

Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil

Maria Fernanda Nóbrega dos Santos (USC – SP/Brasil) - mfnasantos@yahoo.com.br
Universidade Sagrado Coração - USC - Departamento de Arquitetura e Urbanismo
• R. Irmã Arminda, 10-50, Jardim Brasil, Bauru-SP, CEP 17011-160, PABX (55) 14-2107-7000
Rosane Aparecida Gomes Battistelle (UNESP – SP/Brasil) - rosane@feb.unesp.br
Clara Yoshiko Hori (UNESP – SP/Brasil) - clarayoshikohori@yahoo.com.br
Plínio Silvio Julioti (UNESP – SP/Brasil) - plinosj@feb.unesp.br

Resumo

Atualmente, muito se tem discutido sobre o reaproveitamento de resíduos em novos materiais de construção e uma infinidade de pesquisas vem sendo desenvolvidas, com base neste objetivo. Porém, antes que estes produtos possam ser chamados de “sustentáveis” e que efetivamente um sistema de reciclagem seja implantado, é imprescindível que se compreendam todos os aspectos envolvidos nesta ação e, principalmente, quais os reais ganhos para o setor produtivo e principalmente, para o meio ambiente, se isto ocorrer. Para que se possa obter um quadro geral de todos os aspectos ambientais e impactos potenciais associados a estes produtos, durante seu ciclo de vida completo, a metodologia mais adequada é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é estabelecer um panorama atual dos estudos de ACV, seu histórico, importância, normas, metodologia empregada e aplicações vinculadas à construção civil. Espera-se, assim, que se possa obter um cenário mais completo das influências da realização de um estudo de ACV, bem como estabelecer uma contribuição para a avaliação dos produtos e processos específicos da construção civil, divulgando a importância do uso desta ferramenta no setor.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida; Sustentabilidade; Construção civil.

Abstract

Much has been discussed lately about reusing waste in new construction materials and countless studies have been carried out based on this objective. However, before these products can be called “sustainable” and a recycling system can be effectively implemented, it is fundamental for all the aspects involved in this action to be understood, and more important, what are the true gains for the productive sector and what are the benefits for the environment if this was to occur. In order to obtain a general framework for all environmental aspects and potential impacts associated with these products, over their entire life cycle, the most appropriate methodology is the Life Cycle Assessment (LCA). In view of the above, the objective of this work is to provide an overview of current studies of LCA, its history, its importance, its standards and the methodology employed and its applications related to civil construction. It is expected, to obtain a more complete scenario of the influences from a study of LCA, as well as establishing a contribution for the assessment of specific products and processes for civil construction, disseminating the importance of the use of this tool within the sector.

Keywords: Life Cycle Assessment; Sustainability; Civil construction.

1. INTRODUÇÃO

A reciclagem não é um conceito novo; é um termo utilizado, desde meados da década de 70, quando a ameaça de um possível racionamento de petróleo surgiu e, junto dela, uma nova e crescente preocupação ambiental. Reciclar significa fazer retornar ao ciclo de produção, materiais que foram usados e descartados (SANTOS e BARBOSA, 1992).

No entanto, o aparecimento do modelo linear de produção industrial e da sociedade de consumo, estreitamente aliados ao aumento da população, vem tornando o problema mais complexo. Isso porque, para este modelo, os bens são concebidos, produzidos, utilizados e, após certo tempo, descartados no ambiente, de forma que os recursos naturais são considerados infinitos; restringir o seu uso, seria o mesmo que reduzir a produção e, conseqüentemente, o desenvolvimento (LIDDLE, 1994).

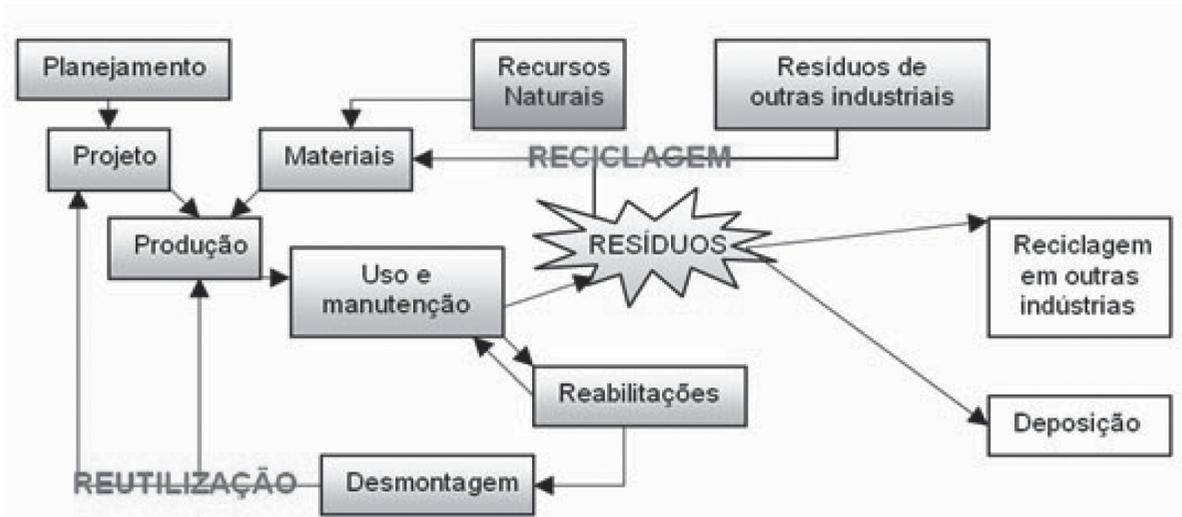
Esse modo de produção está sendo seriamente questionado quanto à sua aplicabilidade em longo prazo, pois os problemas decorrentes desta atitude estão sendo sentidos em todas as partes do mundo, principalmente nos chamados países desenvolvidos. Nestes países, os processos produtivos são responsáveis por um altíssimo consumo energético e escassez de matérias-primas e locais para disposição dos resíduos, despertando a atenção da sociedade para a criação de políticas e modos de produção, que busquem novas alternativas para o modelo atual de produção.

