

# Aplicação de uma Ferramenta de Análise do Ciclo de Vida em Edificações Residenciais - Estudos de Caso

Diógenes Librelotto<sup>1</sup>, Said Jalali<sup>2</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil,  
Campus Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal*

## RESUMO

Para analisar os impactos ambientais causados pelo sector da construção civil foram desenvolvidas algumas ferramentas informatizadas específicas. Entre elas, destaca-se a Análise do Ciclo de Vida (ACV) por ser uma das principais ferramentas na análise ambiental e também pelo facto de ser a única ferramenta de análise ambiental aplicada do berço ao túmulo dos sistemas de produção. Para este estudo, foi seleccionado o GBTool 2005 pelo facto de ser especificamente desenvolvido para permitir sua adaptação a diferentes contextos de avaliação e também pela facilidade da edição dos valores *default* da ferramenta. Assim, o programa foi aplicado a dois prédios residenciais localizados na cidade de Cruz Alta - RS, Brasil, com a finalidade de avaliar desempenho ambiental destes edifícios. Após a obtenção dos resultados, os mesmos foram analisados e logo após foram propostas modificações nos pontos onde os prédios poderiam ser melhorados visando a sustentabilidade dos mesmos. Os resultados obtidos demonstram que as alterações propostas são viáveis em termos ecológicos, assim como em termos financeiros, mais ainda, demonstra a utilidade da ferramenta com uma sensibilidade adequada. Estes resultados contribuem para demonstrar a possibilidade e a utilidade da aplicação da ACV e revelam também a necessidade de criação de base de dados a nível regional ou nacional.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das preocupações do homem actualmente é a de medir a capacidade que teremos de manter as condições de vida humana no Planeta. As próximas gerações que estão por vir precisam dispor de ar puro, água potável e solo fértil para cultivar, pois sem isso as perspectivas são sombrias: baixa qualidade de vida, conflitos por água, entre outras.

De acordo com Grigoletti (2001), o sector da construção civil é um dos principais contribuintes para o esgotamento das reservas naturais, fato este que se justifica devido a um consumo de cerca de 40% de matérias-primas como areia, pedra britada, cascalho, entre outros. Esta extracção exagerada pode levar ao esgotamento dos recursos naturais, degradação do solo, assim como a perda da diversidade da fauna e flora local. O consumo destes recursos não diz respeito apenas à matéria-prima neles incorporada. Ela também está relacionada aos

---

<sup>1</sup> Arquitecto, Mestre em Materiais e Reabilitação da Construção pela UMinho

<sup>2</sup> Professor Associado com Agregação, UMinho

resíduos gerados em toda a vida útil da edificação, desperdícios gerados por uma obra mal projectada e/ou executada, ou até mesmo o uso de tecnologias inadequadas.

A poluição gerada no planeta torna-se maior a cada dia. Preocupado com este facto, o ser humano busca alternativas de preservar o meio ambiente desenvolvendo novas ferramentas. A análise do ciclo de vida (ACV) é uma das principais ferramentas utilizadas com destaque na prevenção da poluição.

Nascida a partir da preocupação de racionalizar a factura energética dos edifícios, a ACV evoluiu já para um conceito mais abrangente que integra todos os impactos ambientais. A maioria dos produtos existentes no mercado requer um conjunto variado de processos de produção, distribuição, utilização e rejeição, durante o seu ciclo de vida. Cada um destes processos produz uma diversidade de emissões. E cada uma destas emissões tem o seu efeito específico sobre o ambiente.

Esta avaliação inclui o Ciclo de Vida completo do produto, processo ou actividade, ou seja, a extracção e o processamento de matérias-primas, a fabricação, o transporte e a distribuição, o uso, o reemprego, a manutenção, a reciclagem, a reutilização e a disposição final (ver Figura 1).

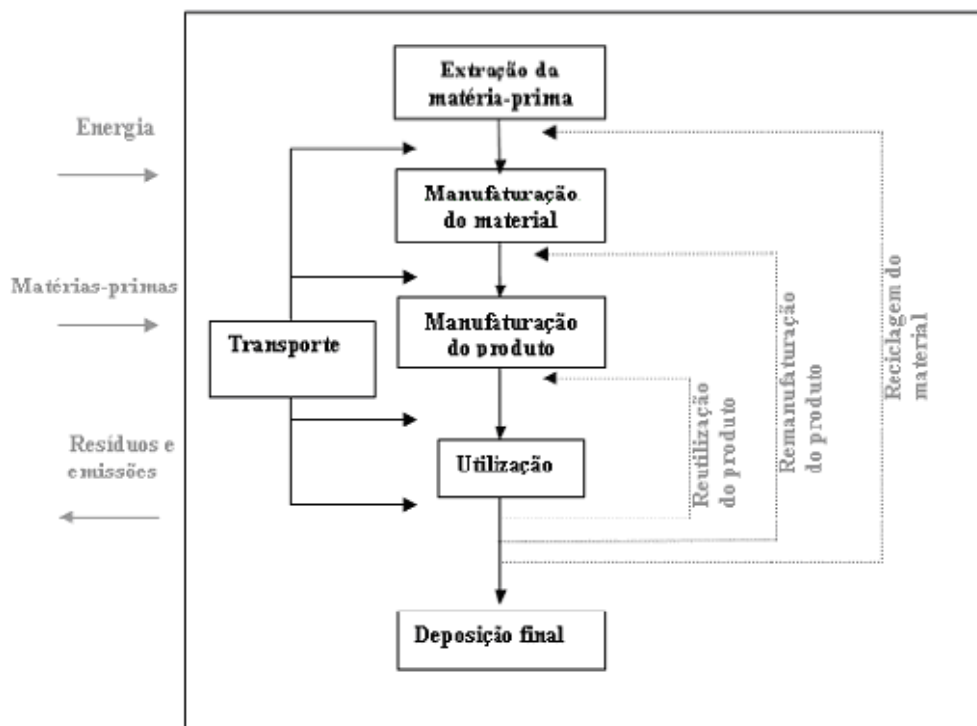


Figura 1 - O Ciclo de Vida de um Produto.

No cenário internacional, as entidades responsáveis pelas normas técnicas, a partir das quais o mundo globalizado orienta sua produção, têm estado extremamente presentes. Desde 1997 que o conjunto de procedimentos relacionados com a condução de um estudo de ACV de um produto ou sistema vem sendo normalizado pela ISO<sup>3</sup> com o propósito de realçar a comparabilidade e evitar variações desnecessárias entre as diferentes metodologias a se desenvolver.

Desse modo, um conjunto de definições e de procedimentos chave surgiram normalizados nas normas ISO 14040 a 14043, integradas na série 14000 – *Environmental Management*, dando origem a uma organização das metodologias de ACV (Amêda, 2004).

<sup>3</sup> International Organization for Standardization.

