



VI - Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida

Anais do VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida

Coordenadores

Tiago Emmanuel Nunes Braga
Gil Anderi da Silva

Organizadores

Thiago Oliveira Rodrigues
Diogo Aparecido Lopes Silva

Brasília
2018

É permitida a adaptação e compartilhamento desta obra, desde que seja atribuído o crédito apropriado.



Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – Ibict

DIREÇÃO

Cecília Leite Oliveira

COORDENAÇÃO-GERAL DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS

Arthur Fernando Costa

COORDENAÇÃO DE TECNOLOGIAS APLICADAS A NOVOS PRODUTOS

Tiago Emmanuel Nunes Braga

SESSÃO DE EDITORAÇÃO

Ramón Martins Sodoma da Fonseca

REALIZAÇÃO DO EVENTO

Tiago Emmanuel Nunes Braga (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – Ibict)

Gil Anderi Silva (Associação Brasileira de Avaliação do Ciclo de Vida – ABCV)

SECRETARIA EXECUTIVA

Marina Santa Rosa (Ibict)

COORDENAÇÃO DO COMITÊ CIENTÍFICO: Diogo Aparecido Lopes Silva (UFSCar-Sorocaba)

MEMBROS DO COMITÊ CIENTÍFICO: Aldo Roberto Ometto (USP-São Carlos), Ana Laura Raymundo Pavan (USP-São Carlos), Ana Passuello (UFRGS), Andrea Oliveira Nunes (UFRN), Armando Caldeira-Pires (UnB), Cassiano Moro Piekarski (UTFPR-Ponta Grossa), Daniele Maia de Souza (Universidade de Alberta, Canadá), Diego Medeiros (UFBA), Diego Rodrigues Iritani (Upcycle), Edivan Cherubini (Ciclog), Edmundo Muñoz Alvear (Universidad Andrés Bello, Santiago-Chile), Elaine Aparecida da Silva (UFPI), Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco (UFRJ), Fábio Puglieri (UTFPR-Ponta Grossa), Fausto Freire (Universidade de Coimbra-Portugal), Fernanda Belizario Silva (IPT-São Paulo), Henrique Leonardo Maranduba (UESB-Itapetinga), José Adolfo de Almeida Neto (UESC-Ilhéus), José Augusto de Oliveira (UNESP-São João da Boa Vista), Leila Mendes da Luz (UTFPR), Luciano Brito Rodrigues (UESB-Itapetinga), Luiz Alexandre Kulay (USP), Marcella Ruschi Mendes Saade (Unicamp), Maria Cléa Figueiredo (EMBRAPA-Fortaleza), Marília Ieda da Silveira Folegatti Matsuura (EMBRAPA-Jaguariúna), Oscar Ortiz (Universidade de Pamplona-Colômbia), Otávio Cavalett (CTBE), Raquel Naves Blumenschein (UnB), Rodrigo Alvarenga (Universidade de Gante-Bélgica), Rosa Maria Sposto (UnB), Sandra Maria da Luz (UnB), Sebastião Roberto Soares (UFSC), Thiago Oliveira Rodrigues (Ibict), Virgínia A. Silva Moris (UFSCar-Sorocaba), Yara de Souza Tadano (UTFPR), Yovana Maria Barrera Saavedra (UFSCar-Lagoa do Sino).

COORDENAÇÃO DO COMITÊ TÉCNICO: Thiago Oliveira Rodrigues (Ibict)

MEMBROS DO COMITÊ TÉCNICO: Amir Safaei (ecoinvent), Antônio Juliani (MDIC), Cristiane Sampaio (Inmetro-RJ), Fábio Cirillo (Votorantim), Felipe Bottini (GreenDomus), Felipe Coelho (Vanzolini), Juliana Silva (FEE), Lígia Pereira Cabo (Boticário), Maria da Graça Busica, Montserrat Carbonell (Petrobras), Pia Wiche (FSLCI), Regiane Brito (Inmetro), Sueli Oliveira (UFABC), Simon Gmunder (Quantis), Tiago Rocha (ACV Brasil), Yuki Kabe (Braskem).

COMUNICAÇÃO, APOIO TÉCNICO E LOGÍSTICO

Francisco Eliezer Pereira da Rocha, Lucas Pereira Guedes, Mariela Muruga, Stéphanie Maia Freire de Andrade, Suelen da Silva dos Santos, Nathaly Cristine Leite Rocha, Letícia Mesquita, Milena Berndazzoli Simões.