Desta forma, as questões ambientais relacionadas ao modelo econômico tradicional têm levado diversos países a repensar a forma de utilização dos recursos naturais e, assim, a “produtividade” começa a ser confrontada diante dos aspectos de redução e reaproveitamento de resíduos.

Em contraposição ao modelo linear de produção de bens, surgiu o chamado *Life Cycle Design* ou ciclo de vida de um produto, uma nova proposta produtiva que, baseada nas cadeias e ciclos de energia da natureza, propõe uma visão mais sistêmica do processo em questão, integrando todas as suas fases e procurando minimizar seus possíveis efeitos negativos. Este conceito está baseado nas trocas (*inputs* e *outputs*) que ocorrem entre o produto e o ambiente, durante todas as fases, desde a extração dos recursos naturais necessários para sua produção, “nascimento”, o seu processo de produção e utilização, “vida”, até o tratamento deste material, após seu descarte, “morte” (MANZINI e VEZOLLI, 2005).

Dentro desta nova maneira de produzir, os recursos naturais empregados devem ser otimizados, de forma a não haver desperdícios e minimizar as perdas durante o processo de produção. Também, é importante diminuir a produção de rejeitos, reduzindo-a a um mínimo reciclável, que é incorporado de novo à cadeia produtiva. Necessariamente, esse ciclo não precisa se fechar dentro de apenas uma empresa ou setor; ele pode ser ampliado a outros ramos de produção, ocorrendo a chamada simbiose industrial. Esse termo designa a integração e complementaridade entre diferentes atividades, quando uma incorpora os resíduos e subprodutos da outra, em seu processo produtivo, seja como matéria-prima de novos materiais seja como fonte energética. Este processo pode ser melhor visualizado na Figura 1, por meio de um exemplo de ciclo fechado de produção.

Figura 1 – Ciclo de produção fechado.



Fonte: Adaptado de Curwell e Cooper (1998).

A construção civil é potencialmente o setor que mais apresenta possibilidades de incorporação de resíduos, em novos materiais, já que é o maior consumidor de recursos naturais de qualquer economia (JOHN, 2000). Segundo Sjöström (1996), a construção civil consome entre 14% e 50% de todos os recursos naturais extraídos no planeta. Não existem dados específicos para o Brasil, sobre o consumo destes recursos pela construção civil, mas a participação do setor no PIB nacional é superior a 14,5% (FIESP, 1999). Por meio de dados como estes, é possível perceber a magnitude da atividade na economia mundial e o quão significativo pode ser seu impacto ambiental, em virtude da quantidade de recursos naturais empregados em seu processo.

Segundo Araújo (2002), uma análise de dados levantados nos Estados Unidos, considerados válidos para a construção civil nos demais países industrializados, aponta para os seguintes indicadores: utilização de 30% das matérias primas, 42% do consumo de energia, 25% para o de água e 16% para o de terra. O segmento contribui com 40% da emissão atmosférica, 20% dos efluentes líquidos, 25% dos sólidos e 13% de outras liberações. Estes números demonstram a relevância do tema e a necessidade da busca por ações voltadas para a redução dos impactos na construção civil.

Apesar de apresentar dados de impacto ambiental deste porte, porém, o setor também, pode proporcionar um grande potencial na minimização dos problemas decorrentes da disposição incorreta dos resíduos, pela viabilidade oferecida na incorporação destes rejeitos em novos materiais de construção. A importância do aproveitamento de resíduos na construção civil deve-se basicamente aos fatores:

- Possibilidade de desenvolvimento de materiais de baixo custo, a partir de subprodutos industriais;
- *Interface* direta do setor da construção com a cadeia produtiva, fornecedora de insumos e bem minerais;
- Ao fato de que a constituição química da grande maioria de resíduos ser predominantemente de silicatos, aluminatos e óxidos alcalinos, os mesmos que fazem parte da constituição básica de diversos materiais de construção;
- À grande quantidade produzida destes materiais, possibilitando uma utilização dos resíduos em larga escala.

Pode-se dizer então, que o fechamento do ciclo produtivo, gerando novos produtos, a partir da incorporação de resíduos, é uma alternativa a ser levada em consideração, na resolução do problema global do lixo, sendo que o setor da construção civil apresenta grandes oportunidades em relação a este aspecto.

Assim, o desenvolvimento de tecnologias para reciclagem de resíduos ambientalmente eficientes e seguras, que resultem em produtos com desempenho técnico adequado e que sejam economicamente competitivas nos diferentes mercados, é um desafio técnico importante, inclusive, do ponto de vista metodológico (JOHN, 2000).

2. DESENVOLVIMENTO

Para uma melhor compreensão da importância dos estudos de ACV, este trabalho procura levantar as origens históricas destes estudos, bem como as principais diretrizes metodológicas, apresentadas tanto pela norma NBR ISO 14.040 (2001), pelos relatórios da SETAC (1994), quanto por autores, como Manzini e Vezzoli (2005) e Mourad *et al.* (2002).

