1);
        }
    }

    void addNodes(TreeNode node, TreeNode aux, string[] childs, int pos)
    {
        if (node.LastNode == null || node.LastNode.Text != childs[pos])
        {
            aux = node.Nodes.Add(childs[pos]);
            node.LastNode.Text = childs[pos];
        }
        else
        {
            aux = node.LastNode;
        }

        if (childs.Length > pos + 1)
        {
            addNodes(aux, node, childs, pos + 1);
        }
    }
}
```

Ilustração 50: Código implementado que constrói a árvore do produto

B.2 Cálculo dos Resultados LCA

Na Figura 50 encontra-se exposto um trecho do código que é usado para o cálculo do impacto ambiental na SW2SP Main Application. Nesse trecho de código é efectuado o cálculo para um determinado material associado a um componente do produto, para os indicadores “rtSingleScore” e “rtCharacterisation”.

```
public void Calculate(Method method, string nwset)
{
    Component.Components[Component.selectedComp].results.Clear();

    bool b = false;
    double quant = 0;

    Material mat = Material.materialsBD.Find(delegate(Material m) { return m.Name == Component.Components[Component.selectedComp].Material_name; });

    if (mat != null)
    {
        b = session.Analyse(mat.ProjectName, TProcessType.ptMaterial, Component.Components[Component.selectedComp].Material_name, method.Project,
            method.Name, nwset);
        quant = Component.Components[Component.selectedComp].Mass;

        if (b)
        {
            if (session.get_ResultCount(TResultType.rtSingleScore) > 0)
            {
                for (int n = 0; n < session.get_ResultCount(TResultType.rtSingleScore); n++)
                {
                    SimaProAnalyseResult r = session.AnalyseResult(TResultType.rtSingleScore, n);
                    Result res = new Result
                    {
                        ProductName = Component.Components[Component.selectedComp].Material_name,
                        ImpactCategory = r.IndicatorName,
                        Unit = r.UnitName,
                        ProcessAmount = r.Amount * quant,
                        Type = TResultType.rtSingleScore,
                        ProcessType = TProcessType.ptMaterial
                    };

                    Component.Components[Component.selectedComp].results.Add(res);
                }
            }
            if (session.get_ResultCount(TResultType.rtCharacterisation) > 0)
            {
                for (int n = 0; n < session.get_ResultCount(TResultType.rtCharacterisation); n++)
                {
                    SimaProAnalyseResult r = session.AnalyseResult(TResultType.rtCharacterisation, n);
                    Result res = new Result
                    {
                        ProductName = Component.Components[Component.selectedComp].Material_name,
                        ImpactCategory = r.IndicatorName,
                        Unit = r.UnitName,
                        ProcessAmount = r.Amount * quant,
                        Type = TResultType.rtCharacterisation,
                        ProcessType = TProcessType.ptMaterial
                    };

                    Component.Components[Component.selectedComp].results.Add(res);
                }
            }
            ...
        }
    }
}
```

Ilustração 51: Pedaco do código que calcula os resultados LCA