

ANÁLISE DE CICLO DE VIDA: USO DO SOFTWARE ECO-IT PARA COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS DE FACHADA (ALVENARIA E VIDRO)

Iara Gonçalves dos Santos (1); Andréa Franco Pereira (2)

(1) Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável – Escola de Arquitetura,
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil - e-mail: iaragds@yahoo.com.br

(2) Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo – Escola de Arquitetura,
Universidade Federal de Minas Gerais - e-mail: andreafranco@ufmg.br
Rua Paraíba, 697, Funcionários - CEP 30.130-140 - Belo Horizonte - MG, Brasil

RESUMO:

O trabalho apresenta uma Análise do Ciclo de Vida (ACV) de dois sistemas de fachadas utilizados em edifícios comerciais brasileiros: o de alvenaria cerâmica e o de vidro em estrutura de alumínio. Possui o objetivo de comparar o impacto ambiental provocado por estes sistemas principalmente sobre o enfoque do consumo energético associado à produção, transporte e instalação dos mesmos. Realiza-se a ACV destes sistemas considerando-os como paredes externas de um edifício comercial hipotético. A metodologia indicada pela Norma ISO 14040 e uma ferramenta computacional específica chamada Eco-it® são utilizadas. No contexto desta análise, identificou-se que o impacto ambiental e energético do sistema de alvenaria é consideravelmente menor que o de vidro. São discutidas as limitações dos procedimentos adotados e dos resultados encontrados, as dificuldades para a obtenção de dados importantes para a aplicação desta metodologia e a relevância de estudos similares para compreensão da questão energética relativa a edifícios.

Palavras-chave: Análise de Ciclo de Vida; software; energia em edifícios; sistemas de fachada.

ABSTRACT

This work presents a Lyfe Cycle Analysis (LCA) of two façade systems used in Brazilian commercial buildings: ceramic bricks and glass wall in aluminium frame. Its goal is to compare the environmental impact of these systems focusing the energy demand associated with the production, transportation, and installation of each one. The systems were assumed as external walls of a hipotetical commercial building. The LCA of these systems was done considering the ISO 14040 methodology. A software for LCA named Eco-it® was also used. In this context, the environmental and energetical impact of the brick system has found to be lower than the glass system. The limits of these procedures and of the results, the problems involving the collection of significant data and the relevance of similar studies, wich are required for the comprehension of building energetic issues, are discussed.

Keywords: Lyfe Cycle Analysis; software; energy in buildings; façade systems.

1 INTRODUÇÃO

O ciclo de vida de uma edificação compreende a aquisição de matérias-primas, a fabricação de materiais, a construção do edifício, seu uso, manutenção, demolição, reciclagem e deposição final. O ciclo de vida energético de uma edificação diz respeito ao gasto energético envolvido nestas etapas, incluindo a energia despendida com o transporte para a execução de cada uma delas.

Uma vez que os mecanismos de estimação do consumo energético de edifícios durante sua vida operacional se encontram bastante difundidos, o estudo aqui apresentado visa à avaliação da eficiência energética nas outras etapas do ciclo de vida da edificação, comparando dois sistemas de fachada usuais em edifícios comerciais brasileiros sob a ótica da ACV através de um software específico, o Eco-it®.

Este trabalho possui três objetivos principais: 1) exercitar a metodologia de ACV para componentes de edifício; 2) testar softwares para estas análises; 3) comparar o impacto ambiental global e energético de dois sistemas de fachada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Análise de Ciclo de Vida (ACV)

Segundo FERREIRA (2004) a Análise de Ciclo de Vida (ACV) é a “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” sobre a saúde humana, das plantas e dos animais, ou sobre a disponibilidade futura dos recursos naturais. O termo Análise de Ciclo de Vida foi desenvolvido nos anos 90 nos E.U.A., inspirado em um método de análise da década de 1970 conhecido como “*Resource and Environmental Profile Analysis*” e possui várias aplicações, dentre as quais o autor cita o desenvolvimento de produtos, rotulagem ecológica; regulação; definição de cenários de prioridade e de política ambiental.

