

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NO OESTE POTIGUAR

Daiane Jakeline Muniz ¹Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva ²

RESUMO:

Diante da alta geração de danos ambientais que a construção civil exerce, é necessário ter um olhar para a sustentabilidade, visando um melhor desenvolvimento da edificação. A análise do ciclo de vida (ACV) permite identificar os cenários de construções com menos danos ao meio ambiente e sustentável do início ao fim de sua existência. O objetivo do trabalho foi realizar o ACV de uma habitação de interesse social projetada para ser construída na cidade de Caraúbas/RN. A metodologia empregada foi por meio da integração BIM-ACV, que consiste em modelar a residência em software com modelagem BIM, retirar os dados de materiais, quantitativo e outros para o inventário de acordo com o modelo projetado e por meio de um plugin eTool LCD® incorporado ao Revit, executar estudos e análises de ACV e assim obter os resultados do nível de agressividade das construções ao meio ambiente. Os Impactos da edificação em relação ao potencial de aquecimento global foi relacionado aos grupos A1A3, seguido pelo B4 e A4. A Superestrutura foi a categoria de construção de maior impacto e as telhas e revestimentos cerâmicos são as categorias de materiais de maior impacto.

Palavras-chave: impactos ambientais, modelagem BIM, sustentabilidade na construção.

1. INTRODUÇÃO

A Construção Civil é o ramo da engenharia que está em constante desenvolvimento, responsável pela infraestrutura de um país, redução do déficit habitacional, geração de emprego e renda, no entanto este setor gera danos ambientais, nos quais a escolha de certos materiais e sistemas construtivos podem fazer no meio ambiente. As edificações possuem um ciclo de vida, que de acordo com a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) é a “capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar satisfatoriamente suas funções ao longo do tempo, sob condições de uso e manutenção específicas”.

No Brasil, existe um déficit habitacional de 7,7 milhões de moradias (FGV, 2018), que corresponde a 11% do número de residências existentes (IBGE, 2015). Devido ao alto preço do aluguel, algumas famílias não conseguem arcar com essa demanda e assim se submetem a morar em locais de situação precária, assim existe uma demanda futura por construções habitacionais. Segundo Montes (2016), os programas habitacionais brasileiros, especialmente o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), não levam em consideração impactos ambientais negativos na concepção dos projetos, escolha dos materiais e execução da obra.

Visando um melhor desempenho das edificações por um meio sustentável, foi criado a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), no Brasil, a ACV foi normatizada pela NBR ISO 14.040: Gestão ambiental (ABNT, 2009), avaliação do ciclo de vida, princípios e estrutura. A NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009) define ACV como “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida.”

¹Graduanda em Engenharia Civil, Ufersa, Campus Caraúbas, e-mail: daiane.muniz@alunos.ufersa.edu.br

²Professora orientadora, Departamento de Engenharias, Ufersa, Campus Caraúbas, e-mail: leonete.cristina@ufersa.edu.br

Segundo a ABNT NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009) Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia para avaliar os potenciais impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, do berço ao túmulo, de forma quantitativa (ABNT, 2014). É um meio de avaliação eficaz de análise ambiental na construção civil, pois realiza a análise de impactos desde o projeto até a demolição, reciclagem e descarte.

Ainda de acordo com a NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009) a ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso e disposição. As categorias gerais de impactos ambientais que necessitam ser consideradas incluem o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas.

A necessidade da ACV nas fases iniciais de projeto de forma simplificada, ágil e confiável é fundamental para base de tomada de decisão em prol de edificações mais sustentáveis, tendo em vista a integração do BIM com a ACV, tem como característica a modelagem paramétrica, sendo possível armazenar, portanto, além das informações geométricas dos elementos, outros atributos, como, por exemplo, dados de ACV, o que possibilitaria a execução de simulações que seriam base para tomada de decisão nas fases iniciais de projeto.

A preocupação ambiental tem levado à constante busca por práticas menos agressivas ao meio ambiente, a redução do consumo desses recursos deve estar focados nos projetos, para torná-los mais eficientes, uma das formas de se contribuir com o desenvolvimento sustentável do setor é a aplicação da ACV, com ela é possível avaliar o desempenho de um determinado material, de um sistema produtivo ou mesmo de uma edificação ao longo de toda sua vida útil.

Construir sustentavelmente significa reduzir o impacto ambiental, diminuir o retrabalho e desperdício, garantir a qualidade do produto com conforto para o usuário final, favorecer a redução do consumo de energia e água, contratação de mão de obra e uso de materiais produzidos formalmente, reduzir, reciclar e reutilizar os materiais (Lotti, 2015).

O objetivo geral deste estudo foi realizar a avaliação do ciclo de vida e avaliar o impacto do ciclo de vida de uma residência unifamiliar localizada na Rua Luiz Inácio, no centro de Caraúbas – RN. E, como objetivos específicos, busca compreender as normas e diretrizes para ACV de edificações no Brasil; empregar da metodologia BIM como aliada na ACV; utilizar software ACV integrados ao Revit para ACD de uma Habitação de Interesse Social (HIS) no semiárido nordestino.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os impactos ambientais causados pela ação humana é uma ameaça ao futuro de todos, a ACV busca edificações sustentáveis, no qual devem começar desde os projetos, é fundamental para incorporar seus conceitos, princípios e diretrizes, prosseguirem durante a construção e participarem da etapa de utilização. De acordo com Beltrame (2013), as edificações consomem 34% do fornecimento mundial de água, 66% de toda a madeira extraída, e sua operação consome mais de 40% de toda a energia produzida no mundo.

Entende-se a importância de uma obra sustentável, tendo em vista os impactos ambientais causados pela construção civil, tais como: extração de matérias primas, produção e transporte de materiais, geração de resíduos sólidos, recursos naturais provenientes da mineração, produção do cimento e do concreto é altamente poluente e libera dióxido de carbono, entre outros.

Os objetivos gerais de qualquer obra de Engenharia Civil incluem diversos fatores, tais como a durabilidade, funcionalidade, segurança, ambiente ou a economia sustentável (Ramalho, 2017).

2.1. Sustentabilidade na Construção Civil

O Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção (CIB) define a construção sustentável como “o processo holístico para restabelecer e manter a harmonia entre os ambientes natural e construído e criar estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica” (CIB, 2002, p.8).