C749a Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida (6. : 2018 : Brasília, DF).

GCV 2018 : Congresso brasileiro sobre gestão do ciclo de vida : Brasília-DF 17 a 20 de Junho de 2018 / coordenação, Tiago Emmanuel Nunes Braga e Gil Anderi da Silva ; organização, Thiago Oliveira Rodrigues e Diogo Aparecido Lopes Silva . — Brasília, DF : Ibict, 2018. 990 p. : il.

ISBN 978-85-7013-146-1

Inclui bibliografia.

1. Avaliação do Ciclo de Vida – Congressos. 2. Gestão ambiental. 3. Economia circular. 4. Inventário do Ciclo de Vida. I. Braga, Tiago Emmanuel Nunes, coord. II. Silva, Gil Anderi, coord. III. Rodrigues, Thiago Oliveira, org. IV. Silva, Diogo Aparecido Lopes, org. V. Título.

CDU 504

POTENCIAL DA REDUÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE UM PROJETO DE EDIFICAÇÃO VISANDO À CERTIFICAÇÃO LEED ATRAVÉS DA FERRAMENTA eToolLCD

Joana Giugliani¹, Eduardo Baldauf², Vanessa Gomes³; Ana Passuello⁴

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, joana.giugliani@ufrgs.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ebaldauf@gmail.com.br

³Universidade Estadual de Campinas, vangomes@fec.unicamp.br

⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ana.passuello@ufrgs.br

Resumo: A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) constitui uma importante ferramenta no esforço de incorporar práticas mais sustentáveis à construção civil. Este estudo avalia a redução de impactos potenciais de uma edificação com vistas à certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) a partir do uso da ferramenta de ACV eToolLCD. O *software*, voltado a não especialistas, tornou-se uma opção para estudos de ACV baseados nos requisitos do LEED no Brasil e, portanto, será aplicado em um estudo de caso de uma edificação do setor de serviços localizada na cidade de Porto Alegre – RS. Enquanto uma ACV completa contempla todas as fases do ciclo de vida do edifício, a certificação LEED considera apenas componentes estruturais e de envoltória da edificação, excluindo do escopo o consumo de água e energia durante a fase de uso. Inicialmente, constrói-se um caso de referência contra o qual a edificação proposta deverá demonstrar desempenho ambiental aumentado. Para conformidade, o projeto deverá reduzir, no mínimo, 10% do impacto em três das seis categorias selecionadas pela certificação, sendo uma delas, necessariamente, “Mudanças climáticas”. Porém, o impacto, em nenhuma outra categoria deverá aumentar em mais que 5%. A certificação não determina capacidades mínimas da ferramenta de ACV a utilizar, apenas exige que os casos de referência e proposto utilizem as mesmas ferramentas e procedimentos de cálculo. O *software* eToolLCD permitiu demonstrar redução de impactos de 7 a 12% nas categorias consideradas pelo LEED v4, sendo considerado satisfatório para apoiar a realização de ACV visando à certificação.

Palavras-chave: Impactos Ambientais; Impactos da Construção; Certificação Ambiental; Avaliação do Ciclo de Vida.

Introdução

A consciência ambiental massificada despertou grande atenção de muitos governos em todo o mundo. Com isso, inevitavelmente, edifícios tornam-se um importante alvo para a melhoria ambiental, pois são grandes geradores de impactos ambientais negativos (CHAU; LEUNG; NG, 2015). Nesse cenário, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) assume um importante papel, já que avalia os impactos ambientais potenciais ao longo do ciclo de vida de um produto. Para Khasreen, Banfill e Menzies (2009), a indústria da construção, os governos, os projetistas e os pesquisadores da área são afetados pela tendência de produção sustentável e estratégias ecológicas, sendo que a ACV se configura como uma das ferramentas para ajudar a alcançar práticas de construção sustentável (KHASREEN; BANFILL; MENZIES, 2009).

Segundo Bribián, Usón e Scarpellini (2009), entre os propulsores para o uso de ACV no setor da construção civil estão o benefício de marketing e a rotulagem ambiental de edifícios. À medida em que os consumidores valorizam produtos mais sustentáveis, o apelo ecológico em empreendimentos torna-se um argumento de venda. Por outro lado, em um esforço para abordar preocupações ambientais na indústria da construção, o conceito de edifícios verdes tem ganhado reconhecimento rápido ao longo dos últimos anos (WU *et al.*, 2016). Entre as certificações que consideram a ACV em seu escopo, o sistema LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) desponta como uma das ferramentas de avaliação de edifícios verdes mais proeminentes (WU *et al.*, 2016).