## 2. IMPACTOS AMBIENTAIS

O periódico *Green Building Digest* (1995) fornece uma série de informações sobre diversos impactos ambientais para materiais de construção tais como energia incorporada, consumo de recursos naturais, efeitos sobre a camada de ozônio, emissões de gases, entre outros. Para isto, foram analisados diversos tipos de materiais aplicados na construção civil como, por exemplo, materiais para alvenaria, cimento, isolamento térmico, tintas e vernizes, madeiras, laminados, entre outros e os impactos foram considerados no decorrer de toda a vida útil do produto ou material de construção. A pesquisa foi feita para produtos disponíveis no mercado europeu e compara diferentes tipos de materiais de construção com a finalidade de uma escolha consciente dos produtos a serem aplicados em uma edificação.

Os Impactos Ambientais são gerados em cada etapa do processo de produção dos materiais de construção como, por exemplo:

- **Consumo de recursos naturais** – O sector da construção civil consome de 14% a 50% dos recursos naturais extraídos da natureza a nível mundial (Sjöström, 1996 apud Grigoletti, 2001), o que nos mostra a importância de considerarmos os impactos relativos ao uso de matéria-prima neste sector, tais como: degradação das áreas de extracção, esgotamento de recursos e geração de resíduos, entre outros;

- **Geração de resíduos sólidos e líquidos** – De acordo com Lippiatt (1998), alguns resíduos sólidos decorrentes da produção de materiais de construção podem causar o fenómeno da *nutrificação*. A *nutrificação* é o aumento da concentração de nutrientes no solo como o nitrogénio, fósforo e potássio, os quais podem causar um desequilíbrio na flora e fauna, provocado pelo maior desenvolvimento de algumas espécies frente a outras. Os principais responsáveis pela *nutrificação* são os fosfatos, óxidos de nitrogénio, fósforo, amónia e nitrogénio;

- **Emissões aéreas** – A produção dos diferentes tipos de materiais de construção emite poluentes, os quais geram diversos impactos, tais como destruição da camada de ozônio, aquecimento global ou efeito estufa, poluição do ar por partículas e chuva ácida (Lippiatt, 1998);

- **Consumo de energia** – A produção da maioria dos materiais de construção está apoiada em fontes energéticas não renováveis, tais como combustíveis fósseis, termoelectricidade e hidroelectricidade, gás natural, entre outros;

- **Produto final** - Sobre os impactos gerados na fase final do processo de produção, um aspecto importante que não pode ser desconsiderado, são as perdas decorrentes por diversos motivos, entre elas as condições de armazenamento, o manuseio incorrecto, a falta de conformidade com as normas, e o uso excessivo de embalagens, as quais, ao chegarem ao consumidor final, serão descartadas (plásticos, papel, madeira, entre outros).

## 3. FERRAMENTAS PARA A ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

Para analisarmos os Impactos Ambientais causados pela construção civil foram desenvolvidas algumas ferramentas informatizadas específicas para a aplicação das metodologias de ACV neste sector. Essas ferramentas se diferem nas abordagens, objectivos e praticidade para a condução de avaliações em um edifício completo e para a avaliação da função prestada.

Alguns exemplos de softwares de ACV (Tabela 1):

**Tabela 1 – Alguns softwares para estudo de ACV.**

PROGRAMA	FINALIDADE
<i>SimaPro (Holanda)</i> <i>GaBi (Alemanha)</i>	Aplicação geral a estudos de ACV
<i>BEES 3.0 (EUA)</i>	Suporte para tomada de decisões na seleção de materiais
<i>ATHENA (Canadá)</i> <i>EcoQuantum (Holanda)</i> <i>EnVest (Reino Unido)</i>	Suporte para a tomada de decisões na concepção de edifícios
<i>LEED (EUA)</i> <i>GBTool (Canadá)</i> <i>Ecoprofile (Noruega)</i>	Suporte para a avaliação de sistemas completos de edifícios

Actualmente quase todos os países europeus (além de Estados Unidos, Canadá, Austrália, Japão e Hong Kong) possuem um sistema de avaliação e classificação do desempenho ambiental de edifícios. Muitos destes sistemas se adaptam melhor à avaliação de edifícios novos ou na fase de projecto, sendo raros os exemplos de sistemas para este segundo caso. Poucos sistemas conseguem esclarecer as diferenças entre o desempenho ambiental com base em propriedades inerentes ao edifício (desempenho potencial) e o desempenho real do edifício em operação (Sidoni, 2004).

Entre todos os sistemas existentes, o GBTool é único sistema que varre todas as aplicações potenciais, pois o mesmo foi desenvolvido desde o início para tentar superar as limitações dos sistemas anteriores. Quando visamos abranger todos os aspectos considerados indispensáveis na definição de edifícios ambientalmente correctos, esta ferramenta de avaliação é sem dúvida, a mais complexa e a que é mais frequentemente revisada e actualizada.

Uma característica marcante do GBTool é o facto de ele permite que os utilizadores possam editar os dados de acordo com as diferentes tecnologias, prioridades, estilos construtivos e até valores culturais, podendo ser aplicado a qualquer tipo de edifício (escritórios, residências, centros comerciais, indústrias, entre outros) em praticamente qualquer região do mundo. Deste modo, os próprios projectistas, executores ou operadores do edifício fornecem a descrição do edifício, porém não participam da definição de *benchmarks* ou dos factores de ponderação, que é responsabilidade exclusiva da equipe de avaliação.

Para fazer a avaliação ambiental com a ferramenta, é preciso inserir uma quantidade considerável de informações relacionadas ao edifício e ao contexto em que este está inserido (principalmente das características do local). De uma forma geral, o que este sistema faz é a comparação de um edifício (que será avaliado) com outro edifício de mesma tipologia ou semelhante, considerado pelas equipes de avaliação como um edifício de referência. Os níveis de desempenho podem variar de acordo com o contexto e com a tipologia do edifício. A definição da escala de desempenho requer que sejam conhecidos no mínimo dois pontos: *desempenho típico* (nota 0) e *desempenho excelente* (nota 5).

#### 4. ESTUDOS DE CASO

Foram seleccionados dois projectos académicos de estudantes da Faculdade de Arquitectura e Urbanismo da Universidade de Cruz Alta – UNICRUZ, para serem analisados. Estes projectos foram escolhidos pelo facto de suas tipologias, materiais utilizados na construção e acabamentos, qualidade da mão-de-obra, entre outros, serem considerados “típicos” do estado do Rio Grande do Sul.