A primeira parte deste trabalho mostra um breve histórico das análises ambientais, desde a década de 1960, quando se iniciam os primeiros questionamentos e estudos, passando pelo surgimento e consolidação da ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida, até os anos 1990 e 2000, quando se iniciam os processos de normatização da ACV. Assim, a segunda parte apresenta um resumo das normas internacionais da série ISO, que tratam das diversas etapas de um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida.

A terceira parte trata do panorama das análises de ACV no Brasil e a quarta parte dispõe sobre as etapas de um estudo de ACV, descritas na metodologia NBR ISO 14.040 (2001). A seguir, alguns exemplos de estudos de ACV realizados, são apresentados e finalmente, um levantamento de alguns materiais compostos de resíduos na construção civil.

2.1. Histórico da ACV

Os primeiros estudos vinculados com a questão ambiental tratavam da quantificação de energia dos processos industriais, eram as chamadas “análises de energia” (*energy analyses*). Porém, para se construir o fluxograma do consumo de energia, também era necessário o cálculo do balanço da massa de matérias-primas e dos recursos empregados nos processos; desse modo, alguns analistas passaram a se referir a estes estudos como “análises de recursos” (*resource analyses*), ou ainda como “análises de perfil ambiental” (*environmental profile analyses*).

2.1.1. Década de 1960

A partir do início dos anos 60, pressões ambientalistas nos EUA sobre a indústria de embalagens, especialmente devido ao crescimento do mercado de descartáveis, levaram à realização de estudos específicos de análise de energia e de recursos aplicados ao processo produtivo das embalagens.

O primeiro estudo público que se tem referência foi desenvolvido em 1965, pela Coca-Cola, que contratou o *Midwest Research Institute* (MRI) para comparar os diferentes tipos de embalagens de refrigerante e selecionar qual deles se apresentava como o mais adequado do ponto de vista ambiental e de melhor desempenho com relação à preservação dos recursos naturais. Este processo de quantificação da utilização dos recursos naturais e de emissões utilizado pela Coca-Cola, nesse estudo passou a ser conhecido como *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA).

2.1.2. Década de 1970

Assim, durante os anos que se seguiram, estes tipos de análises foram se popularizando, sendo empregadas em muitos estudos e enfocando diferentes processos produtivos. Contudo, apesar do crescente interesse nestas ferramentas de avaliação ambiental, foram surgindo novos aspectos a serem contabilizados nas análises, que pudessem mostrar as interações entre os processos e suas consequências locais, como: as emissões para o ar, os efluentes líquidos e a produção de resíduos.

Em meados de 1974, a metodologia conhecida como REPA, foi aprimorada pelo MRI, durante a realização de estudos para a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA), sendo considerada a precursora do que hoje se conhece como Avaliação do Ciclo de Vida (MOURAD *et al.*, 2002).

2.1.3. Década de 1980

A necessidade de se contabilizar não somente o consumo de recursos e energia, mas também as emissões para o ar, água e solo, foram ganhando cada vez mais força no cenário mundial, tanto que a década de 80 foi marcada pelo início dos esforços para a realização de acordos internacionais, visando a redução do efeito estufa e a proteção à camada de ozônio.

As análises ambientais passam então a incorporar e quantificar estes novos fatores em sua metodologia, passando a ser chamadas de “ecobalço” (*ecobalance*), ou “ecoperfil” (*ecoprofile*) ou ainda, “análise de berço ao túmulo” (*cradle to grave*).

Em 1984, inspirado pelos estudos REPA, o instituto *Swiss Federal Laboratories for Testing and Research* (EMPA), por solicitação do Ministério do Meio Ambiente da Suíça, realizou um estudo sobre materiais de embalagem, que despertou interesse da comunidade científica, ao aplicar uma análise do impacto potencial das emissões do processo. Este estudo foi publicado na forma de um banco de dados, contendo informações sobre o ciclo de vida de uma série de materiais, o que acabou contribuindo para a popularização da metodologia (MOURAD *et al.*, 2002).

Segundo este mesmo autor, no ano seguinte, a Comunidade Europeia publica a Norma Diretiva 85/339, sobre embalagens para líquidos de consumo humano, estabelecendo que as empresas de bebidas devem monitorar o consumo de energia, de recursos naturais e do resíduo sólido associado ao seu produto. A interpretação dos resultados das análises ambientais evoluiu para além de um inventário de dados, passando a avaliar estas questões sob uma perspectiva mais ampla, com o objetivo de conhecer os potenciais impactos associados ao ciclo de vida dos produtos. Desse modo, foi a partir da evolução destes estudos que surgiu a denominação Análise do Ciclo de Vida (*Life Cycle Analyses*) que posteriormente passou para Avaliação do Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment*).

2.1.4. Década de 1990

Em virtude da crescente popularização das Avaliações do Ciclo de Vida, são criados inúmeros bancos de dados para subsidiar estes estudos. O instituto suíço EMPA publica novos bancos de dados, com informações sobre embalagens, introduzindo na metodologia REPA um sistema de ponderação que utilizava padrões de referência para a saúde humana e para agregar dados sobre os impactos ambientais. Em 1991 e em 1998, com base neste modelo, foram desenvolvidos os primeiros *softwares* específicos para os estudos de REPA: os *Ökobase I e II*.

Outras fontes públicas de dados, que promoveram o desenvolvimento da técnica de ACV, foram a *Franklin Associates*, com dados advindos de estudos nos EUA e os estudos realizados por Ian Boustead, na Inglaterra, para a *Association of Plastics Manufacturers in Europe* (APME), enfocando resinas plásticas (MOURAD *et al.*, 2002).