Devido ao crescente interesse pelo tema, a Organização Internacional para a Normalização (ISO) criou em 1992 um comitê técnico (TC 207/SC 5) para a normalização quanto à gestão ambiental, incluindo ACV (Tibor e Feldman, 1996 apud Ferreira, 2004). Tratava-se da ISO 14040: 1997 (*Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*), que foi seguida da ISO 14041, 14042, 14043, 14049, 14048, 14047. O processo de ACV conforme consta na Norma ISO 14040:1997 é composto por quatro etapas, as quais foram adotadas na elaboração do estudo de caso deste trabalho: a) definição de objetivos e âmbito; b) análise de inventário; c) análise de impacto (AICV); d) interpretação dos resultados. Esta última etapa visa favorecer a adequação da análise a partir de respostas a questões como: “Qual a confiança dos resultados deste estudo ACV?”; “O que significam estas diferenças?”; “Estão os resultados de acordo com o objetivo e âmbito do estudo?”.

Uma ACV é complexa e geralmente requer profissionais especializados em diversas áreas. Nela “as entradas em cada processo são consideradas desde o ponto em que são extraídos os recursos da natureza, sendo as saídas seguidas até à descarga final do resíduo no Ambiente” (“from cradle to grave”). Isto é geralmente inviável, fazendo-se necessário estabelecer limites para a análise do sistema. A ISO 14041 (1998) apud Ferreira (2004) recomenda três critérios de decisão para excluir um item de análise: 1) relevância da quantidade do item no conjunto, 2) relevância da energia proporcional despendida e 3) relevância ambiental. É comum excluir da árvore do processo bens de capital e infraestruturas_ estradas, por exemplo.

Os impactos avaliados pela ACV são classificados usualmente em três categorias: 1) depleção de recursos; 2) poluição; 3) degradação de Ecossistemas/Paisagem. O uso da energia não é visto como um problema ambiental em si, mas como agravante de problemas como a depleção de recursos, aquecimento global, acidificação e a eutrofização.

Para a quantificação destes impactos existem vários métodos de análise. Neste estudo adotou-se o Eco-indicator 99, que fornece resultados de acordo com o dano provocado na saúde humana, na qualidade do ecossistema e nos recursos de energia despendidos. As unidades usadas pelo software são DALY (“*Disability Adjusted Life Years*”) que pondera diferentes incapacidades causadas por doenças sobre a saúde humana, $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ (“*Potentially Disappeared Fraction*” ou potencial de desaparecimentos de espécies de plantas por ano por metro quadrado) para a qualidade do ecossistema, MJ (Mega Joule) para os recursos de energia (FERREIRA, 2004). Como unidade geral de impacto tem-se o Pt (“*Point*” ou ponto). O valor de 1Pt representa um milésimo da carga ambiental anual produzida por um europeu, tendo como base o ano de referência de 1993 (PRÉ-CONSUTANTS, 2000).

2.2 ACV e Eficiência Energética em Edifícios

A construção civil chega a consumir 50% da matéria-prima empregada anualmente em todo o mundo. Além disso, 45% da energia total produzida é destinada ao aquecimento, iluminação e ventilação de edifícios; outros 5% são gastos para erguê-los (EDWARDS, 2001).

Estudos sobre o consumo energético no ciclo de vida das edificações têm sido feitos com o objetivo de mitigar o impacto ambiental das construções. No entanto, nacionalmente eles ainda são poucos.

Tavares e Lamberts (2005) destacam alguns. Em um estudo da década de 80 desenvolvido pelo Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC/MG foi obtido o conteúdo energético dos principais materiais de construção utilizados no Estado de Minas Gerais, além do conteúdo energético por área de um prédio comercial (2,19 GJ/m²), de um prédio público (1,50 GJ/m²) e de um prédio residencial (1,00 GJ/m²). Em um trabalho publicado em 1985 encontrou-se o valor de 2,47 GJ/m² para uma edificação multifamiliar de padrão popular. Relatam que em outra pesquisa, publicada em 1995, os consumos energéticos dos modelos de edificações previstas na Norma NBR 12721 foram comparados entre si e relacionados com o Custo Unitário Básico (CUB) das construções, sendo encontrada média de conteúdo energético para residências térreas de 3,6 GJ/m². O Gráfico 1 ilustra estes resultados.

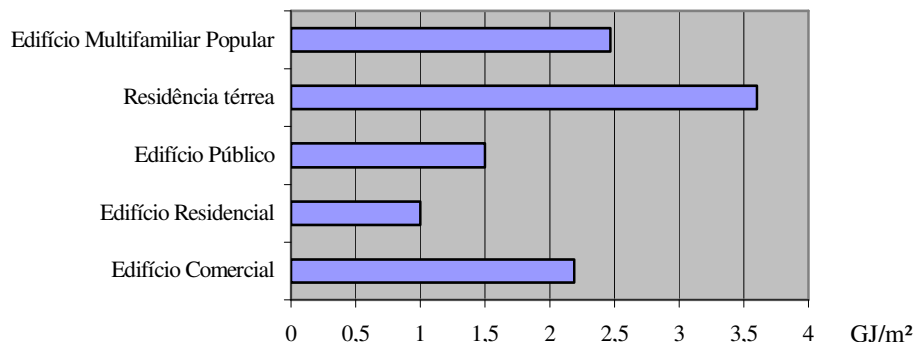


Gráfico 1 – Conteúdo energético por tipologia de edifício. Adaptado de Tavares e Lamberts (2005).

