

USO DO APLICATIVO TALLY NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE EDIFÍCIOS

Estudo de caso com uma edificação multifamiliar brasileira

USE OF THE TALLY APPLICATION TO BUILDINGS LIFE CYCLE ASSESSMENT

Case study of a Brazilian multi-family housing

Raísa Machado Rinkevicius¹, Michele Ferreira Dias Morales² e Alessandra Teribele³

Resumo

A necessidade de minimização dos impactos ambientais gerados pela construção civil tem-se evidenciado na indústria da construção. A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) constitui-se uma das principais ferramentas para auxiliar essa redução, porém a grande quantidade de dados de entrada relacionada às edificações dificulta sua aplicação. O *Building Information Modelling* (BIM) surge como alternativa, facilitando o processo de elaboração da ACV. Esse estudo tem o objetivo de verificar o uso do BIM, por meio do aplicativo Tally, na ACV de uma edificação brasileira com foco no sistema de envoltória. Os resultados demonstraram que o aplicativo, associado ao *software* REVIT, auxiliou a elaboração da ACV, viabilizando diversas comparações e subsidiando o processo de tomada de decisão durante a etapa de projeto. Entre as limitações encontradas destacam-se as diferenças regionais relacionadas ao transporte e produção dos materiais, visto que a base de dados do Tally é proveniente de outro país.

Palavras-chave: Modelo de Informação da edificação, Tally, impacto ambiental das edificações, ferramenta de apoio ao projeto.

Abstract

The need to reduce the environmental impacts generated by the construction industry has been in evidence. The Life Cycle Assessment (LCA) is one of the main tools to support this reduction. Nonetheless, the large amount of input data related to buildings, makes it difficult to use the tool. Building Information Modeling (BIM) appears as an alternative, facilitating LCA modeling. This study aims to verify the use of BIM, by using the application Tally in the LCA of a Brazilian building focusing on the building envelope. Results showed that the application associated with the REVIT software, supported the LCA modeling and calculation, enabling several comparisons and supporting the decision-making process during the project stage. Among the limitations, the regional differences related to the transport and production of materials can be highlighted, due to the Tally database be from another country.

Keywords: Building Information Modeling, Tally, buildings environmental impacts, project support tool.

¹ Engenheira Civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS/2019)

² Doutora em Engenharia Civil pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (UFRGS/2019). Mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (UNISINOS/2013). Arquiteta e Urbanista pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS/2010).

³ Doutora em Arquitetura pelo Programa de Pós Graduação em Arquitetura (UFRGS/2016). Mestre em Arquitetura pelo Programa de Graduação em Arquitetura (UFRGS/2011). Arquiteta e Urbanista pela Universidade Estadual de Londrina (UEL/1998).

Introdução

A construção civil apresenta percentuais consideráveis de consumo de recursos naturais e emissão de gases poluentes, devido aos seus processos e à produção dos materiais de construção, colecionando assim altos índices de impactos ambientais, além de uma elevada responsabilidade na degradação do meio ambiente (PASSUELLO *et al.*, 2014). A urgência de se encontrar formas alternativas para minimização dos impactos do setor, atuando de maneira mais sustentável, tem-se mostrado cada vez mais presente no mercado atual, devido principalmente, à escassez dos recursos naturais, essenciais aos processos dessa indústria, bem como, aos efeitos nocivos ao meio ambiente causados pelos seus procedimentos (CBIC, 2014; DÍAZ; ANTÓN, 2014; ABNT NBR ISO 14040, 2009).

De acordo com Medeiros, Durante e Callejas (2018), o setor apresenta grande parcela no consumo de matéria-prima extraída da natureza (com índices entre 14% a 50%), no consumo de recursos hídricos (16% do consumo global) e no consumo de energia (chegando ao percentual de 40%). Além da exploração desses recursos, apresenta, ainda, uma alta cota sobre a geração de resíduos sólidos, estimada entre 40% a 70% e sobre as emissões de gases causadores do efeito estufa lançados na atmosfera (atingindo 10% dessa contribuição).

Buscando garantir o desenvolvimento do setor na atualidade sem lesar as futuras gerações, procurando assegurar a redução dos impactos gerados, além de atender a crescente exigência da sociedade moderna pela sustentabilidade, o setor da construção civil tem apresentado uma reorganização na maneira de elaborar e aprimorar seus processos (CAMPOS, 2012).

Com elevado potencial para viabilizar a otimização dos danos gerados pela construção civil, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) vem sendo aplicada em diversos estudos voltados à análise dos impactos ambientais de edificações. No âmbito nacional, podem ser citados alguns estudos realizados, tais como Morales *et al.* (2019), Evangelista (2017), Caldas, Lira e Sposto (2017) e Moraga (2017). Tais estudos utilizam softwares específicos para ACV como: OpenLCA e SimaPro, demandando conhecimentos específicos. Na maior parte dos casos, a aplicação da ACV ocorre no estágio de projeto, auxiliando o processo de tomada de decisão e garantindo aumento do desempenho ambiental das edificações. Essa integração, entre a ACV e o processo de projeto, quando realizada na etapa de seleção das alternativas de construção, proporciona alterações de forma rápida e fácil e melhorias na seleção de materiais e processos construtivos (RÖCK *et al.*, 2018). Desta maneira, a ACV apresenta-se como uma importante aliada ao setor, pois possibilita a análise da edificação em nível global ou em nível de sistema, abrangendo todas as suas fases (fabricação, construção, uso e operação). Permite a comparação e seleção de materiais e processos construtivos através de inventários de entradas e saídas, auxiliando na determinação da melhor alternativa sobre a ótica ambiental (SANTOS; AGUIRRE; CANALLI, 2016; SOARES; SOUZA; PEREIRA, 2006).

Apesar de suas vantagens, a ACV é um processo de alta complexidade, principalmente no que se refere à construção civil, pois apresenta uma alta quantidade de dados de entrada (materiais, sistemas e subsistemas), além de incluir uma infinidade de possibilidades de combinação desses dados (BUENO; FABRÍCIO, 2016; GOMES; BARROS, 2018). Como alternativa a estes obstáculos, que interferem na implementação da ACV na construção civil, o *Building Information Modelling* (BIM), conceituado com uma ferramenta de integração interdisciplinar capaz de atribuir informações características aos objetos de projeto, apresenta uma grande eficácia no auxílio de estudos de ACV. Sua principal utilidade ocorre na etapa de Inventário de

Ciclo de Vida permitindo que os quantitativos sejam extraídos de forma automática; garantindo a atualização dos mesmos em casos de alterações de projeto. Atualmente esse processo é realizado de forma manual pelos projetistas, o que acarreta na recontagem dos elementos caso haja modificações de projeto, além de aumentar a ocorrência de possíveis erros na quantificação (EASTMAN *et al.*, 2014; GOMES; BARROS, 2018).

Embora, estudos demonstrem as potencialidades do uso do BIM na elaboração da ACV sua aplicação no contexto brasileiro ainda tem sido pouco explorada. Neste contexto esse estudo tem o objetivo de verificar o potencial uso do BIM, por meio do aplicativo Tally na Avaliação do Ciclo de Vida dos sistemas de envoltória (vedação vertical e cobertura) de uma edificação multifamiliar brasileira construída no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV).

Revisão teórica

ACV de edificações

Comumente utilizada internacionalmente e com recente aplicação nos projetos brasileiros, a ACV é uma ferramenta de gestão ambiental estratégica, que permite demonstrar os impactos ambientais das edificações (SANTOS; AGUIRRE; CANALLI, 2016), englobando e avaliando os potenciais danos que determinado produto pode acarretar ao ecossistema durante todo o seu ciclo de vida (MEDEIROS; DURANTE; CALLEJAS, 2018), incluindo nessa análise as etapas de produção, uso/operação, demolição e disposição final (SILVA; SILVA, 2000).

A ACV permite analisar e comparar os impactos ambientais gerados por sistemas diferentes, mas que possuem funções similares, permitindo, sob a ótica ambiental, a comparação entre si, através de inventários do fluxo de matéria e energia desses sistemas.

As Normas ABNT NBR ISO 14040 (2009) e ABNT NBR ISO 14044 (2009) especificam as quatro fases principais da ACV. Os critérios que cada uma dessas fases deve cumprir fazem parte do escopo das normas da série ISO 14000 e podem ser descritos conforme demonstra a Figura 1.

A fase de definição do objetivo e escopo refere-se ao processo onde são estipulados os objetivos, limitações e restrições do estudo, na qual se estabelecem algumas definições

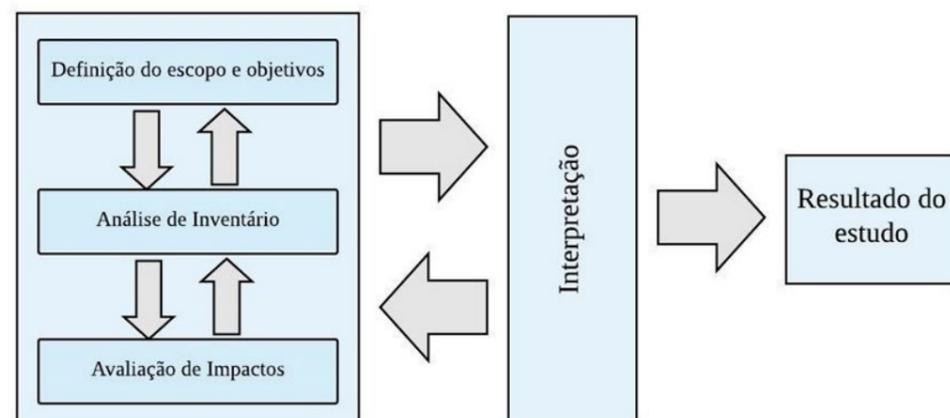


Figura 1: Estrutura de ACV. Fonte: Adaptado de Khasreen, Banfill, Menzies (2009, p. 678).

como: a identificação dos limites do sistema, especificando-se, por exemplo, se o estudo englobará o completo tempo de vida do produto ou se será avaliada somente a fase de produção ou uso; unidade funcional; qualidade de dados; e outros limites (KHASREEN; BANFILL; MENZIES, 2009). A delimitação das fronteiras do sistema especifica quais etapas serão analisadas, ou seja, se esse sistema será avaliado do berço (extração de matérias-primas) ao túmulo (demolição), podendo englobar ainda os processos de produção, distribuição, utilização e reparação eventual (SOARES; SOUZA; PEREIRA, 2006). A unidade funcional trata dos parâmetros, aos quais todas as entradas e saídas estão relacionadas. Se referindo à construção civil, há diversas possibilidades de definição da unidade funcional que podem ser consideradas, como por exemplo: m², m³, número de ocupantes, entre outros (KHASREEN; BANFILL; MENZIES, 2009).