Nos anos subsequentes, visualizando o potencial da técnica apresentada pela ACV, como estratégia de *marketing*, alguns estudos tendenciosos foram realizados, levando a público somente aqueles resultados que interessavam. Foram publicados estudos sobre os mesmos produtos ou serviços, realizados com modelos diferentes e que encontraram resultados distintos, o que ocasionou confusão acerca da sua interpretação.

A proliferação destes estudos, sem uma metodologia padronizada, levou a alguns exageros, que quase chegaram a comprometer a validade desta ferramenta. Esta época é referenciada por alguns autores, como a fase de “Guerra das ACVs”.

2.2. Normalização

A diversidade dos resultados apresentados pelos estudos de ACV, evidenciou a necessidade de uma padronização de metodologia e do estabelecimento de critérios rígidos, que disciplinassem a forma como estes estudos eram conduzidos e levados a público.

Em função disso, a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) iniciou os primeiros trabalhos de sistematização e padronização dos termos e critérios da ACV. Durante o período de 1990 a 1993, a SETAC organizou cerca de 9 conferências internacionais, reunindo pesquisadores e autoridades na área, resultando na publicação do SETAC *Guidelines for Life Cycle Assessment: a Code of Practice*, no ano de 1993.

Este documento da SETAC serviu de base para orientar os trabalhos de normatização internacional, desenvolvidos pela *International Organization for Standardization* (ISO). Em 1993, a ISO criou o Comitê Técnico TC 207, para elaborar normas de sistemas de gestão ambiental e suas ferramentas. Este Comitê é o responsável por umas das mais importantes séries de normas internacionais, a série ISO 14.000, que inclui as normas de Avaliação de Ciclo de Vida.

Fazem parte da série ISO 14.000 as seguintes normas:

- ISO 14.040 *Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework* (1997). Estabelecem os princípios básicos e requisitos para a realização e divulgação dos resultados de estudos de ACV;
- ISO 14.041 *Environmental management - Life Cycle Assessment - Goal scope definition and inventory analysis* (1998). Detalham os requisitos para o estabelecimento do objetivo e escopo de um estudo de ACV;
- ISO 14.042 *Environmental management - Life Cycle Assessment - Life cycle impact assessment* (2000). Apresentam os princípios gerais para a realização da Avaliação de Impactos, a seleção das categorias de impacto, descrevem as etapas de classificação e de caracterização;
- ISO 14.043 *Environmental management - Life Cycle Assessment - Life cycle interpretation* (2000). Apresentam os requisitos e recomendações para a interpretação dos resultados de uma análise de inventário ou avaliação de impacto.

2.3. Panorama da ACV no Brasil

No Brasil, tanto a ACV quanto as legislações ambientais somente começaram a obter algum destaque, a partir dos anos 90, principalmente após a realização, no país, da ECO 92, no Rio de Janeiro (ARAÚJO, 2002).

2.3.1. Década de 1990

Após a Conferência realizada no Rio de Janeiro, o termo “desenvolvimento sustentável” passou a estar presente em diversos discursos políticos e sociais. Isto fez com que diversos segmentos sociais manifestassem suas posições a respeito das ideias que tinham e ainda têm sobre ele (ARAÚJO, 2002).

Logo a seguir, no ano de 1993, é criado, no país, o Grupo de Apoio à Normalização Ambiental (GANA), precursor de outros grupos ambientais e, no final da mesma década, é publicado um dos primeiros artigos nacionais sobre o assunto, intitulado “Análise do Ciclo de Vida de Produtos”, de Chehebe (1998).

2.3.2. Década de 2000

No início de 2001, é lançada a versão nacional da norma internacional ISO, a NBR ISO 14.040 (2001), regulamentando, além das práticas de Gestão Ambiental, a metodologia para a realização de estudos de ACV.

No ano seguinte, o CEMPRE – Compromisso Empresarial Para a Reciclagem, em parceria com o CETEA – Centro de Tecnologia de Embalagem, publica uma apostila com os princípios e aplicações da Avaliação do Ciclo de Vida.

Só a partir do ano de 2003, porém, é que o Brasil passa a contar com uma associação específica para o assunto, a ABCV – Associação Brasileira do Ciclo de Vida (SILVA, 2006).

Em 2007, é realizado, em São Paulo, o primeiro evento da área de ACV no Brasil, o CILCA – Congresso Internacional de *Life Cycle Assessment*.

2.4. Metodologia de um estudo sobre ACV

A ACV consiste, basicamente, na análise e interpretação dos dados obtidos, por meio do inventário quantitativo e qualitativo, de todos os insumos consumidos e dos resíduos e demais poluentes liberados no ambiente, durante todo o ciclo de vida de um produto, (desde sua fabricação, uso e descarte) e posterior avaliação dos impactos ambientais gerados.

Segundo a metodologia apresentada pela norma NBR ISO 14.040 (2001), assim como as diretrizes propostas por Manzini e Vezzoli (2005) e Mourad *et al.* (2002), para a realização de um estudo de ACV, são necessárias as subseqüentes etapas, descritas nos itens a seguir.

2.4.1. Definição dos objetivos e escopo

O primeiro passo de um estudo de ACV é a definição do objetivo, escopo e das fronteiras do sistema a ser avaliado. A importância dessa etapa se deve principalmente à infinidade de parâmetros que podem ser analisados em um sistema produtivo, de modo que é preciso sempre delimitar, de forma clara, quais devem ser os dados e quais as unidades que devem ser levadas em consideração no estudo.

