

## **Análise qualitativa de ferramentas computacionais no apoio do desenvolvimento de produtos sustentáveis**

Ademir Mazer Junior<sup>1</sup>

### **Resumo**

A implantação de soluções sustentáveis no desenvolvimento de produtos e serviços está se tornando uma obrigatoriedade para as empresas atuais. O processo para se decidir quais soluções devem ser adotadas é complexo, necessitando que seja dividido em tarefas menores com objetivos específicos. Uma delas é a escolha de ferramentas computacionais que auxiliem no desenvolvimento sustentável de produtos. Neste contexto este trabalho identifica requisitos básicos para classificação de softwares utilizados em uma ou mais etapas do DSP ou ainda em todo o processo. Também lista, através de pesquisa bibliográfica, softwares citados em trabalhos com propostas de métodos, técnicas ou ferramentas como soluções para implantação do desenvolvimento sustentável de produtos.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento Sustentável de Produtos; Métodos de decisão; Software; Ferramentas Computacionais

---

*Recebimento: 3/11/2011 - Aceite: 16/12/2011*

<sup>1</sup> Especialista em Linguagem Java pela Universidade Positivo. Professor Universidade Tecnológica Federal do Paraná End: Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças CEP 80230-901 - Curitiba - PR - Brasil E-mail: ademir.mazer.jr@gmail.com

## **Qualitative analysis of computational tools in supporting the sustainable product development**

### **Abstract**

The adoption of sustainable solutions in developing products and services is becoming a obligation in today's businesses. To decide which solutions should be adopted is a complex process and needs to be divided into smaller tasks each one with specific goals. One of these tasks is the selection of one or several software that assist the development of sustainable products. In this context, this paper identifies the basic requirements for classification of software used in one or more stages of SPD or the whole process. It also lists, through bibliographic research, software cited in papers containing proposals of methods, techniques or tools as solutions for the implementation of sustainable development of products.

**Keywords:** Sustainable Design Product; Decision methods; Software; Computational Tools

## Introdução

A definição de “Desenvolvimento Sustentável” é descrito no Relatório da Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento WCED (1987) como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras também atenderem às suas”. Esta definição demonstra a necessidade de que o desenvolvimento atual de produtos e serviços seja realizado de forma consciente e sustentável.

Para que isto ocorra são necessárias soluções sustentáveis, ou, alterações no ciclo de vida de produtos e serviços visando a minimização dos impactos negativos aos pilares da sustentabilidade: social, ético, ambiental e econômico (CHARTER e TISCHNER, 2001).

Várias pesquisas vêm sendo realizadas no decorrer das últimas décadas com o objetivo de propor estas soluções. Diversas abordagens resultaram em técnicas e métodos definidos no contexto geral do desenvolvimento de produtos, tratados pelos seguintes termos citados na literatura: *Ecodesign*, DfE - *Design for Environment* (Projeto para o Meio Ambiente) e SPD - *Sustainable Product Design* (DPS - Desenvolvimento/Projeto de Produtos Sustentáveis) Byggeth et al. (2007); Charter e Tischner (2001); Johansson (2002); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Maxwell et al. (2006); Nowosielski et al. (2007). Estas pesquisas foram desenvolvidas com o objetivo de melhorar os processos e projetos de produtos, serviços e materiais; com variações de aplicação em diferentes escalas de tempo, esforço, tamanho e custos (OTHMAN et al., 2010).

Neste panorama, variam as técnicas, tecnologias e conceitos utilizados como base para cada uma das propostas de ferramentas e métodos criados pelos pesquisadores e empresas. Dentre elas podemos citar alguns trabalhos para exemplificar esta diversidade de soluções, como:

O uso de indicadores como em Veleza (2001), através da proposta de seu uso em um framework e metodologia descritos;

O desenvolvimento de métodos para o processo de DSP, como em Maxwell e Van der Vorst (2003), que abrangem todo o ciclo de vida de produtos em sua metodologia;

Ferramentas baseadas em métodos de auxílio à decisão como em Vezzoli e Sciamia (2006) ou Othman et al. (2010), que as utilizam na escolha das opções mais sustentáveis no processo de DSP.