O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de caso, em que foi utilizada uma ferramenta de ACV durante a concepção de uma edificação, a fim de demonstrar se há redução de impactos ambientais potenciais, causada pela diminuição do quantitativo de insumos na sua estrutura e envoltória com o intuito de atender aos critérios da certificação LEED.

A Certificação LEED, atualizada em 2013 como LEED v4, conta com 9 categorias a serem avaliadas. Todas elas combinam pré-requisitos, itens obrigatórios a serem atendidos, e créditos, que são opcionais. Os últimos garantem uma soma de pontos ao projeto. O nível da certificação é definido conforme a quantidade de pontos adquiridos, podendo variar de 40 pontos - nível Certificado - a 110 pontos - nível Platina (USGBC, 2013).

O estudo enquadra-se na opção 4 do crédito eletivo “Redução do impacto do ciclo de vida do edifício”. Essa opção permite que o projeto obtenha até 3 pontos ao demonstrar redução de impactos ambientais potenciais a partir de uma Avaliação de Ciclo de Vida do edifício como um todo, considerando uma vida útil de pelo menos 60 anos. A certificação considera seis categorias de impacto do tipo ponto médio (*midpoint*): 1) Mudanças climáticas (GEE) - kg CO₂eq; 2) Depleção do ozônio estratosférico - kg CFC-11 eq; 3) Acidificação - kg SO₂ eq.; 4) Eutrofização - kg PO₄ eq; 5) Formação de ozônio fotoquímico - kg etileno; 6) Depleção de recursos abióticos - combustíveis fósseis (MJ). Para atendimento ao crédito, a ACV deve demonstrar, no mínimo, 10% de redução de impacto, entre o edifício de referência e o edifício proposto, em três destas seis categorias, sendo uma delas, necessariamente, “Mudanças Climáticas”. Ainda, não poderá ser detectado, para nenhuma das categorias, um aumento de 5% ou mais em qualquer um dos impactos, quando comparado ao edifício de referência.

Para a elaboração da ACV, a certificação permite o uso de dois tipos de ferramentas: para projetistas, como o ATHENA (América do Norte), Invest2 (Reino Unido) e *LCADesign* (Austrália) e para especialistas, como o Simapro e GaBi (USGBC, 2013). A ferramenta escolhida foi o *software* eToolLCD, uma plataforma *online* de origem australiana, voltada para projetistas e tomadores de decisão. O que determinou a escolha da ferramenta foi a sua crescente utilização, especialmente em projetos que pretendem adquirir a certificação LEED no Brasil.

Metodologia

A Avaliação do Ciclo de Vida conduzida neste estudo compara um edifício de referência a um edifício proposto otimizado quanto a componentes da sua estrutura e envoltória, verificando a possível redução de impactos ambientais potenciais no edifício proposto. O estudo foi realizado de acordo com ISO 14044 e EN15978.

A unidade funcional deste estudo é o edifício como um todo, considerados apenas elementos da estrutura e da envoltória do prédio. Cabe salientar que a vida útil considerada é de 60 anos, por exigência do sistema LEED, no entanto, não foi considerada a substituição da estrutura em um prazo de 50 anos, conforme determina a norma local, de modo a não inviabilizar o estudo, sendo esta uma importante limitação. A edificação, representada na figura 1, recebe o nome de “Casa dos Raros” e volta-se para o acolhimento de pacientes com doenças raras, contando com uma área construída de 1.560,00m² e estando localizada na cidade de Porto Alegre – RS. A edificação é contemplada com ambulatório e atendimento, sede administrativa, unidades para hospedagem de pacientes, salão multiuso para eventos, terraço aberto e garagem. A população estimada é de 50 pessoas, distribuída entre funcionários e pacientes ou visitantes.