Diante da importância da sustentabilidade na construção civil construtoras do país vem aderindo às certificações ambientais como meio de agregar valor aos seus empreendimentos, tornarem-se competitivas no mercado e para emergir em uma estratégia sustentável de longo prazo (Otobo; Santana; Costa, 2016).

Na construção civil existe vários indicadores para realizar a ACV, dentre deles está o aquecimento global, no qual são causadas pelas emissões industriais de dióxido de carbono e o aumento dessas concentrações guiam a efeitos adversos a nível de temperatura local, regional e global e, ainda, na precipitação, vidas animal e vegetal e nível do mar (Kininmonth, 2010).

O dióxido de carbono, com a fórmula química CO_2 , é um composto químico formado por um átomo de carbono (C) e dois átomos de oxigênio (O), é um gás extremamente vital para a manutenção da vida na terra, pois é um composto essencial para a realização da fotossíntese e para manter as temperaturas médias globais por meio do efeito estufa, porém é um gás que, em excesso, pode gerar graves desequilíbrios no meio ambiente.

O Relatório de Situação Global 2020 para Edifícios e Construção, da Aliança Global para Edifícios e Construção, mostrou que as emissões de CO_2 relacionadas à energia subiram para 9,95 Gt CO_2 em 2019.

2.2. Modelagem BIM

Segundo Alves (2014, apud Masotti, 2014, p. 15) “a modelagem BIM permite ao projetista construir o empreendimento em um mundo virtual antes deste ser construído no mundo real. Ele o cria utilizando componentes virtuais inteligentes, cada um deles sendo perfeitamente análogo a um componente real no mundo físico. ”

O processo BIM é uma inovação para várias áreas da construção, em relação ao CAD, que é um sistema 2D, no BIM temos um sistema 3D, no qual o processo nos possibilita a criação de dados inteligentes que podem ser usados em todo o processo do projeto de edificações, tais como: Planejar, projetar, construir e operar.

2.2.1. Modelagem paramétrica, LOD e Interoperabilidade

Para se iniciar um projeto BIM é necessário saber qual o objetivo que se deseja alcançar no trabalho em questão, pois a depender da modelagem o sistema lhe fornece permite compreender o que deve ou não ser modelado e quais serão as informações de entrada e saída do modelo.

ASBEA, 2015 divide o uso do BIM em três grupos, tais como: 1º Fase Projeto, no qual as aplicabilidades englobam tanto as análises de engenharia/arquitetura quanto às avaliações de sustentabilidade, Design Review e estimativas de custo; 2º Fase Construção no qual pode-se

aplicar o modelo desde o Planejamento do Canteiro até os Projetos de Sistemas Construtivos e Fabricação Digital; 3ª Fase de Operação, onde o BIM pode ser aplicado de forma geral na gestão de edifícios e gerenciamento do espaços.

Após definir o uso do BIM, é necessário saber qual será o Nível de Detalhamento e o Nível de desenvolvimento do modelo, dessa forma temos três tipos de modelagem: Lod, Paramétrica e Interoperabilidade.

Para Hudson (2010), o processo paramétrico de projeto é definido como o desenvolvimento de um modelo ou descrição de um problema, onde a representação é baseada nas relações entre objetos controlados por variáveis: os parâmetros.

A modelagem paramétrica, de acordo com Eastman et al. (2014) aponta essa característica como o principal fator diferenciador dos modelos 2D tradicionais. A dinâmica da modelagem paramétrica envolve a definição de objetos paramétricos levando em consideração as propriedades geométricas e dados de regras associadas, não permitindo, portanto, inconsistências.

O 3D paramétrico facilita a construção de um mundo virtual e sua geometria é definida por regras e parâmetros estabelecidos na concepção do modelo. As informações são embutidas em cada geometria, assim permitindo a troca de informações e atualizações automáticas de objetos (Yeong et al, 2009).

Como os elementos são paramétricos, é possível alterá-los e obter atualizações instantâneas em todo o projeto. Esse processo estimula a experimentação, diminui conflitos entre elementos construtivos, facilita revisões e aumenta a produtividade (Florio, 2007).

Segundo o American Institute of Architects (AIA) (2008), o LOD é uma especificação que permite que os profissionais do setor articulem como a geometria de um elemento e as informações associadas ao mesmo evoluam ao longo de todo o processo de projeto.

Uma das grandes diferenças entre a plataforma CAD e BIM é essa possibilidade de escolher o nível de detalhamento do projeto, o LOD – Level of Detailment é uma variável que quantifica o nível de detalhamento que os elementos do projeto terão. As “classes” de LOD, se usadas corretamente, auxiliam no entendimento e no uso das informações junto ao modelo gerado. Assim, diante desse contexto, estabeleceu-se seis diferentes níveis de desenvolvimento:

- LOD 100: estágio de pré-projeto, o modelo consiste em símbolos 2D e massas para significar a existência de um elemento;
- LOD 200: os elementos são parcialmente definidos delineando sua quantidade aproximada, tamanho, forma e localização;
- LOD 300: os elementos são definidos com dimensões exatas e suas posições relativas reforçando a precisão;
- LOD 350: descreve as informações sobre um elemento com precisão e descreve a relação e conexão de um elemento com outros componentes;
- LOD 400: descreve as informações básicas sobre a construção de vários elementos;
- LOD 500: o modelo começa a representar as funções da vida real dos elementos em um edifício real. Aqui estão todos os níveis de desenvolvimento com suas definições em detalhes.

Assim, a escolha do LOD contribui para melhorar o entendimento do estágio o qual se encontra o projeto, evitando inconsistências, facilitando a comunicação e a colaboração entre os envolvidos.

Ruschel et al. (2010, p. 138) cita três aspectos fundamentais do BIM: “a modelagem paramétrica para desenvolvimento do ‘modelo único’, a interoperabilidade para integração e

colaboração e troca de informações dos envolvidos e a possibilidade de gestão e avaliação do projeto em todo seu ciclo de vida”.

A interoperabilidade é uma condição para o desenvolvimento de uma prática integrada. O uso de uma prática integrada com times de colaboração é possível com a integração da informação entre aplicativos computacionais, utilizados por diferentes profissionais de projeto (Andrade; Ruschel, 2009).