Além da diversidade de soluções encontradas, descritas diretamente para o DSP em seu contexto mais amplo, também são encontrado trabalhos direcionados especificamente para uma das etapas do processo de desenvolvimento sustentável de produtos ou descritos para processos que

apoiam o DSP. Dentre estes contextos podemos citar Seuring e Muller (2008) que desenvolvem uma extensa revisão bibliográfica e propõem um framework conceitual para o processo de gerenciamento sustentável da cadeia de fornecimento, ou o trabalho de Gehin et al (2008) que descreve uma ferramenta para implementar estratégias sustentáveis na etapa do gerenciamento de descarte ou fim-de-vida, de produtos.

Neste ponto podemos deduzir qual o nível de complexidade para se alcançar sustentabilidade em DSP. Para isto basta considerar as variações já citadas, tanto na diversidade da amplitude contextual das soluções propostas, como dos métodos, ferramentas e técnicas. Se considerarmos apenas os métodos de apoio à decisão mais frequentemente encontrados na literatura e utilizados nas soluções propostas, já teríamos uma complexidade considerável pois muitos dependem de conhecimento específico de sua aplicação, além daquele necessário no processo de um determinado produto ou serviço onde este método estaria sendo empregado. Estes métodos podem ser simples ou complexos na sua aplicação, são eles: métodos de escalas, checklists, matrizes e métodos de decisão multicriterial.

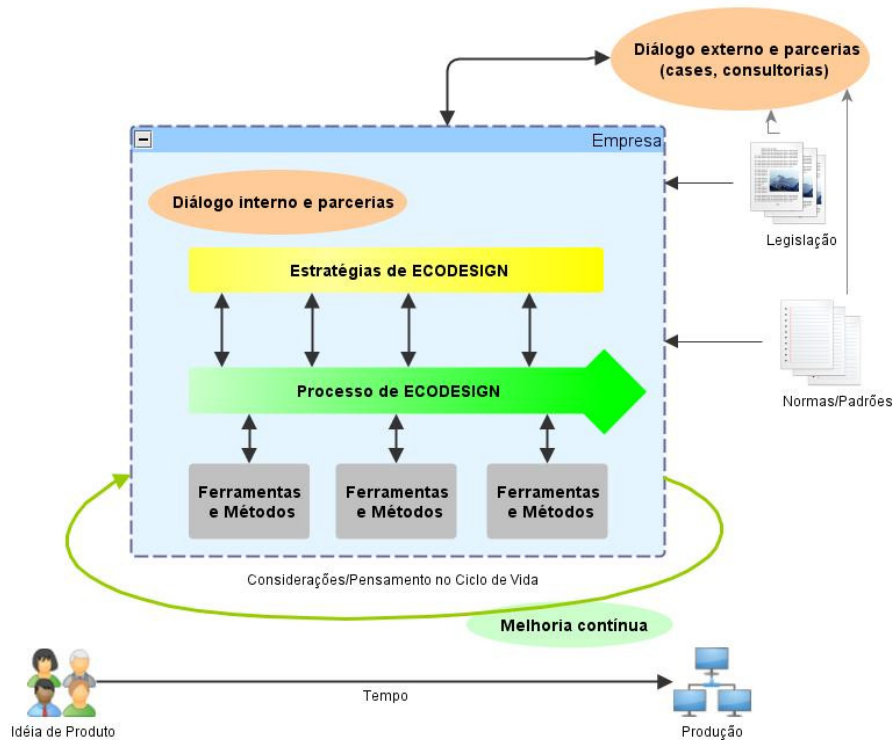
Toda esta produção de soluções traz um problema aos engenheiros e gestores responsáveis pela implantação ou alteração de processos sustentáveis: a dificuldade em avaliar e definir qual solução ou conjunto de soluções implantar. Como realizar esta avaliação? Quais requisitos empregar nesta avaliação?

Responder a estes questionamentos leva à necessidade de uma ampla avaliação das soluções propostas na literatura, mapeando suas características voltadas às concepções sustentáveis como técnicas e ferramentas aplicadas. Também é preciso especificar os requisitos de aspecto legal (Seuring e Muller, 2008) ou os descritos em normatizações e padronizações como na série ISO 14000 (Seo e Kulay, 2006). Por último, mas não menos importante, devem fazer parte da avaliação questões de ordem financeira e prática como: custo e tempo de implantação, interface de uso da ferramenta/método dentre outros. Estas avaliações podem ter início no estudo de casos reais, como os listados em Ferrendier et al (2002).

