



Avaliação ambiental dos processos construtivos de estrutura metálica e pré-moldada de concreto por meio de análise do ciclo de vida

F. Mantovani¹, L. D. Sebastiany¹, R. Christ¹, M. Mancio¹

¹ Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brasil.

Información del artículo

DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v3i3.55>

Artículo recibido el 14 de Junio de 2013, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 24 de Agosto de 2013.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2014 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2014.

© 2013 ALCONPAT Internacional

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 3, No. 3, Septiembre - Diciembre 2013, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Av. Zamná No. 295 entre 61 y 63 Fraccionamiento Yucalpetén, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97248, Tel.5219997385893 , alconpat_int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Av. Zamná No. 295 entre 61 y 63 Fraccionamiento Yucalpetén, Mérida Yucatán, México, C.P. 97248, fecha de publicación: 30 de septiembre de 2013.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

RESUMO

As preocupações com a escassez de recursos naturais e com a degradação do meio ambiente motivaram o surgimento de novas técnicas que auxiliam as empresas na implantação de um modelo de produção mais sustentável. Têm-se desenvolvido novas tecnologias e materiais ambientalmente corretos, além de sistemas de avaliação e ferramentas de apoio à tomada de decisões na fase de projeto. A análise do ciclo de vida surge como uma ferramenta para análise e escolha de alternativas sob uma perspectiva puramente ambiental. O presente trabalho fornece dados experimentais sobre o fluxo de matérias-primas, produtos e resíduos, dos processos produtivos de um pilar de aço e um pilar pré-moldado de concreto armado. Os resultados desta análise comparativa (obtida através do software GaBi) foram submetidos à uma análise hierárquica de processo, realizada utilizando o software Make-it-Rational. Concluiu-se que o pilar de aço é mais impactante negativamente se comparado com um pilar pré-moldado de concreto.

Palavras chave: análise do ciclo de vida; estrutura pré-moldada de concreto; estrutura metálica.

ABSTRACT

Concerns about the reduced availability of natural resources and the increased degradation of the environment have stimulated the appearance of new techniques which can help companies to implement a more environmentally sustainable production model. Because of that, new technologies and environmentally friendly materials have been developed, such as assessment systems and tools to support decision-making early on, during the design process. Life cycle analysis (LCA) emerges as a powerful tool for analyzing and choosing alternatives from an environmental perspective. This study provides experimental data on the flow of raw materials, products and waste, on the production process of a precast concrete column and a steel column. To make this analysis, the GaBi software was used. Results show that the steel column has greater environmental impact when compared with a reinforced concrete alternative.

Keywords: life cycle analysis; precast concrete structures; steel structures.

Autor de contacto: F. Mantovani (francieli84@yahoo.com.br)

1. INTRODUÇÃO

Devido à crescente preocupação da sociedade com a escassez de recursos naturais e a degradação do meio ambiente, novas técnicas têm surgido para auxiliar as empresas do ramo da construção na implantação de um modelo de produção ambientalmente sustentável e economicamente viável (Rodrigues et al., 2008). Para isso, têm-se desenvolvido tecnologias e materiais mais ambientalmente corretos, bem como sistemas de avaliação para o monitoramento, estabelecimento de metas e apoio à tomada de decisão durante o processo de projeto (John; Oliveira, 2005).

A Análise do Ciclo de Vida, ACV, consiste em analisar e comparar os impactos ambientais causados por diferentes sistemas que apresentam funções similares (Soares; Souza; Pereira, 2006). A ACV é uma ferramenta utilizada para a avaliação quantitativa de uma grande quantidade de impactos no ciclo de vida dos materiais (John; Oliveira; Agopyan, 2006). O seu princípio consiste na análise das repercussões ambientais de um produto ou atividade a partir de um inventário de entradas e saídas (matéria-prima e energia, produto, subprodutos e resíduos) do sistema considerando-se as etapas de extração de matérias-primas, transporte, fabricação, uso e descarte (Soares; Pereira, 2004). De acordo com a ISO 14040 (International Organization for Standardization, 2006), a ACV considera os impactos ambientais ao longo da vida do produto, “do berço ao túmulo”, desde a extração de matérias-primas até a produção, uso e disposição final, conforme discriminado na Figura 1.

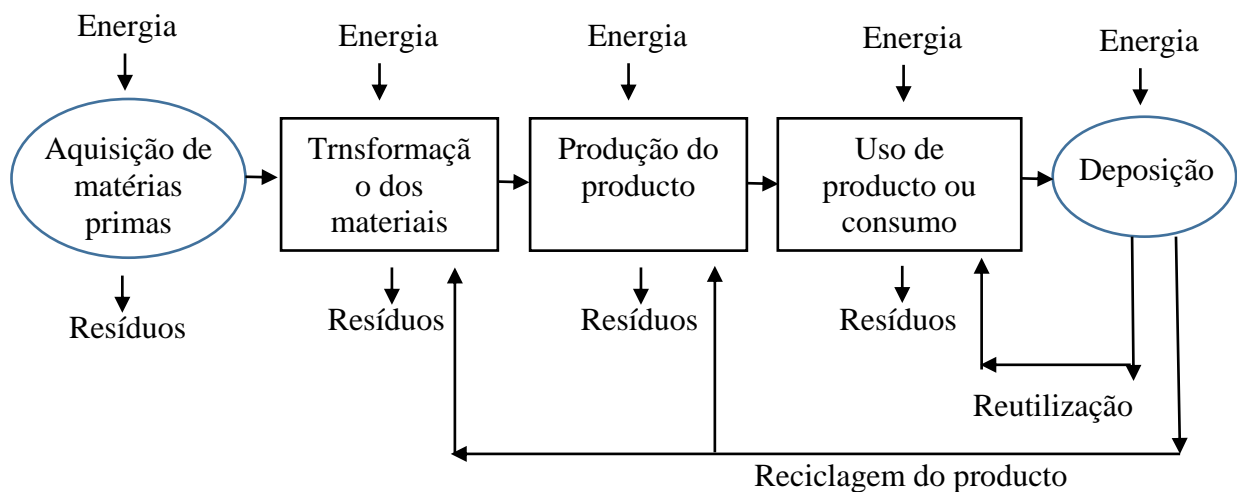


Figura 1. Ciclo ambiental do produto. (Fonte: Caldeira Pires, 2006).

Segundo John et al. (2006), uma construção mais sustentável depende da seleção correta de materiais e componentes que, combinada com o correto detalhamento de projetos, resultam em impactos ambientais menores e em maior benefício social, dentro dos limites da viabilidade econômica.