As etapas da avaliação do ciclo de vida de uma edificação, segundo EN 15978:2011, são divididas em (Quadro 1): Etapa do produto (A1 ao A3); Etapa de construção (A4 ao A5); Etapa de uso (B1 ao B7); Etapa de fim de vida (C1 ao C4) e Módulo D (opcional) (CEN, 2011).

Etapa do produto (A1-A3)	Etapa de construção (A4-A5)	Etapa de uso (B1-B7)	Etapa de fim de vida (C1-C4)
A1. Extração da matéria prima	A4. Transporte da fábrica ao canteiro	B1. Uso	C1. Demolição
A2. Transporte	A5. Construção e instalação do sistema	B2. Manutenção	C2. Transporte
A3. Fabricação		B3. Reparo	C3. Processamento dos resíduos
		B4. Substituição	C4. Disposição final
		B5. Remodelação	C5. Reuso, recuperação e potencial reciclagem
		B6. Energia Operacional	
		B7. Água operacional	

Quadro 1: Diferentes etapas da avaliação ambiental de edificações. Fonte: dos autores, 2020.

Segundo a EN 15978 (2011) a etapa de produto (A1-A3) abrange toda a fase de fabricação, incluindo a extração de matéria-prima, processamento de materiais, transporte intermediário, fabricação e montagem final. Nesta etapa se exclui as infraestruturas (edifícios e máquinas) necessárias para fabricação e montagem de materiais de construção. O módulo A4 corresponde ao transporte do fabricante até o local da obra, durante a fase de construção da edificação. O módulo A5 inclui os processos de instalação do edifício, englobando as etapas de terraplanagem e paisagismo, instalações provisórias, transporte dentro do canteiro e a água consumida para limpeza do local ou abastecimento de máquinas. Já a etapa de uso (B1-B5) abrange a manutenção, reparo, substituição e remodelação de elementos. Os módulos B6 e B7 incorporam a energia, consumo de gás natural e consumo de água previsto no local da construção durante a vida útil da mesma. A etapa de fim de vida corresponde a demolição da edificação, transporte de resíduos da construção para o tratamento de fim de vida, processamento e eliminação de resíduos, disposição

final em aterros sanitários e possível recuperação ou reciclagem de materiais (CEN, 2011).

Quanto a fase de análise de inventário, a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009) estabelece diversas etapas, sendo elas: coleta de dados; cálculo de dados (que envolve a validação dos dados coletados, relacionando-os aos processos unitários e à unidade funcional) e procedimentos de alocação no caso de estudos que envolvem sistemas com múltiplos produtos. A escolha dos dados mais apropriados é crítica, pois a qualidade das fontes é de demasiada importância para garantir a correção dos resultados, bem como, em alguns casos, determinar o nível de qualidade do estudo. Em casos de edifícios com produtos complexos, esta etapa se torna mais demorada, pois a coleta de dados inclui todos os dados relacionados a insumo-produto de energia e fluxo de massa e emissões de gases na atmosfera, tais como: obtenção das matérias-primas, fabricação do produto, transporte, uso e descarte (KHASREEN; BANFILL; MENZIES, 2009, SANTOS *et al.*, 2011).

A fase de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) utiliza-se dos resultados obtidos na etapa de análise do inventário, e a partir desses dados, avalia a significância dos potenciais impactos ambientais, por meio de modelo e fatores contidos nos métodos de ACV. É neste processo que se envolve a associação de dados do inventário com impactos ambientais específicos e tenta-se compreender estes impactos. Os níveis de detalhe, a escolha dos impactos e as metodologias utilizadas fazem referência às definições propostas no objetivo e no escopo do estudo (MENDES; BUENO; OMETTO, 2016; SANTOS; AGUIRRE; CANALLI, 2016).

Conforme Mendes, Bueno e Ometto (2016), há diversos métodos de AICV desenvolvidos em sua maioria na Europa e utilizados ao redor do globo, inclusive no Brasil. Cada um desses métodos avalia diferentes categorias de impacto por meio de uma série de modelos de caracterização. Dentre os métodos mais comumente utilizados para avaliar produtos da construção civil podem ser citados: Potencial de Aquecimento Global, Potencial de Acidificação, Potencial de Eutrofização, Potencial de Formação de Poluição Atmosférica e Energia Não Renovável.

O potencial de aquecimento global quantifica as emissões de gases do efeito estufa, como o dióxido de carbono e metano. Como consequência da emissão desses poluentes, tem-se a destruição da camada de ozônio e maior absorção de radiação pela Terra, resultando em impactos adversos à saúde humana, do ecossistema e no bem-estar material. Define-se potencial de acidificação o aumento da concentração de íons de hidrogênio (H+) nos corpos hídricos, ocasionando a diminuição do pH da água. Resulta em efeitos como a deterioração dos materiais de construção, mortalidade de peixes e declínio florestal. Já o potencial de eutrofização caracteriza-se pelo aumento de macronutrientes (especialmente o nitrogênio e o fósforo), ocasionando em uma elevada produção de biomassa, tanto em ecossistemas terrestres, quanto em ecossistemas aquáticos. Potencial de formação de poluição atmosférica é a categoria de impacto ambiental associada à quantificação da presença de ozônio no solo, causada pelas reações entre óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis. Pode ocasionar danos à saúde humana como bronquite, asma e enfisema. E por fim, energia não renovável é a medida da energia extraída de recursos não renováveis, como o petróleo e o gás natural (TALLY, 2019).

A aplicação do BIM na ACV de edificações

A ACV de edificações é considerada um processo de alta complexidade. Isto se deve em parte por englobar todas as fases das edificações, gerando inúmeras

possibilidades de combinações de materiais e procedimentos alternativos na busca pela minimização desses impactos. Facilitando o processo de avaliação, a tecnologia BIM apresenta um potencial efetivo de aplicação em estudos de ACV, principalmente na fase de inventário, possibilitando a quantificação automática dos materiais utilizados (GOMES; BARROS, 2018). Outro benefício que a tecnologia BIM proporcionaria à ACV é a inclusão de informações nas diferentes famílias de projeto, permitindo ao projetista identificar as características ambientais de determinado objeto quando selecionado no modelo, permitindo a inclusão de critérios ambientais já na fase de pré-projeto (DÍAZ; ANTÓN, 2014).

O conceito da metodologia BIM pode ser definido como conjunto de políticas, processos e tecnologias que, agregados, são capazes de gerar um modelo virtual real. Esse modelo integrado às informações e dados de uma determinada edificação, possibilita a sua gestão e gerenciamento, além de ensaiar seu desempenho, utilizando-se de ferramentas computacionais para tal fim. Trata-se da plataforma que permite a integração de todas as informações do objeto construído, antecipando os eventuais problemas e definições do projeto (CBIC, 2016). Baseado na sua definição, o BIM pode ser aplicado nos diversos processos da construção, desde a concepção da ideia, até as fases de projeto, construção, uso e operação da edificação, sendo empregado ao longo de todo ciclo de vida do empreendimento (ASBEA, 2013; CBIC, 2016).

Röck *et al.* (2018) destaca ainda que a ACV cada vez mais exigirá a integração com ferramentas BIM, a fim de se apoiar a tomada de decisões, visto que as variadas disciplinas envolvidas na construção apresentam a tendência da aplicação BIM. Díaz e Antón (2014) realçam algumas outras vantagens na integração ACV+BIM: maior possibilidade de se acondicionar os três pilares da sustentabilidade (ambiental, social e econômico); uso mais abrangente de critérios ambientais pelos diferentes agentes da construção e maior êxito na avaliação ambiental.

Já existem *softwares* no mercado que realizam a interoperabilidade entre a ACV e o BIM, dentre eles Bueno e Fabricio (2016) citam:

a) *Autodesk Green Building Studio*®: apesar de não ser desenvolvido especialmente para estudos de ACV, pode ser utilizado como ferramenta de apoio. Está em desenvolvimento para se tornar um aplicativo compatível com o *software* Revit®. Permite, entre outras funções, a análise energética de edifícios completos, relatórios de emissões de carbono, potencial de ventilação natural, análise de eficiência energética e uso da água;

b) *eToolLCD*: aplicativo desenvolvido para estudos de ACV que permite a produção de relatórios detalhados de edifícios completos;

c) *Lesosai*: compatível com os *softwares* Revit® e Archicad, avalia os impactos ambientais provenientes do consumo de energia, utilizando-se para cálculo a base de dados Ecoinvent;

d) *LCADesing*™: *software* capaz de gerar resultados como arquivo BIM, utilizando-se de dados genéricos e modelagem simplificada para avaliação ambiental de edifícios;

e) *Tally*: aplicativo que pode ser instalado no *software* Revit®, que busca a integração direta ACV e BIM, onde se é possível vincular os elementos modelados a um banco de dados de informações

ambientais.