A

mostra os 5 princípios do *Ecodesign* segundo Ferrendier (2002). Neste esquema podemos ter uma visão em alto nível de como os vários princípios servem como entrada para o processo de *Ecodesign*, que pode ser utilizado como um dos orientadores para o desenvolvimento sustentável de produtos.

Figura 1: Princípios do Ecodesign



Fonte: adaptado de Ferrendier et al (2002)

Todo este processo para avaliação e escolha de um método ou conjunto de métodos e ferramentas a serem utilizadas em busca do DSP, torna-se muito complexo para ser tratado como atividade única. Uma alternativa é dividi-lo em várias atividades menores, que podem ou não serem realizadas em paralelo, dependendo da necessidade de entradas de uma atividade já executada. Assim, em uma análise inicial pode-se listar as seguintes atividades, classificadas pela dependência com outras atividades:

- Levantamento de *frameworks*, métodos e ferramentas propostos na literatura (independente);
- Mapeamento das características voltadas às concepções sustentáveis (depende: a);
- Mapeamento de requisitos legais (independente);
- Mapeamento de normas e padrões orientativos (independente);

- e) Levantamento de casos reais na implantação do DSP (independente);
- f) Levantamento da realidade da empresa: objetivos, recursos e nível de entendimento para implantação do DSP (independente);
- g) Levantamento de ferramentas computacionais para apoio no processo de implantação do DSP (independente);
- h) Filtragem das características com indicativos de alta complexidade, alto custo, não maturidade ou não enquadramento às normas regionais e padrões (depende: b, c, d, e, f);
- i) Filtragem das ferramentas computacionais com potencial de utilização (depende: g, h);
- j) Filtragem de métodos, frameworks e técnicas (depende: h, i);
- k) Capacitação de pessoal (depende: j).

A lista anterior resume as atividades necessárias para avaliação e escolha do conjunto de soluções necessárias para a implantação do DSP. Ela é resultado de reuniões de grupos de pesquisadores, e mostra a preocupação em destacar o uso de ferramentas computacionais na implantação do DSP.

No contexto descrito, este trabalho tem como objetivo, através de pesquisa bibliográfica, executar a atividade G: levantar e classificar ferramentas computacionais aplicadas ao desenvolvimento de produtos sustentáveis, buscando identificar as características fundamentais que estes aplicativos devem atender e a existência de funcionalidades para o apoio de tomada de decisões, como o uso de algoritmos de análise multicritério ou métodos mais simples como checklists.

## Referencial Teórico

### Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis (DPS)

Para Nowosielski et al. (2007) DfE - *Design for Environment* (Projeto para o meio Ambiente) e SPD - *Sustainable Product Design* (DPS - Desenvolvimento/Projeto de Produtos Sustentáveis), dentre outros termos, possuem a mesma conceituação de Ecodesign, o qual para Johansson (2002) é uma abordagem que deve definir as ações preventivas tomadas em todas as etapas do ciclo de vida do produto, com o objetivo de minimizar os impactos ambientais negativos e ainda evitar comprometer critérios financeiros ou aqueles definidos pelos stakeholders. No guia de ferramentas para o Ecodesign em EDARC (2005) o termo é definido como uma abordagem que serve para a criação de produtos melhores, enfatizando que projetar melhores produtos somente se consegue com o uso de ferramentas apropriadas.

Existem diferentes abordagens para se atingir o desenvolvimento sustentável de produtos, Maxwell et al. (2006) descreve uma lista delas

classificadas como relevantes para este propósito, sendo a *LCA - Lifecycle Analysis* (Avaliação do ciclo de vida) mais comumente encontrada nesta pesquisa.

As ferramentas encontradas na literatura, utilizadas com a *LCA* ou com outras abordagens, são apresentadas como variações de modelos e métodos gerais ou específicos, destinadas a serem aplicadas em um determinado setor ou produto. Em geral, elas são identificadas com a terminologia *EcoDesign tools* ou *Ecotools* de acordo com os trabalhos de revisão literária de Borchardt et al. (2009), Byggeth; Hochschorner (2006), Byggeth et al. (2007) e Nowosielski et al. (2007) dentre outros. Visto pela definição de Johansson (2002) que ações preventivas devem ocupar todas as etapas do ciclo de vida de produtos, entende-se que elas levam à escolhas e estas devem ser apoiadas por métodos ou ferramentas de auxílio à decisão. Porém, poucos trabalhos que descrevem o uso de um método de apoio à decisão, utilizam um software com esta característica integrada à outras diretamente relacionadas ao desenvolvimento de produtos sustentáveis.