A análise do ciclo de vida é a única ferramenta que permite a tomada de decisões com base em um entendimento sistêmico da questão ambiental, porém, não é uma decisão direta. Quando se comparam produtos, a decisão somente pode ser tomada se forem atribuídas importâncias relativas entre os diferentes impactos, permitindo, dessa forma, calcular o impacto total ponderado para cada produto (John, 2010).

Conforme Neto (2010), na seleção de materiais, os critérios devem ser estabelecidos de modo a propiciar que os mesmos atinjam os desempenhos esperados (durabilidade, vida útil, facilidade

de manutenção) e também estejam coerentes com o orçamento estimado, respeitando normas técnicas, aspectos estéticos e o meio ambiente.

Poucos países desenvolvidos têm um banco de dados de inventário de ciclo de vida (ICV) abrangente e confiável para materiais de construção, limitando o seu uso, o que gera uma tendência de usar dados gerados para países estrangeiros. Mesmo com estas limitações, a ACV é a ferramenta mais abrangente para seleção de materiais baseada em aspectos de sustentabilidade ambiental (John; Oliveira; Agopyan, 2006). Diversos programas computacionais têm sido desenvolvidos para apoiar a condução dos estudos ambientais de análise do ciclo de vida, auxiliando principalmente na análise do inventário, permitindo o processamento dos dados, garantindo cálculos de maior confiança e gerando relatórios finais (Bastos; Possamai, 2002).

Dentre os diversos softwares, o GaBi é uma ferramenta utilizada para construir balanços de ciclo de vida. O software calcula balanços de diferentes tipos e ajuda a agregar os resultados. As suas principais características são:

- Baseia-se num conceito modular, ou seja, planos, processos, fluxos e suas funcionalidades estabelecem unidades modulares;
- Dados de análise de impacto, inventário e modelos de ponderação estão separados pelo que os módulos são facilmente manuseados e depois interligados para o cálculo ACV;
- Várias fases do ciclo de vida (produção, utilização e deposição) podem ser capturados em módulos e depois modificados separadamente;
- O software e a base de dados são unidades independentes. Dentro da base de dados toda a informação é guardada, por exemplo, modelos de produto e perfis ecológicos. As bases de dados GaBi são sempre construídas com uma estrutura básica definida. O próprio software disponibiliza ao utilizador a interface para a base de dados. Via interface do utilizador, os dados armazenados podem ser lidos e modificados (Ferreira, 2004).

Sob esta ótica, este trabalho objetiva-se no fornecimento de dados experimentais sobre o inventário (fluxo de matérias-primas, de produtos e de resíduos) do processo produtivo de um pilar de aço e um pilar pré-moldado de concreto (ambos dimensionados para suportar a mesma carga), a partir da ACV destes elementos estruturais. Os resultados obtidos nesta etapa foram submetidos a uma análise hierárquica de processo (AHP). Em ambos os processos, ACV e AHP, foram utilizadas ferramentas computacionais (software GaBi e MakeItRational, respectivamente). O estudo desenvolvido permitiu determinar o nível de impacto provocado durante o ciclo de vida dos pilares, servindo como embasamento técnico para escolha do melhor material sob o ponto de vista ambiental.

2. MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa realizado neste trabalho trata da análise do ciclo de vida e foi desenvolvido com base no programa computacional GaBi. A fim de atingir os objetivos, e dadas as limitações do sistema de avaliação escolhido, todos os dados relativos aos diversos materiais construtivos foram obtidos na base de dados do programa.

A pesquisa desenvolveu-se em quatro etapas:

- Definição do sistema, objetivos e escopo da ACV;
- Análise do inventário do ciclo de vida a partir do Software GaBi;
- Avaliação do impacto da ACV a partir da utilização do Software MakeItRational;
- Interpretação dos resultados.

Foram consideradas como limites ou fronteiras do sistema, as etapas referentes à fabricação das estruturas, passando pelo preparo, produção, distribuição, utilização e disposição final. Os aspectos considerados no estudo enfatizam, essencialmente, a qualidade ambiental de cada

alternativa, não levando em conta a saúde e a segurança ocupacional, nem aspectos de qualidade de produto. Também não foram considerados os inventários dos subsistemas de produção dos demais componentes utilizados, como cimento e aço. As figuras 2 e 3 representam os fluxogramas dos processos produtivos considerados no ACV das estruturas selecionadas.

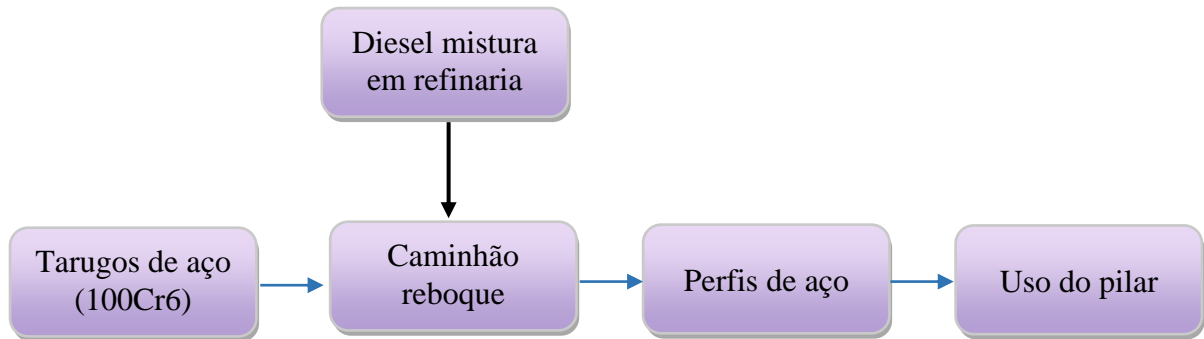


Figura 2. Fluxograma do processo produtivo do pilar de aço considerado na ACV.