Por ter como princípio básico a integração de tempo real dos elementos modelados e a adição de informações características dos objetos incorporados ao projeto, a metodologia BIM apresenta grande potencial no auxílio nos estudos de ACV, principalmente pela conveniência de se vincular vários aspectos em uma plataforma de dados comum, a facilidade de gerenciamento das diferentes disciplinas incorporadas, a facilidade de identificação da unidade funcional e pela automatização da extração de dados referentes à edificação estudada (RÖCK *et al.*, 2018).

Método de pesquisa

O procedimento metodológico utilizado foi o estudo de caso. Este método é definido por Costa e Costa (2011) como um estudo detalhado e profundo, limitado a uma ou poucas unidades. Yin (2015) ainda salienta que essa metodologia é empregada em casos em que o pesquisador possui pouco ou nenhum controle sobre o comportamento da pesquisa e busca responder principalmente as questões de como ou por quê o estudo está sendo realizado, apresentando como foco da proposta um fenômeno contemporâneo.

Foi selecionada para o estudo uma edificação de uso multifamiliar do PMCMV concluída no ano de 2014, construída na região sul do Brasil. Refere-se a um complexo de habitação com nove blocos, no qual cada edifício possui 5 pavimentos com 4 apartamentos por andar, totalizando uma área bruta construída de 1.011,35 m² por bloco e com área útil construída de 40,1 m² por unidade habitacional (Figura 2). Esta edificação já foi alvo de outros estudos realizados por Morales *et al.* (2017) e Morales *et al.* (2019).

O sistema construtivo da edificação é composto por vedação vertical do tipo blocos cerâmicos estruturais de 14x19x39 cm, grauteado e reforçado com aço CA-50, assentados com argamassa de múltiplo uso, possuindo revestimento argamassado interno (e=1,0 cm) e externo (e= 2,5 cm) e finalizado com selador e tinta acrílicos. Já o sistema de cobertura é constituído por telha cerâmica do tipo francesa (38x23x15 cm), estrutura metálica e laje pré-moldada de concreto, tipo maciça (e=10 cm). Para fins comparativos, adicionou-se ao modelo do projeto o isolamento com lã mineral, buscando atingir um maior desempenho térmico para o sistema estudado. A edificação é pertencente à fase 2 do PMCMV e se enquadrou na faixa 2 do programa (renda de até R\$4.000 ou três salários mínimos).

Para as análises de ACV, efetuadas neste estudo, foi utilizada a licença estudantil do aplicativo Tally, versão 2018, incorporado ao *software* Autodesk Revit 2017. Esta ferramenta foi selecionada, pois permite que profissionais da construção (arquitetos e engenheiros) realizem uma análise, tanto a nível global do edifício, como também, a nível comparativo entre possíveis opções de projeto, enquanto fazem estudos do impacto ambiental dos materiais de construção empregados na edificação (KT INNOVATIONS, 2018). Além disso, o Tally possui interface de fácil compreensão e não requer práticas especiais de modelagem.

Definição do objetivo e escopo da ACV

O objetivo da ACV realizada neste estudo é comparar diferentes sistemas de envoltória (vedações verticais externas e cobertura) aplicáveis ao projeto selecionado. Devido a alta complexidade da ACV na construção civil, e ao fato de que, para o setor, a ACV

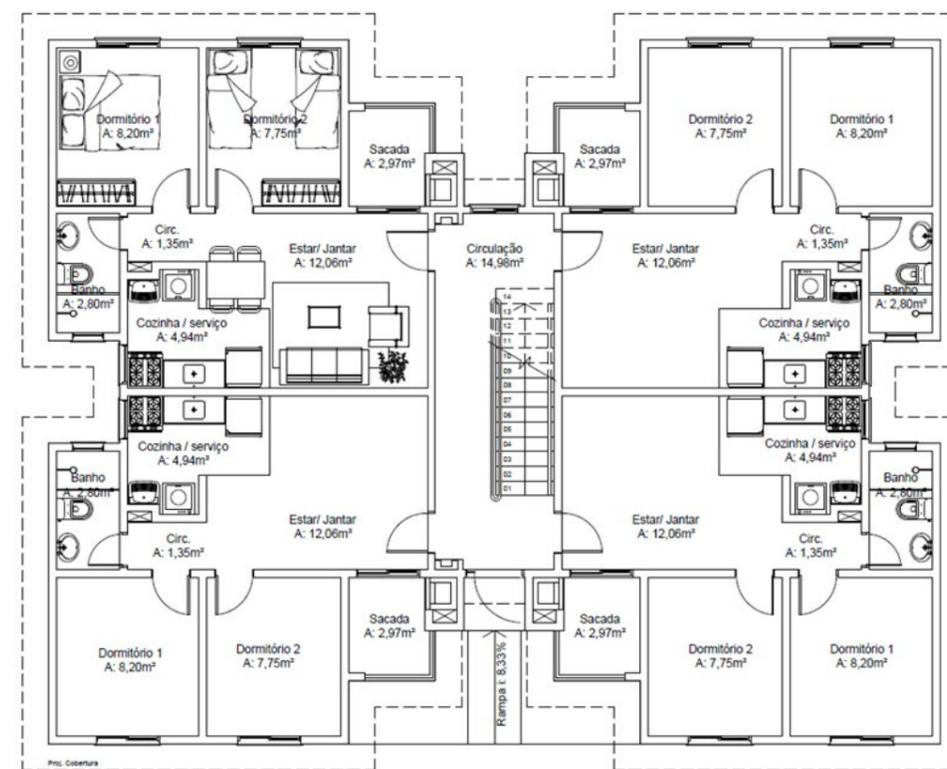


Figura 2: Planta baixa da edificação em estudo. Fonte: Morales *et al.* (2017).

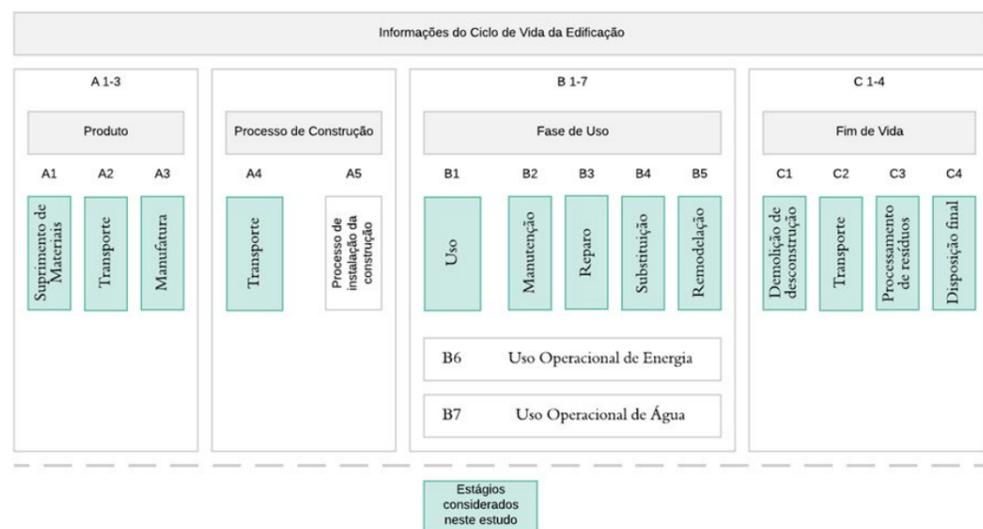
abrange tradicionalmente dois aspectos principais: os materiais e a fase de operação das edificações, este estudo limitou-se aos sistemas de envoltória devido a grande disponibilidade de variedade de materiais para estes sistemas atualmente, além de representarem o maior volume construtivo nas edificações populares (BUENO; FABRICIO, 2016; GOMES; BARROS, 2018; AZEVEDO *et al.*, 2020).

Estes sistemas foram escolhidos baseados também nos estudos de Condeixa *et al.* (2014), Bueno *et al.* (2016), Souza *et al.* (2016), Caldas *et al.* (2016), Azevedo *et al.* (2020), que analisaram o potencial de sustentabilidade de diferentes sistemas de envoltória para a realidade brasileira. (CALDAS *et al.*, 2017).

O escopo da ACV engloba todo o ciclo de vida da edificação, ou seja, foi realizada do berço ao túmulo, excluindo-se apenas as etapas de produção da edificação - canteiro (A5) e uso operacional de energia e água (B6 e B7). A Figura 3 ilustra os estágios considerados neste estudo. A unidade funcional utilizada no estudo foi 1m² de área de edificação, baseando-se no estudo de Bueno e Fabricio (2016), onde os autores utilizaram como unidade funcional 1 m² de um sistema externo não estrutural. Estimou-se vida útil de 60 anos para edificação, utilizando-se o padrão utilizado pelo aplicativo, visto que esta especificação atende ao requisito mínimo de desempenho recomendado pela NBR-15575-1 (ABNT, 2013).

A análise foi aplicada à três opções de sistemas de vedação e duas opções de sistema de cobertura para o projeto selecionado. Para a execução das análises optou-se por avaliar separadamente os sistemas de vedação e os sistemas de cobertura. Os sistemas (exemplificados no Quadro 3) foram selecionados por serem comumente utilizados em construções habitacionais multifamiliares, conforme demonstrado no estudo de Reguly *et al.* (2017). Além disso, estes sistemas são recomendados pelo Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H).

Figura 3: Estágios pertencentes ao escopo do estudo de ACV. Fonte: Adaptado de BS EN 15978 (2011, p. 21).



Quadro 2: Sistemas construtivos avaliados e seus componentes. Fonte: dos autores, 2020.

