

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/268815886>

Análise do desempenho ambiental de estruturas de concreto armado: uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Conference Paper · October 2013

DOI: 10.13140/2.1.3142.3040

CITATIONS

4

READS

1,088

6 authors, including:



Ricardo Bento

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

11 PUBLICATIONS 14 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Poliana Figueira Cardoso

University of São Paulo

5 PUBLICATIONS 6 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Aldo Ometto

University of São Paulo

137 PUBLICATIONS 3,606 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Efigênia Rossi

University of São Paulo

5 PUBLICATIONS 33 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Análise do desempenho ambiental de estruturas de concreto armado: uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Analysis of the environmental performance of concrete structures: use of Life Cycle Assessment (LCA)

BENTO, R. C. (1) , CARDOSO, P. F. (2), KOMESU, A. (3), OMETTO, A.R.
(4), ROSSI, E. (5), ROSSIGNOLO, J.A. (6)

(1) *Doutorando, IAU – USP - São Carlos, ricardoengenheiro@yahoo.com.br*

(2) *Mestranda, IAU – USP - São Carlos, polistm@gmail.com*

(3) *Mestrando – Dep. de Eng. de Produção - EESC - USP, askadriano@gmail.com.*

(4) *Professor Doutor, – Dep. de Eng. de Produção - EESC – USP, aometto@sc.usp.br*

(5) *Mestranda, UFSCar - São Carlos, rossiefigenia@gmail.com*

(6) *Professor Doutor, Dep de Eng. de Biosistemas- FZEA- USP, rossignolo@usp.br*

Av. Trabalhador-São Carlense, n°400, São Carlos, CEP: 13566-590.

Resumo

Neste artigo descreve-se uma proposta de aplicação da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na análise do desempenho ambiental de estruturas de concreto armado. A análise realizada consistiu em avaliar um edifício, com a variação das classes de resistência do concreto com os valores de C25 e C30, mantendo-se as dimensões dos componentes estruturais e C35 com a redução dos componentes. Os resultados indicam que para todas as categorias de impacto ambiental analisadas, a estrutura projetada com a classe de resistência C35, é a que menos impacta o meio ambiente. Complementarmente, analisando os custos das três estruturas, verificou-se também que a estrutura com a classe de resistência de C35, apresenta um custo menor.

Palavra-Chave: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Estrutura de concreto armado.

Abstract

This paper describes a proposal of application of the methodology of Life Cycle Assessment (LCA) in the analysis of the environmental performance of concrete structures. The analysis consisted in evaluating a building, with varying grades of concrete strength values of C25 and C30, keeping the dimensions of the structural components and C35 with the reduction of the components. The results indicate that for all categories of the environmental impact the designed structure with grade of concrete strength C35 is the least impacts the environment. In addition, the cost of analyzing three structures, it was found that the structure with grade of concrete strength of C35 presents a low cost.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA), reinforced concrete structure.



1 Introdução

1.1) Aplicação Pretendida

O presente estudo foi desenvolvido na forma de um estudo completo de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), abrangendo as fases de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) dos sistemas dos produtos, assim como a Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) a partir dos dados de tal inventário. Para a execução do trabalho foram seguidas as orientações do International Reference Life Cycle Data System - ILCD handbook. (2012) e a NBR ISO 14040 - Avaliação do Ciclo de Vida: princípios e estrutura (2009) e a sua série.

As aplicações pretendidas dos resultados obtidos por esse estudo visam dar suporte ao profissional de projetos estruturais em concreto armado, um embasamento científico, sob a perspectiva ambiental, para a escolha de componentes estruturais de menor impacto ambiental para a composição da estrutura de seu edifício.

O trabalho foi executado na disciplina de Engenharia do Ciclo de Vida no Departamento de Engenharia de Produção da USP de São Carlos, e é o embrião da pesquisa em andamento no Instituto de Arquitetura e Urbanismo da mesma universidade, onde futuramente serão adicionados mais dados e efetuados aperfeiçoamentos.

1.2) Função

O sistema estrutural em concreto armado (lajes, vigas e pilares) tem como função principal fornecer suporte para o edifício, isto é, absorver e transmitir, para as fundações, todos os esforços incidentes, com segurança pré-definida, segundo os requisitos mínimos da *NBR 6118: 2007 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento* (e suas referências normativas) e as prescrições da *NBR 6120: 1980 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. A classe de agressividade ambiental adotada foi de “moderada” (II) para região urbana.

As solicitações adotadas foram:

Lajes:

Sobrecarga permanente = 100 kg/ m².

Sobrecarga Acidental = 150 kg/ m².

Paredes eventuais carga permanente tijolos furados = 500 kg/ metro linear.

Vigas: Paredes carga permanente tijolos furados = 500 kg/ metro linear.

Considerações do vento:

Velocidade básica = 35.0 m/s, Fator topográfico (S1) = 1.00, Categoria de rugosidade (S2) = IV-Terrenos com obstáculos numerosos e pouco espaçados.

Classe da edificação (S2) = B - Maior dimensão horizontal ou vertical entre 20m e 50m, Fator estatístico (S3) = 1.00 - Edificações em geral.

A durabilidade mínima prevista da estrutura de concreto armado é de 50 anos, prevista pela NBR 15575-1: 2013 Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais, esta em referência a NBR 8681:2003 - Ações e Segurança nas Estruturas, para sistemas de estruturas como o estudado no presente documento.