Tavares e Lamberts (2005) indicaram que são consumidos anualmente 4,5% de todos os recursos energéticos nacionais para construção, manutenção e reforma de residências. Consideraram neste estudo as etapas anteriores ao uso do edifício. Em termos de valores, na etapa de fabricação de materiais assumiram 25% de acréscimo energético devido ao desperdício. Para a etapa de transporte de materiais definiram um consumo de 0,05 MJ por quilograma de material transportado via rodovias. Para a obra consideraram 0,27% do consumo total destas etapas devido às máquinas. Encontraram resultados parecidos com os de Tavares e Lamberts (2004), os quais haviam concluído que o consumo energético para as fases de construção e reforma de uma residência, considerando um ciclo de vida de 50 anos, equivale a 40% do consumo da fase operacional da edificação.

Tavares (2006) sintetizou em uma tabela dados de energia embutida em materiais de construção brasileiros. Parte desta tabela é apresentada abaixo e serviu de base para a ACV de energia dos dois sistemas de fachada analisados.

Tabela 1- Energia Embutida (EE) em materiais de construção brasileiros.

Materiais	EE (MJ/kg)	EE (MJ/m³)
Alumínio lingote	98,20	265140,00
Alumínio anodizado	210,00	567000,00
Alumínio reciclado - extrudado	17,30	46710,00
Areia	0,05	80,00
Argamassa- mistura	2,10	3906,00
Borracha sintética	135,00	160650,00
Cerâmica- bloco de 8 furos	2,90	4060,00
Cimento Portland	4,20	8190,00
Vidro plano	18,50	46250,00

Fonte: Tavares (2006).

O alumínio possui o maior índice de energia embutida por kg de material dentre todos os materiais analisados por Tavares (2006), enquanto a areia possui o menor valor.

3 METODOLOGIA

Este estudo partiu da definição dos sistemas que seriam usados para a comparação. Foram escolhidos o sistema de fachada em alvenaria de tijolo cerâmico e o de fachada em vidro. Tal escolha está relacionada ao fato de que alguns países vêm adotando mecanismos para incentivar a diminuição ou restringir o percentual de área envidraçada nas fachadas (GOULART, 2005; GOULART, 2006). No Brasil, uma recém-lançada regulamentação aplicável a edifícios comerciais, públicos e de serviços segue princípios parecidos (PROCEL EDIFICA, 2008). Estes instrumentos foram sendo justificados tendo em vista a redução do consumo energético durante a fase operacional do prédio, principalmente aquele devido aos sistemas de condicionamento artificial do ar. Como não se tem notícia de muitos trabalhos voltados para as implicações destes mecanismos nas demais fases do ciclo de vida do edifício, e por causa da limitação de recursos e de tempo, aqui se concentrou na análise do impacto ambiental e energético nestas outras fases.

Prosseguiu-se com a definição das características dos sistemas. Foram escolhidas características condizentes com aquelas encontradas em fachadas de edifícios comerciais do país. Adotou-se a alvenaria de tijolo cerâmico furado, por ser muito utilizada no país. A aplicação do sistema de vidro unitizado é bem menor, porém ele foi selecionado por apresentar uma das tecnologias mais avançadas dentre os sistemas de fachada similares encontrados no Brasil. Nele todos os elementos (vidros, gaxetas, borrachas e acessórios) são transformados em um único módulo produzido em fábrica (ARCOWEB, 2005) e chegam prontos ao canteiro de obras. No item 3.1 são detalhadas as características dos sistemas em termos de dimensões.

Em seguida um software adequado para ACV dos dois sistemas foi selecionado entre três disponíveis, como será citado no item 3.2. Estes softwares basicamente fazem uma combinação dos dados relativos aos itens e subitens que compõem determinado sistema e como saída indicam numericamente ou em forma de gráficos o grau de impacto de cada elemento ou do conjunto de elementos do sistema.