Sistema 1	Componente considerados por sistema			
	Sistema 2	Sistema 3		
	Cobertura Est Met	Cobertura Est Mad		
Cobertura	Telha Cerâmica	Telha Cerâmica	-	
	Lã Mineral	-		
Estrutura metálica	Estrutura de madeira	-		
	Parede Cer Arg	Parede Cer Ges	Parede Conc Arg	
Sistemas de vedação vertical	Paredes Externas	Bloco Cerâmico	Bloco Cerâmico	Bloco de Concreto
		Revestimento argamassa (interno)	Revestimento em gesso (interno)	Revestimento argamassa (interno)
		Revestimento argamassa (externo)	Revestimento argamassa (externo)	Revestimento argamassa (externo)
	Esquadrias	Pintura com tinta acrílica	Pintura com tinta acrílica	Pintura com tinta acrílica
		Madeira (portas)	Madeira (portas)	Madeira (portas)
		Alumínio (janelas)	Alumínio (janelas)	Alumínio (janelas)
		Vidro temperado	Vidro temperado	Vidro temperado
Lajes	Concreto maciço	Concreto maciço	Concreto maciço	

Análise de inventário

A coleta de dados para o Inventário de Ciclo de Vida foi realizada através da extração dos quantitativos dos materiais empregados nos sistemas construtivos, selecionados no *software* Autodesk Revit®, por meio da modelagem dos elementos construtivos adotados no projeto. Em casos de comparação de sistemas construtivos distintos, o Tally exige a divisão dos *designs* de projeto no modelo arquitetônico do Revit, utilizado-se da ferramenta “opções de projeto”. Para as análises globais do edifício, o aplicativo disponibiliza a opção de considerar todos os elementos envolvidos, havendo ainda a possibilidade de comparação dos elementos de forma individual. Quanto ao transporte dos materiais até a obra, foram consideradas as distâncias de transporte de cada material conforme dados fornecidos pelo aplicativo Tally.

Avaliação do impacto do ciclo de vida

Para o cálculo da Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida foram utilizadas as seguintes categorias, sendo elas: Potencial de Aquecimento Global (kg de CO₂-Eq.), Potencial de Acidificação (kg SO₂-Eq.), Potencial de Eutrofização (kg N-Eq.), Potencial de Formação de Poluição Atmosférica (kg O₃-Eq) e Energia Não Renovável (MJ).

Modelagem BIM

Para a modelagem BIM e as análises de ACV efetuadas neste estudo, foi utilizada a licença estudantil do aplicativo Tally, versão 2018, incorporado ao *software* Autodesk Revit® 2017. O Tally fornece análise de todos os estágios do ciclo de vida da edificação e neste estudo foi utilizado para a comparação de diferentes possibilidades de vedação e cobertura. Este aplicativo foi selecionado pois, de acordo com KT Innovations (2018), permite que profissionais da construção possam realizar estudos de impacto ambiental dos materiais empregados na edificação, possibilitando uma análise à nível global do edifício, bem como à nível comparativo entre opções de projeto.

O Nível de Desenvolvimento do modelo, conhecido internacionalmente como *Level of Development* (LOD) estabelecido neste estudo foi o LOD 400. O LOD é um protocolo criado para identificar as necessidades de conteúdo específico de um elemento modelado em BIM (LATIFFI *et al.*, 2015). No LOD 400 o elemento deve ser representado graficamente no modelo como um sistema, objeto ou montagem específico, com quantidade, tamanho, forma, localização e orientação definidos, e suas interfaces com outros elementos do edifício. Informações não gráficas adicionadas ao elemento devem constar nessa fase (ASBEA, 2015).

Resultados

Este item visa apresentar os dados e resultados obtidos nas análises executadas por meio da ferramenta de estudo, discriminando as etapas realizadas para a obtenção dos índices aqui apresentados.

Análise do uso do BIM na ACV de edificações

Para desenvolvimento das análises foi necessário a elaboração de um modelo BIM específico para a ACV. Este modelo se fez fundamental, pois o aplicativo Tally busca as referências físicas (áreas, volumes e espessuras) das instâncias de projeto diretamente da memória do *software* BIM. A atribuição de materiais é realizada completamente através do banco de dados do aplicativo. Nesta etapa as principais dificuldades encontradas foram a necessidade de conversão das unidades de medida apresentadas pelo aplicativo, e a compatibilização com o banco de dados de materiais (de origem norte-americana), como por exemplo, as diferentes nomenclaturas para as argamassas de assentamento (Lime Mortar) e argamassas de revestimento (Stucco).

Para a análise comparativa entre diferentes opções de projeto, é necessário que as alternativas de *design* do projeto sejam divididas através da ferramenta de *opções de projeto* do Revit.

Para a emissão do relatório de impactos através da ferramenta, é mandatório

inclusão da materialidade de cada sistema construtivo diretamente do banco de dados do aplicativo, não havendo a necessidade de especificação dos mesmos na etapa de modelagem BIM feita no *software* Revit. É importante salientar ainda que o aplicativo Tally necessita de acesso à internet para seu funcionamento. Os resultados são disponibilizados em diversos níveis de detalhamento sendo organizados por estágio do ciclo de vida, por categoria de material e conforme discriminados no Tally, por categoria definida na modelagem no Revit e por fim por categoria do Revit e discriminados por família.

A quantificação dos elementos para a realização do inventário do ciclo de vida é realizada através dos parâmetros especificados na modelagem realizada no Revit. Todas as instâncias calculadas, bem como os quantitativos de área, perímetro e comprimento são extraídos diretamente da memória do *software* BIM e inseridos na avaliação do aplicativo, não havendo a necessidade de extração de tabelas de quantitativo.

O inventário do ciclo de vida gerado pelo Tally cruza os dados de modelo (área, perímetro, comprimento) com os dados fornecidos através da especificação dos materiais e suas quantificações (densidades dos materiais pré estabelecidas através do banco de dados do Tally), gerando um relatório de massas, conforme exemplificado na Figura 4.

Apesar de atualmente possuir uma interface totalmente adaptada para a realidade construtiva norte-americana, utilizando-se inclusive do sistema de unidade medida do país, o Tally apresenta um potencial efetivo de auxílio à elaboração de uma ACV no Brasil, permitindo de forma simplificada a avaliação de diferentes opções construtivas da edificação.

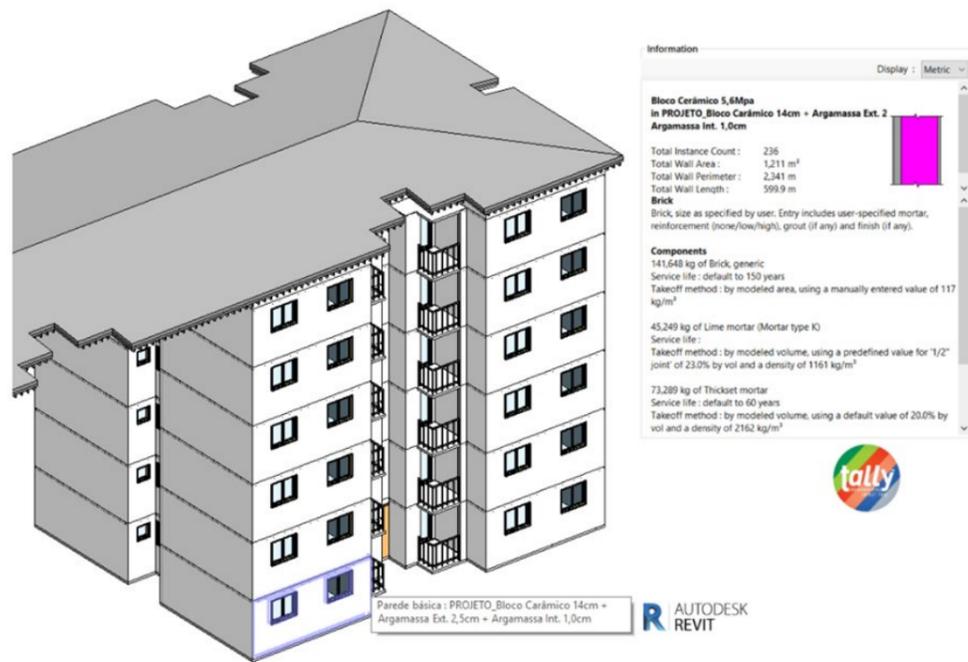


Figura 4: Relatório de massas gerado pelo Tally. Fonte: Tally (2019).

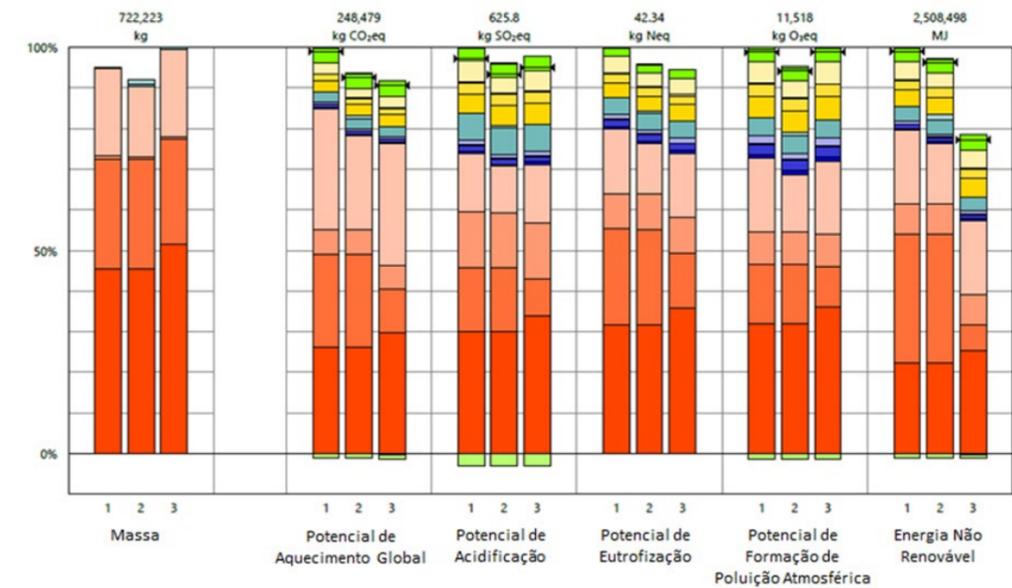
A ferramenta permite que os profissionais possam tomar decisões de projeto durante a fase preliminar do mesmo, pois proporciona a avaliação de diferentes cenários construtivos de forma rápida e simples, sem a necessidade de recontagem de quantitativos.