1.3) Unidade Funcional

De modo a identificar e quantificar a energia utilizada e as emissões durante a fase de construção de uma edificação, uma maneira de colocar estas cargas ambientais em grande perspectiva é uma análise do ciclo de vida no todo, permitindo uma tomada de decisão de forma objetiva comparando-se dois tipos de sistema da mesma edificação, Guggemos & Horvat, (2005) apud Ashley.

No Research Report R11-01 (2011) do MIT, adota-se para a execução da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de edifícios alguns padrões: Unifamiliar, Multifamiliar e Comercial. No mesmo relatório é indicada que a unidade funcional a ser adotada é a área utilizada por cada tipo de edifício. Para uma comparação didática, resultados são apresentados em m², enquanto os valores totais são apresentados em um apêndice.

Ainda na tese de doutorado, intitulada *Metodologia de Avaliação do Ciclo de vida de Sistemas Construtivos – Aplicação em um Sistema Estruturado em Aço*, de Macedo (2011), foi utilizada a unidade funcional como todo o sistema de vigas e pilares que fazem parte do sistema estrutural de um edifício de 5.400 m² localizado em Belo Horizonte.

No presente trabalho baseado nas referências anteriores, foi utilizada a unidade funcional de um edifício padrão e, para averiguação em conformidade com a prática nacional, foi escolhido um edifício padrão conforme a NBR 12721: 2006 - *Avaliação de Custos para Incorporação Imobiliária e outras disposições para Condomínios Edifícios*.

O edifício analisado foi segundo o modelo *Residência Multifamiliar – R8 – Padrão Baixo (R8-B)*, composto por pavimento térreo, 8 pavimentos tipo, cobertura, escadas e reservatório superior, todos os componentes em concreto armado,,

Foi executado o projeto estrutural do edifício com 3 classes de resistências características à compressão do concreto (fck) segundo classificação da NBR 8953:2009 – *Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*

Classe de resistência C25 = resistência característica à compressão de 25 MPa,

Classe de resistência C30 = resistência característica à compressão de 30 Mpa, mantidas as mesmas dimensões das peças estruturais de fck 25MPa.

Classe de resistência C35 = resistência característica à compressão de 35MPa, com redução das dimensões das peças proporcionadas pelo aumento do fck

A área estrutural obtida foi de 2.078 m². A carga média obtida de todo o edifício foi de 1,18 tf/m² de área estrutural.

Portanto a unidade funcional é um edifício com as características descritas com a função de suportar a carga característica de 0.55 tf/ m² (carga permanente + carga acidental).

1.4) Fluxo de referência

No trabalho, será utilizado o fluxo de referência ajustado para a seguinte unidade dimensional: substância / m² de edificação. Sendo:

Classe de Resistência C25 para cada m³ de concreto:

Cimento: 310 kg

Agregado Miúdo: 870 kg = 0,53 m³ agregado miúdo / m³ concreto

Agregado Graúdo: 930 kg = 0,52 m³ Agregado Graúdo / m³ concreto

Água: 180 kg (ou litros)

Classe de Resistência C30 MPa para cada m³ de concreto:

Cimento: 340 kg

Agregado Miúdo: 770 kg = 0,47 m³ Agregado Miúdo / m³ concreto

Agregado Graúdo: 970 kg = 0,54 m³ Agregado Graúdo / m³ concreto

Água: 185 kg (ou litros)

Classe de Resistência C35 MPa para cada m³ de concreto:

Cimento: 370 kg

Agregado Miúdo: 744 kg = 0,45 m³ Agregado Miúdo / m³ concreto

Agregado Graúdo: 960 kg = 0,53 m³ Agregado Graúdo / m³ concreto

Água: 190 kg (ou litros)

1.5) Quantitativos de materiais

Tabela 1: quantitativo de materiais da estrutura com Classe C25.

	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m ³)	Taxa (m ³ /m ²)	Consumo (m ²)	Taxa (m ² /m ²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m ²)	Taxa (kg/m ³)
TOTAL	471.4	0.23	4596.8	2.2	41619.2	20.0	88.3

Tabela 2: quantitativo de materiais da estrutura com Classe C30.

	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m ³)	Taxa (m ³ /m ²)	Consumo (m ²)	Taxa (m ² /m ²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m ²)	Taxa (kg/m ³)
TOTAL	471.4	0.23	4596.8	2.2	40130.8	19.3	85.1

Tabela 3: quantitativo de materiais da estrutura com Classe C35.

	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m ³)	Taxa (m ³ /m ²)	Consumo (m ²)	Taxa (m ² /m ²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m ²)	Taxa (kg/m ³)
TOTAL	401.0	0.19	4464.6	2.1	39596.1	19.1	98.7



1.6) Escopo Geográfico

O escopo geográfico é do edifício localizado na cidade de Poços de Caldas, estado de Minas Gerais, Região Sudeste. Os materiais componentes do sistema do produto foram todos considerados em relação à localização da cidade.

1.7) Escopo temporal

Segundo uma previsão do impacto futuro de três forças: crescimento populacional, urbanização e consumo irresponsável e esbanjador dos recursos naturais, que nos trouxeram ao estado atual de desenvolvimento insustentável efetuado por Mehta (2002) apud Mehta & Monteiro (2008), com taxa anual de consumo de concreto, espera-se que a demanda pelo mesmo cresça para cerca de 16 bilhões de toneladas pelo ano de 2050. A partir de então, o consumo deve começar a cair dependendo do cumprimento dos princípios de ecologia industrial e a melhoria de durabilidade das estruturas construídas atualmente.