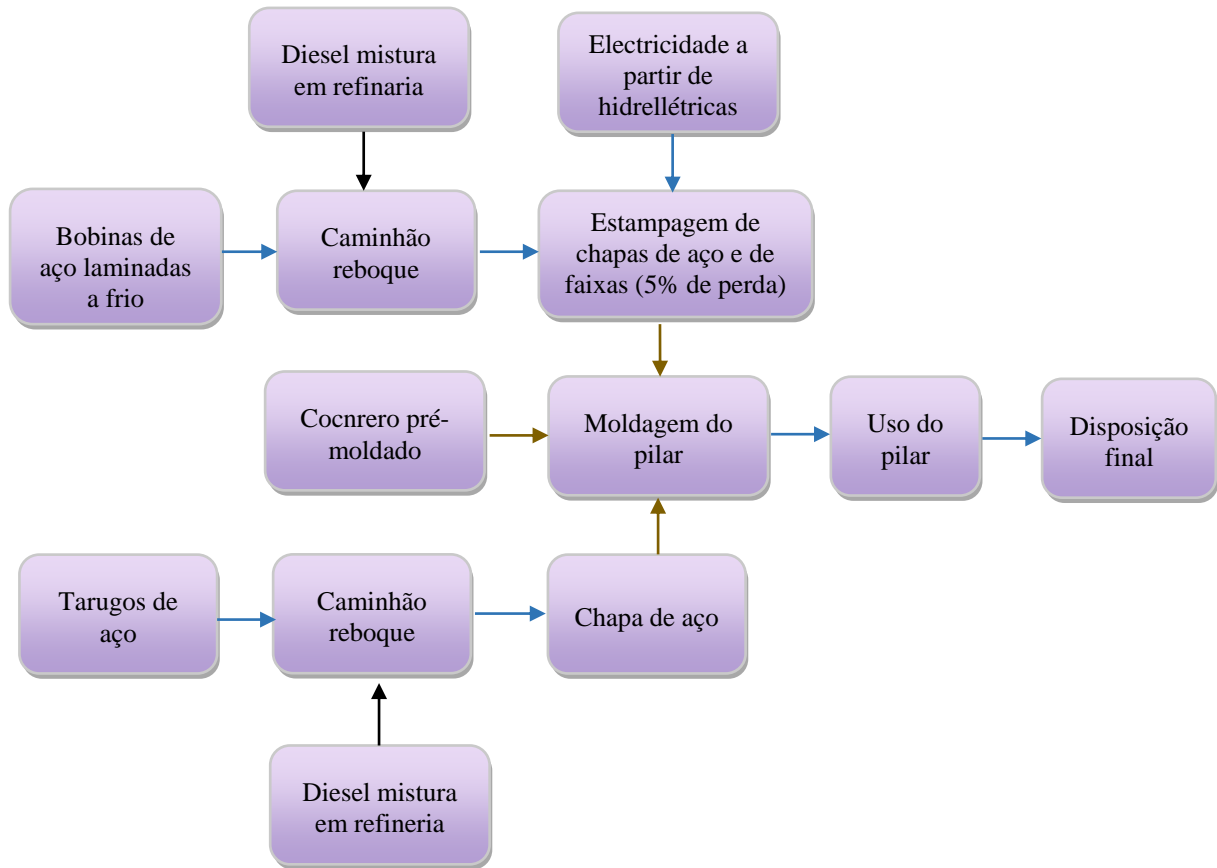


Figura 3. Fluxograma do processo produtivo do pilar pré-moldado de concreto considerado na ACV.

Os fluxogramas apresentam os processos produtivos dos pilares de concreto e de aço. O ciclo de vida do pilar de aço contempla os processos realizados no interior de uma indústria siderúrgica, desde o recebimento da matéria-prima até a transformação em perfil de aço. O caso do pilar de concreto é mais complexo devido à necessidade de produção de armaduras (longitudinais e

transversais) e fôrmas metálicas, além da produção do próprio concreto. Assim, a ACV do pilar de aço foi formulada convergindo-se estas três etapas e um processo denominado “moldagem do pilar”, que não implica em geração de impactos ambientais.

Sobre a disposição final, pode-se afirmar que, no caso do pilar de aço, esta etapa não tem relevância significativa para o estudo se comparada às etapas consideradas na ACV, pelo fato do elemento metálico ser facilmente transformado em outro material pela indústria siderúrgica após o término da vida útil da edificação.

Para uma avaliação comparativa entre os elementos acima mencionados, optou-se por definir a unidade funcional como o atendimento dos requisitos estruturais. Para isso, as estruturas foram dimensionadas de forma a desempenhar a mesma performance estrutural. Pelo fato dos perfis metálicos possuírem dimensões tabeladas, foi escolhido um perfil I padrão e calculada a sua resistência normal (compressão) característica para um pilar com altura de 3,00m (três metros). A partir da resistência normal calculada do perfil de aço, foi dimensionado um pilar de concreto armado com a mesma altura, para que assim fosse possível equiparar e comparar adequadamente os dois elementos.

De posse dos resultados gerados na análise do ciclo de vida, oito indicadores ambientais foram selecionados e submetidos à análise hierárquica de processo (AHP): Acidificação do ar, destruição da camada de ozônio, ecotoxicidade da água, ecotoxicidade do ar, ecotoxicidade do solo, mudança climática, poluição do ar e potencial de aquecimento global. A cada indicador foi atribuído um “peso” (relevância), conforme mostra a figura 4. Estes pesos foram atribuídos com base no método de análise pareada entre todos os critérios adotados, e podem ser facilmente ajustados se necessário.

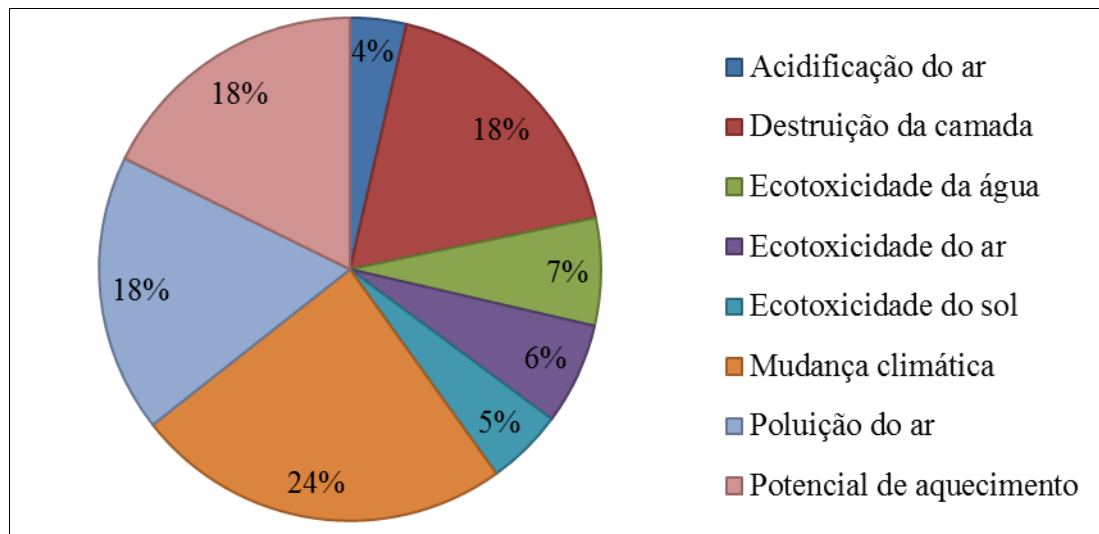
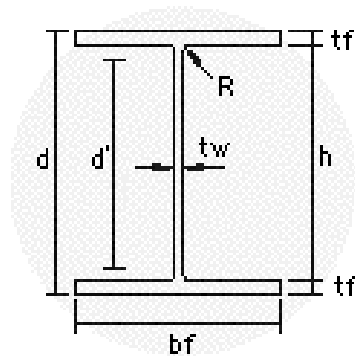


Figura 4. Gráfico de “pesos” dos impactos ambientais considerados na AHP. (Fonte: Software MakeItRational).