Análise dos Impactos por estágio de ciclo de vida

Este tópico apresenta os resultados da ACV por estágio de ciclo de vida da edificação, para cada uma das cinco categorias de impacto avaliadas e subdivididas por categorias de elemento construtivo. O Gráfico 1 apresenta as participações percentuais por estágio do ciclo de vida para cada um dos sistemas de vedação vertical selecionados.

O estágio de ciclo de vida que apresenta a maior contribuição sobre o impacto total é o estágio de produto (A1-A3), referente à produção, onde o concreto e as alvenarias se destacam como os materiais mais nocivos, atingindo índices semelhantes em todas as opções de projeto estudadas. Ainda no módulo A, os acabamentos (tintas e *primers*) se destacam como o segundo sistema de maior impacto em todas as categorias avaliadas, devido em grande parte à composição química desses materiais.

Já os estudos de Morales *et al.* (2019), que realizaram uma ACV para a mesma edificação utilizando *softwares* OpenLCA e a base ICV Ecoinvent, apontam a etapa de uso (B4-B6) como o estágio de ciclo de vida com maior contribuição de impactos,



Legenda

- ← Valores líquidos (impactos + créditos)
- Produto [A1-A3]**
 - 03 - Concreto
 - 04 - Alvenaria
 - 08 - Aberturas e Vidros
 - 09 - Acabamentos
- Transporte [A4]**
 - 03 - Concreto
 - 04 - Alvenaria
 - 08 - Aberturas e Vidros
 - 09 - Acabamentos
- Manutenção e Reparo [B2-B5]**
 - 03 - Concreto
 - 04 - Alvenaria
 - 08 - Aberturas e Vidros
 - 09 - Acabamentos
- Fim de Vida [C2-C4]**
 - 03 - Concreto
 - 04 - Alvenaria
 - 08 - Aberturas e Vidros
 - 09 - Acabamentos
- Módulo D [D]**
 - 03 - Concreto
 - 04 - Alvenaria
 - 08 - Aberturas e Vidros
 - 09 - Acabamentos
- Opções de projeto**
 - 1 - Sistema de Vedação Vertical 1
 - 2 - Sistema de Vedação Vertical 2
 - 3 - Sistema de Vedação Vertical 3

Gráfico 1: Resultados por estágio de ciclo de vida, discriminado por elemento construtivo dos sistemas de vedação vertical 1 a 3. Fonte: Relatório Tally (2019).

destacando o módulo de energia operacional (B6), que obteve maior participação na maioria das categorias de impacto estudadas. No estudo realizado pelos autores, o estágio de produto juntamente com o estágio de construção, atingiu percentuais em torno de 13-18% em todas as categorias de impacto avaliadas.

Esta diferença entre os resultados obtidos pelo Tally e estudo de Morales *et al.* (2019), pode ser devido à exclusão do módulo de energia operacional (B6) do escopo deste estudo, alterando-se assim a proporção dos impactos por estágio de ciclo de vida.

O estágio de fim de vida (C2-C4) é o segundo estágio com maiores índices, destacando-se novamente o concreto, que obtém os maiores valores em todas as categorias avaliadas, seguido pelos acabamentos. Já o estágio de manutenções e substituições (B2-B5), resultou no terceiro posicionamento quanto aos impactos estudados, com destaque para os serviços de acabamentos que obtiveram os maiores impactos nas cinco categorias analisadas.

Os módulos A4 e D foram os módulos onde se obtiveram os menores valores de todos os módulos estudados, em todas as categorias avaliadas. No primeiro, as alvenarias (cerâmica e concreto) ganharam maior destaque, quando avaliadas individualmente nas categorias de impacto ambiental. O módulo D ainda apresentou alguns ganhos em todas as categorias, excluindo-se apenas o potencial de eutrofização. O Gráfico 2 apresenta as relações para os sistemas de cobertura avaliados.

Para os sistemas de cobertura, o estágio de produto (A1-A3) é o estágio de ciclo de vida que exhibe os maiores valores. Destaca-se a estrutura metálica, que apresenta índices de impacto ambiental constantemente superiores aos da estrutura de madeira, em todas as categorias analisadas. Os isolamentos também exibem altos índices neste estágio, apontando maiores valores nas categorias de potencial de aquecimento global, potencial de acidificação e energia não renovável.

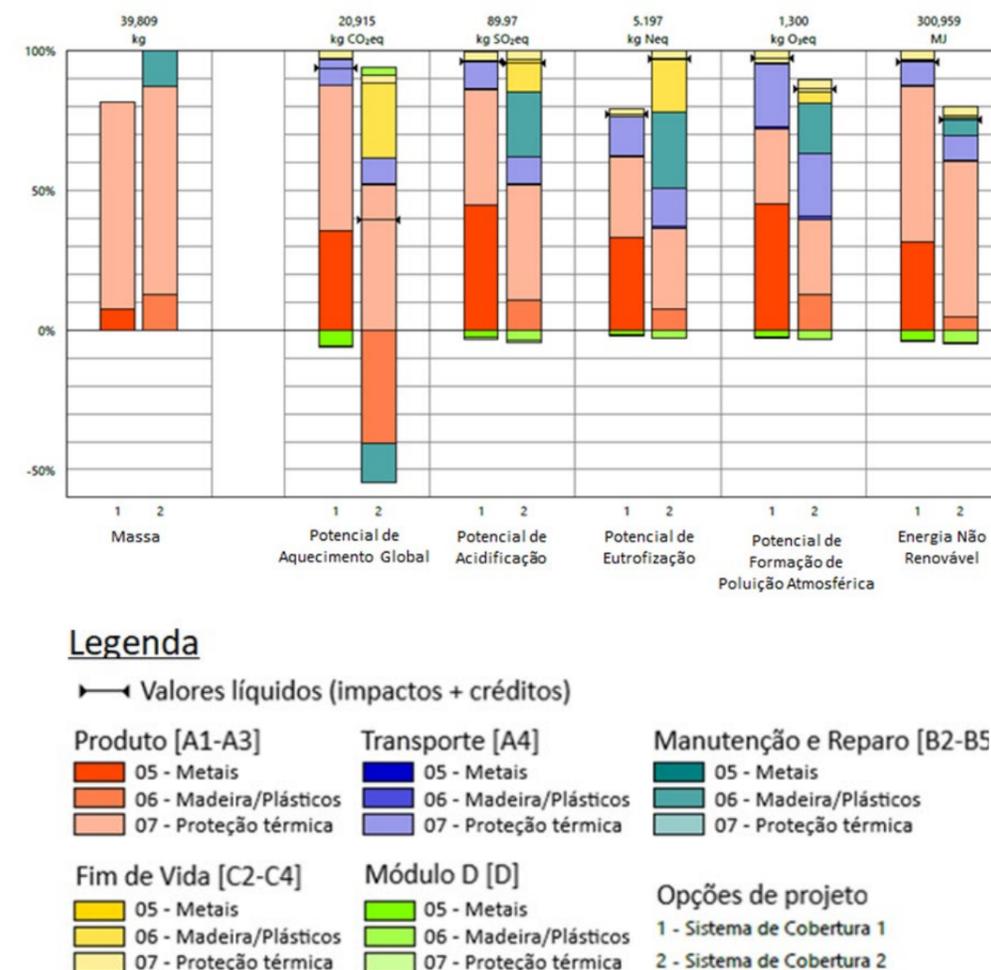
Em seguida, para os sistemas de cobertura, destaca-se o estágio de uso e operação (manutenção e reparo B2-B5), no qual a madeira, apesar de resultar em compensações positivas na categoria de aquecimento global, demonstra valores constantes para as categorias de potencial de acidificação, eutrofização e formação de poluição atmosférica.

No estágio de fim de vida, os metais apresentam apenas compensações em todas as categorias estudadas, devido provavelmente, a possibilidade de reciclagem ou reaproveitamento do material, que garante os ganhos no estágio D. Já a madeira se destaca principalmente na categoria de potencial de aquecimento global, seguida pela categoria de potencial de eutrofização neste módulo.

O módulo D, assim como nas vedações verticais, demonstra valores positivos em todas as categorias avaliadas (excluindo-se o sistema de cobertura 2 na categoria de potencial de aquecimento global), garantindo compensações para este estágio de ciclo de vida.

Essas compensações se dão em função do carbono biogênico, definido pelo GHG-Protocol (2016) como a compensação que vegetais, animais, algas, entre outros, são capazes de realizar em suas atividades antrópicas (como a fotossíntese), absorvendo carbono da atmosfera e liberando CO₂. Por conta destas compensações, estas emissões não produzem impactos adicionais na concentração destes gases de efeito estufa na atmosfera.

Ao observar os resultados gerais por estágio de ciclo de vida, já com as compensações



calculadas, obtidos nas análises do sistema de vedação vertical e no sistema de cobertura, o estágio de produção (A1-A3) obteve os maiores impactos nas cinco categorias avaliadas para os sistemas de vedações verticais e para os sistemas de cobertura. Observam-se diferenças em relação a outros estudos realizados no âmbito da ACV de edificações no Brasil. Os resultados obtidos por Evangelista (2018) apontam o estágio de uso (módulo B), como a fase mais significativa em todas as categorias de impacto avaliadas pela autora, atingindo um percentual de 70% para a categoria de potencial de aquecimento global. Esta diferença de participação do estágio uso (módulo B), pode estar relacionada a forma como a vida útil é modelada no Tally, Morales *et al.* (2020) destacam que a modelagem da vida útil pode causar grandes variações nos resultados de ACVs de elementos da construção.

Análise do estágio A4 (transporte até o canteiro de obras)

Ao comparar as distâncias reais de projeto, ou seja, aquelas percorridas pelos materiais empregados na construção, apresentadas no estudo de Morales *et al.* (2019) versus as distâncias estimadas pelo aplicativo Tally, foram observadas diferenças em relação à realidade brasileira, fato que pode ter elevado os impactos do estágio A4 do ciclo de vida da edificação. A tabela 1 demonstra a comparação realizada.