Baseado nesta previsão, a representatividade temporal prevista para esse trabalho é de 40 anos.

1.8) Escopo tecnológico

O escopo tecnológico é considerado atual e estático, pois serão consideradas as tecnologias atualmente utilizadas, sem previsões de desenvolvimento de novas tecnologias.

1.9) Estrutura de modelagem do Inventário do Ciclo de Vida.

Este estudo utilizará o modelo atribucional de ciclo de vida, o qual descreve os impactos potenciais ambientais que podem ser atribuídos a um sistema ou produto sobre a sua ACV. Modelos atribucionais fazem uso registros históricos, fatos embasados, dados de medição de conhecidas incertezas, e inclui todos os processos que são identificados como relevantes contribuições para o sistema a ser estudado.

1.10) Obtenção da fronteiras do sistema em estudo e critério de corte

As fronteiras do estudo serão divididas em seis processos elementares, descritos a seguir e ilustrados no fluxograma do sistema de produto da figura 1. Consistem na extração de materiais para a produção de insumos, consumo de água, energia e transporte e as emissões decorrentes de cada processo.

- 1) Extração e produção do cimento,
- 2) Mistura e transporte de materiais: usina de concreto,
- 3) Produção do aço: Siderúrgica,
- 4) Execução da estrutura de concreto armado,
- 5) Fase de uso da estrutura,
- 6) Fase de demolição.

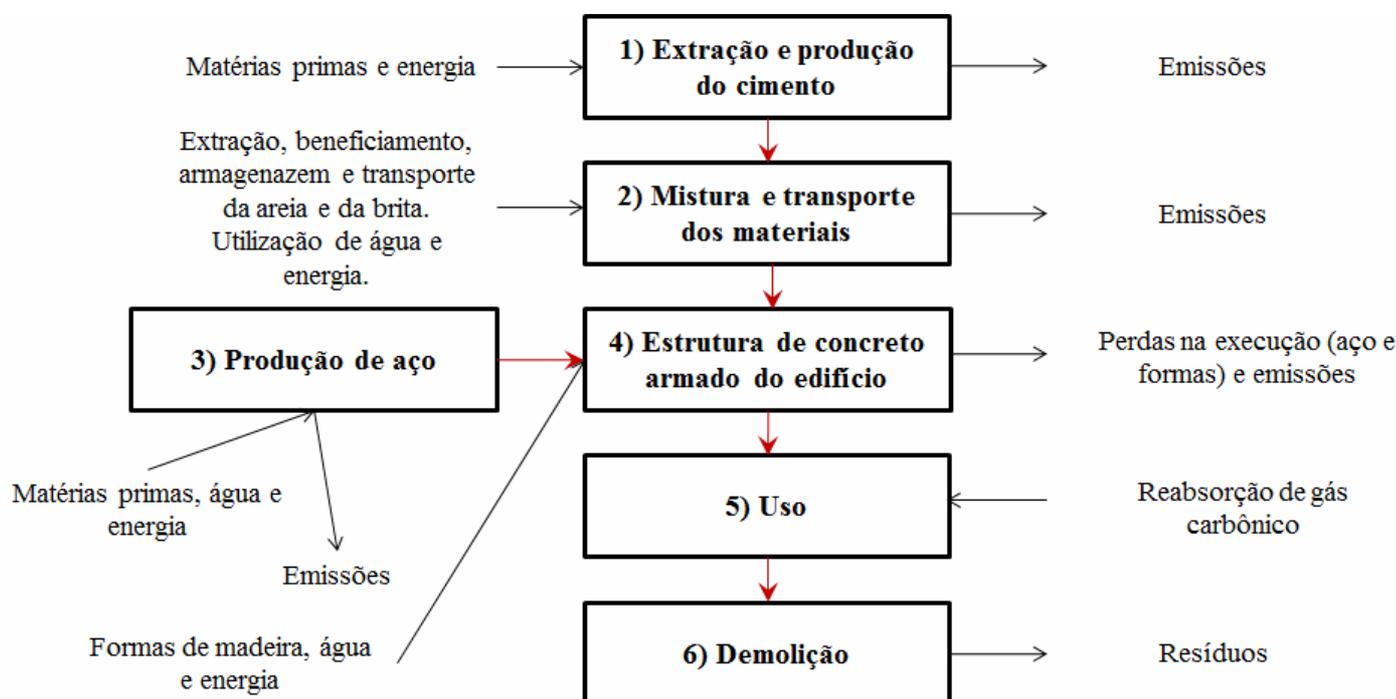


Figura 1 – Fluxograma do Sistema de produto.

1.10.1 - Processo elementar 1 – Fábrica de Cimento:

O processo elementar 1 corresponde à fábrica de cimento. O cimento utilizado foi o CP III 40 RS da fábrica de cimento Holcim, localizada em Barrozo, MG. As informações referentes ao consumo das matérias primas e transporte foram baseadas em informações da “Declaração Ambiental do Produto”, fornecida pela empresa.

O processo elementar 1 engloba o transporte do material pozolânico (escória granulada de alto-forno) até a cimenteira e os fluxos no processo de transporte de matérias-primas, produção do cimento e suas emissões, inclusive as devidas ao transporte até a usina de concreto.