Entende-se como um sistema no qual possibilita que outros softwares possam ler e compreender o que está no projeto sem a necessidade de realizar cópias em outro serviço. Assim, a interoperabilidade é definida segundo IEEE Standard Computer Glossary (2001) como a habilidade dos sistemas ou componentes de trocarem e utilizarem as informações extraídas entre si. Dessa maneira, é possível trabalhar com diferentes ferramentas e disciplinas, garantindo a colaboração entre todos.

2.2.2. Vantagens do uso do BIM

De acordo com Eastman et al. (2014), classifica os benefícios de aplicação do BIM desde a fase de pré-operação até a pós-construção, englobando, as possibilidades de avaliação da viabilidade do empreendimento, o melhoramento da compressão de todas as partes envolvidas sobre as soluções adotadas, redução de retrabalhos e perda de informações, contribuição na simulação do processo da construção para compreensão do cotidiano na obra e detecção de interferências antes do início da obra, agilizando as possíveis soluções necessárias e melhoramento do gerenciamento das operações da edificação, integração dos sistemas de operação e o gerenciamento de facilities.

Diante do que foi descrito, o sistema BIM apresenta diversas vantagens dentre elas podemos destacar as seguintes:

- Melhor interpretação do projeto: Pela possibilidade de vista 3D, pode-se visualizar com maior definição o resultado final da estrutura;
- Redução de erros no projeto: Com a vista 3D a visualização é facilitada e a integração dos projetos acontece em uma única ferramenta;
- Praticidade na elaboração dos projetos: As alterações são feitas em tempo real, e em função da melhoria na interpretação de projeto, e da integração dos projetos o tempo de produção do projeto reduzirá em comparação as plataformas não integradas;
- Melhor controle de custos: O sistema disponibiliza a estimativa de quantitativo de materiais.

2.3. Avaliação do Ciclo de Vida das Edificações

2.3.1. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A ACV é a ferramenta mais completa para se avaliar o ciclo de vida de uma edificação, no Brasil ela é regida pelas normas ABNT NBR ISO 14.040 e 14.044, também pelas normas EN 15.804:2013 e BS EN 15.978:2011 (BSI, 2011, 2013).

Entende-se por ciclo de vida que todo produto tem uma vida, que consiste desde seu planejamento, até sua disposição final. Composto pela extração de recursos, manufatura, distribuição, uso, eliminação ou reciclagem, muitos autores definem essa fase como do berço ao túmulo (Ekvall, 2000)

A NBR ISO 14.044 (ABNT, 2009) divide a ACV em quatro fases, sendo estas: definição do objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação. A primeira etapa é a definição de um escopo, no qual estabelece os limites da pesquisa, em seguida inicia a análise de inventário que consiste na identificação e quantificação dos produtos da edificação; a avaliação de impacto consiste no cálculo dos indicadores ambientais analisados de acordo com a metodologia adotada.

As normas EN 15978 e EN 15804 são padrões estabelecidos para calcular o impacto ambiental de produtos e edifícios na construção civil. Elas dividem o ciclo de vida de edificações em módulos (A, B e C), como mostra a Figura 1, a seguir.

Os seguintes módulos são geralmente considerados: Estágio de Produto/ Fabricação (A1-A3) Estágio do processo de construção (A4-A5), Estágio de Uso (B1-B7), Estágio de Fim de Vida (C1-C4) e Benefícios & Cargas (D) (Koseci, 2018).

Figura 1 – Etapas do ciclo de vida da edificação considerados nas normas EN 15978

Etapas do ciclo de vida	Produto			Construção		Uso							Fim de vida				Benefícios e cargas além das fronteiras
Módulos	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
	Extração Matérias primas	Transporte das matérias primas	Manufatura	Transporte até o canteiro de obras	Construção	Uso	Manutenção	Reparo	Substituição	Reforma	Uso de energia operacional	Uso de água operacional	Demolição/Desconstrução	Transporte até a destinação final	Processamento dos resíduos	Disposição final	Reuso/Recuperação/Reciclagem
Berço ao portão	M	M	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Berço ao portão com opções	M	M	M	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Berço ao túmulo	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	O

M- Mandatório. O - Optativo.

Fonte: EN 15804 (CEN, 2013)

Todas as fases na vida de um produto, gera um impacto ambiental, ocasionado pelo consumo de recurso, seja ele matéria prima ou energia e emissão de poluentes, seja ele efluente, gases, resíduos sólidos, entre outros (Ekvall, 2000)

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem sido considerada internacionalmente como a ferramenta (ou metodologia) mais confiável para avaliação dos impactos ambientais de produtos ou processos, com crescente demanda no setor da construção civil e de edificações (Cabeza et al., 2014; Anand e Amor, 2017).

A realização dos estudos de ACV aplicados na construção civil diferenciam-se dos realizados em produtos ou sistemas industriais. Isso porque, os produtos da construção civil apresentam-se como uma longa vida útil, o que pode ocasionar na produção de dados incertos (Soares et al., 2006).

2.3.2. Inventário do ciclo de vida

A Análise do Inventário (ICV) é caracterizada pelo levantamento de todos os dados de entrada/saída associados ao sistema definido para estudo (Bueno; Rossignolo, 2016).

Na análise de inventário (ICV), se faz necessário determinar os bancos de dados de inventários que serão utilizados durante as análises. A seguir serão apresentados alguns dos principais bancos de dados existentes para realização dos estudos de ACV segundo Djuedja et al. (2021).