Gráfico 2: Resultados por estágio de ciclo de vida, discriminado por elemento construtivo dos sistemas de cobertura 1 e 2. Fonte: Relatório Tally (2019).

Materiais de construção	Distância (tally)	Modal (Tally)	Distância Morales et al. (2019)	Modal Morales et al. (2019)
Telha cerâmica	1249	Caminhão	44	Caminhão
Aço galvanizado (cobertura)	431	Caminhão	10	Caminhão
Alumínio (esquadrias)	568	Caminhão	35	Caminhão
Vidro	940	Caminhão	600	Caminhão
Tinta	642	Caminhão	35	Caminhão
Argamassa	172	Caminhão	287	Caminhão
Gesso acartonado	172	Caminhão	1327	Caminhão
Bloco cerâmico	172	Caminhão	18	Caminhão

Contribuição dos materiais utilizados

Além das análises de modo geral e por estágio de ciclo de vida, o Tally ainda apresenta resultados classificados por categoria de material utilizado no projeto estudado. O Gráfico 3 e Gráfico 4 demonstram os índices gerados para todas as instâncias empregadas nos sistemas de vedação vertical e cobertura analisadas para este estudo.

O concreto e o aço (aplicados na construção das lajes divisória dos pavimentos), apresentam os maiores resultados em todas as categorias estudadas. Os seus índices mais elevados foram obtidos nas categorias de potencial de acidificação (para o aço) e potencial de formação de poluição atmosférica (para o concreto).

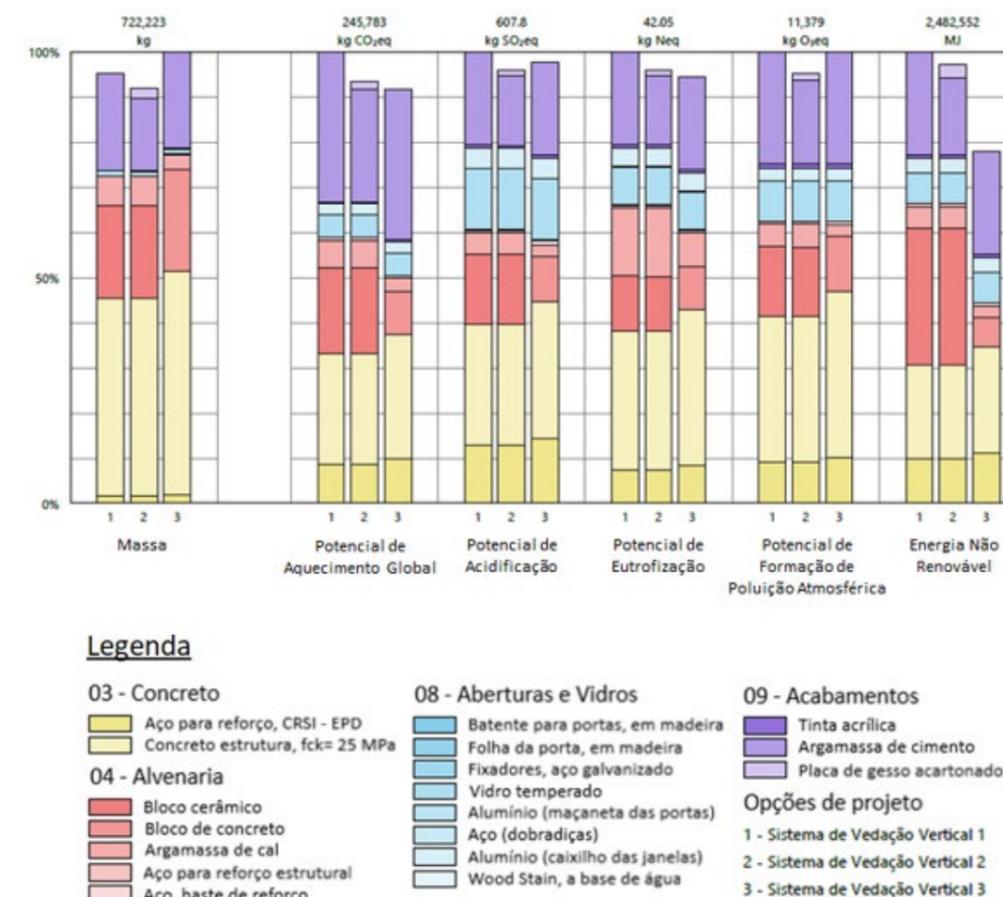
Já os sistemas de vedação em blocos cerâmicos resultam em maiores impactos ambientais do que os blocos de concreto, sendo que o índice mais discrepante entre esses dois materiais se dá na categoria de utilização de energia não renovável. De acordo com Moraga (2017) este resultado se justifica pela provável utilização de combustíveis não renováveis na produção do bloco, contrariando a realidade brasileira de produção, que utiliza resíduos como fonte calorífica, conforme estudo desenvolvido pela Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER, 2012).

Para as argamassas, a argamassa de cal se sobressai na categoria do potencial de eutrofização, onde seus valores para blocos cerâmicos são superiores aos blocos de concreto. Já argamassa de cimento exibe grande contribuição na categoria de potencial de aquecimento global, resultando em menores índices para a categoria de potencial de formação de poluição atmosférica.

O gesso utilizado no revestimento das paredes é o material que expõe os menores resultados de todos os materiais utilizados nos sistemas construtivos estudados, em todas as categorias avaliadas.

Nos sistemas de cobertura, as estruturas metálicas e de madeira exibiram resultados semelhantes entre si para duas das categorias analisadas, destacando-se o potencial de acidificação, no qual as duas opções de materialidade obtiveram o mesmo índice. A maior discrepância entre essas duas alternativas de projeto foi obtida nas categorias de potencial de aquecimento global, onde a madeira apresentou ganhos, e na utilização de energia não renovável, destacando-se a estrutura metálica, que

obteve maiores impactos.



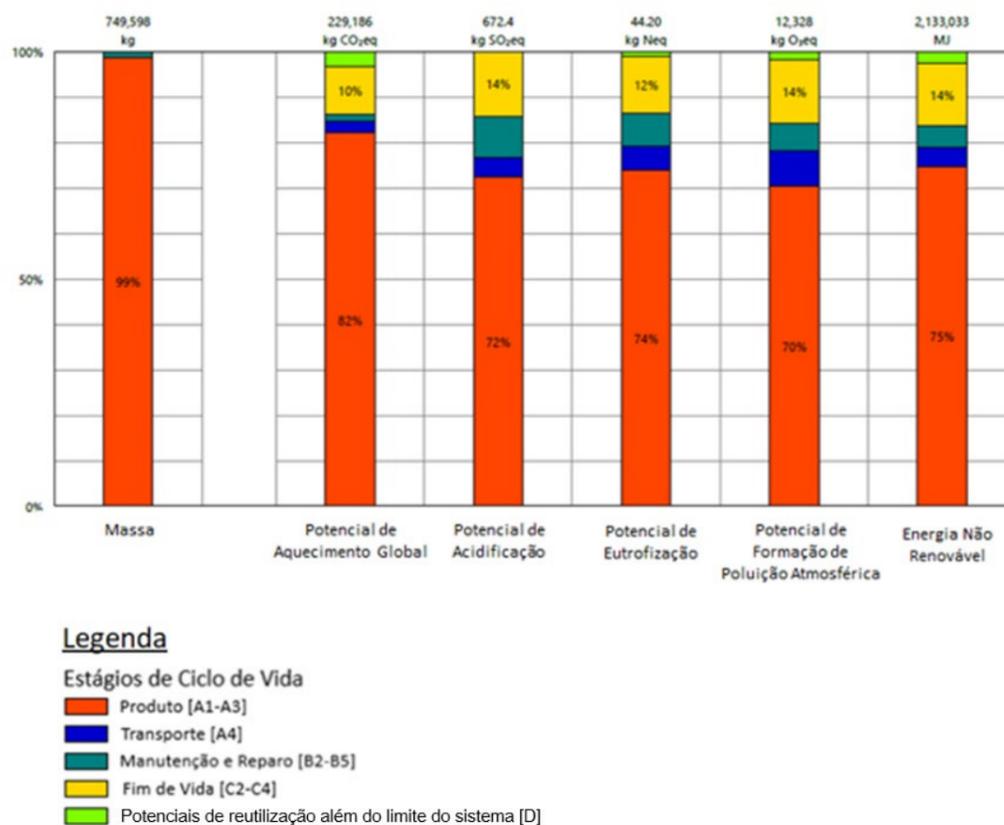
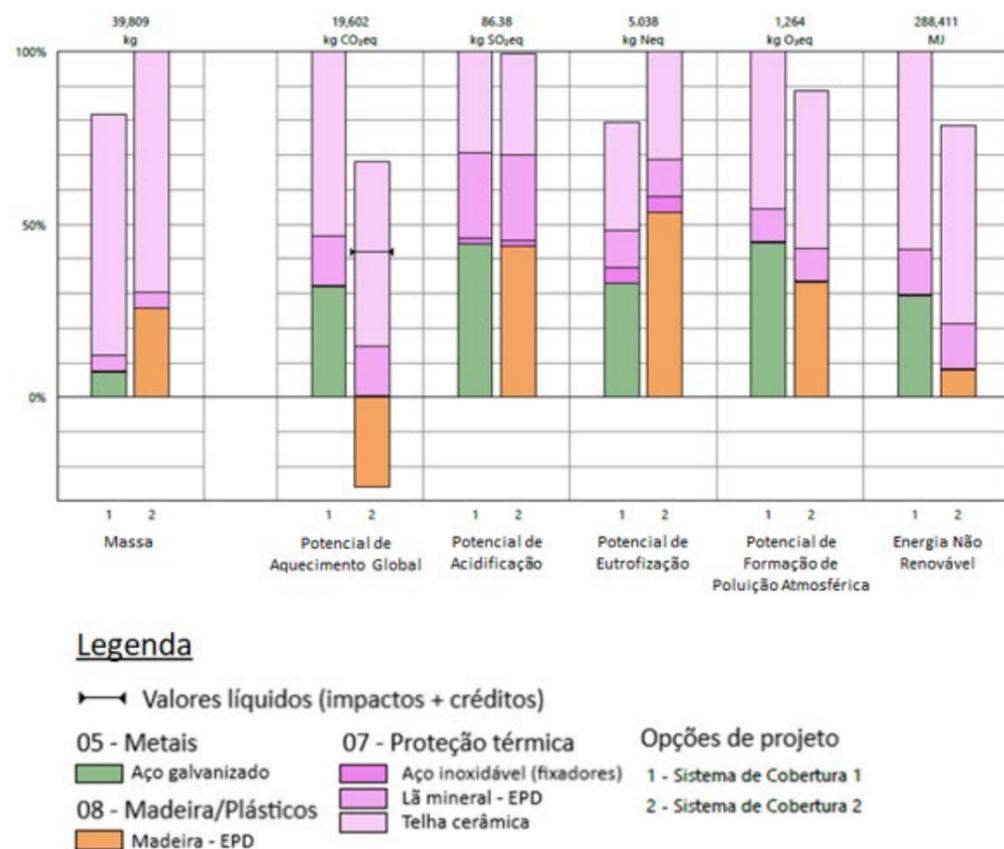
Se tratando dos materiais que compõe o sistema, as telhas se destacam com altos índices em todas as categorias de impacto avaliadas, especialmente para potencial de aquecimento global e energia não renovável.