As *benchmarks* gerais de projecto foram estimadas com o maior rigor possível, considerando a limitação de normalização e dados nacionais. Quando possível, foram utilizados dados nacionais publicados, dados de normas da *Associação Brasileira de Normas*

*Técnicas* (ABNT), código de obras e recomendações sem poder normativo feitas por órgãos como o *Programa Nacional de Conservação de Energia Eléctrica* (PROCEL), entre outros. Como segundo recurso, foram utilizados valores obtidos em normas da *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE), assim como consultas a especialistas, fabricantes de equipamentos e profissionais do mercado. Para casos em que nenhuma destas fontes permitiu estimar valores nacionais, foram utilizados os valores *default* oferecidos pela ferramenta, mesmo sabendo que eles não reflectiriam fielmente os dados brasileiros.

#### 4.1. Residencial G&B

Este primeiro *Estudo de caso* localiza-se no Bairro Garibaldi, em Cruz Alta - RS. O terreno possui uma área de 7.284 m<sup>2</sup>, abrangendo todo o quarteirão do encontro das ruas: Domingos Veríssimo, Francelino Ribeiro Franklin, José Luis da Rosa e Marechal Deodoro. Segundo o Plano Director de Desenvolvimento Urbano de Cruz Alta, o mesmo está localizado na Zona Residencial 1 (ZR-1), onde a Taxa de Ocupação máxima permitida é de 66% da área do lote. O condomínio situa-se a 700 metros do centro comercial e conta com serviço de autocarros frequente e de boa qualidade que passa a 50 metros do conjunto de prédios.

O *Conjunto Habitacional G&B* conta com uma área bruta construída de 1.857,10 m<sup>2</sup> em cada bloco de apartamentos. Tendo que o condomínio é composto por seis prédios, a área bruta construída é de 11.142,6 m<sup>2</sup>. O orçamento estimado da obra é de R\$690,00/m<sup>2</sup> (padrão médio\* – RS – Julho de 2005), resultando num total de R\$7.688.394,00 para o residencial todo (incluindo construção, jardins e equipamentos).

Quanto ao processo construtivo do edifício, na parte estrutural, foram adoptados pilares de concreto armado com secção 40cm x 40cm, lajes de vigotas pré-esforçadas com tabelas cerâmicas com 15cm de espessura e vigas de concreto armado com secção 20cm x 50cm. Nas paredes da edificação, foi considerado que o seu fechamento será com tijolos cerâmicos, com espessura de 25cm nas paredes externas e 15cm nas paredes internas. Em relação aos materiais de acabamento da obra, as fachadas foram rebocadas com argamassa de cimento, cal e areia fina (traço 0,5:2:6) e pintadas com tinta esmalte acrílica, sendo que algumas paredes externas receberam revestimento de pedras decorativas.

Em relação ao piso utilizado no prédio, foi adoptado o uso de piso cerâmico PEI-4, com dimensões de 41cm x 41cm, inclusive nas paredes dos banheiros e área de serviço. Todas aberturas foram executadas em “madeira de lei” (Cedro), sendo que as esquadrias possuem vidros simples (4mm) e venezianas para protecção do sol conforme projecto. Em relação à cobertura, foi considerado que a mesma será executada com telhas de Fibrocimento 6mm, assentadas sobre estrutura de madeira (apoiada sobre a laje).

Cerca de 85% dos materiais a serem utilizados na obra terão uma procedência local (materiais oriundos de um raio de abrangência de até 150Km), sendo que foram previstos 50 anos para vida útil destes edifícios.

Como o projecto acompanhou a inclinação do terreno, não exigindo uma remoção considerável de terra e vegetação, não se considerou que o valor ecológico do local seria alterado. Também não existem estruturas no local que possam ser reaproveitadas pelas novas edificações. A área permeável do terreno recebeu um tratamento paisagístico, com grama e

---

\* Padrão médio foi aqui definido como aquele caracterizado pelo emprego de algumas soluções como condicionamento artificial eficiente (tipo unidade de janela ou *split system*, de controle manual), além de um melhor planeamento do projecto e execução, pautados pelos conceitos da qualidade. O termo “padrão” refere-se não apenas aos custos de construção, mas principalmente à qualidade das soluções tecnológicas e de projecto empregadas. Preocupações em reduzir o impacto ambiental dos edifícios não foram consideradas como um critério para selecção dos edifícios ou definição das categorias.

plantas que necessitam de irrigação. Não há sistema de reutilização das “águas cinzas” e as águas da chuva que escorrem sobre os pavimentos impermeáveis são escoadas para a rede pública.

Em relação ao consumo de água potável pelo edifício, segundo dados da CORSAN<sup>4</sup> pelo consumo médio observado em prédios vizinhos, foi estimado que seriam gastos 214,6 litros/pessoa/dia, o que multiplicados pelo número de moradores (42 pessoas), resulta num consumo mensal de 270,4 m<sup>3</sup>.

Segundo a empresa responsável pelo projecto paisagístico do residencial, foi estimado que seriam necessários 74,72 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*ano de água para a irrigação dos 1.547,3 m<sup>2</sup> de jardins (irrigação por spray combinado com solo argiloso).

Sobre os gastos energéticos, como *prática de referência*<sup>5</sup> foi adoptado a média do consumo de 12 prédios residenciais vizinhos, fornecidos pela RGE<sup>6</sup>: 114,66 MJ/m<sup>2</sup> por ano (~31,85 KWh/m<sup>2</sup> por ano). Como *prática óptima*<sup>7</sup>, foi adoptado o menor consumo obtido entre estes 12 casos: 96,88 MJ/m<sup>2</sup>/ano (~26,91 KWh/m<sup>2</sup> /ano).

Diante da *ausência total* de dados nacionais sobre ACV, na questão dos impactos associados aos materiais de construção (energia incorporada), foram adoptados valores a partir de dados *default* da ferramenta, *mesmo tendo consciência de que estes poderiam ser muito diferentes dos valores para materiais brasileiros*. Os valores de energia incorporada na estrutura e envelope da edificação foram adoptados de um quadro da GBTool 2000, que relaciona a massa e a complexidade do edifício a valores de energia incorporada (em GJ/m<sup>2</sup>). No caso de um edifício com massa de 375 Kg/m<sup>2</sup> (laje de 15cm de concreto com 2500 Kg/m<sup>3</sup>), foram estipulados, respectivamente, como *prática de referência*: 6,0 GJ/m<sup>2</sup>, e como *prática óptima*: 4,5 GJ/m<sup>2</sup>.

Nas emissões de substâncias causadoras do efeito estufa (GHG<sup>8</sup>) incorporadas nos materiais de construção (conversão não refinada, com base na energia incorporada nos materiais), foi adoptado um dado médio dos estudos canadenses para residências, apresentados no GBC'98, calculados pelo software ATHENA<sup>TM</sup>: 72 Kg CO<sub>2</sub> eq./GJ energia incorporada.