Os índices das emissões mais relevantes (NO_x, SO_x, CO₂ e material particulado) foram retirados de Carvalho (2002) e a emissão de CO₂ referente ao transporte de Kuhn (2006).



1.10.2 - Processo elementar 2 – Usina de Concreto:

O processo elementar 2 corresponde à fabricação do concreto. Foram utilizados dados estatísticos primários em uma usina de concreto na cidade de Poços de Caldas, MG.

Engloba a energia e emissões na mistura e transporte dos materiais que constituem o concreto dentro da usina, bem como o transporte ao local da obra, tendo sido utilizado um valor médio de distância das obras fornecido pela empresa.

Além do transporte ao local da construção, foi considerado o uso de equipamento para bombeamento, quanto à emissão de CO₂, e consumo de água nas operações de limpeza. A emissão de CO₂ referente ao transporte foi retirado de Kuhn (2006).

1.10.3 - Processo elementar 3 – Siderúrgica:

O processo elementar 3 engloba as atividades da siderúrgica, onde é produzido o aço para a confecção da armadura das peças estruturais. Os fluxos desta região foram calculados a partir de índices retirados de Grigoletti e Sattler (2004). Os índices fornecidos pelos autores foram retirados de Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) relativo à produção de aço no Rio Grande do Sul. Os dados consideram apenas a etapa de produção do material, a etapa de extração não foi considerada. A emissão de CO₂ referente ao transporte foi retirado de Kuhn (2006).

1.10.4 - Processo elementar 4 – Execução da estrutura:

O processo elementar 4 corresponde transporte do concreto que foi produzido na concreteira (processo elementar 2), o transporte do aço para a montagem das armaduras e o transporte de madeira para a confecção das formas com as respectivas perdas de material. A emissão de CO₂ referente ao transporte foi retirado de Kuhn (2006).

As perdas de concreto usinado e aço foram baseadas no relatório final do projeto Alternativas para a Redução de Desperdício de Materiais nos Canteiros de Obras (2008), apoiado pela FINEP dentro do Programa Habitare, desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade da Construção (ITQC), e consideradas as perdas de 10% para ambos.

As formas de madeira são as mais utilizadas na maioria dos estados do país e normalmente são constituídas de painéis de madeira compensada, tábuas e pontaltes de madeira serrada, ou unicamente com estes dois últimos, Nazar (2007).

No trabalho quanto às formas de madeira, foi considerado consumo de formas nos quantitativos sem a consideração de cimbramentos e escoramentos, por outro lado, o possível reaproveitamento das formas nos andares não foi considerado. Foi então adotado o valor dos quantitativos, sem a consideração de perdas na execução, admitindo-se a compensação no cômputo geral.



1.10.5 - Processo elementar 5 – Fase de Uso:

Fase de uso da estrutura. A ACV por ter o seu escopo temporal com um valor inferior à vida útil de estrutura, não irá requerer manutenção e suas conseqüências neste período. Entretanto foi considerada a absorção de CO₂ pela estrutura com o passar dos anos. Estudos mostram que pequenas quantidades de CO₂ são reabsorvidas pelo concreto, posteriormente, até décadas depois de o concreto ser lançado, quando os elementos do material se combinam com o CO₂ para formar calcita. Em um estudo recente, Haselbach (2009), é sugerido que a reabsorção pode ir além da formação da calcita, aumentando a quantidade total de CO₂ removido da atmosfera, diminuindo o rastro de carbono geral do concreto. Verificando-se os trabalhos de Heselbach (2011), MIRZA, SHAO & WU (2006), pode-se se considerar um valor mínimo (e até pouco otimista) de absorção no período de 5% do CO₂ emitido na fabricação do cimento.

1.10.6 - Processo elementar 6 – Demolição:

No presente trabalho, avaliando-se a atual condição brasileira, de dificuldades e incertezas no reaproveitamento do concreto como agregado reciclado, optou-se por considerar que todo o concreto irá para a disposição final em aterro. Para este estudo também não está sendo considerada a futura possível reciclagem do aço. Por fim, é importante ressaltar que o critério de corte utilizado foi o da disponibilidade de dados, não sendo estabelecido nenhum valor quantitativo para tal.

1.11) Preparação do embasamento para a avaliação do impacto

Como este estudo se trata de uma afirmação comparativa a ser divulgada ao público, a seleção do método de AICV a ser aplicado, assim como dos níveis de avaliação (midpoint ou endpoint), deve ser feita durante a definição inicial do escopo, da mesma forma que as decisões a respeito da possibilidade de inclusão das fases de normalização e ponderação.

1.12) As fontes de dados, qualidade, incertezas e sua representatividade

Os principais tipos de dados a serem coletados no estudo de ICV integrante deste trabalho devem ser aqueles ligados a entradas e saídas de massa, água e energia, dos sistemas de produto anteriormente descritos. As principais entradas e saídas desses sistemas estão representadas em seu fluxograma de produto da figura 1.

Este estudo foi baseado majoritariamente em dados secundários, os quais foram obtidos de fontes fidedignas, comprovados cientificamente e devidamente documentados/publicados pelos autores que os obtiveram. Quando foi possível a obtenção de dados primários, estes substituíram os dados secundários. A fase de coleta de dados e principalmente, a escolha da fonte de tais informações, levaram em conta os escopos tecnológico, geográfico e temporal descritos no item anterior.



2) Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

A partir da coleta de dados primários e secundários referentes ao estudo foi possível realizar a descrição dos aspectos ambientais e de suas respectivas contribuições visando à unidade funcional de uma Residência Multifamiliar - R8 - Padrão Normal (R8 - N).

3) Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

A partir da realização da ICV foi possível a realização dos cálculos dos resultados da AICV. Para isso foi realizada a classificação dos impactos e sua posterior caracterização. Nenhuma etapa opcional foi realizada (normalização e/ou ponderação) tendo em vista que se trata de um estudo comparativo em que tais etapas não são aconselhadas. Sendo assim, realizou-se a descrição da classificação dos impactos, o fator de caracterização utilizado segundo o método EDIP 1997 (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997), a caracterização do impacto e sua unidade dimensional. Vale salientar que as categorias de impacto selecionadas foram: Eutrofização, Formação de Ozônio Fotoquímico, Aquecimento Global, Toxicidade Humana, Acidificação, Ecotoxicidade, Consumo de Recursos Materiais (Renováveis e Não Renováveis) e Consumo de Recursos Energéticos (Renováveis e Não Renováveis).

Seguem a seguir os gráficos (figuras 2 a 10) das categorias de impactos com os resultados obtidos para cada resistência da estrutura. Na figura 2 está representada a categoria de impacto de eutrofização, na figura 3 a categoria de impacto de formação de ozônio fotoquímico, na figura 4 a categoria de impacto de aquecimento global, na figura 5 a categoria de impacto de toxicidade humana, na figura 6 a categoria de impacto de acidificação, na figura 7 a categoria de impacto de ecotoxicidade, na figura 8 a categoria de impacto de consumo de recursos materiais, na figura 9 a categoria de impacto de consumo de recursos energéticos e finalmente na figura 10 a categoria de impacto de resíduos.

A seguir sucintamente são descritas as categorias de impacto:

Eutrofização: trata-se do enriquecimento abrupto e excessivo de nutrientes na água ou no solo, especialmente a partir de substâncias à base de nitrogênio ou fósforo. No solo e na água a eutrofização pode alterar a biodiversidade nos ecossistemas. No método assume como referências o N, P, e nitrato (NO_3).

Formação de ozônio Fotoquímico: faz referência à reação fotoquímica que ocorre sob a influência dos raios ultravioletas, onde os NO_x e VOCs (compostos orgânicos voláteis) reagem, produzindo oxidantes que causam o nevoeiro fotoquímico. A inalação deste nevoeiro é considerada danosa à saúde humana e de outros organismos vivos.

Aquecimento global: está relacionada à emissão de gases de efeito estufa como o CO_2 e o metano (CH_4) resultando no aumento da temperatura terrestre na baixa atmosfera.

Toxicidade Humana: é ocasionada pelas atividades humanas que emitem substâncias tóxicas sobre a saúde humana seja por ingestão ou por inalação. Nesta categoria não são considerados os efeitos tóxicos gerados em decorrência de exposições no ambiente de trabalho e sim, os medidos na antroposfera. Estão incluídos os efeitos

tóxicos crônicos, efeitos carcinogênicos e não-carcinogênicos, impactos associados a uma determinada massa de um elemento químico emitida no ambiente, etc.

Acidificação: refere-se às substâncias ácidas como a emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x) e de enxofre (SO_x) para a atmosfera, e depositados na água e no solo, resultando no aumento da acidez pela redução do pH. Como efeitos, ocorre a chuva ácida.

Ecotoxicidade: trata-se da ação prejudicial, algumas vezes irreversível, de substâncias tóxicas à fauna e flora pelas atividades antrópicas. Tais efeitos podem afetar os organismos vivos, a função e a estrutura do ecossistema.

Consumo de recursos materiais: corresponde ao consumo de recursos materiais renováveis e não renováveis expressos em quilos.

Consumo de recursos energéticos: recursos consumidos nos processos elementares em kWh.

Categoria de impacto de resíduos: corresponde ao lixo e resíduos perigosos ao meio ambiente, escórias e cinzas, lixo nuclear, etc., expresso em quilos.