Análise do sistema de melhor desempenho ambiental por estágio do ciclo de vida

Após a análise comparativa entre os sistemas que compõe as opções de projeto para a edificação, foram combinados o sistema de vedação vertical e de cobertura que obtiveram os impactos ambientais mais baixos através das análises realizadas no Tally. As cinco categorias de impacto foram avaliadas e selecionou-se como a alternativa de projeto mais sustentável do ponto de vista ambiental, aquela que obteve os menores resultados em mais categorias. Dessa maneira, os resultados obtidos nas análises indicam o sistema de vedação composto por paredes de bloco de concreto com revestimento argamassado (em ambas as faces), considerado no sistema 3, e o sistema de cobertura composto por estrutura de madeira, considerado no sistema 2, como as alternativas de envoltória de menor impacto ambiental.

O Gráfico 5 demonstra, em valores totais, os impactos gerados pela edificação como um todo, classificados por estágio de ciclo de vida.

O estágio de ciclo de vida que resultou nos maiores impactos ambientais foi a etapa de produção dos materiais, que obteve elevados índices em todas as categorias



de impacto avaliadas, obtendo o maior percentual na categoria de potencial de aquecimento global. Já o módulo C (fim de vida) apresentou resultados constantes em todas as categorias de impacto avaliadas.

A Tabela 2 apresenta os valores totais para os impactos ambientais da edificação, por metro quadrado de área de edificação.

Estágio	Aquecimento Global (kg CO ₂ eq/m ²)	Acidificação (kg SO ₂ eq/m ²)	Eutrofização (kg Neq/m ²)	Formação de Poluição Atmosférica (kg O ₃ eq/m ²)	Energia Não Renovável (MJ/m ²)
Produção [A1-A3]	186,100	0,481	0,032	8,594	1,578
Construção [A4]	6,087	0,028	0,002	0,932	86,400
Uso [B2-B5]	3,286	0,061	0,003	0,736	101,400
Fim de Vida [C2-C4]	23,600	0,094	0,005	1,707	291,200
Potenciais de reutilização além do limite do sistema [D]	7,592	0,000	0,049	0,220	52,390

Tabela 2: Totais de impactos da edificação por m² de área construída. Fonte: Relatório Tally (2019)

Análise de contribuição dos materiais no estágio de produto (A1-A3)

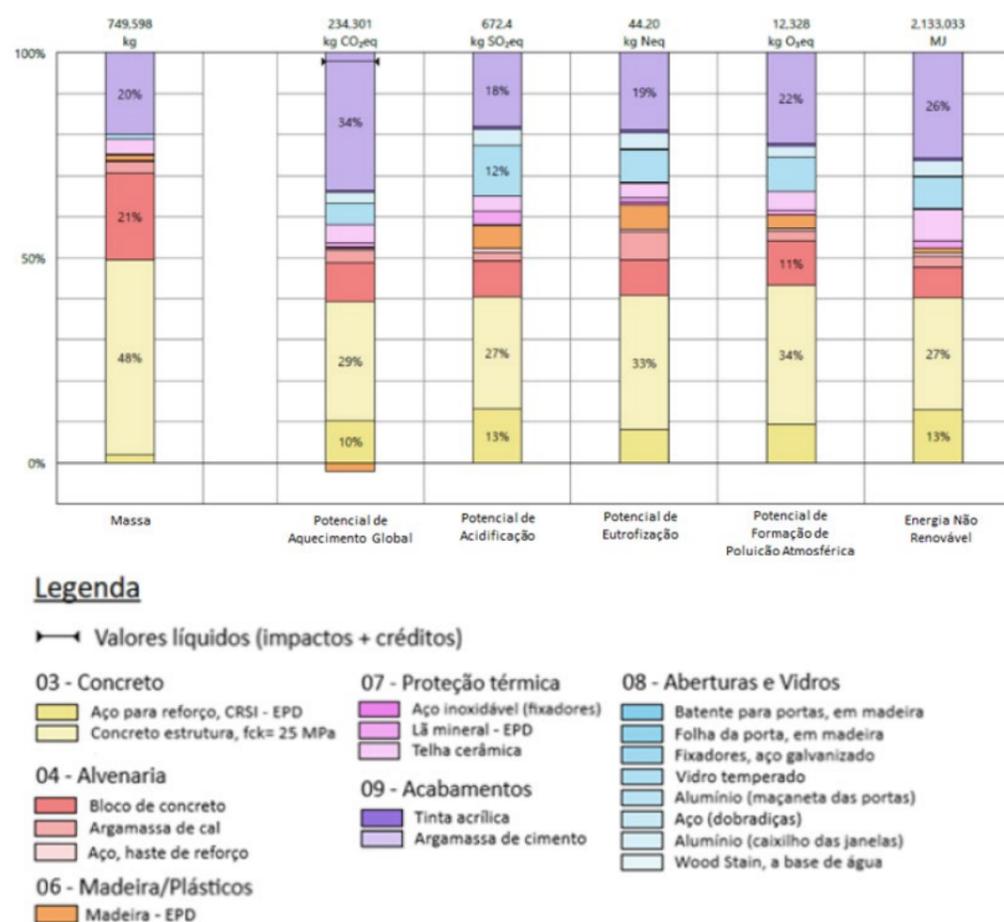
Analisando a edificação como um todo, tendo em foco o estágio de produto, que engloba as etapas de extração da matéria-prima da natureza, processamento de materiais e transporte até o local do canteiro, é possível avaliar a contribuição de cada material sobre os impactos deste estágio. O Gráfico 6 apresenta os percentuais obtidos, para todas as categorias avaliadas.

O concreto apresenta os maiores indicativos em todas as categorias avaliadas, destacando-se principalmente na categoria de potencial de formação de poluição atmosférica, onde se obteve um índice de 34%. Este resultado se dá provavelmente em função do processo de fabricação do cimento, que de acordo com Maury e Blumenschein (2012) está entre as maiores fontes de emissões poluentes atmosféricas, sendo responsável pela emissão de poluentes atmosféricos perigosos e metais pesados. Os estudos de Evangelista (2018) também apontam maiores índices para o material para edificações de padrão social, porém atingindo maiores indicativos na categoria de aquecimento global, onde se obteve um total de 58% de contribuição quando comparado com os demais materiais estudados pela autora.

A argamassa de cimento apresenta o segundo maior índice, se destacando na categoria de aquecimento global, atingindo um percentual de 34%. Os blocos de concreto apresentam-se como material com o terceiro maior índice, atingindo um indicativo de 11% na categoria de potencial de formação de poluição atmosférica. Estes materiais também apresentam cimento em sua composição, sendo esta uma das possíveis causas do resultado obtido.

Os materiais nos quais não contemplam grandes processos industriais para a sua

fabricação (apesar de ainda apresentar procedimento como queimas), como os vidros, alumínio, telhas e a madeira, obtiveram os menores indicativos totais em todas as categorias avaliadas. O vidro temperado ganha destaque apenas na categoria de potencial de acidificação, com uma porcentagem de 12%.



Conclusão

Tendo como principal objetivo verificar o uso da tecnologia BIM na elaboração de uma ACV, este estudo de caso, evidenciou o potencial auxílio do aplicativo Tally, associado ao *software* Revit, na realização da ACV de edificações brasileiras.

Apesar de possuir algumas limitações, principalmente em relação à possibilidade de seleção dos estágios de ciclo de vida pertencente ao escopo do estudo, o aplicativo permite que os profissionais de engenharia e arquitetura tomem decisões de projeto durante a sua concepção. Isso possibilita a execução de construções mais sustentáveis e potencializa a redução de custos com eventuais trocas de materialidade posteriores.

A integração da metodologia BIM com os estudos de ACV, apresenta como uma de suas principais vantagens a quantificação dos materiais de forma automática, sem a necessidade de um novo lançamento, caso haja alterações de projeto. Isso gera impacto direto na fase de análise de inventário da ACV, pois se trata do levantamento dos dados necessários ao estudo, reduzindo-se o tempo gasto na coleta de dados se comparado ao método tradicional (realizado manualmente). Neste ponto o aplicativo,

por estar conectado a uma plataforma BIM, evita prováveis erros de quantificações, oriundos da contabilização manual por parte dos projetistas, excluindo-se a necessidade de levantamentos manuais dos dados de inventário e posterior inserção destes em *softwares* de ACV.