2.1 Pilar de aço.

O pilar de aço considerado no desenvolvimento deste trabalho é um perfil laminado de seção tipo “I” (açoASTM A-588), altura de 3,00m. A Figura 5 e a Tabela 1 apresentam detalhes e especificações do perfil de aço utilizado.



Perfis I e H

- d = altura externa do perfil
- d' = altura livre da alma
- h = altura interna
- bf = largura da aba
- tf = espessura da aba
- tw = espessura da alma
- R = raio da concordância

Figura 5. Detalhe da seção transversal do perfil de aço tipo 'I'. (Fonte: <http://www.metalica.com.br/tabelas/tabela-perfil-laminado-i-e-h>).

Tabela 1a. Especificações do perfil de aço tipo "I". (Fonte: Gerdau Aço Minas).

Bitola mm x kg/m	d	df	Espessura		h	d'	Área
			tw	tf			
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²
w 250 x 89	260	265	10,7	17,3	225	201	113,9

Tabela 1b. Especificações do perfil de aço tipo "I". (Fonte: Gerdau Aço Minas).

Eixo X-X				Eixo Y-Y				rt	It	Cw
Ix	Wx	rx	Zx	Iy	Wy	ry	Zy			
cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁶
14237	1095,1	11,18	1224,4	4841	378,2	6,52	574,3	7,06	102,81	712,351

2.2 Pilar pré-moldado de concreto.

O pilar de concreto foi dimensionado a partir da carga normal máxima de compressão encontrada no dimensionamento do pilar de aço (3012,8 kN). A seção do pilar foi pré-estabelecida, a fim de que não fosse necessário considerar excentricidade de 2º ordem no seu dimensionamento. Assim, o pilar foi definido com seção quadrada de 50 cm (50 cm x 50 cm), com altura de 3,00m e concreto com resistência à compressão característica de 30 MPa. O dimensionamento do pilar seguiu as determinações da NBR 6118/2007.

Assim, temos que, para uma carga de 3012,8 kN, seção transversal de 50cmx50cm e cobrimento de 2,5cm, a área de aço necessária para a seção do pilar de concreto é de 14,98 cm². A figura 6 mostra o detalhamento do pilar e das armaduras longitudinal e transversal adotadas:

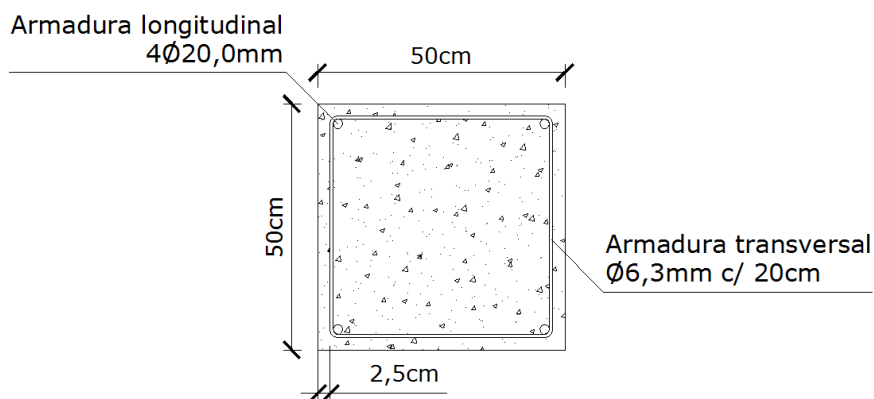


Figura 6. Detalhamento da seção transversal do pilar de concreto.

Tendo em vista que o pilar proposto trata-se de um elemento pré-moldado, a análise do ciclo de vida deste elemento contemplou, inclusive, as fôrmas necessárias para a concretagem do mesmo. Para tanto, foram adotadas fôrmas metálicas com 0,75mm de espessura, considerando-se uma vida útil de 100 repetições (concretagens).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise do ciclo de vida (ACV).

As figuras a seguir ilustram o impacto provocado pelos principais materiais ou processos que compõem cada indicador ambiental avaliado para os dois tipos de pilares, apresentando, respectivamente, os indicadores de poluição do ar, mudança climática, acidificação do ar, destruição da camada de ozônio, e ecotoxicidade do ar, da água e do solo.

