

# METOLOGIA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS

**Danielly B. Garcia<sup>(1)</sup>; Maria Teresa de P. Aguilar<sup>(2)</sup>; Francisco C. Rodrigues<sup>(3)</sup>**

(1) Unileste - Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, e-mail: [danielly@boxarquitetura.com.br](mailto:danielly@boxarquitetura.com.br)

(2) Universidade Federal de Minas Gerais, e-mail: [teresa@demc.ufmg.br](mailto:teresa@demc.ufmg.br)

(3) Universidade Federal de Minas Gerais, e-mail: [francisco@dees.ufmg.br](mailto:francisco@dees.ufmg.br)

## **Resumo**

*A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma das ferramentas utilizadas para análise dos impactos ambientais dos materiais de construção, através da avaliação do comportamento ambiental do material do “berço” ao “túmulo”. Para tal, utilizam-se inventários contendo entradas e saídas durante o ciclo de vida dos materiais de construção. A criação de bancos de dados brasileiros de materiais de construção está em estágio inicial de desenvolvimento, enquanto que em alguns países esses dados já estão consolidados. Além da ausência de dados, deve-se considerar que a avaliação ambiental de um edifício não corresponde à soma dos resultados da ACV de cada material. Trata-se do conjunto que inclui os materiais e as características relativas às interfaces entre esses e seu comportamento no sistema construtivo. Tendo em vista a morosidade em construir este banco de dados, o conceito resgatado neste trabalho é que cada edifício é único, e que a avaliação de ciclo de vida na construção civil brasileira poderá ser mais útil como ferramenta de minimização dos impactos ambientais. Para isso, é proposta uma metodologia de utilização da ACV nos sistemas construtivos, denominada Metodologia de Avaliação Ambiental de Sistemas Construtivos (MAASC), utilizando o software Simapro.*

**Palavras-chave:** avaliação de ciclo de vida, sistemas construtivos, sistema estrutural em aço.

## **Abstract**

*The Life Cycle Assessment (LCA) is one of the tools used to analyze the environmental impacts of building materials, by evaluating the environmental performance of the material from the "cradle" to "grave". For this purpose, were used inventories containing inputs and outputs during the life cycle of building materials. The creation of Brazilian database of building materials is in early stages of development, while in some countries these data are already consolidated. Besides the lack of data, should be considered that the environmental assessment of a building is not the sum of the LCA results for each material. This is the set that includes the materials and the characteristics relating to the interfaces between these and their behavior in the building system. Considering the delays in building this database, the concept rescued in this work is that each building is unique, and that the assessment of life cycle in the Brazilian civil construction may be more useful as a tool to minimize environmental impacts. To this end, a methodology of use of LCA in building systems is proposed, called Environmental Assessment Methodology Building Systems (MAASC) using the Simapro software.*

**Keywords:** life cycle assessment, building systems, steel structural system.

## **1. INTRODUÇÃO**

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), a construção civil é o setor com o maior potencial redutor da emissão dos gases que provocam o aquecimento global (JOHN, 2007). Este setor é responsável por 50% da retirada de recursos naturais e 50%

do lixo total gerado (EDWARDS e BENNETT, 2003) e somente a indústria cimenteira contribui com parcelas de 5% de emissões de CO<sub>2</sub> no mundo (DAMINELLI, *et al.*, 2010). Além disso, os impactos da construção civil no meio ambiente não se restringem às emissões de CO<sub>2</sub>: vão desde a modificação do ambiente natural, na implantação do edifício no terreno, passando pelo uso e operação do mesmo, até sua deposição ao final da vida operativa. Isso justifica pesquisas que abordam a construção sustentável, sob o aspecto ambiental.

De uma maneira geral, os temas ambientais da construção sustentável estão relacionados à concepção e relação com o entorno; à qualidade ambiental da edificação e eficiência energética; ao uso da água; aos aspectos construtivos, tais como seleção de materiais, sistemas e gestão da qualidade e resíduos.