### **Métodos aplicados para auxílio à tomada de decisão no DSP**

As situações nas quais uma tomada de decisão é necessária variam de acordo com diversos fatores como, por exemplo, o contexto do problema e o conhecimento cognitivo dos avaliadores. Estes fatores influenciam o processo decisório juntamente com outras variáveis como quem são os avaliadores e como e quando eles participam do processo, se existe uma única decisão a ser tomada ou se várias devem ser consideradas de acordo com diferentes pontos de vista e ainda o tempo disponível para a análise (FRENCH e XU, 2005).

Diversos métodos para auxiliar a tomada de decisões são conhecidos. A seguir, conceituamos os mais frequentemente encontrados nos trabalhos de criação e aplicação de ferramentas para o desenvolvimento de produtos sustentáveis:

- a) Checklists são ferramentas simples de escolha, os quais, segundo Knight e Jenkins (2009), podem ser aplicados em diversas etapas do desenvolvimento de produtos ou de seu ciclo de vida. Seu uso auxilia na avaliação e tomadas de decisão de, por exemplo, emissões na atmosfera e consumo de energia. Suas validações utilizam estimativas qualitativas como escalas de pontos e escalas de compatibilidade (NOWOSIELSKI et al., 2007). Os estudos de Knight e Jenkins (2009) demonstram que os checklists são criados e aplicados isoladamente ou em conjunto com outros métodos e ferramentas como em guias orientativos, matrizes de decisão, análise multicriterial, etc.

- b) Matrizes de decisão, como por exemplo, a ERPA, que é uma matriz bidimensional de tamanho 5x5 onde uma das dimensões define os estágios dos ciclos de vida do produto e outra define as questões ambientais. As células da grade gerada são definidas com uma entrada de desempenho ambiental pontuada de 0 a 4. Para criar o desempenho é preciso criar um checklist e um guia de diretrizes para um produto ou setor específico. É possível criar uma matriz com peso duplo ao definir pesos para os estágios e desempenhos (LEE et al., 2003).
- c) Métodos de Análise Multicritério prevêem que o indivíduo ou grupo responsável por tomar a decisão, deve equilibrar suas preferências levando em consideração suas variantes conflitantes e metas com o propósito de tomar a decisão mais acertada para um contexto. Duas escolas principais se desenvolveram: a americana de visão objetivista, conhecida como *MDCM - Multicriteria Decision Making* (Tomada de Decisão Multicritério), onde aspectos subjetivos são deixados de lado e os resultados são obtidos através de modelos formais. E a escola europeia de visão subjetivista, conhecida como *MCDA - Multicriteria Decision Aid* (Apoio à Decisão Multicritério), onde os aspectos subjetivos, como sensações intuitivas, são introduzidos na análise formal (NICKEL et al., 2010). Os métodos de análise multicritério mais encontrados em nossa pesquisa são: AHP e ELECTRE-TRI.

### Softwares aplicados ao desenvolvimento de produtos sustentáveis

Em levantamento de trabalhos da literatura identifica-se que a maior parte deles não descreve ou implementa uma ferramenta computacional para apoiar seus processos de decisão no DSP, como em Borchardt et al. (2009) e Luttrupp e Lagerstedt (2006). Aqueles que o fazem, com frequência utilizam ou sugerem um aplicativo de computador que não atende a todo o método, como em Kobayashi (2006). Há ainda trabalhos que descrevem o uso de vários aplicativos de computador, cada um atendendo uma das etapas, como em Kengpol e Boonkanit (2011). Este último cenário também é encontrado em Vinodh (2011) e Othman et al. (2010) que descrevem o uso de softwares especialistas na modelagem de produtos, chamadas de ferramentas CASE - *Computer Aided Software Engeneering* (ferramentas de computador que auxiliam atividades de engenharia).