Este item também, visa estabelecer a unidade funcional a ser adotada no estudo, ou seja, se tomarmos como exemplo o estudo de ACV de uma tinta: a unidade funcional poderá ser uma unidade (uma lata) ou um litro ou mesmo o m² da tinta já aplicada.

Segundo as recomendações da norma auxiliar ISO 14.041 (1998), na definição de escopo e fronteiras de um estudo de ACV, devem ser especificados todos os aspectos, a seguir:

- a) Definição da unidade funcional;
- b) O sistema do produto estudado;
- c) Fronteiras do sistema;
- d) Procedimentos de Alocação (entradas e saídas);
- e) Tipos de Impactos avaliados;
- f) Requisitos da qualidade dos dados (período de tempo e área geográfica coberta);
- g) Fonte dos dados.

2.4.2. Inventário do Ciclo de Vida

Após a definição das fronteiras do sistema a ser avaliado, o próximo passo é a elaboração do Inventário do Ciclo de Vida de cada um dos materiais. Esta etapa da ACV consiste no inventário quantitativo e qualitativo, de todos os insumos consumidos e dos resíduos e demais poluentes liberados no ambiente, durante todo o ciclo de vida de um produto (*inputs e outputs*).

As diferentes fases que compreendem o ciclo de vida dos materiais, são:

- 1) Obtenção das Matérias-primas;
- 2) Fabricação do produto;
- 3) Transporte;
- 4) Uso;
- 5) Descarte.

Para cada uma das fases do ciclo de vida, tem de ser quantificados os seguintes parâmetros (em relação a uma unidade do material final, como por exemplo, m²), como apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Entradas e saídas a serem contabilizadas em um estudo de ACV.

Entradas (<i>inputs</i>)	Saídas (<i>outputs</i>)
<ul style="list-style-type: none">• Consumo de energia (kW);	<ul style="list-style-type: none">• Emissão de poluentes para o ar (kg);
<ul style="list-style-type: none">• Consumo de água (litros);	<ul style="list-style-type: none">• Emissão de efluentes líquidos (litros);
<ul style="list-style-type: none">• Consumo de recursos não-renováveis (kg);	<ul style="list-style-type: none">• Produção de resíduos sólidos (kg).
<ul style="list-style-type: none">• Consumo de recursos renováveis (kg).	

Fonte: MOURAD *et al.* (2002).

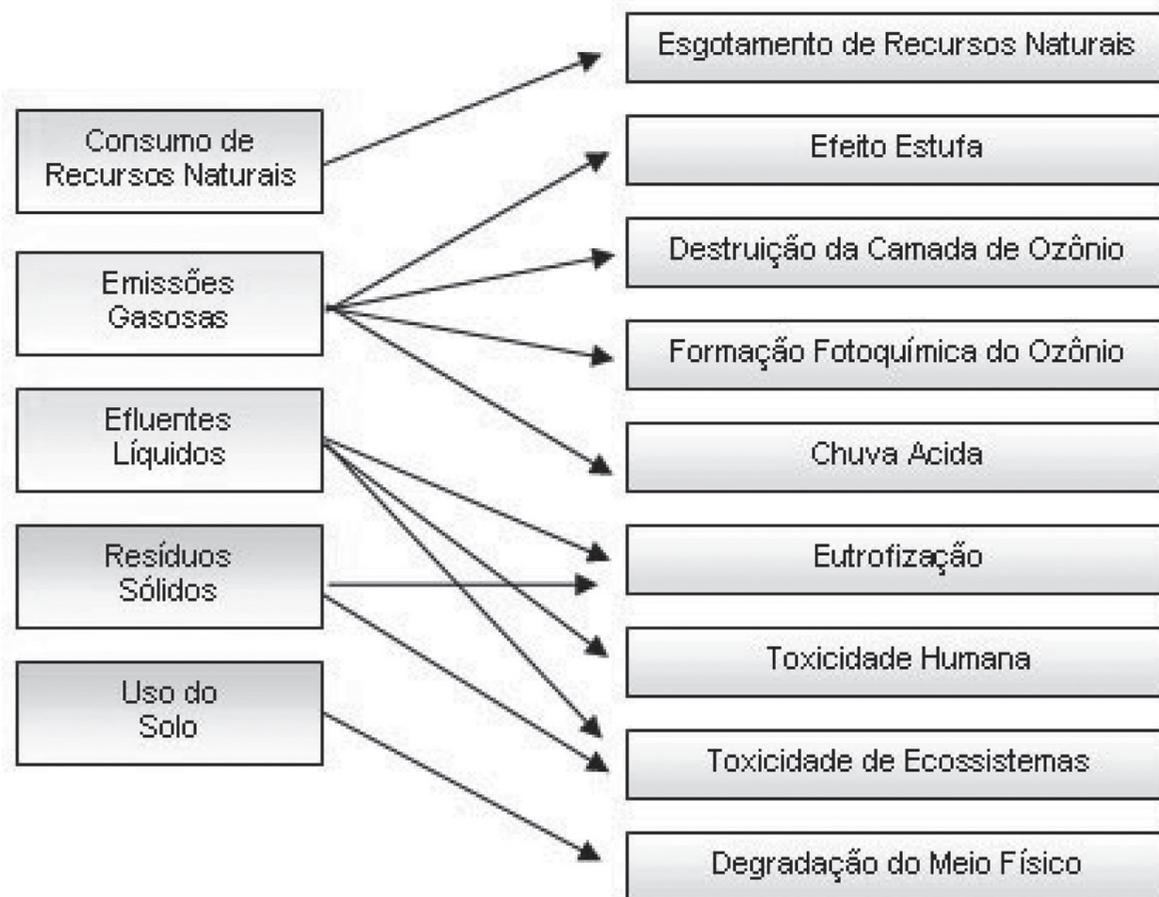
2.4.3. Avaliação e Interpretação dos Impactos

Pode-se dizer que a etapa mais importante de uma ACV, é a avaliação e interpretação dos impactos ambientais gerados pelo produto estudado, porém, esta também, pode ser mencionada como a etapa mais crítica de um estudo dessa natureza (SANDHOLZER e NARODOSLAWSKY, 2007).