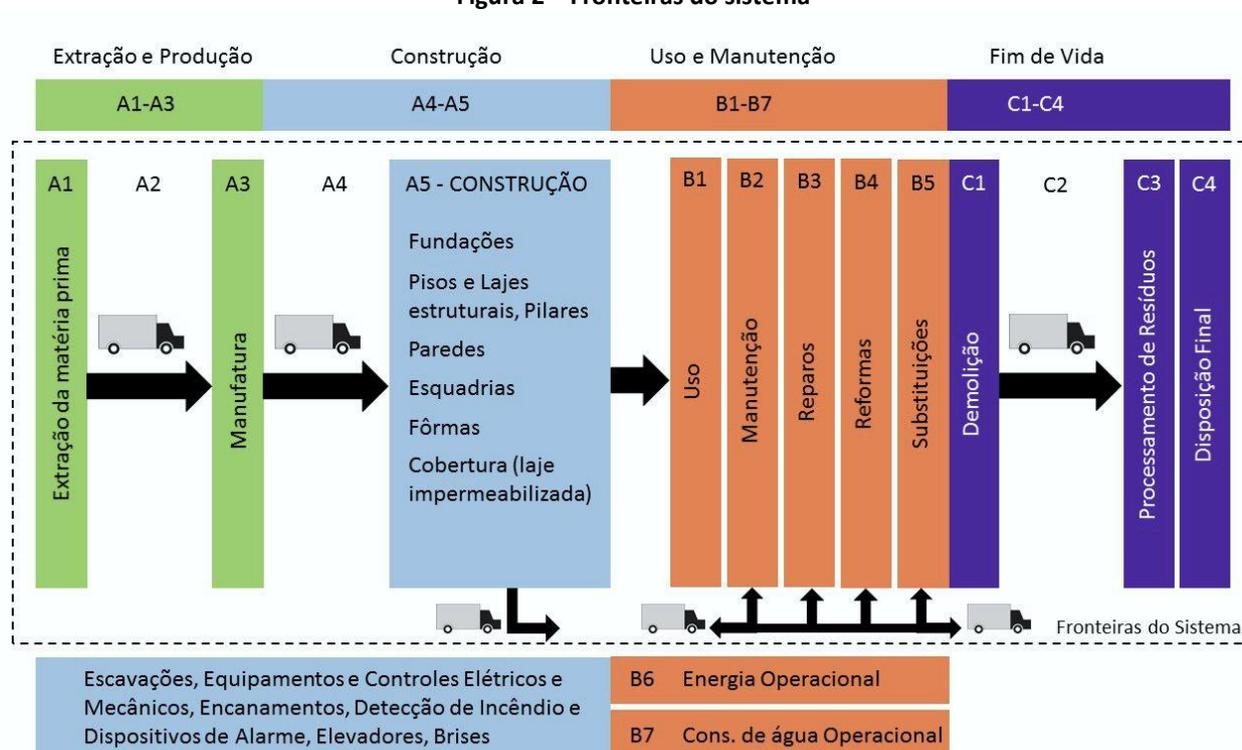
Figura 1 – Corte perspectivado da edificação “Casa dos Raros”.



Fonte: Built Arquitetos (2017)

As fronteiras do sistema em estudo são "do berço ao túmulo" e incluem as etapas de Extração e Produção, Construção, Uso e Manutenção e Fim de Vida, e são demonstradas na Figura 2. De acordo com o escopo da certificação LEED, todos os elementos de envoltória e estrutura do edifício estão contemplados, incluindo os componentes das fundações, sistemas de paredes estruturais (do revestimento externo aos acabamentos interiores), pisos e lajes estruturais (não incluindo acabamentos) e sistemas de cobertura. Ficam de fora das fronteiras as escavações e outras adequações do terreno, equipamentos e controles elétricos e mecânicos, encanamentos, detecção de incêndio e dispositivos de alarme, elevadores e outros sistemas de circulação (USGBC, 2013). Também não são considerados no estudo, a energia operacional e o consumo de água operacional, que correspondem aos módulos B6 e B7 da fase de uso, respectivamente. Delimitou-se, por escolha, que elementos como a proteção solar da fachada e o telhado verde não fossem incluídos no sistema de produto devido à falta de dados adequados, bem como por não representarem possibilidade de alteração no projeto em questão.

Figura 2 – Fronteiras do sistema



Fonte: Elaboração Própria

Quanto à ferramenta, o *software* tem como base de dados “*Australasian LCI - V11 – Life Cycle Strategies*”, de onde foram coletados todos os dados para a fase de inventário. Além disso, utiliza como método de caracterização o CML.