Independente de estarem enquadrados boas práticas para a construção sustentável, estes assuntos já são tratados individualmente, mediante normas específicas ou ações governamentais para racionalização de recursos. Impactos de implantação, por exemplo, são tratados pelos Estudos de Impacto Ambiental (EIA/ RIMA), e Estudos de Impacto de Vizinhança exigidos pelo CONAMA, que também regulamenta a questão dos resíduos. A eficiência energética é tratada no programa PROCEL EDIFICA do governo federal. Uso da água é abordado no programa PURA do governo do Estado de São Paulo.

Com relação à seleção de materiais e sistemas construtivos com vistas ao impacto ambiental, os caminhos apontados, no contexto atual, são para materiais preferenciais – aqueles com características de menor impacto, seja para produção, transporte ou emissão de poluentes no uso – e para a Avaliação de Ciclo de Vida no futuro (JOHN, 2010). A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que avalia os impactos ambientais em cada etapa do ciclo de vida do material, desde a extração de matéria prima até o destino final, após o fim de sua vida útil. É tratada como ferramenta do “futuro” por não existirem inventários de materiais e insumos da construção civil que possam fomentar ACVs nesta área. Essa ferramenta abrange outros produtos e processos em geral, não só os da construção civil. Desse modo, existem estudos de ACVs de diferentes materiais, como a indústria têxtil, produtos agrícolas, dentre outros. É uma metodologia bastante difundida e consolidada em outros países, mas no Brasil o estágio é ainda de construção inicial de um banco de dados.

Acredita-se que a criação de um banco de dados de ICVs de materiais de construção não contribui de imediato para a construção civil em massa, pois além dos materiais selecionados, deve ser abordada a interação entre estes para compor o sistema construtivo. Ou seja, além dos dados de impactos ambientais dos materiais ao longo do ciclo de vida, deve-se desenvolver uma metodologia própria para avaliar os processos de interação entre esses materiais, a compatibilidade dos mesmos, os procedimentos de obra, a implicação dessas interações no desmonte do sistema, dentre outros.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo criar uma metodologia de avaliação de impactos ambientais baseada em características inerentes aos sistemas construtivos, tais como a interação entre materiais distintos e as características geográficas do edifício. Entretanto, em função da ausência de dados de materiais e processos da construção civil, a ACV não tem como objetivo a seleção de um sistema ou outro, mas a identificação dos impactos e indicativos de melhoria.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. O Conceito de Sistema Construtivo**

É comum avaliar o desempenho de edifícios a partir da soma dos atributos individuais de cada

material que os compõem. Trata-se de um equívoco, pois os materiais isolados podem possuir desempenhos satisfatórios, mas, ao fazer parte de um sistema construtivo, devem atender ao critério de desempenho exigido pelo conjunto. Dessa forma, conceitua-se sistema construtivo como um conjunto de materiais e suas interações, processos necessários à formação do sistema. Além disso, o sistema construtivo deve desempenhar uma função específica, diferente dos materiais, que isoladamente não exercem uma função, apenas quando dispostos em conjunto e interagidos.

Fazendo uma analogia com o corpo humano pode-se considerar o edifício como o corpo e cada parte como um dos sistemas que o compõe. Ou seja, cada um possui um funcionamento próprio e é formado por elementos individuais, como as células e órgãos, mas só possuem uma atividade plena quando integrados a outros. Em outras palavras, um sistema deixa de existir quando isolado dos demais. Essa junção e suas interfaces constituem o corpo humano em prol de uma função específica, que é a de dar vida plena a um ser humano e funções fundamentais, como movimento, respiração, alimentação, etc.