Sobre os pesos adoptados em cada categoria de desempenho do GBTool 2005, os mesmos foram arbitrados de acordo com critérios definidos pelo projectista do residencial, sendo eles respectivamente (ver Tabela 2):

**Tabela 2 – Categorias analisadas pelo software e valores adoptados.**

CATEGORIA		VALOR (0 à 5)
A	Seleção do Local, Planejamento de Projeto e Desenvolvimento (13%)	3
B	Energia e Consumo de Recursos (22%)	5
C	Cargas Ambientais (22%)	5
D	Qualidade do Ar Interno (22%)	5
E <sup>11</sup>	Funcionalidade (0%)	0
F	Adaptação e Manutenção (9%)	2
G	Aspectos Econômicos e Sociais (13%)	3

<sup>4</sup> CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento.

<sup>5</sup> Representa um valor mínimo aceitável para a região, de acordo com a legislação em vigor.

<sup>6</sup> RGE – Rio Grande Energia.

<sup>7</sup> Representa uma meta de desempenho que está acima das práticas habituais.

<sup>8</sup> GHG – *Greenhouse Gases*.

<sup>11</sup> A Categoria E não se aplica a edificações residenciais, portanto não foi considerada pela análise.

## 4.2. Residencial Petrópolis I

Este segundo estudo de caso localiza-se no Bairro Petrópolis, em Cruz Alta – RS. O terreno possui uma área de 22.508,38 m<sup>2</sup>, abrangendo o quarteirão do encontro das ruas: Carlos Frederico Brum, Oscar Brenner e Cezar Bastola com a Avenida Plácido de Castro. Segundo o Plano Director de Desenvolvimento Urbano de Cruz Alta, o mesmo está localizado na Zona Comercial 3 (ZC – 3), onde a Taxa de Ocupação máxima permitida é de 70%. O condomínio situa-se a 1.600 metros do centro comercial e conta com serviço de autocarros frequente e de boa qualidade que passa a 150 metros do conjunto de prédios.

O Residencial Petrópolis I é composto por seis prédios de dois dormitórios (com 1.941,40m<sup>2</sup> em cada prédio) e sete prédios de três dormitórios (com 2.237,84m<sup>2</sup> em cada prédio), tendo uma área bruta total de 27.336,98m<sup>2</sup>. O orçamento estimado da obra é de R\$ 690,00/m<sup>2</sup> (Padrão médio – RS – Julho de 2005), resultando num total de R\$ 18.862.516,20 para o residencial todo (incluindo construção, jardins e equipamentos).

Para uma melhor comparação entre os dois exemplos, foi seleccionado um prédio do Residencial com orientação solar semelhante a do estudo anterior (fachada principal - norte). O processo construtivo do edifício é semelhante ao primeiro estudo de caso.

Cerca de 90% dos materiais a serem utilizados na obra terão uma procedência local (materiais oriundos de um raio de abrangência de até 150Km), sendo que foram previstos 50 anos para a vida útil destes edifícios.

Na questão de iluminação natural, quando calculada a área interna da edificação que terá iluminação directa pelo sol, com um ângulo visível de 30 graus a partir do prédio adjacente, foi obtido que 67,42m<sup>2</sup> por pavimento seriam abrangidos, resultando num total de 269,68m<sup>2</sup> naturalmente iluminados em todo prédio (fachada norte). A fachada principal é orientada para o norte e não apresenta maiores problemas por não utilizar grande área envidraçada.

Como o terreno possui pouca inclinação e projecto acompanhou a inclinação do terreno, não exigindo uma remoção considerável de terra e vegetação, não se considerou que o valor ecológico do local seria alterado. Também não existem estruturas no local que possam ser reaproveitadas pelas novas edificações.

O prédio não conta com sistema de reutilização das “águas cinzas” e as águas da chuva que escorrem sobre os pavimentos impermeáveis são escoadas para a rede pública ou para um pequeno córrego que “corta” todo o terreno.

Em relação ao consumo de água potável pelo edifício, como o Residencial Petrópolis I fica na mesma cidade que o outro *Estudo de Caso*, foi adoptado a mesma média de consumo fornecida pela CORSAN (214,6litros/pessoa/dia). Segundo a empresa responsável pelo projecto paisagístico do residencial, foi estimado que seriam necessários 608m<sup>3</sup>/ano de água para a irrigação dos 7.996,62 m<sup>2</sup> de jardins (irrigação por spray combinado com solo argiloso).

Sobre os gastos energéticos, a exemplo do estudo anterior, foram adoptados os dados fornecidos pela RGE:

- *Prática de referência*: 114,66 MJ/m<sup>2</sup>/ano (~31,85 KWh/m<sup>2</sup>/ano);
- *Prática óptima*: 96,88 MJ/m<sup>2</sup> /ano (~26,91 KWh/m<sup>2</sup> /ano).

Sobre os pesos adoptados em cada categoria de desempenho, os mesmos foram arbitrados de acordo com critérios definidos pelo projectista do residencial, sendo eles respectivamente (Tabela 3):

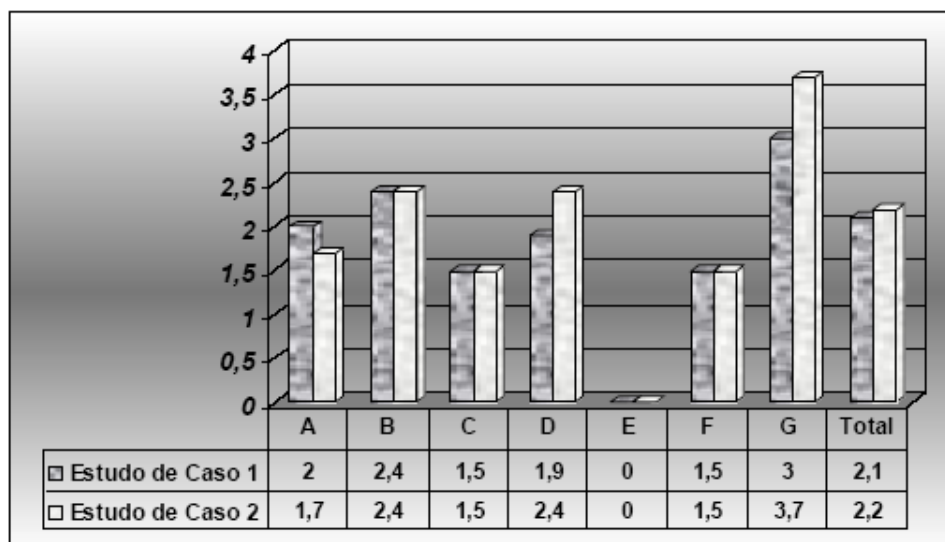
**Tabela 3 – Categorias analisadas pelo software e valores adoptados.**

CATEGORIA		VALOR (0 à 5)
A	Seleção do Local, Planeamento de Projeto e Desenvolvimento (13%)	3
B	Energia e Consumo de Recursos (22%)	5
C	Cargas Ambientais (22%)	5
D	Qualidade do Ar Interno (22%)	5
E	Funcionalidade (0%)	0
F	Adaptação e Manutenção (9%)	2
G	Aspectos Económicos e Sociais (13%)	3

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com a análise detalhada de cada uma destas categorias, torna-se possível identificar com maior precisão quais os parâmetros onde o edifício possui um bom desempenho, bem como os parâmetros onde o desempenho é ainda insatisfatório. Deste modo ficam visíveis os pontos onde devemos actuar com o objectivo de melhorar o desempenho ambiental do edifício.