Por meio do uso dessa ferramenta, será verificado o atendimento do critério LEED para ACV. O *software* eToolLCD, conta com uma biblioteca vasta de *Templates* de materiais, produtos e sistemas que podem servir como base da avaliação quando o projeto está ainda em nível conceitual. Esses *Templates* podem ser customizados para que se aproximem mais do produto real ou para que agreguem características de determinado componente, presentes em uma Declaração Ambiental de Produto ou EPD (*Environmental Product Declaration*), por exemplo. As adaptações podem incluir o tipo de transporte utilizado, cenário de manutenção, vida útil do produto, inserção da matriz energética nacional. Um *Template* próprio pode ser criado, desde que formado por componentes da base de dados acoplada ao programa.

Quanto à ACV propriamente dita, a fase de Inventário (ICV) envolveu a coleta e o cálculo dos dados quantitativos da estrutura e envoltória do edifício, baseados nos projetos estrutural, arquitetônico e informações adicionais fornecidas pelas equipes envolvidas. A partir da definição das características da edificação de referência e da edificação proposta, foram elaboradas planilhas de dados de entrada no sistema de produto para cada um dos dois cenários.

Para a edificação proposta, foram realizadas duas alterações, sendo o foco principal das otimizações o sistema estrutural, afinal, concreto e aço se mostraram elementos protagonistas do projeto desde o princípio. Além disso, foi modificado o revestimento das paredes externas de alvenaria. Enquanto que no edifício de referência tinham-se pastilhas cerâmicas, no edifício proposto foi adotada pintura.

Nota-se que, para contemplar demandas conceituais, o desafio de vencer grandes vãos e permitir a flexibilidade da planta, os projetistas estruturais optaram, inicialmente, pelo uso de laje nervurada bidirecional. O edifício referência então utiliza quantitativos baseados nessa tipologia estrutural. Já para o edifício proposto buscou-se adotar um sistema de laje nervurada unidirecional. Segundo Tenório et al. (2009), a laje nervurada unidirecional (LNU) é mais econômica que a laje nervurada bidirecional (LNB), com redução de até 21% de aço e 14% de concreto de uma em relação à outra. A princípio, não foram identificadas restrições técnicas para o uso da laje unidirecional, no entanto, deverá ser conduzida uma avaliação criteriosa por parte dos projetistas para validação da tecnologia.

Em relação à opção por pintura na fachada do edifício proposto em substituição às pastilhas cerâmicas, pretende-se demonstrar uma possibilidade a ser considerada, dado o contexto do estudo e a natureza do projeto em si.

Tanto para a edificação de referência como para a edificação proposta foi utilizada a mesma base de dados, o que assegura similaridade na tecnologia utilizada, geografia e idade dos dados. Portanto, para efeitos de comparação entre os dois cenários, os procedimentos adotados na fase de inventário são considerados apropriados. Porém, como a base de dados é australiana, muitos dados fogem à realidade brasileira, mais especificamente, à localidade de Porto Alegre, o que representa uma grande limitação a esse estudo. A Tabela 1 lista os materiais utilizados nos dois cenários e suas quantidades, demonstrando as diferenças entre o edifício de referência e o edifício proposto. Cabe salientar que, para efeitos de interpretação, foi considerada a classificação indicada pelo *software*, o que poderia confundir o usuário projetista, quando, por exemplo, é dado que as lajes e parte dos pilares fazem parte do item “subestrutura”. Mesmo assim, foi mantida para que não houvesse distorção nos resultados finais produzidos pelo *software*.

Resultados e discussão

O método CML foi utilizado para avaliar os impactos ambientais potenciais nas seis categorias definidas na fase de objetivo e escopo. O *software* eToolLCD gera relatórios com tabelas e gráficos que expressam os resultados dos impactos ambientais potenciais de diversas maneiras: desde resumos dos impactos até resultados individuais para cada categoria, mais detalhados, que fornecem subsídios para análises e comparações.

A tabela 2 mostra o potencial de redução de impactos ambientais constatado no edifício proposto, devido às duas alterações realizadas, relacionados às 7 categorias definidas pela norma EN 15978. Entre elas, apenas a categoria de “Depleção de Recursos Abióticos – Elementos”, não é de avaliação obrigatória para o sistema de certificação LEED, por isso não será abordada neste estudo.