Foram feitas duas análises, uma do impacto global e outra energética. Nas duas os dados necessários para o estudo foram tomados do banco de dados do software escolhido. Na análise energética foram usados também dados de Tavares (2006) e Tavares e Lamberts (2005), mais adequados à realidade brasileira.

Os resultados foram comparados entre si e discutidos seguindo modelos específicos. Como dentro destes modelos são feitos alguns detalhamentos metodológicos, maiores informações sobre os procedimentos adotados podem ser encontrados nesta etapa, a qual corresponde ao item 4.

3.1 Detalhamento das características dos sistemas

Para permitir comparações entre os sistemas a mesma unidade funcional (parede) foi usada. As áreas de parede variam um pouco entre os dois, pois a alvenaria terminaria abaixo da viga estrutural de concreto (Figuras “1a” e “1b”) enquanto o vidro se estenderia por sobre ela (Figura “1c”). O impacto da viga foi tomado como semelhante entre ambos os casos; por não provocar diferenças entre eles, não seria estudado.

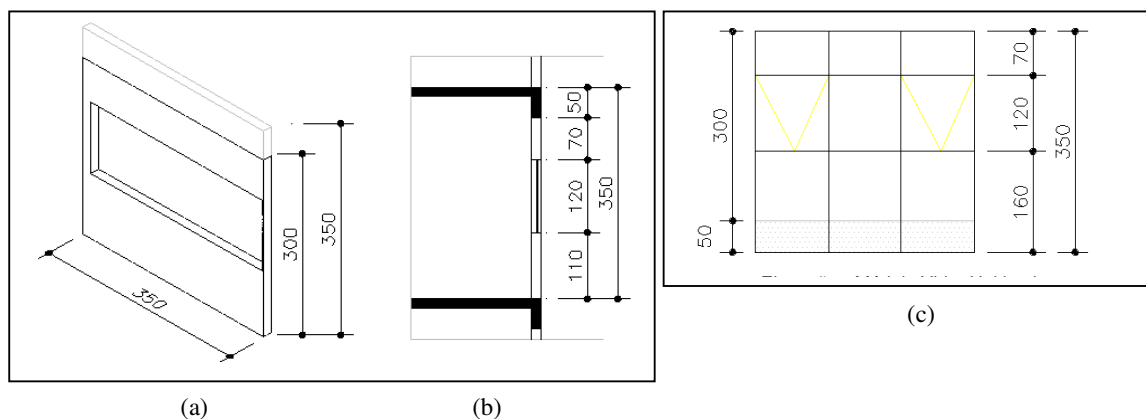


Figura 1- Esquema dos módulos dos sistemas de vedação analisados com cotas em centímetros. Em (a) tem-se a perspectiva e em (b) o corte do módulo de alvenaria. Em (c) tem-se a elevação do módulo de vidro unitizado.

3.1.1 Caso 1: Alvenaria Não-Estrutural

Para este estudo adotou-se o sistema de vedação com área de 3,5 x 3,0m que inclui janela em fita de 3,25 x 1,20m (Figuras “1a” e “1b”). Foi usado o tijolo cerâmico furado de dimensões 19 x 19 x 9 cm, com espessura das juntas de 1cm. O tipo de assentamento foi de 1/2 tijolo, com revestimento interno e externo de chapisco, emboço e reboco. O vão da abertura foi preenchido por vidro de espessura de 3mm com esquadria de alumínio. Para os cálculos das quantidades de materiais para execução da parede de alvenaria foram utilizados critérios apontados pelo Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Mato Grosso (2006).

3.1.2 Caso 2: Vidro com sistema de fixação unitizado

O sistema de vidro unitizado foi considerado com área de 3,5 x 3,5m dividida em três segmentos no sentido vertical e horizontal, usando perfis e colunas de alumínio e vidro laminado 8mm (Figura 1c). A paginação da parede e os cálculos quantitativos dos materiais foram feitos com ajuda de empresa especializada.

3.2 Escolha do Software

Foram testadas as versões gratuitas dos softwares BEES 4.0, sigla de *Building for Environmental and Economic Sustainability* (FIRST ENVIRONMENT, [200-]); SimaPro 7.0, nível *Analist*, e Eco-it 1.3 (PRÉ-CONSULTANTS, [200-]). O resultado de cada teste não será detalhado neste trabalho, mas convém explicitar que foi escolhido o último devido às limitações encontradas nas bibliotecas dos demais softwares. O primeiro não possui dados sobre vidros e o segundo não contém dados sobre tijolos cerâmicos. Para não misturar dois softwares numa mesma análise, o que poderia trazer distorções graves aos resultados, decidiu-se usar apenas o Eco-it 1.3.