No geral, quando envolvidos todos os aspectos da edificação, nota-se que o primeiro *Estudo de Caso* apresenta um desempenho ligeiramente inferior em relação ao segundo estudo. Os resultados obtidos foram, respectivamente, **2,1** e **2,2** para os dois residenciais – *desempenho relativo* (Figura 2).



**Figura 2 – Gráfico comparativo do Desempenho Relativo dos Estudos de Caso.**

Estes valores finais obtidos significam que, comparando o desempenho do edifício em estudo com um edifício de referência, *que representa o desempenho mínimo aceitável para um edifício do mesmo tipo*, os prédios avaliados possuem um desempenho aceitável, porém abaixo do considerado “boa prática\*”, pelo facto de que estes residenciais não foram projectados tendo em conta aspectos ambientais e ecológicos como, por exemplo, a criação de cisternas para colecta da água da chuva, painéis solares para aquecimento de água e/ou geração de electricidade, tratamento e reutilização das “águas cinzas” e/ou água da chuva, entre outros.

\* 0 = prática aceitável; 3 = boa prática e 5 = prática óptima.



Na Tabela 4, a seguir, observa-se os resultados do Desempenho Absoluto para os dois Estudos de Caso avaliados.

**Tabela 4 – Indicadores de Sustentabilidade obtidos nos dois Estudos de Caso.**

Indicadores de Sustentabilidade Ambiental	Estudo de Caso 1		Estudo de Caso 2	
	Por área	Por área e ocupação	Por área	Por área e ocupação
1 Consumo líquido total de energia primária incorporada, MJ	30 MJ/m <sup>2</sup>	0,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph	30 MJ/m <sup>2</sup>	0,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph
2 Consumo líquido anual de energia primária incorporada, MJ/ano	34 MJ/m <sup>2</sup>	29,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph	34 MJ/m <sup>2</sup>	15,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph
3 Consumo líquido anual de energia entregue p/ operações no edifício, MJ/ano	96 MJ/m <sup>2</sup>	83,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph	84 MJ/m <sup>2</sup>	39,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph
4 Consumo líquido anual de energia não-renovável p/ operações no edifício, MJ/ano	47 MJ/m <sup>2</sup>	40,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph	41 MJ/m <sup>2</sup>	19,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph
5 Energia primária incorporada anual e energia primária para operações anuais, MJ/ano	81 MJ/m <sup>2</sup>	70,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph	73 MJ/m <sup>2</sup>	34,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph
6 Energia renovável total usada para operações no edifício, MJ/ano	0 MJ/m <sup>2</sup>	0,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph	0 MJ/m <sup>2</sup>	0,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph
7 Consumo líquido anual de água potável p/ operações do edifício, m <sup>3</sup> /ano	0,4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *maph	0,4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *maph
8 Uso anual de “águas cinzas” e água da chuva p/ operações do edifício, m <sup>3</sup> /ano	0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *maph	0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *maph
9 Emissões anuais líquidas de GHG pelas operações do edifício, Kg CO <sub>2</sub> eq./ano	12 Kg/m <sup>2</sup>	10,0 Kg/m <sup>2</sup> *maph	12 Kg/m <sup>2</sup>	6,0 Kg/m <sup>2</sup> *maph

Estes indicadores correspondem à parte da ACV da avaliação e resulta em números de consumo e emissões que são normalmente importantes em qualquer contexto. Como os resultados são números absolutos, não há interferência de *benchmarks* e é possível fazer comparações directas entre edifícios com as mesmas características tipológicas e regionais.

## 6. MODIFICAÇÕES PROPOSTAS

Para que fossem abrangidos todos os indicadores do software e pudéssemos ter uma visualização geral dos resultados, sendo que estes podem ser considerados como base para prédios com as mesmas características no estado do Rio Grande do Sul, foram propostas algumas modificações visando a sustentabilidade:

1. Reutilização das “águas cinzas” (esgoto) e Redução do desperdício de água potável;
2. Criação de reservatórios para a recolha das águas da chuva (cisternas);
3. Reciclagem e reutilização de resíduos sólidos;
4. “Aplicação” de painéis solares (energia renovável);
5. Aditivos e/ou adições ao cimento.

### 6.1. Reutilização das “Águas Cinzas” e Redução do Desperdício de Água Potável

Sobre o tratamento e a reutilização da água, como os dois prédios analisados não possuíam sistemas de tratamento para as mesmas, foi proposto que 30% das “águas cinzas” fossem tratadas e destinadas para fins não-potáveis (irrigação, lavagens de calçadas, carros, entre outros).

Actualmente existem muitos equipamentos disponíveis no mercado para o tratamento e reutilização das “águas cinzas”. Para aplicação nestes dois Estudos de Caso, foi seleccionado um equipamento fornecido pela Aquabrasilis, fabricado pela Korff Muller

Engenharia em associação com a alemã S&H Umweltengineering – baptizado de RTK. Segundo a Eng.<sup>a</sup> M. Sibylle K. Muller, M.Sc.: "[...] o sistema precisa de um espaço correspondente a uma ou duas vagas de garagem e, por ser sistema totalmente fechado, integra-se muito bem à paisagem ao seu redor, permitindo fazer parte de qualquer empreendimento". O sistema também é económico em termos de consumo de energia eléctrica. O consumo médio do RTK é de 0,5 a 1KWh/mês por usuário.

O preço médio do equipamento, para estações de tratamento acima de 300 usuários, é de aproximadamente R\$ 210,00 por pessoa, sem os custos de instalação.

Para reduzir os desperdícios de água e diminuir seu consumo, segundo o *Manual da Conservação e Reuso da Água em Edificações*, uma intervenção física projecta uma redução de consumo de aproximadamente 25%. Os resultados obtidos em condomínios residenciais de grande consumo por apartamento são significativos em função da estrutura tarifária de água e esgoto. A aplicação do método minimiza desperdícios nos pontos de maior consumo e o acompanhamento e gestão durante o período em questão, e além de minimizar o desperdício, visa também detectar a ocorrência de anomalias no abastecimento.