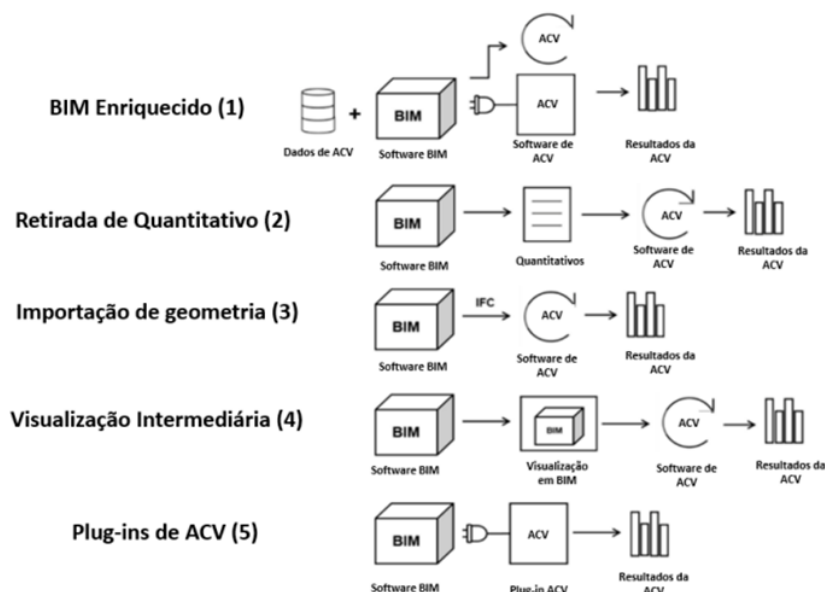
- OneClick LCA, o EPD (Environmental Product Declaration) é definido como uma fonte de informações claras sobre o desempenho de cada produto e o impacto ambiental ao longo de todo o seu ciclo de vida;
- O INES (banco de dados de referência nacional francês de meio ambiente e declarações de saúde) é um banco de dados de acesso livre na condição de que o usuário possua uma licença do Microsoft Silverlight (HQE,GBC, 2018);
- Ecoinvent é uma base de dados que fornece dados de processo documentados para muitos produtos para informar os usuários sobre seu impacto ambiental;
- LOD está relacionado ao banco de dados de inventário de elementos de construção, que são refinados no processo de projeto e podem ser usados em cálculos de materiais (Nawartha et al., 2018);

2.3.3. Integração BIM-ACV

A realização da ACV é um processo que demanda muito tempo para ser realizado, no qual deve ser um dos motivos por ser feito no final dos projetos. Com isso, integração da ACV com o BIM apresenta um grande potencial, visto que através da elaboração de modelos facilitadores de fluxo de informação, geração de documentos e promoção de simulações e análises preliminares, agilizam o estudo de ACV e possibilitaria análises mais assertivas em busca da solução que promova o menor impacto ambiental possível (Machado; Simões; Moreira, 2015).

Diáz e Antón (2014), descreveram a forma de integração BIM-ACV, a possibilidade da retirada de informações do modelo BIM da edificação para aplicação direta no estudo de ACV (através de softwares de ACV), para que ao fim do estudo seja possível adotar novos caminhos em busca de uma edificação mais sustentável. Wastiels et al. (2019) categorizou a integração BIM-LCA em cinco abordagens, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Integração BIM-ACV



Fonte: Wastiels et al. (2019).

2.3.4. Ferramentas do BIM-ACV

Com base em pesquisas de ferramentas computacionais, no Quadro 1 pode-se visualizar uma lista de ferramentas e sua respectiva utilização no BIM-ACV.

O software pode fornecer a possibilidade de usar plug-ins por meio de um aplicativo interface de programação (API) para troca de informações com o software. Soluções de plug-in populares no setor de construção são as linguagens de programação visual (VPL) como Grasshopper e Dynamo, que tornam a programação mais disponível para arquitetos e engenheiros (Zimmermann, 2021).

Quadro 1 – Síntese dos softwares e aplicativos

TIPO	PRODUTO	FUNÇÃO
BIM	PLM 360 - Autodesk	Gerenciamento do ciclo de vida de produtos (PLM) na nuvem.
	Revit - Autodesk	Software para modelar formas, estruturas e sistemas em 3D com exatidão, precisão e facilidade paramétricas.
ACV	SimaPro	Possui vários métodos de avaliação de impacto (CML 1992, Eco-indicator 99, EPS 2000, entre outros). Utilizado para a análise ambiental dos produtos.
BIM - ACV	LCA Design	Realiza ACV de forma rápida, utilizando materiais genéricos.
	Energy Plus	desenvolvido para simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas.
	Elodie CSTB	Software para execução de estudos e análises de ACV durante todo o ciclo de vida
	eTool LCD	Plugin para execução de estudos e análises de ACV

Fonte: Autoria própria, 2024.

O trabalho em questão busca realizar a ACV de forma gratuita, como temos o Revit que pode ser inserido o plugin eTool LCD®, o Energy Plus, são meios gratuitos. Assim o SimaPro e o GaBi são softwares que custam um alto investimento além de apresentar grande complexidade de operação (Netto; Lucente, 2016).

O eTool LCD® é um plugin pago, porém no ato da inscrição consegue uma gratuidade de quinze dias, o que no trabalho em questão é pouco tempo, logo foi realizada uma negociação estudantil e consegue-se mais tempo, mas por ser uma fase de teste gratuita os recursos são limitados, dentre eles só foi possível analisar o potencial de Aquecimento Global GWP (kgCO₂.eq), era o único disponível na versão gratuita. Mas, no mesmo existem outros indicadores tais como: destruição da camada de ozônio, potencial de acidificação do solo e da água, uso de recursos e outros.

3. METODOLOGIA

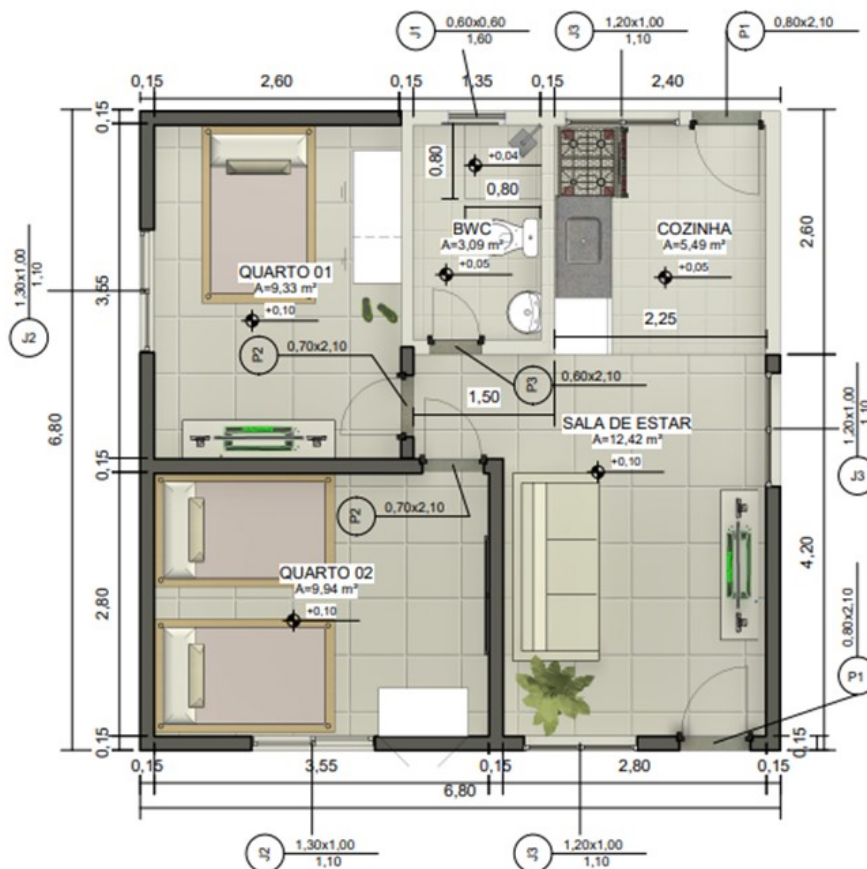
O presente trabalho tem como tipo de pesquisa o estudo de caso de uma residência unifamiliar localizada na Rua Luiz Inácio, no centro de Caraúbas - RN, no qual será realizado um estudo de habitações de interesse social, em seguida desenvolver os projetos de fachadas, por sequência realizar o inventário do ciclo de vida por meio de softwares e por fim avaliar o Impacto do Ciclo de Vida (AICV) pelo plugin eTool LCD® no software Revit.