4 PROCEDIMENTO DE ACV PARA OS SISTEMAS

A seguir é feita a ACV para os sistemas conforme as etapas definidas na Norma ISO 14040:1997 e exemplo de Ferreira (2004).

4.1 Definição dos Objetivos e Âmbito

4.1.1 Objetivo do estudo

Comparar do ponto de vista ambiental e energético uma unidade funcional (parede) dos sistemas de fachada alvenaria (A) e vidro (V), produzido num sistema fictício próximo da realidade construtiva nacional.

4.1.2 A quem se destina o estudo

Destina-se a avaliadores de eficiência energética em edifícios.

4.1.3 Objeto do estudo

- Sistema de produto estudado – Produto (A): sistema limitado aos itens representados pela primeira coluna da Fig. 2a. Produto (V): sistema representado pela Fig. 2b.
- Unidade funcional: 1 parede do produto (A) de 10,5m² executada no canteiro de obras; 1 parede do produto (V) de 12,25m² executada em fábrica e montada no canteiro.

4.1.4 Âmbito do estudo

Comparação entre os sistemas (A) e (V).

- Tipo de dados (genéricos ou específicos) – Fornecidos pelo software ou tomados de Tavares e Lamberts (2005) e Tavares (2006).
- Qualidade dos dados - A qualidade dos dados restantes é inerente à base de dados referida.
- Período de tempo - 50 anos, período estimado do ciclo de vida de edifícios atuais (EDWARDS, 2001; TAVARES E LAMBERTS, 2005).

4.2 Análise de Inventário (coleta de dados e procedimentos de cálculo)

Conforme requerido pelo software foi necessário o preenchimento da Tabela de Dados Combinados contendo dados de: Produção (Figuras 2a e 3a), Uso e Disposição (Fig. 3b). Como o aspecto “Uso” não foi abordado nesta pesquisa, este item não foi preenchido.

Os resultados dos cálculos das quantidades de materiais para execução da parede de alvenaria podem ser vistos na segunda coluna da Figura 2a. Já os quantitativos da fachada de vidro aparecem na segunda coluna da Figura 3a. Aproximações e substituições foram feitas quando o dado do material exato não estava disponível.

(a)

Item	Amount	Unit	Number	Pt
Fachada Alvenaria	1	p	1	22
Tijolo Cerâmico	1	p	1	7,6
Ceramics	216	kg	1	6
Truck 28t	70	tkm	1	1,5
Vidro Janela	1	p	1	3,1
Float glass coated	30	kg	1	1,5
Truck 28t	70	tkm	1	1,5
Esquadria Alumínio	1	p	1	3,1
Aluminium 0% Rec.	2000	g	1	1,6
Truck 28t	70	tkm	1	1,5
Argamassa Assent.	1	p	1	1,2
Cement	11,16	kg	1	0,22
Lime (burnt)	31,63	kg	1	0,89
Gravel	126,48	kg	1	0,11
Argamassa Revest.	1	p	1	7,2
Cement	64	kg	1	1,3
Lime (burnt)	170	kg	1	4,8
Gravel	728	kg	1	0,61
Truck 28t (volume)	70	m3km	1	0,56
Pintura Revest.	1	p	1	0
Chemicals inorganic	0	kg	1	0

(b)

- Fachada Alvenaria
 - Tijolo Cerâmico
 - Ceramics
 - Truck 28t
 - Electr. LV Switzerland
 - Vidro Janela
 - Float glass coated
 - Truck 28t
 - Electr. LV Switzerland
 - Esquadria Alumínio
 - Aluminium 0% Rec.
 - Truck 28t
 - Electr. LV Switzerland
 - Argamassa Assent.
 - Cement
 - Electr. LV Switzerland
 - Lime (burnt)
 - Electr. LV Switzerland
 - Gravel
 - Electr. LV Switzerland
 - Argamassa Revest.
 - Cement
 - Electr. LV Switzerland
 - Lime (burnt)
 - Electr. LV Switzerland
 - Gravel
 - Electr. LV Switzerland
 - Truck 28t (volume)
 - Pintura Revest.
 - Chemicals inorganic

Figura 2- Alvenaria: (a) Delimitação dos itens de produção do sistema incluindo tipo de material e transporte (primeira coluna), com respectivas quantidades/ unidades, número e unidades de impacto (Pt) calculadas pelo programa. (b) Coluna de delimitação do sistema incluindo tipo de material, transporte e energia demandada.