Tabela 1 – Inventário de Materiais do Projeto Referência e Projeto Proposto com as melhorias assinaladas

CLASSIFICAÇÃO eToolLCD	PROJETO REFERÊNCIA				PROJETO OTIMIZADO			
	ELEMENTO	ENTRADA	UNIDADE	QUANT,	ELEMENTO	ENTRADA	UNIDADE	QUANT,
Substructure	Fundações tipo Hélice Contínua	Concreto	m3	203,04	Fundações tipo Hélice Contínua	Concreto	m3	203,04
		Aço	kg	17.291,52		Aço	kg	17.291,52
Substructure	Blocos de fundação	Concreto	m3	63,36	blocos de fundação	Concreto	m3	63,36
		Aço	kg	5.040,00		Aço	kg	5.040,00
		Fôrmas	m2	237,60		Fôrmas	m2	237,60
Substructure	Vigas de baldrame	Concreto	m3	6,20	Vigas de baldrame	Concreto	m3	6,20
		Aço	kg	466,80		Aço	kg	466,80
		Fôrmas	m2	58,20		Fôrmas	m2	58,20
Substructure Superstructure (fôrmas)	Paredes cortina (subsolo)	área de superfície	m2	280,71	Paredes cortina (subsolo)	área de superfície	m2	280,71
Substructure Superstructure (fôrmas e aço)	Pilares	Concreto	m3	41,50	Pilares	Concreto	m3	41,50
		Aço	kg	6.324,60		Aço	kg	6.324,60
		Fôrmas	m2	541,50		Fôrmas	m2	541,50
Substructure	Lajes (tipo nervurada biidirecional)	Concreto	m3	483,24	Lajes (tipo nervurada unidirecional)	Concreto - Redução de 14'	m3	415,58
		Aço	kg	68.447,08		Aço - Redução de 21%	kg	54.073,19
		Fôrmas	m2	1.567,12		Fôrmas	m2	1.347,72
Superstructure (argamassa e blocos) Internal Finishes	Paredes externas	Bloco concreto 19cm + argamassa de assentamento +	m2	780,88	Paredes externas	Bloco concreto 19cm + Argamassa de reboco	m2	780,88
		Acabamento interno em pasta de gesso e pintura	m2	713,91		Acabamento interno em pasta de gesso e pintura	m2	713,91
		Pastilhas cerâmicas 5mm	m2	713,91		Pintura externa 3 camadas	m2	713,91
Superstructure	Esquadrias externas Janelas e Portas	Alumínio + vidro de alto desempenho térmico	kg	441,17	Esquadrias externas Janelas e Portas	Alumínio + vidro	kg	441,17
Superstructure	Impermeabilização cobertura	Manta isolante termorefle	m2	212,00	Impermeabilização cobertura	Manta isolante termorefle	m2	212,00
Internal Finishes	Piso terraço	Piso cerâmico	m2	22,00	Piso terraço	Piso cerâmico	m2	22,00

Fonte: Elaboração própria

Nota-se que houve redução do potencial de impacto ambiental de ao menos 10% em 4 das 6 categorias avaliadas pela certificação. De forma geral, nessas categorias, as reduções potenciais de impacto constatadas se deram devido à diminuição de 14% do uso de concreto, principalmente em função da redução do cimento, e de 21% do consumo de aço. Esta análise pode ser fundamentada a partir dos gráficos que apontam um comparativo entre o edifício de referência e o edifício proposto quanto aos elementos da edificação e os materiais de maior impacto para cada categoria, conforme exemplificado na análise da categoria Mudanças Climáticas, a seguir (Figura 3). Como o modelo estudado considera apenas componentes da estrutura e da envoltória, esses materiais têm um peso significativo na avaliação, conforme é demonstrado também na tabela 2, que apresenta a participação de cada estratégia nas melhorias totais obtidas.

Tabela 2 – Percentual de redução de impactos do edifício otimizado em relação ao edifício de referência