Outro cenário é a utilização de planilhas eletrônicas no processo de decisão, mesmo estas ferramentas computacionais não apresentarem funcionalidades especificamente voltadas ao DSP.



Em seu trabalho Unger et al. (2004) identifica a necessidade do uso de softwares, que se utilizam de bancos de dados, ao se aplicar a avaliação do ciclo de vida devido ao grande volume de dados gerados e também pela frequente complexidade que este processo apresenta.

O uso de ferramentas computacionais que apoiem um determinado processo de desenvolvimento de produtos, aliando as questões sustentáveis, se faz ideal como visto em Knight e Jenkins (2009).

Características de manipulação de grandes volumes de dados e de controle do processo, são descritas em muitos trabalhos e também a necessidade de adequação aos critérios estabelecidos por leis e certificações ambientais de países e continentes.

## Metodologia

Este trabalho tem como tema central a avaliação de softwares aplicados ao desenvolvimento de produtos sustentáveis, sendo caracterizado por ser uma pesquisa bibliográfica sob os pontos de vista do objeto, problema e de procedimentos técnicos.

A seleção e identificação das ferramentas computacionais foi baseada nos seguintes critérios:

- a) Ter seu foco de aplicação no processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis;
- b) Dar suporte ao menos a uma das etapas do processo, sendo este apoiado na abordagem *LCA* ou outra descrita na literatura. Este apoio pode ser dado pela modelagem de produtos, cálculo de desempenho, *workflow* (descrição de fluxo de trabalho) ou guia de orientação;
- c) Utilizar uma ou mais base de dados, sendo as informações destas bases utilizadas em uma etapa ou estágio sustentável no projeto de desenvolvimento. Não foram consideradas as bases de dados em si, que em geral encontram-se disponíveis na internet;
- d) Uma ou mais de suas funcionalidades servir como apoio para escolhas sustentáveis através da aplicação de um ou mais métodos de apoio à decisão;
- e) Estar ativo, isto é, sendo a ferramenta computacional distribuída sob licença comercial, ter sua última versão com idade inferior a 2 anos ou, sendo distribuída sob uma licença aberta, ter seu código disponível para utilização e alteração.

O critério “e” foi instituído para garantir a qualidade do resultado da pesquisa, evitando listar ferramentas que não estivessem mais em atividade de desenvolvimento ou, mesmo que inativas, garantam a possibilidade de sua reativação por distribuírem o código fonte de sua

programação de forma aberta, permitindo assim que outra equipe realize alterações de melhoria.

A amostragem foi de 58 ferramentas computacionais levantadas, sendo selecionadas 23 por atenderem aos critérios “a” e “e” mandatoriamente. Após a seleção elas foram agrupadas e classificadas de acordo com as seguintes definições: o critério “b”, nomeado como “Apoio ao processo”; o critério “c”, nomeado como “Utiliza banco de dados” e o critério “d”, nomeado como “Apoio à decisão”. Todas as classificações foram quantificadas como SIM ou NÃO.

### **Análise das ferramentas computacionais**

Esta seção lista de maneira tabular os dados quantificados, classificados e descreve cruzamentos realizados com estas classificações.

As ferramentas selecionadas, separadas por sua classificação, são descritas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Ferramentas computacionais selecionadas

Nome	Apoio ao processo	Utiliza banco de dados	Apoio à decisão
AutoDesk Eco Materials Adviser	Sim	Sim	Sim
Clean Metrics Software	Sim	Sim	Não
CMLCA	Sim	Não	Sim
e-Bench	Não	Sim	Não
Eco Mundo Softwares	Sim	Sim	Não
Ecobilan	Sim	Sim	Não
Ecodesign EEG PILOT	Não	Não	Sim
Ecodesign Health Tools	Sim	Não	Sim
EIME	Sim	Sim	Não
EIO-LCA	Sim	Sim	Não
Envirowise Tool Indicator	Sim	Sim	Não
Gabi-4	Sim	Sim	Sim
Greenfly	Sim	Não	Não
ideMat	Não	Sim	Não
LCA Calculator	Sim	Sim	Não
LCAManager	Sim	Sim	Sim
LIMAS	Sim	Sim	Sim
openLCA	Sim	Sim	Não
Quantis	Sim	Sim	Sim
SimaPro	Sim	Sim	Sim
SolidWorks	Sim	Sim	Não
Sustainable Minds	Sim	Sim	Sim
Umberto	Sim	Sim	Não

Dos softwares selecionados, aproximadamente 44% aplica métodos de apoio à decisão, apesar destas ferramentas serem amplamente utilizadas nos estudos sobre *Ecodesign*. Um percentual ainda menor, de

aproximadamente 30%, é identificado ao se analisar a implementação de todos os grupos de funcionalidades esperados.