Na delimitação dos itens de produção do sistema alguns elementos foram excluídos da análise. No caso da alvenaria foram omitidos os produtos do sistema de pintura por falta de dados. Componente como massa de vidraceiro, borracha de vedação, parafusos de fixação de esquadrias, puxadores de janela e silicone também foram excluídos usando-se o critério de relevância citado no item 2.1.

Como dito, o estudo foi dividido em duas fases.

Na Fase 1 adotou-se a biblioteca de materiais e de meios de transporte do software, a qual foi desenvolvida em muito para a realidade européia (PRÉ-CONSULTANTS, [200-]; 2002). Alterou-se somente a quantidade e a quilometragem dos mesmos, ajustando-a conforme a distância estimada para transporte dos materiais até a obra (Figura 2a); dados de energia não foram considerados. Nesta fase foi focado o impacto ambiental global de cada material.

Na Fase 2 serviram de entrada no software apenas os dados de energia embutida em materiais de construção brasileiros (Tabela 1) multiplicados pela quantidade de cada material utilizado. Para anular qualquer influência da base de dados de materiais do software, a quantidade de cada um foi considerada zero (Figura 3a). O gasto com transporte num trajeto hipotético da fábrica ao canteiro de obras foi incluído, adotando-se entre os modelos disponíveis um caminhão modelo “Truck28”. No caso da alvenaria este trajeto foi estimado em 70 km, observando-se que boa parte de seus constituintes seria encontrada próxima ao local da obra, dentro de um perímetro urbano. No caso do vidro com sistema de fixação unitizado o trajeto adotado foi de 120 km, considerando a provável distância de uma das fábricas deste sistema até a obra. Ressalta-se que nos dados de Tavares e

Lamberts (2005) já estão incluídos gastos energéticos com transporte para a produção dos materiais. Numa simplificação do processo devido à dificuldade de obtenção de dados exatos, toda a energia envolvida no processo foi assumida como sendo energia elétrica. Como a matriz energética brasileira é predominantemente hidráulica, dentre os sistemas de geração disponibilizados pelo software foi adotado o sistema da Suíça, cujo impacto em *milli-points* (mPt) é consideravelmente inferior em relação aos demais. Nesta fase foi enfocado o impacto energético de cada material.

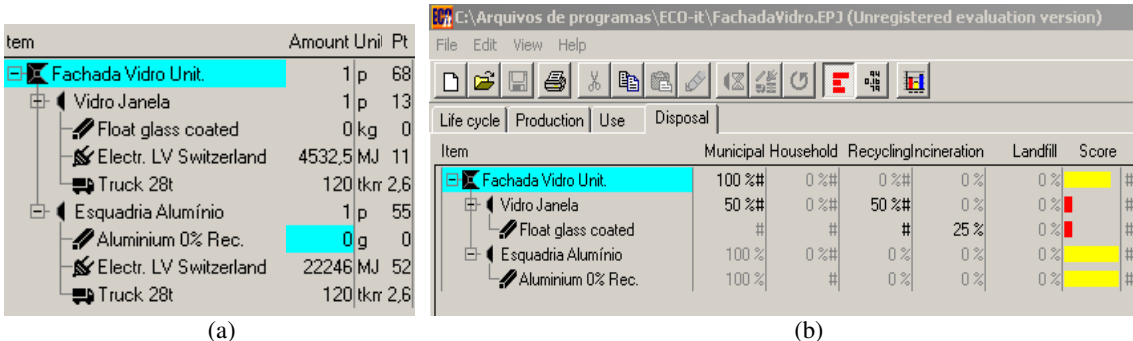


Figura 3- Vidro: (a) Delimitação dos itens de produção do sistema (primeira coluna) com seus respectivos impactos. (b) Caracterização do impacto de itens devido ao tipo de destinação dos resíduos conforme critérios do próprio software.

4.3 Análise de Impacto

A Tabela 2 resume os resultados encontrados na Fase 1 e da Fase 2. Na Fase 1 o impacto da alvenaria é de 22Pt, contra 94Pt do vidro. Na Fase 2 o impacto dos dois sistemas é de 13 Pt para a alvenaria e de 68Pt para o vidro.