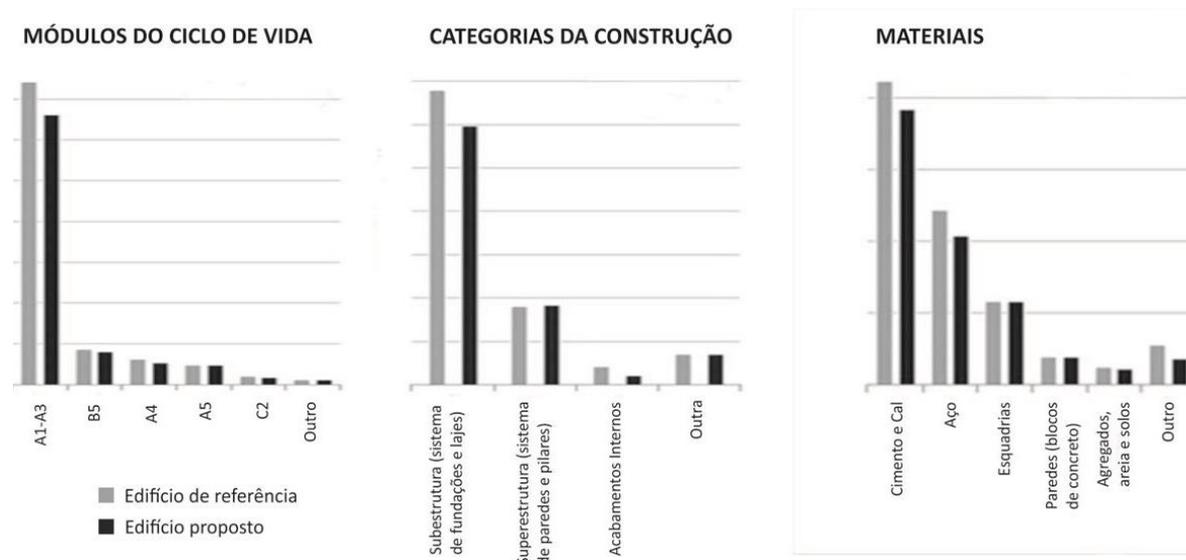
Caracterização de impactos do edifício como um todo		Projeto de referência	Projeto otimizado	Melhorias do Projeto otimizado contra o Projeto de referência	Substituição material paredes externas	Redução do material das lajes
Mudanças climáticas	kg CO2 eq	9,68e+5	8,70e+5	10%	1,62%	8,43%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq	1,62e+4	1,51e+4	7%	0,81%	5,53%
Acidificação	kg SO2 eq.	3,60e+3	3,27e+3	9%	1,15%	8,01%
Eutrofização	kg PO4 eq	7,15e+2	6,46e+2	10%	1,38%	8,16%
Formação de Ozônio Fotoquímico	kg ethylene	4,14e+2	3,64e+2	12%	0,33%	11,85%
Depleção de Recursos Abióticos - Elementos	kg SB eq	1,08e+1	6,44e+0	41%	34,92%	5,66%
Depleção de Recursos Abióticos Combustíveis fósseis	MJ	7,61e+6	6,71e+6	12%	2,83%	9,03%

Fonte: Adaptado de eToolLCD

Entre as informações fornecidas pelo relatório do eToolLCD, estão os gráficos que demonstram resultados individualizados para as sete categorias de impacto, indicando: a) as cinco fases do ciclo de vida em que são observados os maiores impactos para cada categoria; b) a contribuição dos diferentes elementos da edificação; c) os cinco materiais que mais contribuem para os impactos ambientais; d) a contribuição dos equipamentos e mão de obra. Neste trabalho foram selecionados para apresentação os três gráficos mais relevantes referentes à categoria “Mudanças climáticas”, conforme apresentados no relatório emitido pelo software. Ainda assim, para um projetista ou outro tomador de decisão não especialista, os hotspots constatados não seriam tão facilmente decifrados,

necessitando de um maior desmembramento dos resultados. Além disso, o fato de lajes, por definição do software, fazerem parte do item “subestrutura”, gera confusão durante a livre interpretação dos resultados.

Figura 3 – Resultados para Mudanças Climáticas



Fonte: Adaptado de eToolLCD

Para a categoria “Mudanças Climáticas”, considerada mandatória pela certificação LEED, observa-se que a proporção de contribuição da fase de produção é muito maior do que das demais fases do ciclo de vida, tanto para o edifício de referência como para o edifício proposto. O principal motivo para este resultado é o fato de o consumo de energia e água operacionais não serem considerados nas fronteiras do sistema, por determinação do escopo da certificação LEED. Estudos já demonstraram a importância da energia operacional na contribuição à categoria mudanças climáticas (RAMESH et al., 2011). Entre os elementos da construção, destaca-se a contribuição da subestrutura, assim classificada pelo software, composta por elementos representativos como o sistema de fundações e as lajes, conforme indicado na tabela 2. Com relação aos materiais, cimento e cal lideram as emissões, seguidos pelo aço. Juntos, estes materiais representam em torno de 70% das emissões totais de CO₂ eq. Esta é uma tendência já demonstrada em estudos anteriores, como em Silva et al (2013) e Saade et al (2014), motivo pelo qual os esforços para a redução de impactos do sistema de produto em estudo focaram na estrutura da edificação. Segundo Silva et al. (2103), o cimento Portland e o concreto usinado são tidos como os principais contribuintes em energia incorporada e emissões de carbono e devem ser cuidadosamente monitorados durante o projeto.