Analogamente, os edifícios são compostos de sistemas dentro de sistemas, considerando diferentes níveis de complexidade dos mesmos. Como os elementos estruturais, os elementos de vedação ou de fundação só fazem sentido se conferem o abrigo para as atividades humanas, que é o objetivo principal de uma edificação. Nesse contexto, é importante diferenciar sistema construtivo de edifício. O que difere os dois conceitos são as questões de implantação, com soluções que garantam habitabilidade, uso de água e energia, próprios do edifício pronto para o funcionamento. Apesar dessa separação conceitual, um edifício não existe sem o sistema construtivo.

A partir desse pensamento é evidente que a avaliação ambiental de materiais de construção civil por si só não garantem o bom desempenho do edifício quanto a este aspecto. É necessário avaliar o sistema construtivo e todas suas interações e processos.

## **2.2. Avaliação de Ciclo de Vida e sua aplicação na construção civil.**

Internacionalmente, existem ferramentas que contemplam o sistema construtivo na avaliação do desempenho ambiental. A utilização dessas ferramentas no Brasil é inviável, pois o levantamento dos impactos ambientais em cada etapa do ciclo de vida do sistema e dos materiais (Inventários de Ciclo de Vida – ICVs) corresponde à realidade do país de origem.

Além de não existirem ICVs dos materiais e sistemas construtivos, não há informações suficientes sobre o processo de fabricação e transporte dos componentes da edificação brasileira. Uma das formas de obter informações sobre os componentes é a declaração ambiental prevista pela ABNT NBR ISO 14020:2002, que é uma rotulagem voluntária que auxiliaria na seleção dos sistemas construtivos.

A ACV é uma técnica de avaliação ambiental de materiais (produtos) e processos (serviços) que indica impactos ambientais potenciais (ABNT NBR ISO 14040: 2009). Entende-se por ciclo de vida os estágios sucessivos e encadeados de um produto. A cada estágio contabilizam-se as entradas e saídas de materiais, energia, produtos, emissões para atmosfera, para a água e para o solo (inputs e outputs). É uma técnica para avaliar os impactos ambientais de um produto mediante a compilação de um inventário, a avaliação de impactos ambientais e a interpretação de resultados. São, portanto, quatro etapas: definição do escopo e delimitação; levantamento de dados, denominado Inventário do Ciclo de Vida (ICV); Avaliação do Impacto do Ciclo de vida (AICV), onde os dados levantados no ICV serão relacionados às categorias de impacto definidas previamente e interpretação dos dados.

Nos países desenvolvidos, a Avaliação de Ciclo de Vida para seleção de materiais é uma realidade e se encontra em estágio de amadurecimento. A rotulagem ambiental baseada na ISO 14025 é responsável pelo abastecimento de boa parte dos bancos de dados de ACV nesses países. Várias ferramentas para seleção de materiais e sistemas construtivos são aplicadas neste contexto, a destacar:

- *Building Environmental and Economics Sustainability (BEES)*: são comparados componentes isoladamente e seu resultado ambiental é dado por meio de uma caracterização de impacto própria;
- *Athena Impact Estimator* possibilita as montagens de sistemas de divisórias externas, divisórias internas, coberturas, esquadrias, pisos e estrutura, a partir de um banco de dados baseado em EPDs norte-americanas.
- *Eco-Quantum*: como base de dados o *Simapro*, um software suíço de Avaliação de Ciclo de Vida geral, interpreta-o dentro das legislações holandesas e apresentando resultados por sistema construtivo;

Embora no Brasil os estudos sobre ACV na construção civil estejam em fase inicial, existem tentativas de utilização de softwares estrangeiros juntamente com bancos de dados de inventários (ICVs) de materiais da construção civil (SILVA, 2008 e SOARES, 2006). Existem softwares gerais que atendem aos diversos setores da economia e permitem a inserção de dados e possuem bancos de dados de ICVs de materiais da construção civil, além de outros tipos de materiais. Tratam-se de ferramentas integradoras de ICVs e AICVs, pois possibilitam que novos dados diferentes e inúmeros métodos de AICVs sejam adicionados. Como exemplo desses softwares, pode-se citar o *Simapro* (holandês), o *Gabi* (alemão) e o *Umberto* (alemão).