Baseado no cenário exposto pelos dados analisados, identifica-se uma falha existente nos softwares com foco no desenvolvimento sustentável de produtos. Os softwares disponíveis não levam em consideração a abrangência de trabalhos científicos utilizando os mais variados métodos de auxílio à escolha empregados em seus estudos, e que, na grande maioria deles, é realizado e descrito sem o auxílio de uma ferramenta computacional. Na avaliação dos softwares selecionados identificamos que, apenas uma pequena parte daqueles que implementam mais de um destes métodos. Isto indica que o uso de um conjunto de aplicativos por vezes se faz necessário, o que pode não ser o ideal nos processos mais complexos como a avaliação do ciclo de vida do produto (KNIGHT E JENKINS, 2009).

Não se vê como uma falha alguns dos softwares estarem focados na modelagem e implementação de bases de dados, visto que é comum ferramentas computacionais possibilitarem a utilização de bancos de dados terceiros.

### **Considerações finais**

Este trabalho contribuiu na identificação dos grandes grupos de características fundamentais esperados nos softwares que têm seu foco auxiliar no desenvolvimento de produtos sustentáveis. Também em listar as atividades, de forma macro, necessárias na etapa de escolha do conjunto de soluções (ferramentas, métodos e técnicas) a serem utilizadas na implantação do desenvolvimento sustentável de produtos.

A tabela criada dos softwares que apoiam o DSP é uma contribuição parcial que serve como base para a tarefa de escolha destas ferramentas na implantação do processo. Porém, identificou-se a necessidade de buscas mais intensas na existência de tais ferramentas computacionais. A avaliação baseada apenas na literatura mostra-se deficiente, pois, em geral, os trabalhos acadêmicos não são claros em identificar o uso delas. Estes trabalhos também, na maioria dos casos, não identificam como elas são distribuídas ou como chegar ao seu fornecedor.

Baseado nos resultados obtidos neste trabalho, propomos uma série de trabalhos futuros, focados especificamente na pesquisa de ferramentas computacionais dentro do processo de identificação das soluções para a implantação do DSP. São eles:

- a) Melhorar a identificar dos requisitos dos softwares aplicados ao processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis, através da decomposição das fases de processo aplicadas aos distintos setores da indústria;

- b) Estender esta pesquisa utilizando bases *online* na *internet*, que agrupem e listem softwares focados no DSP, como em EESL.

### Referências

BORCHARDT, M.; POLTOSI, L. A. C.; SELLITTO, M. A.; PEREIRA, G. M. Adopting ecodesign practices: Case study of a midsized automotive supplier. **Environmental Quality Management**, v. 19, n. 1, p. 7-22, 2009.

BYGGETH, S.; BROMAN, G.; ROBERT, K.-H. A method for sustainable product development based on a modular system of guiding questions. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 1, p. 1 - 11, 2007.

BYGGETH, S.; HOCHSCHORNER, E. Handling trade-offs in Ecodesign tools for sustainable product development and procurement. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 15-16, p. 1420-1430, 2006.

CHARTER, M.; TISCHNER, U. **Sustainable solutions: developing products and services for the future**. Greenleaf, 2001.

EDARC. EcoDesign Awareness Raising Campaign: A Guide for EcoDesign Tools. ,2005. Fraunhofer IZM. Disponível em: <<http://www.ecodesignarc.info/servlet/is/413/A%20Guide%20for%20EcoDesign%20Tools%20nd%20edition.pdf?command=downloadContent&filename=A%20Guide%20for%20EcoDesign%20Tools%20nd%20edition.pdf>>. Acesso em: 2/1/2011.

EESL. Environmental Expert S.L. Disponível em <<http://www.environmental-expert.com/software>>. Acessado em 01/10/2011.