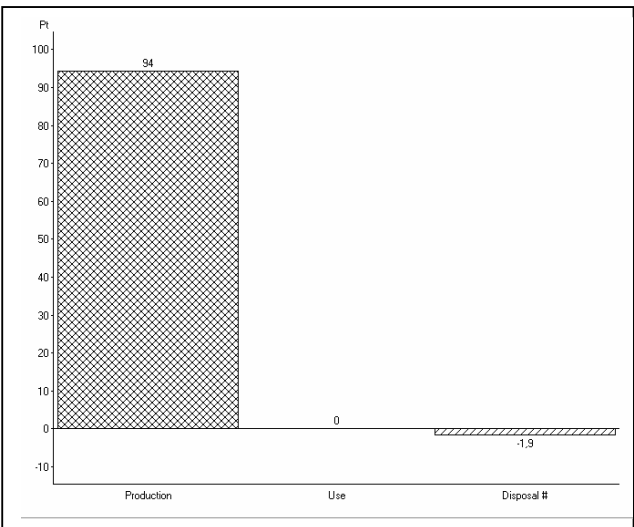


Figura 4- Gráfico de resultados de impactos do Eco-it para o sistema de vidro.

Tabela 2- Resumo dos resultados da ACV.

Avaliação	Impacto (Pt)
Fase 1: Avaliação global	
1) Alvenaria	22
2) Vidro	94
Fase 2: Avaliação energética	
3) Alvenaria	13
4) Vidro	68

Os resultados são mostrados em gráficos gerados pelo programa. A Figura 4 ilustra o resultado da Fase 1 para o sistema de vidro. Como indicado pelas colunas, quanto à produção (*Production*) o impacto do sistema é de 94Pt, quanto ao uso (*Use*) é de 0Pt, e quanto à disposição final do sistema (*Disposal*) o valor encontrado foi de 1,9Pt negativo. O valor do uso era esperado, já que esta etapa foi desconsiderada na análise. Não foi possível interpretar precisamente o significado de resultado negativo do descarte, apenas registra-se que em nenhum caso os dados de entrada referentes a este item foram alterados. Supõe-se que no caso do vidro o descarte seja negativo porque ele pode se decompor na natureza em sua forma original, a sílica.

4.4 Interpretação do ciclo de vida:

4.4.1 Resultados

Conforme os resultados, o impacto da alvenaria é significativamente menor do que o sistema em vidro tanto na Fase 1 quanto na Fase 2. No caso da energia, o impacto chega a ser cinco vezes menor. Provavelmente isto se deve em muito à quantidade do componente alumínio no sistema em vidro.

4.4.2 Suposições e limitações

Algumas suposições e aproximações foram feitas durante o processo principalmente devido à indisponibilidade de dados. As mais significativas referem-se aos materiais adotados diretamente da biblioteca do Eco-It®. Por exemplo, "Gravel" (cascalho), foi usado como a areia de argamassa, material não encontrado na versão testada. As características do material vidro, selecionado como "Glass" (*float glass coated*), não são suficientemente detalhadas no programa. Este elemento foi usado como se fosse um laminado de 8mm de espessura. Cabe lembrar também que os dados desenvolvidos por Tavares e Lamberts (2005) e Tavares (2006) tiveram como base a análise de residências, enquanto este trabalho tratou de sistemas de vedação mais comuns em edificações comerciais.

4.4.3 Análise da qualidade dos dados

Conforme Ferreira (2004) a qualidade dos dados devem concordar com: "cobertura temporal; cobertura geográfica; cobertura tecnológica; precisão, integridade e representatividade dos dados; consistência e reprodutibilidade dos métodos utilizados ao longo da ACV; fontes dos dados e sua representatividade; incerteza da informação". Devido à carência de dados precisos sobre materiais de construção brasileiros foram utilizados muitos dados fornecidos pelo programa. Não foi possível conhecer em profundidade os critérios de desenvolvimento da base de dados do software. Certo é que tanto os dados quanto à forma de avaliação de impacto do Eco-It® foram desenvolvidas num contexto diferente do brasileiro em termos de construção civil, de energia e de transporte. Estas limitações podem acarretar algumas distorções no resultado final.

4.4.4 Réplicas a recomendações

Pelos motivos citados anteriormente os resultados não devem ser tomados como definitivos. Porém entende-se que o processo, a metodologia que gerou estes resultados é pertinente em suas fases.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo reiterou a importância da Análise de Ciclo de Vida enfocando a questão da energia envolvida na fabricação, transporte, construção/instalação e na disposição final de sistemas de fachada. A relevância deste estudo se confirma, já que o impacto ambiental da cadeia da construção civil é considerável e muito dependente de energia.

Apesar das aproximações que se fizeram necessárias na caracterização dos materiais de construção, pode-se afirmar que o estudo alcançou os objetivos propostos: foi exercitada a metodologia de ACV, foram testados três softwares e foi feito um exame comparativo sobre a eficiência energética dos sistemas de vedação em alvenaria e em vidro através do mais apropriado.