### **3. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS (MAASC)**

Os edifícios, produtos da construção civil e da arquitetura, possuem etapas de ciclo de vida e características específicas, diferentes dos produtos de uso imediato, que consistem na longevidade do edifício e na etapa de obra. A durabilidade de um edifício é maior que de um produto de uso imediato, o que dificulta a previsão de impactos ambientais ao longo desse processo. A obra é um segundo processo de transformação, diferente do que ocorre nos produtos manufaturados de uso imediato e traz consigo a agregação de múltiplos sistemas em um produto único, o que dificulta as análises em ACV. Cada produto que compõe o edifício tem suas cargas ambientais provenientes do seu processo de fabricação e passa por uma nova transformação ao ser incorporado ao sistema construtivo.

Para propor uma metodologia que possa abranger a construção civil e que possa incorporar dados brasileiros na medida em que esses forem sendo criados, é preciso considerar o estágio atual da ACV brasileira, onde não existem inventários de ciclo de vida de produtos da construção civil e métodos de AICV aplicáveis às diferentes regiões do Brasil.

Partindo dos estudos sobre os possíveis softwares baseados em ACV para utilização na construção civil, selecionou-se o software *Simapro* pela sua flexibilidade de inserção de dados, pelos inventários e pelas ferramentas de avaliação de impacto disponíveis. Este software é base da MAASC, ordenando e criando um método de entrada de materiais, ou seja, parametrizando os modos de entrada do sistema. As informações a serem lançadas são identificadas através do organograma apresentado na Figura 1. Para propor a metodologia foi necessário identificar as possibilidades do *Simapro* quanto aos dados disponibilizados e

quanto à inserção de novas informações no mesmo.



Figura 1 - Parte da estrutura de lançamento de dados do *Simapro*.

A Figura 1 apresenta parte da estrutura do software, bem como as possibilidades de inserção de novos materiais, referências internas e entendimento de cada uma das etapas e dados inventariados. As caixas em azul escuro são entradas existentes no Simapro. A numeração existente no alto das caixas de materiais, processos e resíduos/disposição final, é repetida entre parênteses nas fases do produto (n). Essa simbologia foi usada para explicitar a origem dos materiais a serem cadastrados em cada etapa. Os materiais que serão reutilizados (“reutilizar”) ou enviados a algum outro “cenário de destino final”, por exemplo, são identificados com (3) entre parênteses. Isso significa que devem estar previamente cadastrados na “montagem”, que é a caixa que possui o número 3 como identificação. A “montagem”, por sua vez, referencia entre parênteses o número 1, ou seja, o material deve existir em “processos”, no subgrupo “material”. Sob a ótica do ciclo de vida, o material (existente no banco de dados), vai constituir uma montagem, que passará por processos em seu “ciclo de vida” e que poderá ser reutilizado (“reutilizar”) ou terá outros “cenários de destino final”.

Entretanto, o resultado apresentado pelo software é a contribuição dos componentes da montagem (3) no impacto ambiental total do produto ou do sistema ao longo do ciclo de vida. Após essa compreensão da estrutura do *Simapro*, foi possível propor formas de inserção de dados com respectivas nomenclaturas a fim de obter um resultado de impacto ambiental por etapa de ciclo vida. As etapas propostas para a ACV de um sistema construtivo são: fabricação, obra, ciclo de vida do sistema construtivo e desmonte do sistema construtivo. A MAASC é apresentada no quadro da Figura 2 e ordenada a seguir.