O eTool LCD® é um plugin pago, porém no ato da inscrição consegue uma gratuidade de quinze dias, o que no trabalho em questão é pouco tempo, logo foi realizada uma negociação estudantil e consegue-se mais tempo, mas por ser uma fase de teste gratuita os recursos são limitados, dentre eles só foi possível analisar o potencial de Aquecimento Global GWP (kgCO₂.eq), era o único disponível na versão gratuita.

3.1. Projeto do Estudo de Caso

Para elaboração deste artigo, para a aplicação de distintas abordagens de modelagem, foi necessário o uso de uma edificação como modelo para o estudo de caso, trata-se de uma residência unifamiliar padrão de interesse social com uma área de 46,24 m², localizada na Rua Luiz Inácio, no centro de Caraúbas - RN, sendo no qual o terreno possui uma área de aproximadamente 459,91m², a edificação possui um único pavimento contendo 01 (uma) sala/cozinha, 02 (dois) quartos e 01 (um) banheiro, conforme apresentado na Figura 3, 4, 5, 6, 7 e 8 desenvolvidas no software Revit.

Figura 3 – Planta Baixa



Fonte: Autoria própria, 2024.

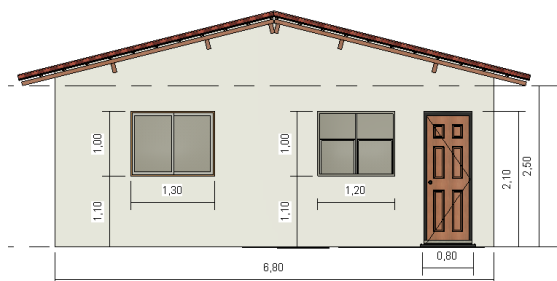
Figura 5 – Quadro de Esquadrias

PORTAS				
UN	CÓD.	PAVIMENTO	PORTA	
			LARGURA	ALTURA
2	P1	TÉRREO	0,80	2,10
2	P2	TÉRREO	0,70	2,10
1	P3	TÉRREO	0,60	2,10

TABELA DE JANELAS						
CÓD.	UN	Nível	Tipo	LARGURA	ALTURA	PEITORIL
J1	1,00	TÉRREO	100x60	0,60	0,60	1,60
1						
J2	2,00	TÉRREO	1300x1000mm	1,30	1,00	1,10
2						
J3	3,00	TÉRREO	1200x0600mm	1,20	1,00	1,10
3						

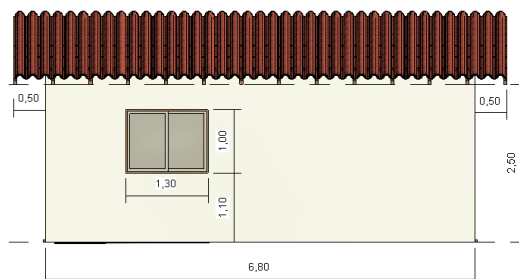
Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 5 – Fachada Sul



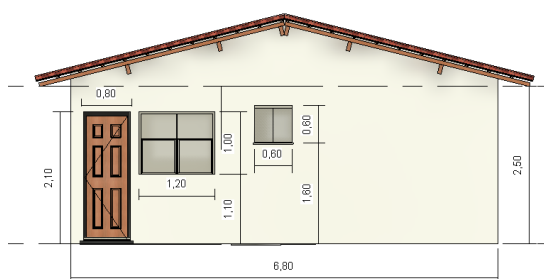
Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 6 – Fachada Oeste



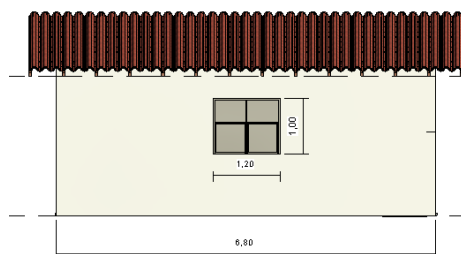
Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 7 – Fachada Norte