Isto se deve, prioritariamente, ao fato de que as normas da família ISO 14.040, apenas apresentam um guia dos procedimentos, que devem ser adotados em uma ACV. Contudo, não estabelecem um método fixo de avaliação. O que ocorre, é que os valores obtidos nesta etapa podem variar muito de um estudo para outro (NIEDERL-SCHMIDINGER e NARODOSLAWSKY, 2006).

A seguir, na figura 2, um esquema, mostrando a interação entre os dados de uma ACV e as principais categorias de impacto ambiental, que devem ser levadas em consideração durante um estudo sobre o desempenho ambiental de um produto ou processo.

Figura 2 – Impactos ambientais associados às saídas e entradas de uma ACV.



Fonte: SILVA (2006).

2.5. Exemplos de estudos de ACV

Como exemplo de aplicação da ACV para melhoramento de produtos, pode-se citar a série de televisores “*Green TV*”, produzida pela Sony alemã que, graças a pequenas modificações em seu processo produtivo, conseguiu reduzir seu peso em 15%, em relação aos modelos comuns, como descrito por Manzini & Vezzoli (2005).

Pode-se também, mencionar as cadeiras fabricadas pela IKEA, da Itália, série *Air*, que ao trocarem o tradicional sistema de preenchimento de poltronas (espuma), por uma câmara de ar inflável, reduziram cerca de 15% do material empregado em sua fabricação. O mais interessante é que as poltronas vêm com um manual de instruções e são infladas pelo próprio usuário, utilizando um secador de cabelos no local da montagem, reduzindo o consumo de combustível e emissões durante seu transporte (MANZINI e VEZZOLI, 2005).

No Brasil, uma grande empresa do ramo de produtos cosméticos vem utilizando a ACV como método obrigatório no diagnóstico dos impactos ambientais causados por seus processos e produtos. Por meio da ACV, esta empresa vem adotando estratégias, visando à redução do consumo de recursos não-renováveis, redução das embalagens e modificando os produtos, de forma a torná-los mais adequados ambientalmente (MENDES, 2005). Por meio de estudos de ACV, esta empresa desenvolveu um novo tipo de embalagem para seus hidratantes, que foi patenteada no ano de 2004. Esta nova embalagem possui apenas uma peça, com apenas um material, plástico, ao invés das antigas embalagens que eram mistas.

Um dos temas mais controversos já avaliados pelo Programa de Rotulagem Ambiental da Alemanha, foi a avaliação de sistemas de secagem de mãos, a fim de verificar quais os parâmetros mais importantes para o desempenho ambiental de cada um dos sistemas avaliados (MOURAD *et al.*, 2002).

A Agência Ambiental Federal da Alemanha avaliou os estudos de ACV, desenvolvidos para os diversos sistemas de secagem de mãos, para a unidade funcional de “1 uso”, ou seja: 1 toalha de algodão ou de papel e 30 segundos de operação para o secador elétrico (tabela 2). A variabilidade dos resultados apresentados pode ser explicada pelas diferenças na tecnologia usada pelas diversas empresas avaliadas, bem como dos dados usados nos estudos de ACV.

Analisando a tabela 2, pode-se verificar que os estudos de avaliação do ciclo de vida oferecem um indicativo direto para o descarte das toalhas de papel virgem, pois dentre as opções estudadas, é o tipo que emite maiores concentrações de efluentes para a água e CO₂ para o ar, além do maior índice de consumo de energia em seu processo de fabricação.

Tabela 2 – Resultados de estudos de ACV para sistemas de secagem de mãos.

Aspectos Ambientais	Secador Elétrico	Toalha de Papel Virgem	Toalha de Papel Reciclado	Toalha de Algodão
Consumo de energia (kWh)	0,016 – 0,03	0,017 – 0,04	0,007 – 0,019	0,014 – 0,015
Consumo de água (L)	-----	> 1,0	0,04 – 0,31	> 1,0
Recursos naturais	Fontes não-renováveis	Fontes renováveis	Fontes secundárias	Fontes renováveis
Resíduos sólidos (g)	-----	3 – 5	3 – 5	0,1 – 0,2
Emissões para a água (mg)				
DQO	-----	1700	15	120
Emissões para o ar (mg)				
CO ₂	13	33	12	2
SO ₂	19 – 34	10 – 17	1 – 6	13 – 20
NOx	26 – 43	10 – 90	10 – 30	30 – 40

Fonte: NEITZEL (1997).

2.6. Materiais de construção compostos de resíduos

Dentre todos os segmentos da construção civil, mesmo com os baixos níveis de desempenho, o que teve maior abrangência, quanto à aplicação dos conceitos de sustentabilidade, foi o de materiais e componentes da construção (ROCHA e CHERIAF, 2003).

Segundo a Norma NBR 10004 (2004), os Resíduos Sólidos estão divididos em diversos grupos, dentre os quais podem ser citados, como mais significativos: os Resíduos Domiciliares, os Agrícolas, os de Construção Civil e os Industriais.