De forma geral, pôde-se verificar a grande diferença existente entre os impactos provocados por uma fachada de alvenaria e outra de vidro, o que vem ao encontro de outros estudos semelhantes. Quanto à energia, pode-se afirmar que o consumo energético do sistema de vidro unitizado estudado é consideravelmente maior do que o consumo do sistema de alvenaria.

Embora os valores absolutos obtidos nos resultados não devam ser tomados como verdadeiros, servindo apenas de base comparativa, a metodologia adotada é considerada válida. Evidenciados os pontos positivos e negativos da aplicação da metodologia, esta poderá ser aperfeiçoada.

Deve-se atentar que o resultado é apenas relativo à parte do sistema de vedação de um edifício. O impacto de cada um deles no ciclo de vida completo de um edifício varia conforme o grau de interferência que provocam em outros sistemas. Por exemplo, o sistema em alvenaria pode implicar um sistema estrutural com propriedades diferentes do sistema em vidro, mais leve. Relativamente à energia elétrica, ao longo de toda a vida operacional do edifício o sistema de vidro pode implicar num consumo menor para iluminação e maior para condicionamento artificial de seu interior, considerando-se as propriedades físicas desse material em comparação com o tijolo cerâmico. Assim sendo, um

sistema considerado mais impactante numa análise como esta pode ser menos impactante num outro tipo de análise.

6 REFERÊNCIAS

ARCOWEB. **Sistema de fachadas:** desenvolvimento tecnológico marca evolução do setor. 2005. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia52.asp>>. Acesso em: 23 nov. 2007.

FIRST ENVIRONMENT. **Life Cycle Assessment Case Study:** BEES Software: Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES). [200-]. Disponível em: <http://www.firstenvironment.com/html/lca_and_be.es.html>. Acesso em: 23 nov. 2007.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA DE MATO GROSSO - CREA-MT. **Cálculo de quantidades de materiais para execução de parede de alvenaria.** 2006. Disponível em: <http://www.crea-mt.org.br/outras_informacoes.asp?id=18>. Acesso em: 02 dez.2007.

EDWARDS, B.; HYETT, P. **Guia básica de la sostenibilidad.** Barcelona: Gustavo Gili, 2004. 121 p.

FERREIRA, J. V. **Análise de Ciclo de Vida dos produtos.** [Viseu], Portugal: Instituto Politécnico de Viseu, 2004. 80p.

GOULART, S.V.G. **Levantamento da experiência internacional:** experiência nos Estados Unidos. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 65p. Relatório. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/eletrobras/index.html>>. Acesso em: 05 oct. 2007.

GOULART, S.V.G. **Levantamento da experiência internacional:** experiência européia. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. 66p. Relatório. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/eletrobras/index.html>>. Acesso em: 29 oct. 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14040: 1997. **Environmental management:** Life Cycle Assessment: principles and framework. Genève: 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14041: 1998. **Environmental management:** Life Cycle Assessment: Goal and Scope Definition: Inventory Analysis. Genève: 1998.

PRÉ-CONSULTANTS. **Eco-Indicator 99:** manual for Designers. 2000. Disponível em: <http://www.pre.nl/download/EI99_Manual.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2007.

PRÉ-CONSULTANTS. **Download center:** an overview of our downloadable reports, software and manuals: Software. [200-]. Disponível em: <<http://www.pre.nl/download/default.htm>>. Acesso em: 29 nov. 2007.

PRÉ CONSULTANTS. **User Manual:** introduction into LCA methodology and practice with SimaPro 5. Amersfoort, Netherlands, 2002. Disponível em: <<http://www.pre.nl/>>. Acesso em: 29 nov. 2007.

PROCEL EDIFICA. **Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.** 2008 (Versão pós-consulta pública). Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/eletrobras/reg.etiquetagem.voluntaria.html>>. Acesso em: 05 nov. 2007.

TAVARES, S.F. **Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. 225f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TAVARES, S. F.; LAMBERTS, R. Consumo de energia para construção, operação e manutenção das edificações residenciais no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC, 8.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENLACAC, 4., 2005, Maceió. **Anais...** Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/ENCAC05_2037_2045.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2007.

7 AGRADecIMENTOS

À Hydro TecnoceM - Projeto e execução de Sistemas de Fachada de Vidro, pelos cálculos relativos ao sistema de fachada de vidro unitizado.