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 8 – Fachada Leste



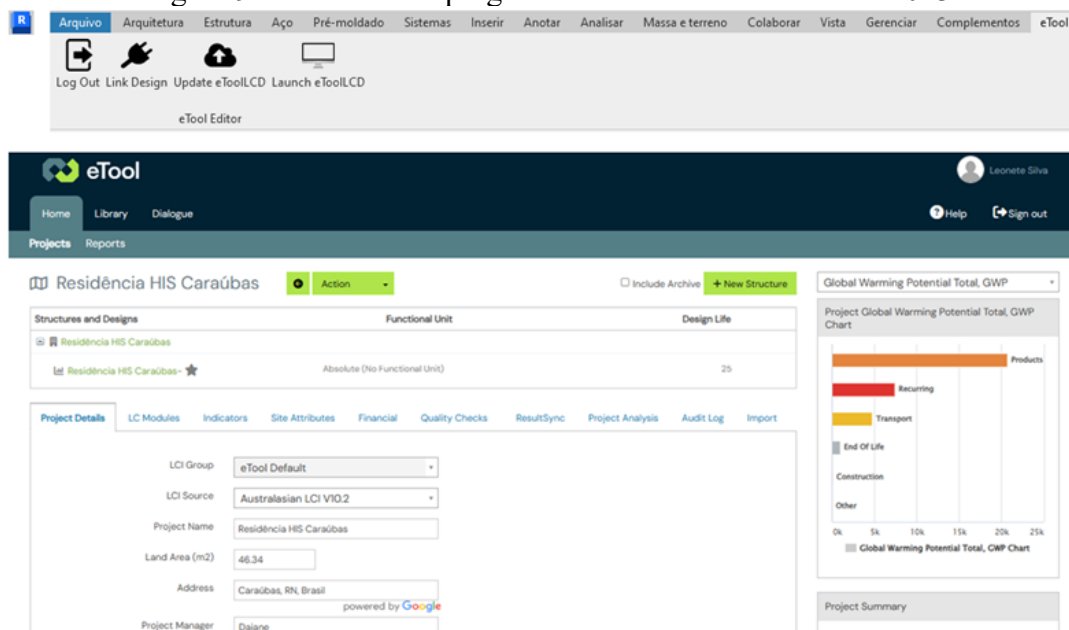
Fonte: Autoria própria, 2024.

2.4.2 Escolha do software de modelagem BIM

Graphisoft, Autodesk e Bentley são as maiores empresas que elaboram softwares BIM no mundo, onde os softwares de modelagem BIM mais disseminados são o Archicad®, da Graphisoft, e o Revit, da Autodesk. Os dois possibilitam o usuário a extrair quantitativos de maneira automática (Farah, 2005).

- Como software foi escolhido o Revit, por se tratar de uma pesquisa acadêmica e ser mais convencional em sala de aula, prático e intuitivo, no mesmo foi realizado toda a modelagem da residência;
- Para se quantificar os materiais a fim de se calcular o impacto total da edificação, a quantificação resultados e elementos da construção se deu através de planilhas;
- Nível de desenvolvimento (LOD) que foi citado anteriormente o LOD 200: os elementos são parcialmente definidos delineando sua quantidade aproximada, tamanho, forma e localização;
- A programação explicitada para o cálculo de ACV é feita inteiramente através do próprio software de modelagem BIM escolhido através do plugin eTool LCD®, não serão explorados a definição de linguagens computacionais e a descrição aprofundada de códigos e algoritmos (Figura 9).

Figura 9 – Interface do plugin do eTool® no Revit versão 2023



Fonte: Adaptado de eTools e Revit (2024)

4. RESULTADOS

4.1. Inventário do Ciclo de vida

O inventário do estudo consiste em dois resultados principais: o quantitativo de materiais e os resultados da simulação computacional para impacto ambiental na ACV. A vida útil escolhida foi de 50 anos, conforme adotado em outros trabalhos na literatura (Buyle; Braet; Audenaert, 2013; Caldas et al., 2016; Paulsen; Sposto, 2013).

Para a argamassa de assentamento das paredes de bloco cerâmico foi considerado o traço de 1:2:9 de cimento, cal hidratada e areia e, para a parede de adobe, foi considerado traço de 7:3 de solo e serragem, com volume de 23% de água (Christoforou et al., 2016).

Os dados dos materiais construtivos para uso na simulação (espessura, condutividade, densidade, calor específico, absorvância solar e absorvância visível) foram obtidos por meio de revisão bibliográfica e estão apresentados nos Quadros 2 e 3.

Quadro 2 – Características térmicas dos materiais utilizados nas coberturas

Componentes Construtivos	Espessura (m)	Condutividade Térmica (w/m*k)	Densidade (kg/m ²)	Calor Específico (J/kg*K)
Madeira	0,2	0,15	600	1,34
Telha Cerâmica	0,01	1,05	2000	920

Fonte: Autoria própria, 2024.

Quadro 3 – Características térmicas dos materiais utilizados nas paredes

Componentes Construtivos	Espessura (m)	Condutividade Térmica (w/m*k)	Densidade (kg/m ²)	Calor Específico (j/kg*K)
Bloco Cerâmico	0,013	0,9	1600	920
Argamassa de assentamento	0,025	1,15	2000	1000
Argamassa de reboco	0,025	1,15	2000	1000

Fonte: Autoria própria, 2024.

Quadro 4 – Quantitativo de materiais

Descrição	Materiais	Quantitativo
Fundação	Lastro de concreto m ³ (e=5cm)	0,82
	Embasamento m ³ (0,20x0,4)	3,27
	Cinta m ³ (0,15*0,30)	1,84
Parede	Alvenaria m ²	130,10
	Pintura parede m ²	230,21
	Reboco m ²	260,20
	Chapisco m ²	260,20
Revestimento Cerâmico	Banheiro m ²	10,91
	Pia cozinha m ²	3,66
Cobertura	Telha m ²	55,50

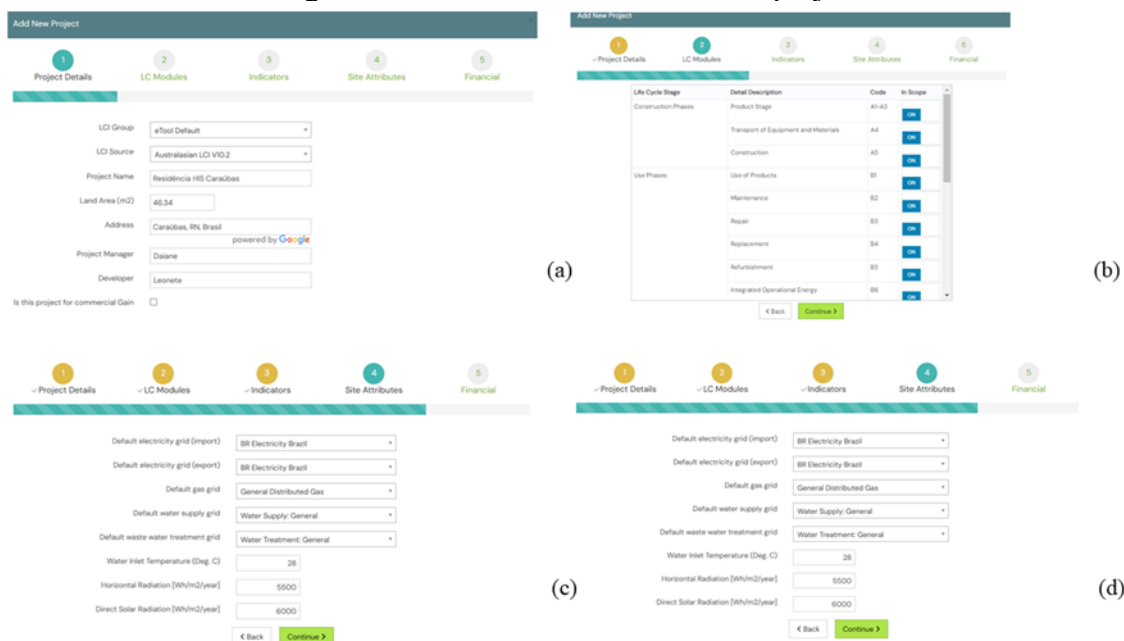
Fonte: Autoria própria, 2024.