FERRENDIER, S.; MATHIEUX, F.; REBITZER, G.; SIMON, M. ; FROELICH, D.. Eco-Design Guide - Environmentally Improved Product Design Case Studies of the European Electrical and Electronic Industry. **EU Ecolife Thematic Network**, 2002. Disponível em <<http://www.sph.umich.edu/riskcenter/jolliet/Ferrendier%202002.pdf>>. Acesso em: 20/02/2011.

FRENCH, S.; XU, D.-L. Comparison study of multi-attribute decision analytic software. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 13, n. 2-3, p. 65-80, 2005.

GEHIN, A.; ZWOLINSKI, P.; BRISSAUD, D. A tool to implement sustainable end-of-life strategies in the product development phase. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 5, p. 566-576, 2008.

JOHANSSON, G. Success factors for integration of ecodesign in product development: A review of state of the art. **Environmental Management and Health**, v. 13, n. 1, p. 98-107, 2002.

KENGPOL, A.; BOONKANIT, P. The decision support framework for developing Ecodesign at conceptual phase based upon ISO/TR 14062. **International Journal of Production Economics**, v. 131, n. 1, p. 4 - 14, 2011.

KNIGHT, P.; JENKINS, J. O. Adopting and applying eco-design techniques: a practitioners perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 5, p. 549 - 558, 2009.

KOBAYASHI, H. A systematic approach to eco-innovative product design based on life cycle planning. **Advanced Engineering Informatics**, v. 20, n. 2, p. 113 - 125, 2006.

LEE, J.; KIM, I.; KWON, E.; HUR, T. Comparison of simplified LCA and matrix methods in identifying the environmental aspects of products. **Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing**, 2003. **EcoDesign '03. 2003 3rd International Symposium on. Anais...** p.682 - 686, 2003.

LUTTROP, C.; LAGERSTEDT, J. EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 15-16, p. 1396 - 1408, 2006.

MAXWELL, D.; SHEATE, W.; VAN DER VORST, R. Functional and systems aspects of the sustainable product and service development approach for industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 17, p. 1466-1479, 2006.

MAXWELL, D.; VAN DER VORST, R. Developing sustainable products and services. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, n. 8, p. 883-895, 2003.

NICKEL, E. M.; FERREIRA, M. G. G.; FORCELLINI, F. A.; SANTOS, C. T. DOS; SILVA, R. A. Á. Modelo multicritério para referência na fase de Projeto Informacional do Processo de Desenvolvimento de Produtos. **Gestão & Produção**, v. 17, p. 707-720, 2010.

NOWOSIELSKI, R.; SPILKA, M.; KANIA, A. Methodology and tools of ecodesign. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, v. 23, n. 1, p. 91-94, 2007.

OTHMAN, M. R.; REPKE, J.-U.; WOZNY, G.; HUANG, Y. A Modular Approach to Sustainability Assessment and Decision Support in Chemical Process

Design. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 49, n. 17, p. 7870-7881, 2010.

SEO, E. S. M.; KULAY, L. A. Avaliação do Ciclo de Vida: Ferramenta Gerencial para Tomada de Decisão. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 23, 2006.

SEURING, S.; MULLER, M. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 15, p. 1699-1710, 2008.

RUY, M.; ALLIPRANDINI, D. H. Métodos para a Avaliação Ambiental de Produtos no Projeto Conceitual: Uma Revisão da Literatura. Anais do XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). **Anais...**, 2010. São Carlos, SP.

UNGER, N.; BEIGL, P.; WASSERMANN, G. General requirements for LCA software tools. iEMSs 2004 Conference Proceedings. **Anais...**, 2004. Germany: University of Osnabrück.

VELEVA, V.; ELLENBECKER, M. Indicators of sustainable production: framework and methodology. **Journal of Cleaner Production**, v. 9, n. 6, p. 519-549, 2001.

VEZZOLI, C.; SCIAMA, D. Life Cycle Design: from general methods to product type specific guidelines and checklists: a method adopted to develop a set of guidelines/checklist handbook for the eco-efficient design of NECTA vending machines. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 15-16, p. 1319 - 1325, 2006.

VINODH, S. Sustainable design of sprocket using CAD and Design Optimisation. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-13, 2011.

WCED. Towards Sustainable Development. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**, UN Documents: Gathering a body of global agreements., 1987. Oslo: United Nations. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>>. Acesso em: 17/4/2011.