Adoptando a percentagem de economia fornecida pelo *Manual* aos dois Residenciais analisados, a projecção dos consumos e custos seria (Tabela 5):

**Tabela 5 – Projecção do consumo e custos para os dois residenciais.**

	Consumo (m <sup>3</sup> /mês)	Custo (R\$/mês)
<b>RESIDENCIAL G&amp;B</b>		
Consumo	1622,4	4716,96
Projecção (-25%)	1216,8	3540,72
Diferença	405,6	1176,24
Retorno do investimento	45 meses (~3 anos e 7 meses)	
<b>RESIDENCIAL PETRÓPOLIS I</b>		
Consumo	3013,79	8751,99
Projecção (-25%)	2260,35	6567,02
Diferença	753,44	2184,97
Retorno do investimento	33 meses (~2 anos e 8 meses)	

De acordo com os resultados obtidos, o *Residencial G&B* teria retorno financeiro em 44 meses (~3 anos e 7 meses), enquanto o *Residencial Petrópolis I* em 33 meses (~2 anos e 8 meses), isto sem considerar todas as vantagens do ponto de vista ambiental.

## 6.2. Criação de Reservatórios para a Recolha da Água da Chuva

Outra maneira de reduzir o consumo da água potável é a criação de cisternas para recolha da água da chuva. Para aplicação no GBTool, foi proposto que reservatórios com a capacidade de 50.000 litros (por prédio) para a recolha da água da chuva fossem criados, retendo 10% das águas das chuvas anuais no terreno.

A viabilidade do uso de água da chuva é caracterizada pela diminuição na demanda de água fornecida pelas companhias de saneamento, tendo como consequência a diminuição dos custos com água potável, assim como a redução do risco de enchentes em caso de chuva forte. Em condomínios, a água de chuva armazenada significa uma expressiva economia no gasto de água nas áreas comuns. Ela pode ser utilizada para lavagem das calçadas, do *playground*, de carros, na irrigação dos canteiros e jardins, na reserva para casos de incêndio e até mesmo

em banheiros das áreas comuns. A viabilidade do sistema depende basicamente de três factores: precipitação, área de colecta e demanda.

O reservatório de água da chuva, por ser o componente mais dispendioso do sistema, deve ser projectado de acordo com as necessidades do usuário e com a disponibilidade fluviométrica local para dimensioná-lo correctamente, sem inviabilizar economicamente o sistema. No estado do Rio Grande do Sul, sabe-se que a média das precipitações anuais é de 2.250 mm/ano. Baseado nos resultados das análises realizadas e na utilização do sistema de recolha e aproveitamento de água da chuva, seu uso para fins não potáveis deve ser estimulado.

### **6.3. Reciclagem e Reutilização de Resíduos Sólidos**

A reciclagem de resíduos pela indústria da construção civil tem se consolidado como uma prática importante para a sustentabilidade, tanto na atenuação dos impactos ambientais gerados pelo sector como na redução dos custos, podendo gerar inúmeros benefícios: redução no consumo de recursos naturais não-renováveis e redução do consumo de energia durante o processo de produção, redução da poluição e redução de áreas necessárias para aterro – pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem, entre outros.

Segundo Ângulo *et al.* (200\_), a reciclagem de resíduos sólidos também pode causar impactos ao meio ambiente. Factores como tecnologia empregada, tipo de resíduo e utilização proposta para o material reciclado, podem tornar o processo de reciclagem ainda mais impactante do que o próprio resíduo, antes de ser reciclado. Com isso, o processo de reciclagem acarreta riscos ambientais que precisam ser adequadamente gerenciados.

A reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição (RCD), iniciada na Europa após a segunda guerra mundial, encontra-se no Brasil muito atrasada, apesar da escassez de agregados e área de aterros nas grandes regiões metropolitanas, especialmente se comparada com países europeus, onde a fracção reciclada pode atingir cerca de 90% - caso da Holanda (Zwan, 1997; Hendriks, 2000).

Segundo Pinto (1999), as experiências brasileiras estão limitadas a acções de alguns municípios que buscam reduzir os custos e os impactos negativos da deposição da enorme massa de entulho (média de 0,5 ton/hab/ano, obtida para algumas cidades brasileiras de médio e grande porte).

No Brasil, a reciclagem de RCD para argamassas e concretos já foi estudada e tem se mostrado viável do ponto de vista tecnológico e económico. Porém, a avaliação do risco ambiental ainda não foi avaliada (Zordan, 1997; Ângulo, 2000).

Para aplicação no software, foi proposto que 15% dos resíduos sólidos fossem reciclados e reutilizados na construção, porém seus custos foram desconsiderados.

### **6.4. “Aplicação” de Painéis Solares (Energia Renovável)**

Sabe-se que o sol é uma fonte de energia renovável. A geração de energia através do sol pode ser obtida por duas tecnologias principais: a fotovoltaica (geração de electricidade directamente pela luz do sol) ou térmica (usa a luz do sol para aumentar a temperatura do interior da casa ou da água).

Esta energia é muito importante na preservação do meio ambiente pelo fato de não ser poluente, não precisar de turbinas ou geradores para a produção de energia eléctrica e não contribuir para o efeito estufa, porém tem como desvantagem a exigência de altos investimentos para o seu aproveitamento.

Segundo a *Associação Brasileira de Automação Residencial* (AURESIDE), um dos mais comuns usos da energia solar é para aquecer a água. Aquecedores solares de água são

simples de instalar, tem um custo razoável (5 placas com dimensões de 2,28m x 1,10m cada, com *boiler* e reservatório para 500 litros custa aproximadamente R\$ 6.500,00) e trazem rápido retorno de investimento (economia de até 40% de energia eléctrica). Funcionam de maneira simples, auxiliando os sistemas tradicionais de aquecimento, que, portanto devem continuar existindo.

Numa outra tecnologia, a energia solar ao invés de ser utilizada para aquecimento serve para gerar electricidade. Esta tecnologia consiste em um sistema fotovoltaico que usa painéis colectores, colocados no telhado ou mesmo no chão. Na aparência, estes colectores se parecem com os de água quente, no entanto sua composição interna é muito diferente. Estes painéis são feitos de semicondutores, normalmente de silicone. Quando a luz incide no semicondutor, os electrões se libertam dos átomos e produzem um campo eléctrico interno. Os painéis colectores alimentam com corrente DC uma série de baterias em intervalos regulares. As baterias armazenam a energia até que ela seja necessária e então a enviam a um inversor que converte DC para corrente AC em 120 volts. Quanto maior o painel, mais KW de electricidade pode produzir. Como exemplo, um conjunto de 10 painéis de 100 W (aproximadamente 1,50m por 60cm cada um) pode abastecer sem problemas seis lâmpadas fluorescentes, um ventilador, um rádio, um televisor e DVD, uma geladeira, uma torradeira e uma máquina de lavar roupa.

De acordo com a AURESIDE, para dimensionar um sistema destes é necessário saber as condições climáticas da região, pois seu desempenho varia bastante com relação à quantidade de dias ensolarados. Um sistema como o descrito de 1000 W custa cerca de R\$ 27.000,00.