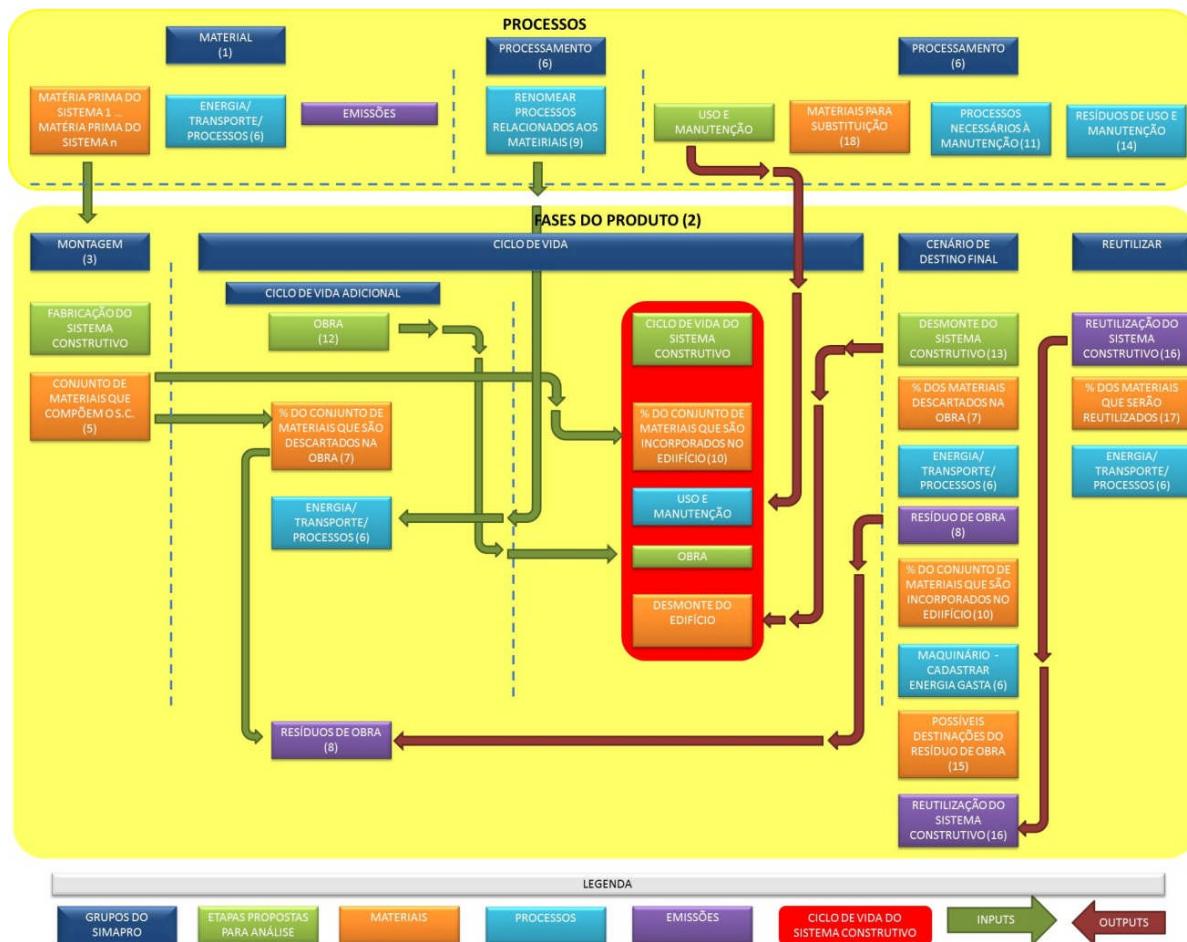


Figura 2 – Metodologia de Avaliação Ambiental de Sistemas Construtivos (MAASC), com uso do *Simapro*