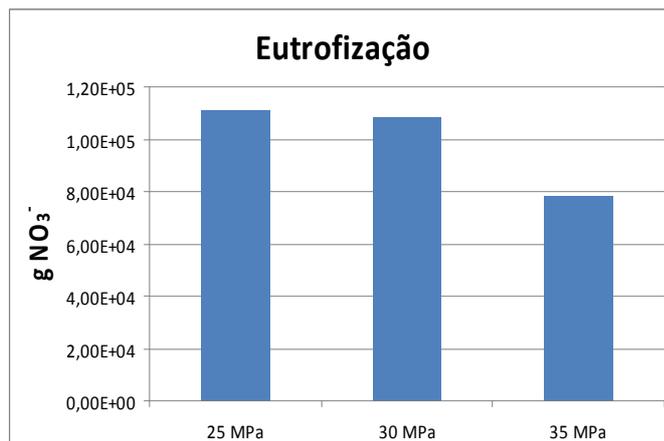


Figura 2 – Categoria de impacto de eutrofização

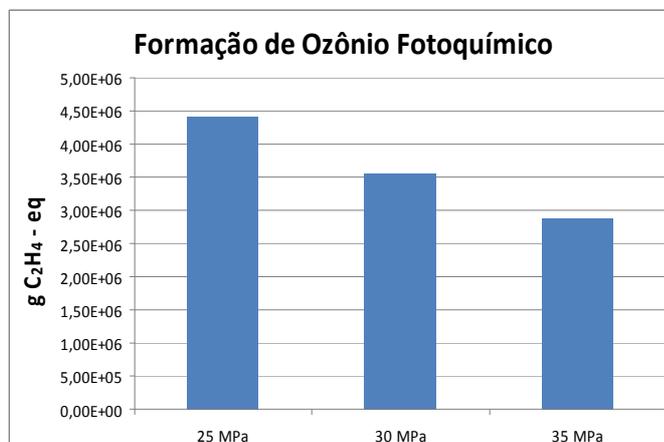


Figura 3 – Categoria de impacto de formação de ozônio fotoquímico

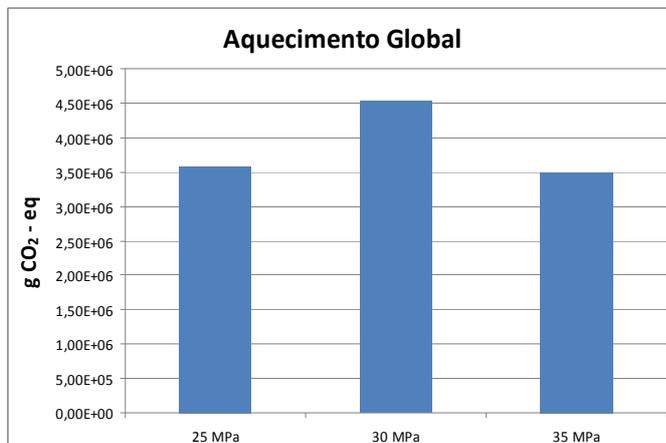


Figura 4 – Categoria de impacto de aquecimento global

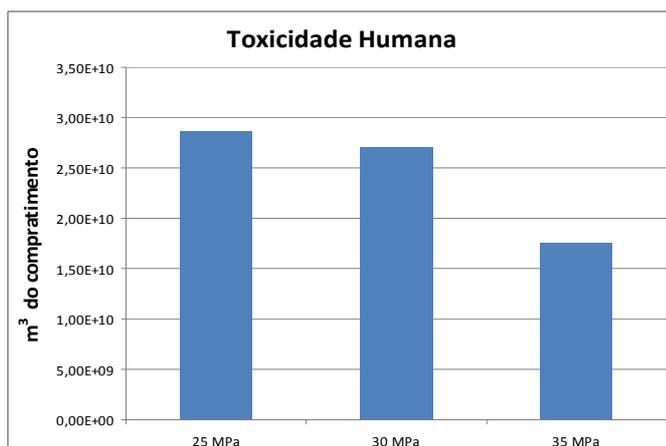


Figura 5 – Categoria de impacto de toxicidade humana

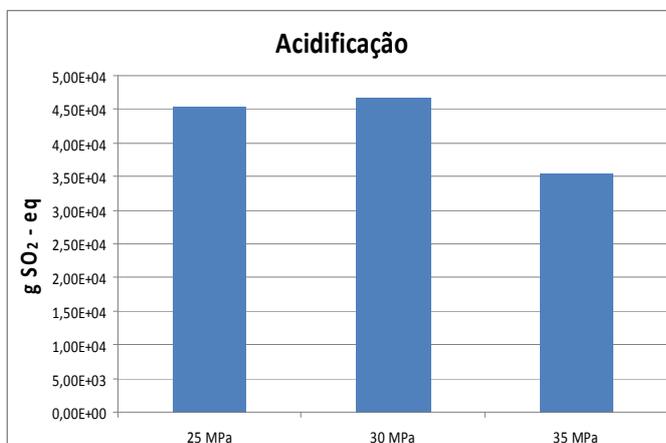


Figura 6 – Categoria de impacto de acidificação

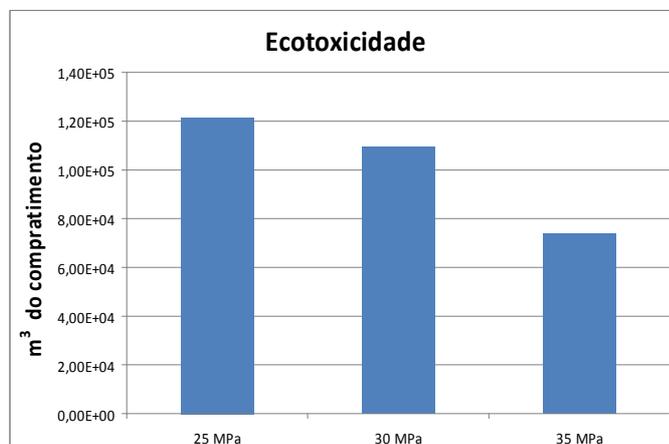


Figura 7 – Categoria de impacto de Ecotoxicidade

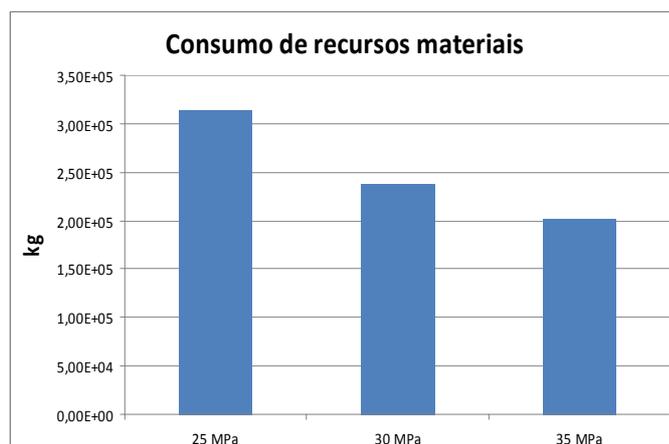


Figura 8 – Categoria de impacto de consumo de recursos materiais

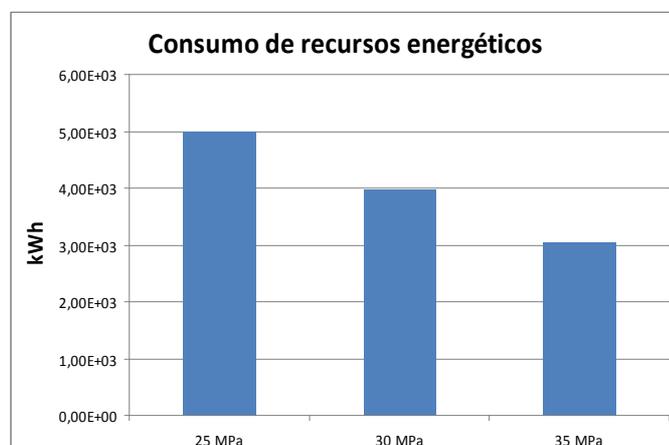


Figura 9 – Categoria de impacto de consumo de recursos energéticos

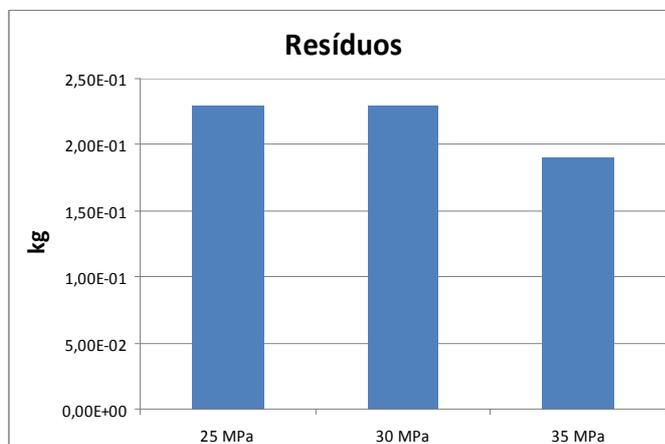


Figura 10 – Categoria de impacto de resíduos

4) Interpretação

A Tabela 4 apresenta um balanço geral com classificação comparativa das estruturas com as diferentes classes de resistências e as categorias de impacto.

Verifica-se que a estrutura de classe de resistência C35, onde por meio do aumento da classe de resistência foi efetuada a redução das peças estruturais, esta apresentou resultados inferiores às demais estruturas em todas as categorias de impacto, mostrando-se mais ambientalmente favorável.

A estrutura com classe de resistência C30 apresentou resultados intermediários em comparação às estruturas modeladas, com exceção das categorias aquecimento global, acidificação e geração de resíduos. A estrutura com classe de resistência C30 poderia ter apresentado resultados melhores caso as dimensões da estrutura também tivessem sido ajustadas como a de classe C35.

Nas demais categorias de impacto a estrutura com classe de resistência C25 apresentou os maiores valores.