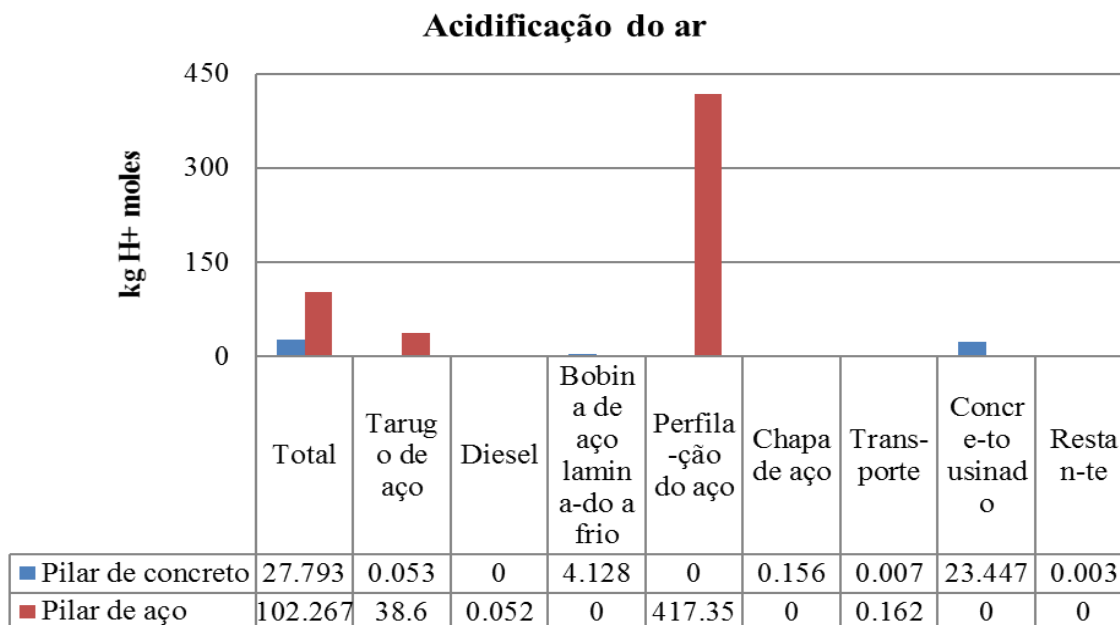


Figura 7. Acidificação do ar resultantes da análise do ciclo de vida de pilar pré-moldado de concreto e pilar de aço.

Destruição da camada de ozônio

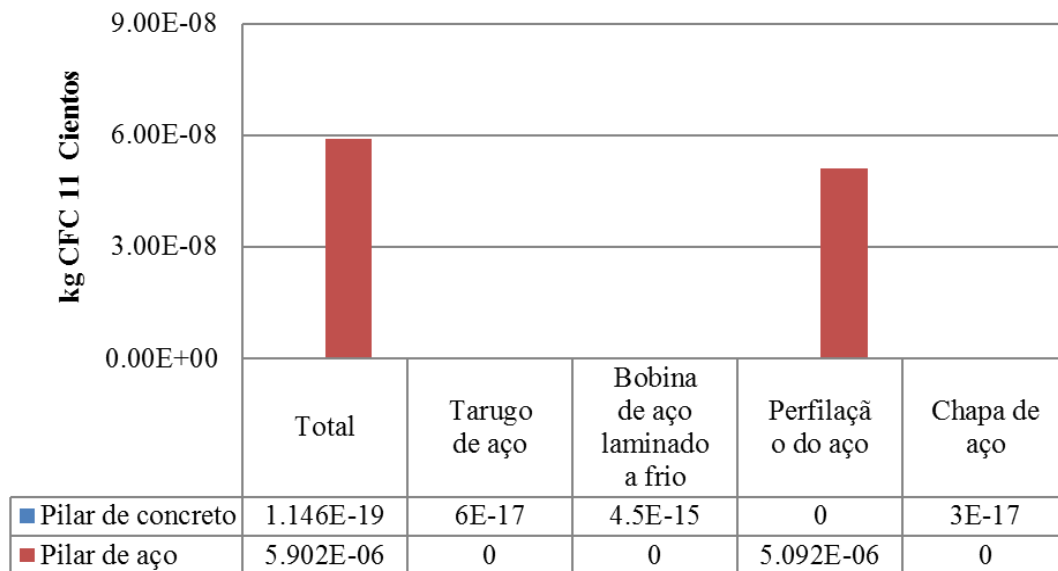


Figura 8. Destruição da camada de ozônio resultantes da análise do ciclo de vida de pilar pré-moldado de concreto e pilar de aço.

Ecotoxicidade da água

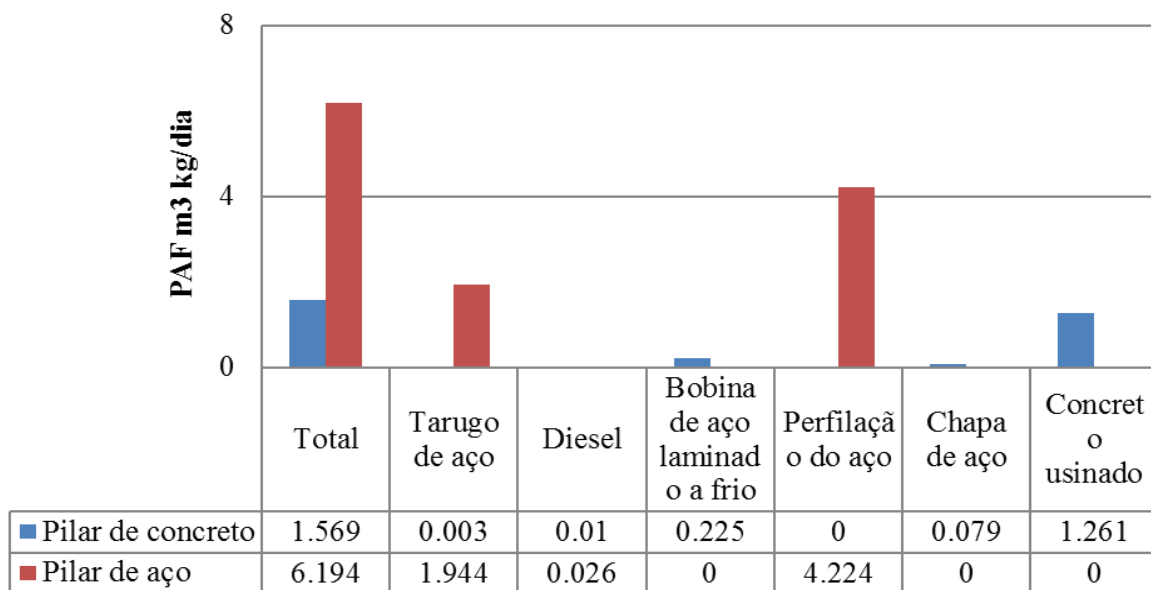


Figura 9. Ecotoxicidade da água resultantes da análise do ciclo de vida de pilar pré-moldado de concreto e pilar de aço.