1. Cadastrar todos os materiais (“Material” (1)) e processos (“Processamento” (6)) que serão utilizados no ciclo de vida do sistema construtivo. Esse cadastro é feito em valores unitários de massa, dimensões, etc. Cada um dos materiais é composto pela sua matéria-prima, seus processos de energia, de transporte, pelas suas emissões e resíduos e pela sua destinação final.
2. Criar um processo em ”Processamento” (6) denominado “Uso e Manutenção”, que inclui os Materiais de Substituição (18), Processos Necessários à Manutenção (11) e os resíduos de uso e manutenção (14). Cada um desses (18), (11) e (14) deve ser cadastrado em “Processamento” (6).
3. Cadastrar na caixa “Montagem” (3) todo conjunto de materiais utilizados no Sistema Construtivo. Esses materiais são os que foram previamente cadastrados na primeira etapa.
4. Nomear o Ciclo de Vida como “Ciclo de Vida do Sistema Construtivo”.
5. Criar o Ciclo de Vida Adicional “Obra” (12), dentro do “Ciclo de Vida do Sistema Construtivo”.
6. Cadastrar em “Obra” (12) a porcentagem dos materiais (“Material” (1)) que serão descartados na obra.
7. Cadastrar em “Obra” (12) e os processos (“Processamento” (6)) inerentes a esta etapa.

8. Cadastrar um Cenário de Destino Final denominado “Desmonte do Sistema Construtivo” (13).
9. No “Desmonte do Sistema Construtivo” (13), cadastrar um destino final denominado “Resíduo de Obra” (8), no qual será cadastrada a porcentagem de materiais descartados na obra (7).
10. Cadastrar em “Obra” (12) os “Resíduos de Obra” (8).
11. Cadastrar em “Reutilizar” a porcentagem dos materiais possíveis de reutilização (17) e os processos necessários para essa reutilização (6). Nomear como “Reutilização do Sistema Construtivo” (16).
12. Voltando ao “Desmonte do Sistema Construtivo” (13), cadastrar a porcentagem de materiais incorporados no edifício (10) e o “Maquinário e Energia Gasta” (6) relacionados ao desmonte. Relacionar a “Reutilização do Sistema Construtivo” (16).
13. Cadastrar em Ciclo de Vida do Sistema Construtivo, a porcentagem dos materiais que ficará incorporada ao edifício (10). Relacionar em processos o “Uso e Manutenção”, o Ciclo de Vida Adicional “Obra” (12) e o “Desmonte do Edifício” (13).
14. Solicitar que o programa execute a AICV, previamente configurada de acordo com as categorias de impacto que se deseja avaliar.

Para obter o resultado final do impacto ambiental, basta utilizar a ferramenta “analisar” para o “Ciclo de Vida do Sistema Construtivo”, que está dentro do grupo “Ciclo de Vida”. Com essa entrada, é possível visualizar os resultados de impacto por etapa, assim como é apresentado na Figura 5 (resultado hipotético). As etapas avaliadas são: Fabricação (em vermelho), Obra (em azul), Manutenção (em verde) e Desmonte do edifício (em amarelo). Hipoteticamente foi considerado que 70% do material proveniente do desmonte tenha sido reciclado. Neste caso, observou-se que o desmonte do edifício e sua destinação para a reciclagem apresentam resultados negativos em termos de porcentagem. Isso indica que o potencial de reciclagem gera créditos na fabricação de um novo sistema.