Para cada metro quadrado de colector solar instalado evita-se a inundação de 56 m<sup>2</sup> de terras férteis, na construção de novas hidroeléctricas. Uma parte do milionésimo de energia solar que nosso país recebe durante o ano poderia nos dar suprimento de energia equivalente a:

- 54% do petróleo nacional;
- 2 vezes a energia obtida com o carvão mineral;
- 4 vezes a energia gerada no mesmo período por uma hidroeléctrica.

Para a inserção no software, foi proposto que fossem “aplicadas” 30 placas de painéis solares (54 m<sup>2</sup>) em cada prédio, gerando um total de 54.432 MJ/ano (~15.120 KWh/ano) – equivalente a 31,1% da energia consumida pelo edifício.

## 6.5. Adições ao Cimento

Outro factor proposto foi a substituição de cerca de 20~25% do cimento utilizado na construção por adições minerais, o que torna o concreto mais resistente e ao mesmo tempo contribui para a melhoria ambiental, uma vez que reduz drasticamente o que é necessário colocar em aterros sanitários. As adições ao cimento melhoram certas características do concreto e preservam o ambiente ao aproveitar resíduos e diminuir a extracção de matéria-prima.

O desenvolvimento dos vários tipos de cimento, com o uso de adições como escórias e pozolanas, acabou unindo o útil ao agradável. Além de melhorar certas características do material (impermeabilidade, diminuição da porosidade capilar, maior resistência a sulfatos e redução do calor de hidratação), as adições contribuíram para diminuir o consumo de energia durante o processo de fabricação e para aproveitar subprodutos poluidores, como as escórias de alto-forno e as cinzas volantes, por exemplo.

Do ponto de vista ecológico, além da preservação das jazidas de calcário, o ponto forte é o aproveitamento de resíduos poluidores, como é o caso da escória granulada de alto-forno,

um subproduto da fabricação do ferro-gusa, que possui actividade hidráulica e gera na hidratação os mesmos produtos que o cimento. Já as pozolanas, que podem ser cinzas volantes, argilas calcinadas, diatomitos, rochas vulcânicas, sílica activa, têm a vantagem de promover a diluição do aluminato tricálcico (C3A), componente do clínquer que é o principal responsável pelo calor de hidratação, e combinar com a cal gerada pela hidratação do cimento, diminuindo a permeabilidade do concreto e aumentando sua resistência aos ataques químicos.

Do ponto de vista financeiro, segundo o engenheiro civil Juliano Reis Wallau, o concreto betonado trás uma economia de 15 a 20% no custo final comparado ao concreto feito “*in situ*”. De acordo com engenheiro, um metro cúbico de concreto betonado com 20,0MPa de resistência custa cerca de R\$204,00<sup>9</sup> contra R\$ 242,00 do produzido “*in situ*”.

## 7. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos foram os seguintes:

A Tabela 6, a seguir, detalha a pontuação do Desempenho Relativo obtida nos dois Estudos de Caso, além dos Estudos de Caso – ECO.

**Tabela 6 – Pontuação do Desempenho Relativo obtida pela análise dos Estudos de Caso - ECO.**

Pontuação Obtida		Estudo de Caso 1	Estudo de Caso 1 ECO	Estudo de Caso 2	Estudo de Caso 2 ECO
<b>A</b>	Seleção do Local, Planejamento de Projeto e Desenvolvimento Urbano (13%)	2,0	2,3	1,7	2,5
<b>B</b>	Energia e Consumo de Recursos (22%)	2,4	3,5	2,4	2,9
<b>C</b>	Cargas Ambientais (22%)	1,5	1,9	1,5	1,9
<b>D</b>	Qualidade do Ambiente Interno (22%)	1,9	3,0	2,4	3,3
<b>E</b>	Funcionalidade e Controle dos Sistemas do Edifício (0%)	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>F</b>	Flexibilidade, Adaptação e Manutenção (9%)	1,5	1,5	1,5	1,5
<b>G</b>	Aspectos Sociais e Econômicos (13%)	3,0	3,0	3,7	3,7
<b>Total</b>		<b>2,1</b>	<b>2,7</b>	<b>2,2</b>	<b>2,7</b>

Analisando a Tabela 6, percebe-se que com as pequenas modificações propostas visando a sustentabilidade ambiental dos edifícios, os resultados do Desempenho Relativo para os dois *Estudos de Caso ECO*, no geral, apresentaram uma melhoria significativa em relação aos estudos anteriores. Nas duas análises ECO, os valores finais melhoraram consideravelmente em praticamente todas as categorias, conseqüentemente os valores finais tiveram uma melhoria significativa, passando de **2,1** para **2,7** para o *Residencial G&B* e de **2,2** para **2,7** no *Residencial Petrópolis I*. Estes valores significam que quando aplicadas as modificações ECO, dentro da escala de avaliação que vai de zero à cinco, os dois prédios analisados ficariam próximos da média considerada *boa prática*.

Na Tabela 7, a seguir, encontram-se os resultados do Desempenho Absoluto para os dois *Estudos de Caso*, além das análises ECO.

<sup>9</sup> Preço médio aproximado para 1m<sup>3</sup> de concreto com 20 MPa no estado do Rio Grande do Sul (Outubro de 2005).

**Tabela 7 – Indicadores de Sustentabilidade Ambiental obtidos nos dois Estudos de Caso + ECO.**

	Estudo de Caso 1		Estudo de Caso 1 ECO		Estudo de Caso 2		Estudo de Caso 2 ECO	
	Por área	Por área e ocupação	Por área	Por área e ocupação	Por área	Por área e ocupação	Por área	Por área e ocupação
1	30 MJ/m <sup>2</sup>	0,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph	30 MJ/m <sup>2</sup>	0,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph	30 MJ/m <sup>2</sup>	0,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph	30 MJ/m <sup>2</sup>	0,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph
2	34 MJ/m <sup>2</sup>	29,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph	34 MJ/m <sup>2</sup>	29,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph	34 MJ/m <sup>2</sup>	15,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph	34 MJ/m <sup>2</sup>	15,0 MJ/m <sup>2</sup> *maph
3	96 MJ/m <sup>2</sup>	83,0 MJ/n *map	65 MJ/m <sup>2</sup>	56,0 MJ/n *map	84 MJ/m <sup>2</sup>	39,0 MJ/n *map	71 MJ/n	33,0 MJ/n *map
4	47 MJ/m <sup>2</sup>	40,0 MJ/n *map	32 MJ/m <sup>2</sup>	27,0 MJ/n *map	41 MJ/m <sup>2</sup>	19,0 MJ/n *map	34 MJ/n	16,0 MJ/n *map
5	81 MJ/m <sup>2</sup>	70,0 MJ/n *map	66 MJ/m <sup>2</sup>	57,0 MJ/n *map	73 MJ/m <sup>2</sup>	34,0 MJ/n *map	67 MJ/n	31,0 MJ/n *map
6	0 MJ/m <sup>2</sup>	0,0 MJ/n *map	31,1 MJ/m <sup>2</sup>	26,8 MJ/n *map	0 MJ/m <sup>2</sup>	0,0 MJ/n *map	13,0 MJ/n	6,0 MJ/n *map
7	0,4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,4 m <sup>3</sup> /n *map	0,2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,2 m <sup>3</sup> /n *map	0,4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,2 m <sup>3</sup> /n *map	0,1 m <sup>3</sup> /n	0,1 m <sup>3</sup> /n *map
8	0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,0 m <sup>3</sup> /n *map	0,13 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,1 m <sup>3</sup> /n *map	0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,0 m <sup>3</sup> /n *map	0,1 m <sup>3</sup> /n	0,0 m <sup>3</sup> /n *map
9	12 Kg/m <sup>2</sup>	10,0 Kg/m <sup>2</sup> *maph	12 Kg/m <sup>2</sup>	10,0 Kg/m <sup>2</sup> *maph	12 Kg/m <sup>2</sup>	6,0 Kg/m <sup>2</sup> *maph	12 Kg/m <sup>2</sup>	6,0 Kg/m <sup>2</sup> *maph