Ecotoxicidade do ar

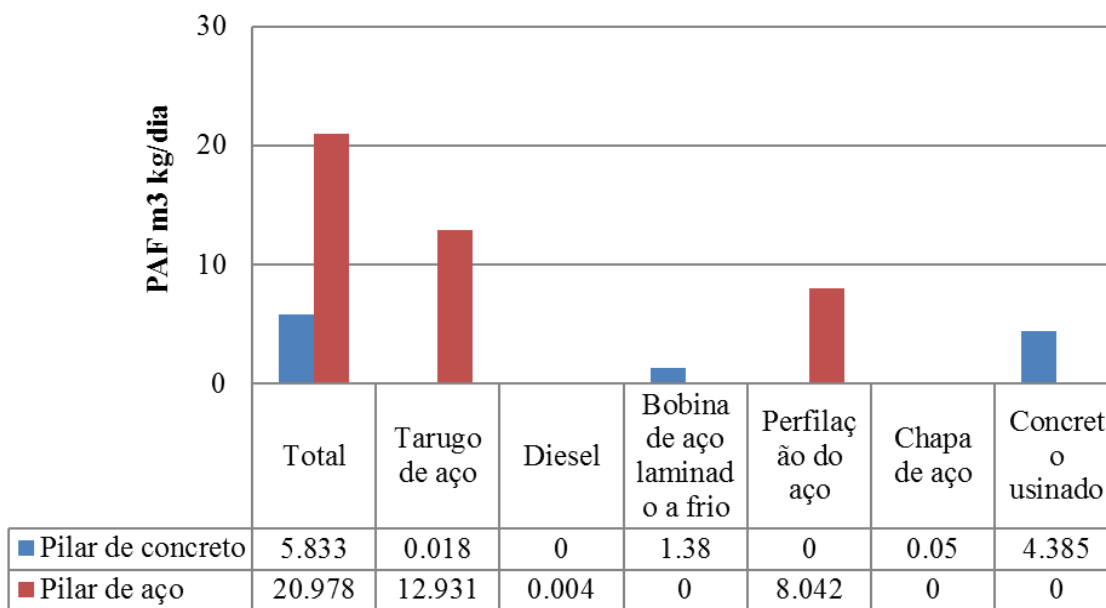


Figura 10. Ecotoxicidade do ar resultantes da análise do ciclo de vida de pilar pré-moldado de concreto e pilar de aço.

Ecotoxicidade do solo

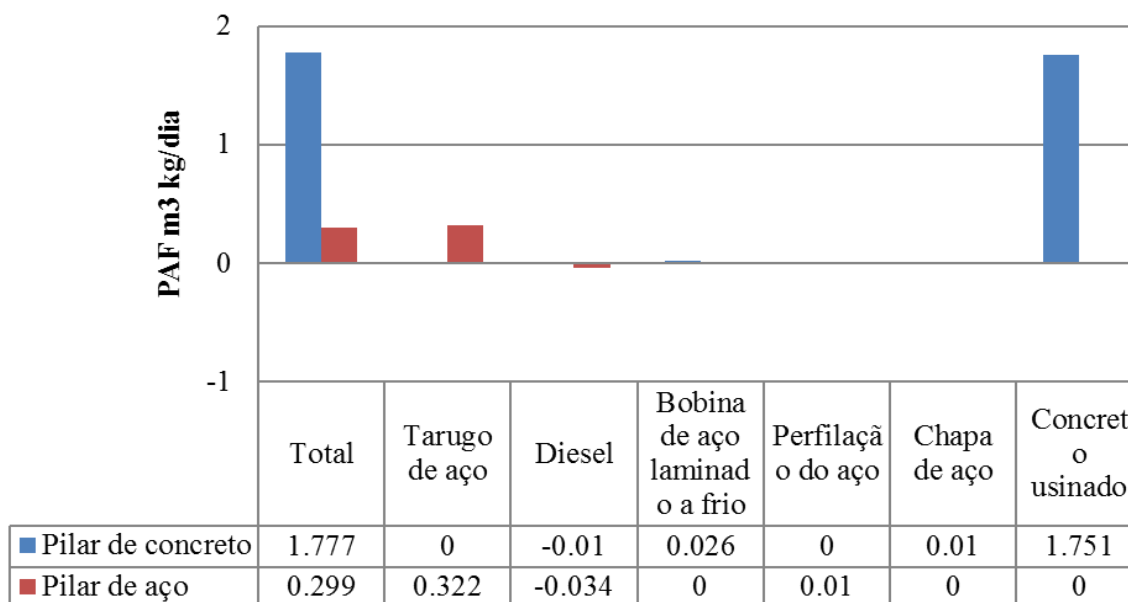


Figura 11. Ecotoxicidade do solo resultantes da análise do ciclo de vida de pilar pré-moldado de concreto e pilar de aço.

Poluição do ar

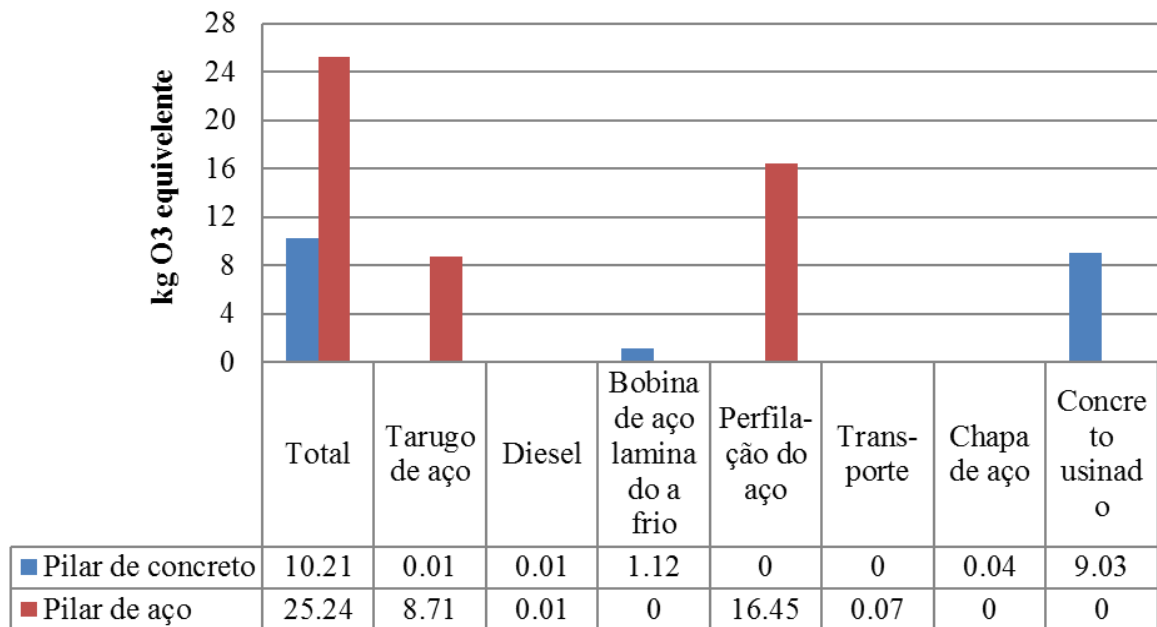


Figura 12. Poluição do ar resultantes da análise do ciclo de vida de pilar pré-moldado de concreto e pilar de aço.