Em relação aos Resíduos Domiciliares, segundo D'Alessio (1998), as embalagens longa vida foram sempre um dos rejeitos que carregaram o estigma de “agressoras do meio ambiente”, por possuírem um alto consumo de matérias-primas e um difícil tratamento pós-consumo. Porém, graças aos avanços nas técnicas de reciclagem e algumas ações desenvolvidas pela empresa Tetra Pak, as embalagens possuem, hoje, um reaproveitamento na produção de papel Kraft, móveis, chapas divisórias e telhas (ZORTEA, 2001).

Uma das formas de emprego deste resíduo, que vem sendo efetivamente aplicada, é na fabricação de telhas onduladas. A produção destas telhas, compostas de embalagens longa vida, constitui uma nova tecnologia que oferece benefícios, pois se trata de um produto alternativo (CERQUEIRA, 2008).

Em relação aos Resíduos Agrícolas, estes são prioritariamente compostos por fibras vegetais, sendo que, no Brasil, merece destaque o bagaço da cana-de-açúcar, que é gerado como subproduto da produção de açúcar e álcool. Como o país é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, os resíduos derivados deste produto estão na mesma proporção percentual de produção e a utilização dos componentes dessa biomassa vegetal é de grande importância econômica e ambiental (SILVA, 2006). Em busca de obter um maior valor agregado e econômico, com fácil aplicabilidade para este resíduo, foram desenvolvidos diferentes materiais, entre eles, chapas de partículas para uso na construção, como pode ser observado nos trabalhos de Silva (2006) e Marcílio *et al.* (2007).

Em relação aos Resíduos da Construção Civil, as estimativas internacionais sobre a geração *per capita* destes rejeitos, variam entre 130 e 3.000kg/hab.ano, sendo que na cidade de São Paulo, por exemplo, esta geração está estimada em 280kg/hab.ano (AZEVEDO *et al.*, 2006). Os resíduos decorrentes desta atividade são prioritariamente formados por agregados e argamassas. Segundo Capello (2007), as empresas têm demonstrado cada vez mais interesse na utilização destes agregados reciclados, em obras. Uma das formas de utilização deste resíduo é na forma de blocos intertravados para pavimentação. A cidade de São Carlos, por exemplo, possui uma central de triagem de resíduos de construção, que produz blocos com agregados reciclados para posterior uso em pavimentação urbana.

Em relação aos Resíduos Industriais, de acordo com Boldrin e Castro (2004), um dos setores industriais que merece destaque é o da produção de celulose e papel, no Brasil. Isto porque as atividades destas indústrias podem ser associadas a uma série de problemas ambientais, entre os quais, a geração de grandes quantidades de efluentes líquidos, durante o processo de produção. Entre os trabalhos desenvolvidos, com base neste objetivo, podem ser citados os tijolos de adobe de Battistelle (2002), os materiais desenvolvidos por Nolasco (1993) e as chapas de partículas de Santos *et al.* (2007).

Nesta busca pela sustentabilidade, existe atualmente um grande número de pesquisas, abordando o tema de materiais de construção compostos de resíduos, porém, estes trabalhos, em sua grande maioria, tratam apenas de aspectos, como as características físicas e mecânicas dos produtos estudados. Essa metodologia pode parecer adequada ao primeiro momento, porém a medida em que os estudos prosseguem, surge a necessidade de se avaliar não somente suas características físico-químicas e mecânicas, mas também, os impactos ambientais associados ao possível emprego destes produtos.

Desse modo, pôde ser verificado que, quando se trata de um material composto de resíduos, somente a caracterização física e mecânica não basta para que o mesmo possa ser chamado de “sustentável”, sendo imprescindível que se faça uma análise mais completa, o que pode ser alcançado com a aplicação da ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida, que contempla os aspectos econômicos e ambientais destes materiais.

3. CONCLUSÕES

Em virtude dos questionamentos levantados, não se deve simplesmente tomar a reciclagem como “a melhor alternativa” para os problemas decorrentes da geração de resíduos, não sem antes, discuti-la e, principalmente, analisar o potencial de aproveitamento do resíduo. Talvez essa concepção ainda seja decorrente da mentalidade “remediadora” do século passado, quando o objetivo era gastar para despoluir e não para prevenir.

É claro que a reciclagem apresenta muitos benefícios para o meio ambiente, quando comparada com outros processos de disposição final de resíduos, como a incineração, a compostagem e os aterros sanitários; isso sem citar os lixões a céu aberto. Porém, uma abordagem mais madura deve antes questionar:

- Por que não diminuir a produção de resíduos dentro do próprio processo gerador, em vez de criar mecanismos externos?
- Será que ao produzir este novo material, os impactos não serão iguais ou mesmo maiores do que se o resíduo for somente disposto em um aterro ou incinerado?
- Será que os consumidores estão interessados em trocar materiais tradicionais por materiais produzidos a partir de resíduos?
- Será viável economicamente esse novo processo?
- Será que a empresa geradora do resíduo tem real interesse em financiar esse longo e dispendioso procedimento?

É *mister* salientar, contudo, que estes questionamentos não devem ser entendidos como entraves para o estudo de novos materiais produzidos, a partir de resíduos, mas, sim, como uma contribuição para futuros trabalhos na área, para que as pesquisas desenvolvidas, com o intuito de introduzir resíduos em novos materiais, sejam cada vez mais coerentes com a realidade e estejam cada vez mais próximas da prática, o que vem sendo realizado em diversas pesquisas da construção civil, onde se emprega a ACV em seus novos materiais.