Utilizando o BIM, o projetista define todos os elementos construtivos que fazem parte do projeto. Isto para as variadas disciplinas envolvidas na construção. O Tally, por sua vez, possui os dados desses elementos construtivos facilitando a análise da ACV. Por exemplo, na cobertura, é possível ter disponível os dados dos materiais que compõem o sistema e, inclusive, experimentar trocá-los para verificar os resultados enquanto se projeta.

O aplicativo apresenta uma gama extensa de materiais no seu banco de dados, em diversas categorias de utilização. Apesar da maioria dos materiais disponibilizados possuírem características adaptadas para a realidade construtiva brasileira, alguns deles (como no caso das cerâmicas – pouco utilizadas nos Estados Unidos), apresentam apenas disposições genéricas, sem a possibilidade de especificação dos tamanhos dos blocos utilizados, necessitando de adaptações na densidade empregada para o material. Os concretos também necessitam de adaptações, devido à unidade de medida de resistência empregadas no aplicativo serem descritas em psi e não em MPa.

Quanto aos dados de transporte, as distâncias percorridas pelos materiais apresentaram divergências em relação a realidade brasileira, o que pode ter elevado os impactos do estágio A4 do ciclo de vida da edificação. Relacionado às categorias de impacto ambiental avaliadas, a categoria de energia não renovável pode apresentar alterações devido a matriz energética norte-americana ser diferente do Brasil.

Tratando-se das análises individualizadas por sistemas, a combinação que resultou em menores impactos ambientais, para os sistemas de vedação vertical, foi a alternativa constituída por blocos de concreto com revestimento argamassado em ambos os lados. Esta opção de projeto garantiu um menor indicativo em três das cinco categorias de impacto avaliadas, obtendo um menor resultado na categoria de energia não renovável. Contudo, evidencia-se que no contexto brasileiro a produção de blocos cerâmicos gera menos impactos devido a prática de utilizar resíduos como fonte calorífica.

Já para os sistemas de cobertura, a opção de projeto menos agressiva ao meio ambiente foi a alternativa de cobertura com estrutura em madeira, que também obteve um menor indicativo para três das cinco categorias analisadas, destacando-se a categoria de potencial de aquecimento global. Esta opção de design ainda apresentou compensações referentes ao carbono biogênico, garantindo que durante o período de utilização do material (vida útil) haverá compensações às emissões dos gases de efeito estufa.

Na avaliação do edifício como um todo, conclui-se que o estágio de ciclo de vida no qual se obtém os maiores percentuais totais é o módulo de produção [A1-A3], no qual engloba os processos de extração de matéria prima, transporte e manufatura. Este estágio resultou os maiores valores para a categoria de aquecimento global, onde totalizou 186,1 kgCO₂eq/m².

Evidencia-se então a potencialidade do aplicativo de fornecer informações qualitativas de fácil compreensão, através de uma interface simplificada, voltada para não especialistas, visando prover dados quantitativos, através da plataforma BIM, para tomadas de decisões ambientalmente mais corretas.

Referências

- ABNT. NBR 15575. *Desempenho de edificações habitacionais*. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT. NBR ISO 14040. *Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações*. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT. NBR ISO 14044. *Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro, 2009.
- ANICER, Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Análise comparativa do ciclo de vida de paredes construídas com blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto armado moldado in loco, [s. l.], 2012.
- ASBEA, Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. Fascículo I, In: *Guia AsBEA Boas Práticas em BIM*, São Paulo, 2013.
- ASBEA, Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. Fascículo II, In: *Guia AsBEA Boas Práticas em BIM*, São Paulo, 2015.
- AZEVEDO, Leticia Dalpaz de; GERALDI, Matheus Soares; GHISI, Enedir. Avaliação do Ciclo de Vida de diferentes envoltórias para habitações de interesse social em Florianópolis. *Ambiente Construído*, v. 20, n. 4, 2020.
- BARROS, Natalia Nakamura; SILVA, Vanessa Gomes. BIM na avaliação do ciclo de vida de edificações: revisão da literatura e estudo comparativo. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 7, n. 2, p. 89, 2016.
- BS. EN 15978. Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method. Reino Unido, 2011.
- BUENO, Cristiane; FABRICIO, Márcio Minto. Aplicação da modelagem de informação da construção (BIM) para a realização de estudo de avaliação de ciclo de vida de edifícios. *Pós*, São Paulo, v. 23, n. 40, p. 96-121, 2016.
- CALDAS, Lucas Rosse; LIRA, Júlia Santiago de Matos Monteiro; SPOSTO, Rosa Maria. Avaliação do ciclo de vida de habitações de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e painéis pré-moldados de concreto considerando diferentes zonas bioclimáticas. *LALCA - Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida*, v. 1, n. 1, p. 138–167, 2017.
- CAMPOS, Felipe Henrique Azevedo. *Análise do ciclo de vida na construção civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto*. 2012. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais.
- CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. *Desenvolvimento com sustentabilidade*. Brasília, Brasil: 2014. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Desenvolvimento_Com_Sustentabilidade_2014-1.pdf>.
- CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Fundamentos BIM, In: *Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras*, Brasília, 2016.
- COSTA, Marco Antônio F. da; COSTA, Maria de Fátima Barrozo da. *Projeto de Pesquisa - Entenda e faça*. Petrópolis, RJ: Vozes, 2011.
- DÍAZ, Joaquín; ANTÓN, Laura Álvarez. Sustainable Construction Approach through Integration of LCA and BIM Tools. *Computing in Civil and Building Engineering*, Flórida, [s.v; s. n.], p. 283-290, 2014.
- EASTMAN, Chuck et al. *Manual de BIM – Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores*. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 15978 Sustainability of construction works — Assessment of environmental performance of buildings — Calculation method. Brussels: BSI, 2011.
- EVANGELISTA, Patrícia. *Desempenho ambiental na construção civil: parâmetros para aplicação da avaliação do ciclo de vida em edificações residenciais brasileiras*. 2017. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Ciências, Energia e Ambiente, Universidade Federal da Bahia.
- GOMES, Vanessa; BARROS, Natalia Nakamura. Contribuição da modelagem BIM para facilitar o processo de ACV de edificações completas. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v. 13, n. 2, p. 19-34, 2018.
- KHASREEN, Mohamad Monkiz; BANFILL, Phillip F. G; MENZIES, Gillian F. Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: A review. *Sustainability*, [s. l.], v. 1, [s. n.], p. 674-701, 2009.
- KT INNOVATIONS. *Tally*, [s.l.], 2018. Acessado em 31 de mai. 2019. Online. Disponível em: <https://choosetally.com/>
- LATIFFI, Aryani Ahmad et al. Building Information Modeling (BIM): Exploring Level of Development (LOD) in Construction Projects. *Applied Mechanics and Materials*, Suíça, v. 773-774, [s. n.], p. 933-937, 2015.
- MAURY, Maria Beatriz; BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. *Sustentabilidade em Debate*, Brasília, v.3, n.1, p. 75-96, 2012.
- MEDEIROS, Larissa Mendes; DURANTE, Luciane Cleonice; CALLEJAS, Ivan Júlio Apolonio. Contribuição para a avaliação de ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 365-385, 2018.
- MENDES, Natalia Crespo; BUENO, Cristiane; OMETTO, Aldo Roberto. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. *Prod.*, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 160-175, mar. 2016.
- MORAGA, Gustavo Longaray. *Avaliação do Ciclo de Vida em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida*. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MORALES, M. F. D. et al. Uncertainties related to the replacement stage in LCA of buildings: A case study of a structural masonry clay hollow brick wall. *Journal of Cleaner Production*, v. 251, p. 119-649, abr. 2020.
- MORALES, Michele et al. Impactos incorporados ao ciclo de vida de uma edificação

multifamiliar do programa MCMV. *Euro Elecs*, São Leopoldo, [s.v; s. n.], p. 1-10, 2017.

MORALES, Michele *et al.* Regionalized inventory data in LCA of public housing: A comparison between two conventional typologies in southern Brazil. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.; s. v.; s. v.], p. 1-10, 2019.

PASSUELLO, Ana Carolina Badalotti *et al.* Aplicação da avaliação do ciclo de vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7-20, 2014.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOAL. Classificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) de escopo 1 nas respectivas categorias de fontes de emissão – versão 2, São Paulo, 2016.

REGULY, Natalia *et al.* ACV de Edificações do Programa Minha Casa Minha Vida: impactos relacionados à etapa de manutenção. In: SICS: VI SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, Porto Alegre, 2017.

RÖCK, Martin *et al.* LCA and BIM: Integrated Assessment and Visualization of Building Elements' Embodied Impacts for Design Guidance in Early Stages. *Procedia CIRP*, Copenhagen, v. 69, [s. n.], p. 218-223, 2018.

SANTOS, Ângela dos; AGUIRRE, Débora; CANALLI, Natália. O Ciclo de Vida das edificações. In: SICS: VI Seminário Internacional de Construções Sustentáveis, Porto Alegre, 2016, p. 1-5.

SANTOS, Maria F. N. dos *et al.* Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil. *Revista GEPROS*, [s. l, s. v.], n. 2, p. 57-73, 2011.

SILVA, Vanessa Gomes; SILVA, Maristela G. Análise do ciclo de vida aplicada ao setor de construção civil: revisão da abordagem e estado atual. In: ENTAC: VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2000, Salvador.

SOARES, Sebastião Roberto; SOUZA, Danielle Maia de; PEREIRA, Sibeli Warmiling. A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. In: SATTTLER, Miguel Aloysio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkey. *Coletânea Habitare*. Rio de Janeiro, Antac, 2006. Cap. 4, p. 97-127.

TALLY. *Report Summary*. Aplicativo Tally. 2019.

YIN, Robert K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. E-book.