O estudo comparativo, entre o modelo com a manutenção das dimensões das peças estruturais e o simples aumento da classe de resistência com o de modelo com a diminuição das peças proporcionado pelo aumento da classe de resistência do concreto, indica que a aplicação da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) comprova a eficácia da classificação comparativa das estruturas em relação às categorias de impacto.

O estudo ainda demonstra, para a unidade funcional estudada, o melhor desempenho do ponto de vista ambiental, na utilização de classes de resistência maiores do concreto da estrutura e ainda maiores vantagens, com a consequente redução das dimensões das peças estruturais proporcionadas por este aumento.

Tabela 4 – Balanço geral

	C25	C30	C35
Eutrofização	Maior	Médio	Menor
Formação de ozônio fotoquímico	Maior	Médio	Menor
Consumo de recursos materiais	Maior	Médio	Menor
Consumo de recursos energéticos	Maior	Médio	Menor
Ecotoxicidade	Maior	Médio	Menor
Aquecimento Global	Médio	Maior	Menor
Toxicidade humana	Maior	Médio	Menor
Acidificação	Médio	Maior	Menor
Resíduos	Médio	Maior	Menor

Ainda analisando os custos das três estruturas, verifica-se também que a estrutura com classe de resistência C35 (a qual teve suas dimensões reduzidas), apresenta um custo menor, viabilizando a sua opção, além do menor impacto ambiental, também do ponto de vista econômico, como pode ser verificado na tabela 5. A estrutura com classe de concreto C30 poderia ter mostrado resultados menores de custo caso também tivesse sido efetuado o ajuste na redução nas dimensões estruturais das peças.

Tabela 5 - Custos da estrutura / m² x Classe Resistência. Custos Unitários de materiais baseados na tabela SINAPI (Sistema Nacional de Custos e Índices da Construção Civil)– Caixa Econômica Federal/ IBGE – SET/2012.