Assim, a Avaliação do Ciclo de Vida tem se mostrado uma ferramenta de Gestão Ambiental muito versátil e eficiente, possível de ser aplicada em diferentes produtos e serviços e com resultados cada vez mais comprovados. Apesar da sua recente introdução no país, a ACV tem sido bem aceita pelos diversos segmentos, como empresas, indústrias e instituições de ensino. É claro que ainda existem muitos desafios pela frente, como a sua padronização, em termos de interpretação dos impactos.

Pode-se concluir então, que as perspectivas que se abrem para esse tipo de estudo, são muito amplas e positivas, já que a preocupação ambiental é uma crescente demanda e a ACV é uma ferramenta que já provou ser capaz de atender aos diferentes requisitos que a postura ambiental para o novo milênio apresenta.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, A. F. **A aplicação da metodologia de Produção Mais Limpa: estudo em uma empresa do setor de construção civil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR ISO 14.040 **Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida: princípios e estrutura** - Rio de Janeiro: ABNT, 10pp, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 10004:2004 - **Resíduos sólidos - Classificação** - Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- AZEVEDO, G. O. D.; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. R. S. Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, 2006.
- BATTISTELLE, R. A. G. **Análise da viabilidade técnica da indústria de celulose e papel em tijolos de adobe.** Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- BOLDRIN, R. S.; CASTRO, M. A. S. Avaliação do passivo ambiental de indústrias de papel e celulose: propostas para gerenciamento. *In*: IV Simpósio Internacional De Qualidade Ambiental, 2004, Porto Alegre. **Anais do IV IQUA**, 8 pp, 2004.
- CAPELLO, J. Entulho vira matéria-prima. **Revista Técnica**. Março de 2007. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/112/artigo31829-3.asp>>. Acesso em: 20 de Março de 2008.
- CERQUEIRA, M. H. **Placas e telhas produzidas a partir da reciclagem do polietileno/alumínio presentes nas embalagens Tetra Pak.** Março de 2008. Disponível em: <http://www.resol.com.br/textos/artigo_telhas.pdf>. Acesso em: 20 de Março de 2008.
- CHEHEBE, J. R. B. O ciclo de vida dos produtos. **Revista CNI**, n. 305, p. 22-28, fev. 1998.
- CURWELL, S.; COOPER, I. The implications of urban sustainability. **Building Research and Information**. v. 26, n° 1, p. 17-28, 1998.
- D'ALESSIO, S. P. Aumenta a reciclagem de embalagens "longa vida". **Revista Celulose & Papel**, v. 62, p. 27-29, 1998.
- FIESP Construbussines 1999 – **Habitação, Infra-estrutura e emprego.** São Paulo: FIESP, 3º Seminário Brasileiro da Indústria da Construção, 26 p., 1999.
- JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- LIDDLE, B. T. Construction for sustainability and the sustainability of the construction industry. *In*: CIB TG 16 Sustainable Construction. **Proceedings**. Tampa, Florida, November 6-9, p. 47-56, 1994.
- MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais.** São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 366 p., 2005.

MARCÍLIO, C.; BATTISTELLE, R. A. G.; VALARELLI, I. D. Fabricação de chapas de partículas compostas de bagaço de cana-de-açúcar e fibras das folhas caulinares do bambu: caracterização física e mecânica. *In: XI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas em Madeiras*, 2007, Londrina. **Anais do XI Ebramem**, 2007.

MENDES, A. **Avaliação do Ciclo de Vida na Natura**. 2005. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/download/palestras/acv.pdf>>. Acesso em: 20 Março de 2008.

MOURAD, A. L.; GARCIA, E. E. C.; VILHENA, A. **Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Aplicações**. Campinas: CETEA/CEMPRE, 92p. 2002.

NEITZEL, H. Application of Life Cycle Assessment in environmental labeling – German Experiences. *In: International Journal of LCA*. V. 2, p. 241-249; 1997.

NIEDERL-SCHMIDINGER, A.; NARODOSLAWSKY, M. Life Cycle Assessment as an engineer's tool? **Journal of Cleaner Production**. Graz, v. 16, p. 245-252, 2006.

NOLASCO, A. M. **Utilização de resíduos da indústria de papel na produção de materiais para a construção civil**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. **Aproveitamento de resíduos na construção. Utilização de Resíduos na Construção Habitacional**. Coleção Habitare. Porto Alegre: ANTAC, 2003. p. 73 - 93/v. 4.

SANDHOLZER, D. NARODOSLAWSKY, M. SPionExcel: Fast and easy calculation of the Sustainable Process Index via computer. **Resources, Conservation and Recycling**. Graz, v. 50, p. 130-142, abril, 2007.

SANTOS, J. P.; BARBOSA, W. **O lixo pode ser um tesouro**. Rio de Janeiro: Centro Cultural Rio Cine, 1992. Livro 3. 17p.

SANTOS, M. F. N.; BATTISTELLE, R. A. G.; MANFRINATO, J. W. S. Panels with agroindustrial residue: life cycle assessment as an instrument in the evaluation of recycling. *In: POMS 18th Annual Conference*, 2007, Dallas. **Anais do 18 POMS**, 2007.

SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) **Life-cycle assessment data quality: A conceptual framework**. Florida, USA, 1994.

SILVA, A. J. P. **Aplicação de partículas longas e orientadas de bagaço de cana-de-açúcar na produção de painel particulado similar ao OSB**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SJÖSTRÖM, C. Service life of the building. *In: Applications of the performance concept in building*. Proceedings. CIB: Tel Aviv, V. 2, p. 6-1:6-11, 1996.

ZORTEA, R. B. **Viabilidade econômica e tecnológica para a reciclagem das embalagens cartonadas longa vida pós-consumo de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado em Administração) - Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