4.2. Interpretação dos dados de impacto ambiental do ciclo de vida

A edificação projetada foi utilizada para análise do ciclo de vida a partir da modelagem em BIM utilizando o Revit e a análise sendo desenvolvida por meio da interação entre o plugin e pagina online da plataforma que permite gerenciar as informações. Antes da utilização do modelo da HIS em estudo, é necessário criar um novo projeto no eTool®, com as devidas caracterizações da edificação. Considerando a limitação da versão de uso, os dados utilizados como base para análise do ciclo de vida foi da *Australasian V10.2 LCA*, obtido a partir do Banco de Dados Nacional Australiano de Inventário do Ciclo de Vida (*Australian National Life Cycle Inventory Database (AusLCI)*). A Figura 10 apresenta os parâmetros inicialmente inseridos.

Após a modelagem da edificação no Revit, criação do projeto e atribuição de um desenho, é possível realizar o vínculo entre o arquivo do modelo e o desenho atribuído por meio do plugin. O *template* do Revit utilizado no desenho da edificação no Revit serve como base para algumas informações. No caso em estudo, não estava adaptado para uma leitura direto da plataforma, gerando a necessidade de inserir manualmente as especificações e quantidades de cada sistema construtivo empregado e catalogado no inventário, para que a análise pudesse ser realizada. A Figura 11 apresenta a tela na qual todos os dados do projeto podem ser trabalhados e ajustados para verificação de cenários, análises, relatórios etc.

Figura 10 – Telas de cadastro no novo projeto



The figure shows four sequential screenshots of the eTool software interface for project registration:

- (a) Project Details:** Fields include LOI Group (eTool Default), LOI Source (Australasian LOI V10.2), Project Name (Residência HIS Caraúbas), Land Area (m2) (46.34), Address (Caraúbas, RN, Brazil), Project Manager (Dlane), and Developer (Leonete). A checkbox for "Is this project for commercial gain?" is present.
- (b) LC Modules:** A table showing Life Cycle Stages and Product Stages with their respective codes and in-scope status.
- (c) Site Attributes:** Fields for Default electricity grid (import), Default electricity grid (export), Default gas grid, Default water supply grid, Default waste water treatment grid, Water Inlet Temperature (Deg. C), Horizontal Radiation [Wh/m2/year], and Direct Solar Radiation [Wh/m2/year].
- (d) Financial:** Similar to (c), but with additional fields for Default electricity grid (import), Default electricity grid (export), Default gas grid, Default water supply grid, Default waste water treatment grid, Water Inlet Temperature (Deg. C), Horizontal Radiation [Wh/m2/year], and Direct Solar Radiation [Wh/m2/year].

Fonte: Adaptado de eTool (2024).

Figura 11 – Interface de coordenação dos cenários para ACL

Residência HIS Caraúbas > Residência HIS Caraúbas > Residência HIS Caraúbas-★

Action

Categories

Analysis

Templates

EPDs

Details

Functions

Reports

Scenarios

Alerts

Docs

Certification

Quality Checks

Scale Costs

Import

Audit Log

Collapse Tabs

People and Equipment

People

Equipment

Materials

Facilitating works

Substructure

Superstructure

Internal finishes

Fittings, furnishings and equipment

Services equipment

Prefabricated buildings and building units

Work to existing building

External works

Project/design team

Undefined

Energy and Water

Operational Energy

Water Use

Total

GWP (kg CO₂ eq)

2.20

0.00

0.00

0.00

33,882.73

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

33,884.92

Edit

Edit

Edit

Edit

Edit

Edit

Edit

Edit

Edit

Edit

Edit

Edit

Edit

Edit

Edit

Edit

Edit

Edit

Edit

Impact Summary

Global Warming Potential Total, GWP

Products

Recurring

Transport

End Of Life

Construction

Other

0k

5k

10k

15k

20k

25k

Global Warming Potential Total, GWP (kg CO₂ eq)

Products20,689.5

Transport4,722.1

Construction66.4

Recurring7,409.1

Energy0.0

Water0.0

End of Life997.8

Energy Export0.0

Product Reuse0.0

Total33,884.9

Fonte: Adaptado de eTool (2024).

A ferramenta foi capaz de analisar fielmente o projeto, considerando que as informações de localização geográfica e incidência solar puderam ser configuradas conforme a região de estudo. A Figura 12 apresenta os parâmetros de informações locais e a respectiva planta de localização incorporada ao relatório da ACL. No documento final, é informado sobre a existência ou não de uma revisão independente e que o objetivo do estudo é traçar o perfil e

melhorar o desempenho ambiental da construção obras, baseando nas normas ISO 14044 e EN15978.

Figura 12 – Configurações da localidade fiel ao projeto analisado



Fonte: Adaptado de eTool (2024).

O parâmetro utilizado para análise do impacto ambiental foi o potencial de Aquecimento Global GWP (kgCO₂.eq). Os demais parâmetros não estão disponíveis na versão de teste A. A Figura 13 apresenta o resultado para essa análise. O relatório indica que o projeto proposto tem um total de potencial de aquecimento global, impacto de GWP de 33.884,925 kgCO₂.eq por moradia. Os Impactos GWP do Estágio do Produto (A1A3) são o módulo de ciclo de vida mais dominante no Projeto Proposto, seguido pela Substituição (B4) e, em seguida, Transporte de Equipamentos e Materiais (A4). Complementando que a Superestrutura é a categoria de construção de maior impacto, as Telhas e revestimentos cerâmicos são as categorias de materiais de maior impacto.