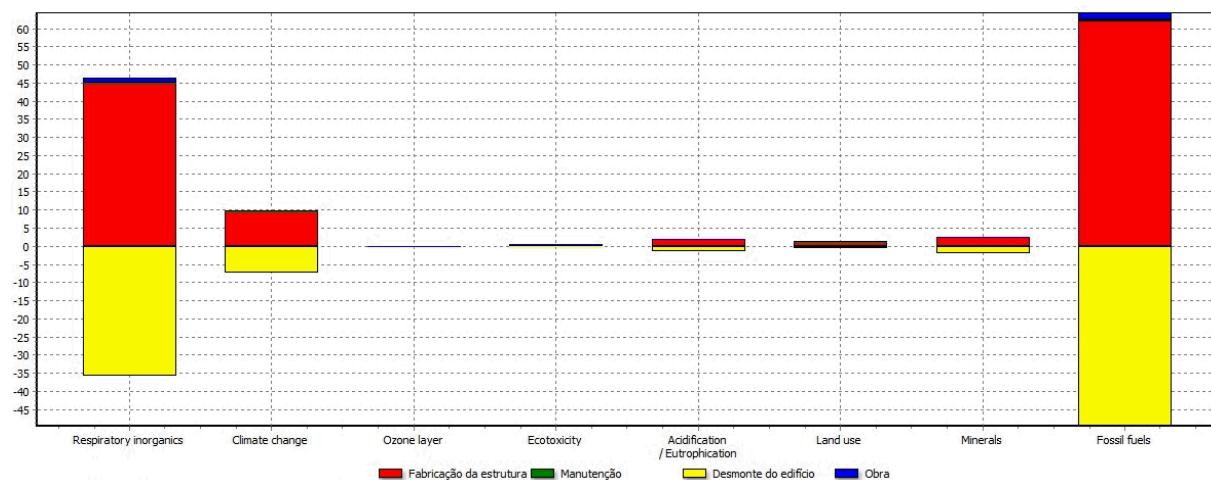


Figura 3– Resultado da ACV para um sistema construtivo (dados hipotéticos)

É possível verificar os maiores contribuidores por categorias de impacto. Como no exemplo, em que a etapa de fabricação possuiu maior peso nos impactos ambientais, o fluxograma dessa etapa foi verificado para o impacto “depleção de combustíveis fósseis” através da “análise” (ferramenta disponível no software) dessa etapa. Por meio da verificação do

fluxograma da etapa de fabricação outras observações podem ser feitas (Figura 4).

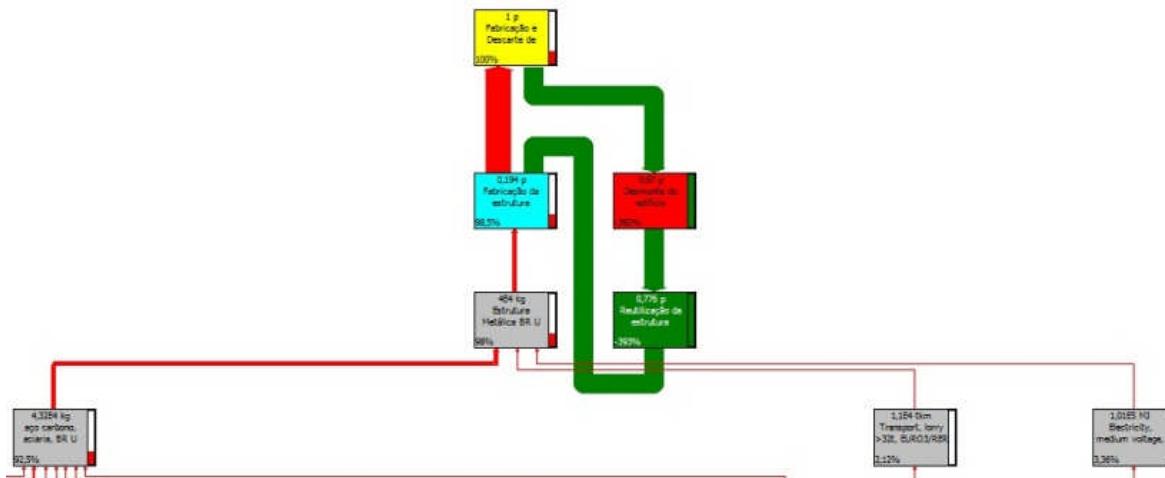


Figura 4– Fluxograma da etapa de fabricação.

A partir da análise do fluxograma é possível perceber qual processo ou material mais colaborou para este impacto na etapa de fabricação. Com um olhar mais técnico, podem-se propor alterações nessa etapa a fim de minimizar o impacto ambiental do sistema. Assim, é possível identificar os esforços de melhorias de materiais e processos para minimizar impactos ambientais.