Mudança climática

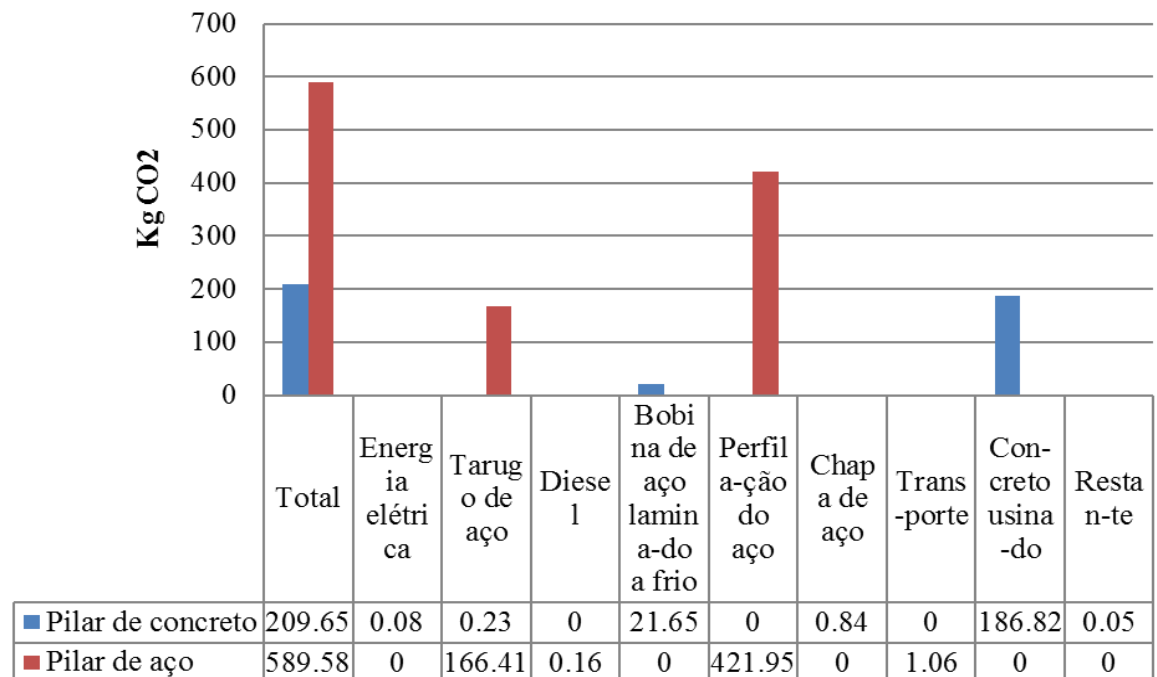


Figura 13. Mudança climática da análise do ciclo de vida de pilar pré-moldado de concreto e pilar de aço.

A partir dos gráficos obtidos na análise do ciclo de vida para os dois tipos de pilares, percebe-se que, no caso do pilar de aço, a produção do tarugo e, principalmente, seu posterior

beneficiamento (perfilação), são os processos mais significativos negativamente sob o ponto de vista ambiental. Já, no caso do pilar pré-moldado de concreto, a produção do concreto usinado é a principal responsável pelos impactos ambientais negativos provocados pela sua produção. Porém, analisando os impactos totais da grande maioria dos indicadores, o pilar de aço apresenta maiores impactos ambientais negativos se comparado com o pilar pré-moldado de concreto. Apenas para ecotoxicidade do solo o pilar de concreto se mostra mais impactante negativamente em relação ao pilar de aço.

3.2 Análise hierárquica de processo (AHP).

As Figuras 14 e 15 mostram o resultado da análise hierárquica de processo (AHP) dos pilares de aço e pré-moldado de concreto para cada indicador ambiental analisado.

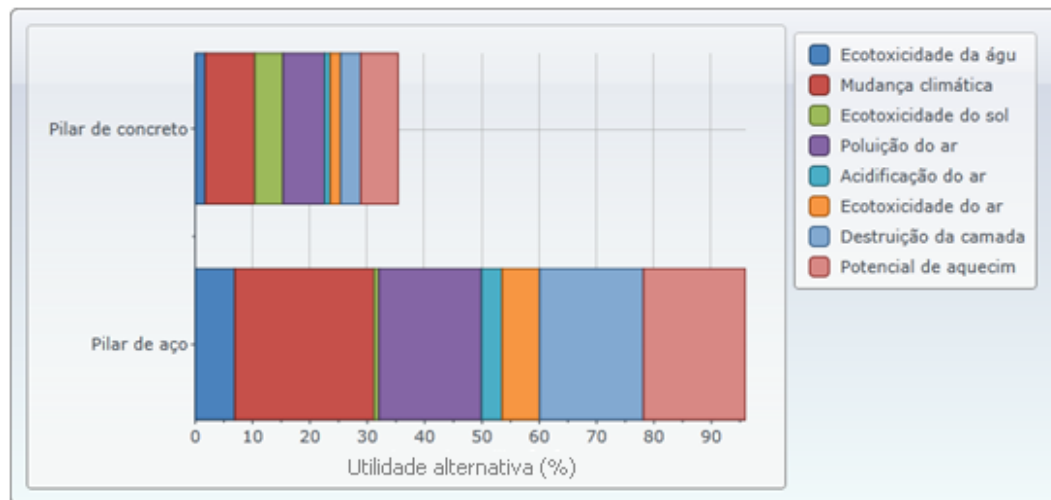


Figura 14. Resultados da análise hierárquica de processo para pilar pré-moldado de concreto e pilar de aço. (Fonte: Software MakeItRational).

Os resultados obtidos a partir da análise hierárquica de processo, tendo em vista os “pesos” atribuídos pelo grupo de estudo para cada indicador, evidenciam claramente a diferença entre os impactos ambientais provocados pelos dois tipos de pilares em estudo.

Na figura 14 temos a soma dos valores absolutos de impactos provocados pela produção de cada tipo de pilar e para cada indicador estudado. Nela, percebe-se que, para ambos os pilares, o indicador “mudança climática” é o maior responsável pelos impactos ambientais gerados, seguido de “poluição do ar”, “potencial de aquecimento global” e “destruição da camada de ozônio”.

Outro fator relevante apresentado na Figura 14 diz respeito à questão quantitativa. A soma dos impactos provocados pelo pilar de aço foi tomada como 100%. Nesta mesma escala, o montante dos impactos do pilar de concreto resulta, em torno de 36%.