Material \ Classe	C25	C30	C35
Concreto	0,23 m³/m²	0,23 m³/m²	0,19 m³/m²
	R\$ 83,12	R\$ 91,98	R\$ 79,28
Aço	20 kg/m²	19,3 kg/m²	19,1 kg/m²
	R\$ 106,80	R\$ 103,06	R\$ 101,99
Formas	2,2 m²/m²	2,2 m²/m²	2,1 m²/m²
	R\$ 81,07	R\$ 81,07	R\$ 77,38
Total	R\$ 270,99	R\$ 276,11	R\$ 258,65

5) Conclusões

Entre os resultados observados destaca-se que para todas as categorias de impacto a estrutura com classe de resistência C35 (onde foi aplicada à redução das peças estruturais) é a que menos impacta o meio ambiente exercendo a mesma função, seguida pela estrutura com classe de resistência C30 (sem redução das peças estruturais) e por último a estrutura com classe de resistência C25.



A estrutura projetada com a classe de resistência de 30 MPa apresentou resultados intermediários em comparação às outras resistências, com exceção das categorias aquecimento global, acidificação e geração de resíduos. Nas demais categorias a estrutura com classe de resistência de C25 apresentou os maiores valores nas categorias de impacto.

O estudo comparativo, entre o modelo com a manutenção das dimensões das peças estruturais e o simples aumento da classe de resistência com o de modelo com a diminuição das peças proporcionado pelo aumento da classe de resistência do concreto, indica que a aplicação da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) comprova a eficácia da classificação comparativa das estruturas em relação às categorias de impacto.

O estudo ainda demonstra, para a unidade funcional estudada, o melhor desempenho do ponto de vista ambiental, na utilização de classes de resistência maiores do concreto da estrutura e ainda maiores vantagens, com a consequente redução das dimensões das peças estruturais proporcionadas por este aumento.

Complementarmente, analisando os custos das três estruturas, verifica-se também que a estrutura com classe de resistência de C35 (a qual teve suas dimensões reduzidas), apresenta ainda um custo menor, viabilizando a sua opção além do ponto de vista de impacto ambiental, também do ponto de vista econômico.

6) Referências

ASHHLEY, E., **LCA of Concrete Structures**, National Ready Mixed Concrete Association - NRMCA, disponível em: <http://www.mnconcretecouncil.com/ftpgetfile.php?id=109>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 6118** – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2007. 169 p.

_____**ABNT NBR 6120:1980** – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980, 5 p.

_____**ABNT NBR 8681:2003** – Ações e segurança nas estruturas. Rio de Janeiro, 1984, 21 p.

_____**ABNT NBR 8953:2009** – Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2009. 02 p.

_____**ABNT NBR 12721** – Avaliação de Custos para Incorporação Imobiliária e outras disposições para Condomínios Edifícios. Rio de Janeiro, 2006. 59 p.

_____**ABNT NBR ISO 14040** – Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009. 21 p.

_____**ABNT NBR ISO 14044** – Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida: Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009. 46 p.

_____**ABNT NBR 15575-1** – Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.



FINEP, PROGRAMA HABITARE, ITQC. **Alternativas para a redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras**, 1998, 5 volumes, disponível em <http://perdas.pcc.usp.br/> [acesso em 28/11/2012].

GRIGOLETTI, G. C.; SATTTLER, M.A. **Aplicação da ferramenta BEES 3.0 na avaliação de impactos ambientais da produção de aço no RS**. In. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, São Paulo. **Anais**. São Paulo, 2004. Disponível em <<http://www.infohab.org.br>>.

HASELBACH, L.; **Potential for Carbon Dioxide Absorption in Concrete**, Journal of Environmental Engineering, 135 (6): pg. 465-472, ASCE, 2009.

HOLCIM Brasil S.A.- Declaração Ambiental do produto: Cimento CP II 40 RS, 2011.

ILCD handbook – **International reference Life Cycle Data System; General guide for Life Cycle Assessment – Detailed guidance**, Publications Office of the European Union, 2012, 394 p.

KUHN, E. A., **Avaliação Ambiental do protótipo de Habitação de Interesse Social Alvorada. 2006**. 186 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

MACEDO, D. B. G., **Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida de Sistemas Construtivos – Aplicação em um Sistema Estruturado em Aço**, Tese Doutorado UFMG – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, 2011.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACOM, 2008. 674 p.

MIRZA, M.; XIAORONG, Wu; YIXIN, S; **CO₂ sequestration using calcium-silicate concrete**, Canadian Journal of Civil Engineering, n. 33: pg. 776-784, 2006.

NAZAR, Nilton; **Formas e escoramentos para edifícios: critérios para dimensionamento e escolha do sistema**, São Paulo, PINI, 2007.

RESEARCH REPORT R11-01, **Methods, Impacts, and Opportunities in the Concrete Building Life Cycle**, Department of Civil and Environmental Engineering, Concrete Sustainable Hub, Massachusetts Institute of Technology, august, 2011.

SINAPI (Sistema Nacional de Custos e Índices da Construção Civil)– Caixa Econômica Federal/IBGE – SET/2012. Disponível em: http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programa_des_urbano/SINAPI/index.asp [acesso em 04.12.2012]

WENZEL, H.; HAUSCHILD, M.; ALTING, L. **Environmental Assessment of Products**. Bonton/Dordrecht/London: Kluwer Academic Publisehrs. v.1 e 2.