Os dados utilizados para abastecer a MAASC, na etapa de fabricação, podem ser obtidos através dos Relatórios Anuais dos fabricantes, documento que apresenta os dados de emissões e consumo de recursos. Outros dados devem ser levantados com a empresa responsável pela construção do sistema construtivo e previsão de durabilidade e manutenção dos sistemas existentes na literatura.

Além da análise do ciclo de vida completo do sistema construtivo é possível desmembrar a MAASC para avaliação das etapas de obra e manutenção e das etapas de fabricação e desmonte. A separação dessas análises tem como objetivo identificar processos impactantes que são passíveis de intervenção da construção civil e dos fabricantes.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação dos impactos ambientais de sistemas construtivos deve ser feita com vistas à melhoria do desempenho ambiental e não em busca de uma classificação da sustentabilidade do sistema. A metodologia MAASC proposta neste trabalho torna viável a análise dos impactos ambientais dos sistemas construtivos, identificando materiais e processos de maior impacto por etapa do ciclo de vida. A MAASC possibilita a análise ambiental do sistema mesmo na ausência de Inventários de Ciclo de Vida (ICV) dos materiais da construção civil no Brasil, pois propõe uma análise do sistema sem comparar materiais ou processos para um mesmo uso. Analisa-se o sistema construtivo com uma única opção e permite a identificação dos maiores impactos. Com isso é possível interreferir nos processos mais impactantes.

A criação de um banco de dados é o impasse atual. É possível utilizar Relatórios Anuais das empresas, embora não haja padronização desses dados, entre empresas distintas ou entre relatórios de uma mesma empresa em anos diferentes. Dessa forma, a utilização da MAASC requer um levantamento preciso de dados, junto aos fabricantes e aos construtores. A partir da

consolidação de Inventários de Ciclo de Vida dos materiais mais comuns na Construção Civil será possível também utilizar a MAASC para comparar materiais.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14020**: rótulos e declarações ambientais: princípios gerais. Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2009.
- ATHENA Software**. Ontário: Penélope Client Information Management, 2008. 1 CD-ROM.
- BEES Software**. Versão 4.0. [S.l.]: NIST, 2007. Disponível em: <<http://www.bfrl.nist.gov/aoe/software/bees/bees.html>>. Acesso em: 07 jun. 2009.
- DAMINELI, Bruno L. ; KEMEID, Fernanda M. ; AGUIAR, Patricia S. ; JOHN, Vanderley M. . Measuring the eco-efficiency of cement use. **Cement & Concrete Composites**, p. 555-562, 2010.
- EDWARDS, S.; BENNETT, P. Construction products and life-cycle thinking. **Industry and Environment**, Paris, v. 26, n. 2-3, p. 57-61, apr.-sept. 2003. Disponível em: <<http://www.uneptie.org/media/review/vol26no2-3/005-098.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2009.
- FERREIRA, Marcelo de Araújo. **Sistemas construtivos inovadores**. Florianópolis: Ufscar, [200-]. Disponível em: [http://www.dptoce.ufba.br/construcao1\\_arquivos/08%20Sistemas%20construtivos%20inovadores.pdf](http://www.dptoce.ufba.br/construcao1_arquivos/08%20Sistemas%20construtivos%20inovadores.pdf). Acesso em: 25 maio 2009.
- GARCIA, D. B. M. **Metodologia de Avaliação Ambiental de Sistemas Construtivos**. 2011. 265 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- JOHN, V. M.; OLIVEIRA, D. P. Levantamento do Estado da Arte: Seleção de materiais. In: Habitação Mais Sustentável. **Projeto: Tecnologias para construção habitacional mais sustentável**, São Paulo, 2007.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto do Aço Brasil por viabilizar informações técnicas, softwares para a realização dessa pesquisa.