De acordo com a Tabela 7, verifica-se que praticamente todos os indicadores foram abrangidos pela análise ECO.

## 8. CONCLUSÕES

Existem vários sistemas disponíveis no mercado para a análise ambiental de edificações, sendo que a maior parte destes sistemas tem como objectivo fazer a avaliação de um determinado edifício através do estabelecimento de critérios e padrões que vão além das medidas impostas na legislação, sempre com a finalidade de atingir a sustentabilidade.

Em relação ao sistema adoptado, concluiu-se que este foi concebido de forma que pudesse ser aplicado em praticamente todas as regiões do mundo, uma vez que é flexível e “editável”, permitindo que a avaliação seja realizada de acordo com as necessidades, práticas e desenvolvimentos de cada local. A flexibilidade do sistema deve-se à existência de uma estrutura que permite a atribuição de pesos a cada um dos temas de avaliação, tendo em conta a importância dos mesmos na região onde se localiza o edifício em análise. Este método também permite que se definam diferentes níveis de exigência para o desempenho dos edifícios, bem como a identificação de aspectos negativos a serem melhorados, com a finalidade de desenvolver um projecto mais sustentável.

Em geral, todos os métodos de avaliação ambiental disponíveis enfatizam a importância das emissões de CO<sub>2</sub> durante o uso do edifício. O GBTool é o único que vai além deste factor. Ele permite considerar o CO<sub>2</sub> incorporado nos materiais, que é uma grande preocupação em países de clima frio (com grande demanda por aquecimento, durante períodos relativamente longos) e/ou que tenham matrizes energéticas fortemente centradas no uso de combustíveis fósseis (razões pelas quais os mesmos têm compromissos rigorosos firmados no Protocolo de Kyoto).

No Brasil, o controle de CO<sub>2</sub> durante as operações do edifício não tem a mesma validade, uma vez que a emissão de CO<sub>2</sub> pelos países em desenvolvimento é insignificante diante das emissões dos países desenvolvidos. Em grande parte do território brasileiro a energia utilizada é proveniente principalmente de fontes hidráulicas e não poluentes (apesar

da recente alteração de cenário, com maior participação de fonte termoelétricas), e é possível que no ciclo de vida de edifícios a emissão de CO<sub>2</sub> durante a produção dos materiais de construção seja preponderante.

Quanto às limitações e dificuldades de aplicação, verificou-se que a ferramenta necessita do conhecimento prévio de uma grande quantidade de dados necessários para a avaliação, sendo que quanto maior for o nível de detalhamento do edifício, maior a dificuldade para obter dados e para a análise.

Com isto, o presente estudo evidenciou a aplicabilidade do sistema GBTool, contribuindo com mais um elemento de informação sobre sistemas de avaliação da Construção Sustentável, o qual servirá de base para trabalhos futuros que visem o desenvolvimento de ferramentas nacionais.

Verifica-se que nos países desenvolvidos muito já foi feito em relação à geração de dados ambientais relativos à construção civil.

A implementação deste sistema de forma a obter dados “reais” depende da existência de valores de referência para as condições particulares da construção da zona em estudo. Um estudo que obtivesse todos os dados necessários para a implementação de valores de referência para a realidade nacional, contribuiria largamente para a implementação e inovação do sistema no Brasil, uma vez que a dificuldade da obtenção dos dados ou a inexistência dos mesmos tornou-se a maior dificuldade sentida durante a aplicação da ferramenta, levando a utilização de alguns valores do país de origem da ferramenta (Canadá), conseqüentemente podendo “distorcer” alguns resultados aqui apresentados.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amoêda, R.P.C., *Ecologia dos Materiais de Construção – Linhas de Orientação para seu Ensino*, Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 212 pp. (2004);

Boustead, I. and Hancock, G. F., *Handbook of Industrial Energy Analysis*. Ellis Horwood Limited, England (1979);

Brasil, *Agenda 21: Conferência da Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: 1992*, 2ª Ed. Brasília: Subsecretaria de Edições Técnicas do Senado Federal. 558 pp. (1997);

Brundtland Commission, *World Commission on Environment and Development: our common future*, Oxford University Press, New York (1987);

CIB, *Agenda 21 on sustainable construction*. Rotterdam, Netherlands: CIB, Report Publication 237, 120 pp. (1999);

EBN – Environmental Building News, *Establishing priorities with green building*. Brattleboro, US: BuildingGreen, v.4, n.5, Sep./Oct., 8 pp. (1995);

Ferrão, P.C., *Introdução à Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos*. IST Press, Portugal (1998);

Grigoletti, G.C., *Caracterização de Impactos Ambientais de Indústrias de Cerâmica Vermelha do Estado do Rio Grande do Sul*, Tese (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2001);

Green Building Digest, *Masonry materials*. Liverpool, United Kingdom: Ethical Consumer Research Association (ECRA), ACTAC, n. 1, Jan (1995);

Heijungs, R. et al., *Life cycle assessment: What it is and how to do it*, Paris: UNEP, 91 pp. (1996);

Mascaró, L.E., *Análise prévia para caracterização de aspectos energéticos dos materiais de construção*, Relatório de Pesquisa, Porto Alegre: PROPARG/UFRGS, 76 pp. (1988);

Sidoni, R.C., *Avaliação da Sustentabilidade da Construção*, Relatório de Projecto Individual, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Julho (2004);

Silva, V.G., *Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: Diretrizes e Base Metodológica*, Tese de Doutorado, São Paulo (2003);

Tan, R.R. e Culaba, A.B., *Environmental Life-Cycle Assessment: A Tool for Public and Corporate Policy Development*, Manila, De La Salle University (s/ edição), 12 pp. (2002).