Nota-se que, embora o gráfico não deixe claro, para o estudo foi considerado modalidades de transporte regionais, já que o software permitia essa adaptação. Em quase todos os itens comparados, há uma redução do impacto do edifício de referência para o edifício proposto.

Conclusões e recomendações

Os impactos ambientais potenciais comparados nos dois cenários da edificação objeto indicam uma redução de impactos entre 7% e 12% nas seis categorias consideradas pela certificação LEED. Não foi constatado aumento de impacto em nenhuma das categorias, embora a certificação permita aumentos inferiores a 5%.

Do ponto de vista da técnica de ACV, existiu uma limitação pela ferramenta utilizar uma base de dados estrangeira, o que não garante relevância geográfica aos modelos, mas isto não impede atendimento ao previsto na certificação. Ficou evidente que a escolha dos materiais e técnicas construtivas a serem utilizados em uma construção, em fase de projeto, é uma decisão determinante para o estabelecimento dos impactos ambientais que serão causados pela futura edificação ao longo de todo o seu ciclo de vida. O uso do *software* eToolLCD como suporte ao projeto possibilitou, em pouco tempo, testar diferentes soluções, as quais nortearam as escolhas finais de materiais.

Como a certificação LEED permite o uso tanto de ferramentas de ACV simplificadas, para projetistas, como de ferramentas para especialistas, aventa-se a possibilidade de comparar os resultados obtidos em dois tipos de *software* a partir de modelos semelhantes. Uma opção para um estudo futuro seria comparar a experiência de uso, o processo e os resultados obtidos no *software* eToolLCD, para projetistas, e na ferramenta Open LCA, para especialistas. Ainda, como estudo complementar, seria possível avaliar a redução do fator de geração de resíduos ou fator de perda dos materiais na edificação otimizada, além disso da possibilidade de customização dos concretos utilizados com a substituição do cimento por outros tipos menos impactantes, como o cimento CPIII ou CPIV, ambos disponíveis no Brasil. Finalmente, outra continuidade pretendida ao estudo é realizar uma comparação dos resultados obtidos com resultados para inventários brasileiros, de modo que se possa afirmar a validade das premissas do LEED mesmo se desconsiderados dados regionais.

Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições que apoiam os pesquisadores envolvidos neste estudo: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Referências

- BRIBIÁN, I. Z.; USÓN, A. A.; SCARPELLINI, S. **Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification**. *Building and Environment*, v. 44, n. 12, p. 2510–2520, 2009.
- CHAU, C.k.; LEUNG, T.m.; NG, W.y.. A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings. *Applied Energy*, [s.l.], v. 143, p.395-413, abr. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.023>.
- KHASREEN, M. M.; BANFILL, P. F. G.; MENZIES, G. F. **Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review**. *Sustainability*, v. 1, n. 3, p. 674–701, 2009.
- RAMESH, T.; PRAKASH, Ravi; SHUKLA, K.k.. Life cycle energy analysis of a residential building with different envelopes and climates in Indian context. **Applied Energy**, [s.l.], v. 89, n. 1, p.193-202, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.05.054>.
- SAADE, Marcella Ruschi Mendes et al. Material eco-efficiency indicators for Brazilian buildings. **Smart And Sustainable Built Environment**, [s.l.], v. 3, n. 1, p.54-71, 13 maio 2014. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/sasbe-04-2013-0024>.
- SILVA, M. G. et al. Study of embodied energy and CO as eco-efficiency descriptors of Brazilian building materials. In: INTERNATIONAL 21 CONFERENCE ON LIFE CYCLE ASSESSMENT IN LATIN AMERICA - CILCA 2013, **Anais...** [s.l.: s.n.]
- TENÓRIO, Daniel Almeida et al. Aspectos Técnicos e Econômicos de Lajes Nervuradas Unidirecionais e Bidirecionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 51., 2009, Curitiba. **Anais do 51º CBC 2009**. São Paulo: Ibracon, 2009. p. 1 - 16.
- U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. **Leed Reference Guide for Building Design and Construction**, 2013.
- WU et al. **A decade review of the credits obtained by LEED v2.2 certified green building projects**. *Building and Environment*, v. 102, p. 167–178, 2016.