Figura 13 – Projeto Proposto, Impactos Ambientais De Cada Fase Do Ciclo De Vida.

Characterised Impacts Per Dwelling Per No Time Scale	Construction Phases			Use Phases							End of Life Phases				Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Total		
	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B6+	B7	C1	C2	C3	C4		D	
Proposed Design																		
 GWP	kg CO ₂ eq	2.07E+4	4.72E+3	6.64E+1	0.00E0	0.00E0	0.00E0	7.41E+3	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	6.36E+2	0.00E0	3.61E+2	0.00E0	3.39E+4

Fonte: Adaptado de eTool (2024).

De forma geral, percebeu-se que a utilização de cada software e plataforma exige um maior domínio das suas especificidades para que mais informações possam ser extraídas e

subsidiar o profissional nas suas decisões de projeto. Por outro lado, as os programas são grande parte pagos ou não oferecem versões estudantis, dificultando acesso a uma maior capacidade de análise.

Segundo, o uso de softwares BIM para a realização da ACV está cada vez mais comum e auxilia na facilitação do processo de projeto, já que é possível simular ACV nos próprios softwares de arquitetura com plugins específicos. Porém, ao serem contabilizados os valores das licenças desses programas computacionais, a qualidade do produto final da ACV pode ser comprometida.

5. CONCLUSÕES

O trabalho demonstrou que as normas para avaliação do ciclo de vida das construções seguem as diretrizes das normas ABNT NBR ISO 14.040 e 14.044 e normas europeias EN 15.804:2013 e BS EN 15.978:2011 (BSI, 2011, 2013). Os softwares possuem algoritmo para realizarem suas análises em função das recomendações normativas e dos parâmetros de entrada dos usuários obtido a partir dos projetos, memoriais e especificações.

A escolha do Revit para modelagem da arquitetura da edificação estudada demonstrou-se acertada tendo em vista a qualidade do desenho apresentado e a disponibilidade de dados que podem ser inseridos no projeto. A partir daí, foi possível escolher um plugin que atendessem a demanda a ACV. O plugin eTool® na versão de teste possibilitou a análise de apenas um indicador do impacto ambiental, o potencial de Aquecimento Global GWP (kgCO₂.eq). Sua integração ao Revit foi realizada a contento, apesar de requerer uma prévia organização de arquivos, modelos etc. para resultados mais abrangentes dos que os encontrados.

A ACV da habitação de interesse social com projeto de construção em Caraúbas/RN apresentou impactos principais relacionados à extração e transporte de matérias-primas (A1A3), seguido pela Substituição (B4) e, em seguida, Transporte de Equipamentos e Materiais (A4).

REFERÊNCIAS

- ALVES, C. C. G. C. **Plataforma BIM na construção civil: vantagens e desvantagens na implantação**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Católica de Brasília, 2014.
- ANDRADE, M. L.; RUSCHEL, R. C. **BIM: Conceitos, Cenário das Pesquisas Publicadas no Brasil e Tendências**. Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. Anais...São Carlos: ANTAC, 2009.
- ASBEA – Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura. **Tabela Comparativa de Softwares BIM**. ASBEA. Disponível em: < www.asbea.org.br/download/Tabela_Comparativa_Softwares_BIM.xls >. Acesso em 20/mar/2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. 2 ed. Rio de Janeiro:2009.

Beltrame, D. (2013). **Meio Ambiente na Construção Civil**. Website Eduardo Floripa.

http://www.eduardo.floripa.com.br/download/Artigo_meio_ambiente.pdf

CALDAS, L.; CARVALHO, M.; TOLEDO FILHO, R. Inserção da ACV no processo de projeto de edificações: avaliação de alternativas e ferramentas computacionais para a prática de mercado. **Paranoá**, [S. l.], v. 13, n. 28, 2020. DOI: 10.18830/issn.1679-0944.n28.2020.09. Disponível em: <https://www.periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/32435>. Acesso em: 07 abr. 2024.

CHRISTOFOROU, E. et al. Cradle to site Life Cycle Assessment (LCA) of adobe bricks. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 443-452, jan. 2016.

CUNHA, C. G.; A importância do setor de construção civil para o desenvolvimento da economia Brasileira e as alternativas complementares 81 para o funding do crédito imobiliário no Brasil. 2012. 81f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/1799/1/GCCunha.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2023.

DIÁZ, J.; Antón, L. A. **Sustainable Construction Approach through Integration of LCA and BIM Tools. In: Computing in Civil and Building Engineering**, 2014, Nova York/NY. Anais Computing in Civil and Building Engineering 2014. Nova York: ASCE, 2014. 283-290.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CEN EN 15804: sustainability of construction works: environmental product declarations: core rules for the product category of construction products**. Brussels, 2013.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CEN EN 15978: sustainability of construction works: assessment of environmental performance of buildings – calculation method**. Brussels, 2011.

FARAH, T. **Review of Current Estimating Capabilities of the 3D Building Information Model Software to Support Design for Production/Construction**. 2005., 2005.

HUDSON, R. Strategies for Parametric Design in Architecture (**Estratégias para projeto paramétrico em arquitetura**): Uma aplicação de pesquisa conduzida pela prática. Tese (Doutorado em Filosofia (PhD)). Universidade de Bath, 2010.

kininmonth, W. (2010). Is carbon dioxide dangerous? Em A. Moran (Ed.), **Climate Change. The Facts** (pp. 31-43). Melbourne: Institute of Public Affairs.

LOTTI, M. G. **Processo de Desenvolvimento e Implantação de Sistemas, Medidas e Práticas Sustentáveis com Vista a Certificação Ambiental de Empreendimentos Imobiliários – Estudo de Caso: Empreendimento Bairro Ilha Pura – Vila dos Atletas 2016**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ. 2015.

MASOTTI, Luís Felipe Cardoso. **Análise da implementação e do impacto do BIM no Brasil**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

OTOBO, A. O.; SANTANA, A. C.; COSTA, C. F. Índice De Responsabilidade Socioambiental Empresarial No Distrito Administrativo De Icoaraci (Dai-co), Belém – Pará. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, 2016. Disponível em: <<http://www.rbhdr.net/revista/index.php/rbhdr/article/view/2131>>. Acesso em: 27 nov. 2023.

WASTIELS, L.; DECUYPERE, R. Identification and comparison of LCABIM integration strategies. **IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.** 2019, p. 323.