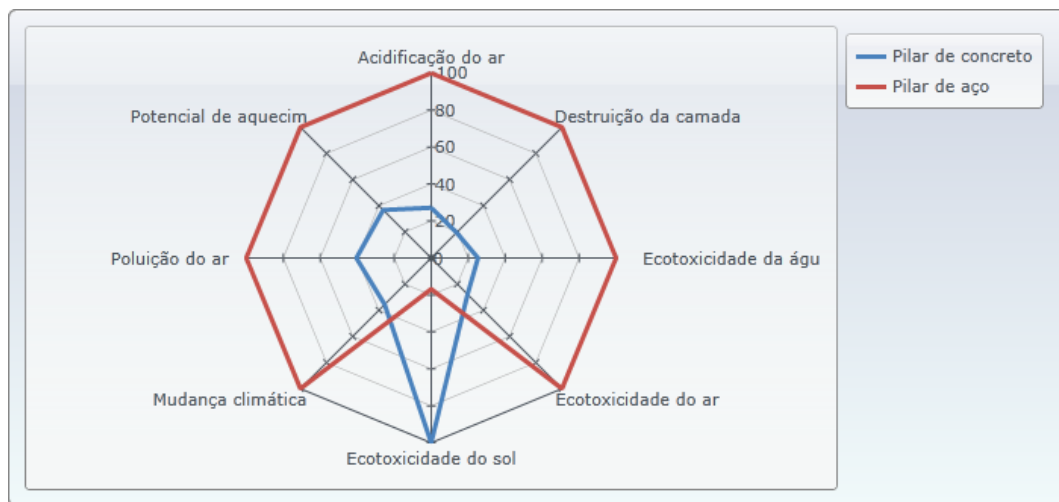


Figura 15. Resultados da análise hierárquica de processo para pilar pré-moldado de concreto e pilar de aço. (Fonte: Software MakeItRational).

Já a figura 15 apresenta a relação de importância entre cada indicador para os dois tipos de pilares, sem levar em consideração os pesos atribuídos para cada um destes. Para exemplificar, consideramos a “acidificação do ar” que apresentou maior impacto ambiental para o pilar de aço. Sendo assim, a figura toma o valor da “acidificação do ar” para o pilar de aço como 100% e relaciona-o com o valor deste impacto para o pilar de concreto, apresentado na figura também em termos percentuais.

Assim, é possível perceber que a maior relação existente entre dois indicadores em termos quantitativos é para a “ecotoxicidade do solo” e “destruição da camada de ozônio”, ou seja, nestes indicadores há a maior divergência dos valores absolutos de impactos gerados entre um pilar e outro (neste caso, maior geração de impacto para o pilar de concreto e para o pilar metálico, respectivamente). Por outro lado, a menor relação pode ser visualizada para “poluição do ar”, ou seja, este indicador apresenta os valores absolutos mais próximos entre os impactos ambientais provocados pelos dois tipos de pilares. Ainda assim, apresenta uma relação da ordem de 2,5 vezes entre o pilar de aço e o pilar de concreto.

4. CONCLUSÕES

Com relação aos resultados obtidos, pode-se perceber que, considerando os critérios adotados no dimensionamento dos pilares e na elaboração dos respectivos ciclos de vida, o pilar de aço apresenta valores maiores em todos os impactos considerados no ACV, exceto para ecotoxicidade do solo, se comparado com o pilar pré-moldado de concreto. A figura 14 mostra que, tomando somente os totais de cada indicador ambiental estudado e tendo em vista os “pesos” atribuídos a cada indicador, o impacto ambiental negativo do pilar de aço é, aproximadamente, três vezes maior quando comparado como pilar pré-moldado de concreto.

O caso da ecotoxicidade do solo, único indicador em que o pilar de concreto obteve valor maior com relação ao pilar de aço, pode ser justificado se levarmos em conta o grande volume de matéria-prima (calcário e argila, especialmente) extraída para fabricação do cimento.

Com relação às análises realizadas e as ferramentas computacionais utilizadas, podemos afirmar que sua utilização permite analisar os aspectos ambientais de maior importância relacionados a algum tipo de material, processo, etc. Esta análise subsidia o projetista na seleção de materiais e produtos, podendo trazer benefícios ao empreendedor, ao usuário e, por extensão, ao meio

ambiente. Atualmente, no Brasil, a aplicação destas técnicas ainda é pouco difundida e o banco de dados de inventário de ciclo de vida ainda é bastante escasso.

Ainda assim, podemos estabelecer analogias com relação ao processo de produção de alguns materiais ou técnicas realizados no Brasil e no exterior, buscando informações nacionais, primeiramente, para os materiais ou processos que menos se assemelhamos existentes nos inventários utilizados pelos softwares. Como resultado, podemos ter análises de ciclo de vida que retratem com alto grau de fidelidade o processo de produção de algum material ou técnica que seja submetida a este estudo, possibilitando assim a tomada de decisões que beneficiem o empreendedor, o usuário e, principalmente, o meio ambiente.

5. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos*. Rio de Janeiro, 2007.

Bastos, A. L. A.; Possamai, O. (2002), *Modelo de apoio à decisão para fabricação baseado na avaliação da performance ambiental de produtos e dos objetivos estratégicos da organização*. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais, Curitiba.

Caldeira-Pires, A. (2006), *Princípios do GaBi 4 para Estudos de ACV*. Curso de Especialização em Gerenciamento de Tecnologias Ambientais para a Produção Limpa. Departamento de Engenharia Ambiental – UFES.

Ferreira, J. V. R. (2004), *Análise do ciclo de vida de produtos*. Instituto Politécnico de Viseu.

John, V. M. (2010), *Materiais de construção e o meio ambiente*. In: *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais*. São Paulo: IBRACON. p. 97-121.

John, V. M.; Oliveira, D. P.; Agopyan, V. (2006), *Critérios de sustentabilidade para a seleção de materiais e componentes – uma perspectiva de países em desenvolvimento*.

John, V. M.; Oliveira, D. P. (2005), *Critérios de sustentabilidade para seleção de materiais e componentes*.

International Organization for Standardization ISO 14040: *Environmental management: life cycle assessment: Principles and framework*. Genebra, 2006.

Neto, J. B. (2010), *Critérios de projeto para seleção de materiais*. In: *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais*. São Paulo: IBRACON. p. 123-142.

Rodrigues, C. R. B. et al. (2008), *Sistemas computacionais de apoio a ferramenta análise de ciclo de vida do produto (ACV)*. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais, Rio de Janeiro.

Soares, S. R.; Souza, D. M.; Pereira, S. W. (2006), *Avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil*. In: *Coletânea Habitar*. Porto Alegre: ANTAC. p. 97-127.