

## AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA ESCOLHA DOS REVESTIMENTOS DE FACHADA NA EMISSÃO INCORPORADA DE GEE DE EDIFÍCIOS DO SETOR NOROESTE- BRASÍLIA/DF

FARIA, Roberta Carolina Assunção<sup>1</sup>(robertacfaria7@gmail.com); SILVA, Caio Frederico<sup>2</sup> (caiosilva@unb.br); SASSO-FERRÃO, Ariane Louzada<sup>3</sup>(caiosilva@unb.br)

<sup>1</sup>Universidade de Brasília (UNB), Brasil

<sup>2</sup> Universidade de Brasília (UNB), Brasil

**Palavras-chave:** mudanças climáticas, emissão incorporada de GEE, avaliação de ciclo de vida, fachadas, revestimento

### Resumo:

A atividade da construção de edifícios é parte responsável pelas emissões de GEE na atmosfera, logo esta mesma atividade precisa estar alinhada com as metas globais que buscam frear o aumento da temperatura terrestre. Os materiais construtivos especificados nos projetos acarretam impactos no meio ambiente desde a sua produção até seu descarte. Portanto, o uso de materiais de maior impacto ambiental aumenta a emissão de GEE advinda da cadeia produtiva da indústria da construção. Este estudo buscou avaliar o impacto das emissões incorporadas de GEE referentes aos materiais de revestimento das fachadas pela metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV) em edifícios do Setor Noroeste-DF. Na metodologia do estudo foram definidas três tipologias que representaram os edifícios da Etapa 01 de implementação do Setor, sendo elas 01) de planta quadrada, com área de projeção de 1.024m<sup>2</sup>; 02) planta retangular, com área de projeção de 1.000m<sup>2</sup>; e 03) planta retangular, com área de projeção de 1.500m<sup>2</sup>. Avaliando apenas os materiais das fachadas, verificou-se que a tipologia 01 atingiu o valor de 109,34 kgCO<sub>2</sub>eq./m<sup>2</sup> de fachada, a tipologia 02 totalizou 80,75 kgCO<sub>2</sub>eq./m<sup>2</sup> de fachada e a tipologia 03, obteve 76,11 kgCO<sub>2</sub>eq./m<sup>2</sup> de fachada. Ao avaliar apenas os materiais aplicados nos revestimentos das fachadas observou-se que granito, reboco, ACM, tinta e vidro foram os materiais de maior impacto nas tipologias, sendo que na tipologia 01 o material de revestimento de maior impacto foi o granito, totalizando 71% contribuindo para que essa tipologia apresentasse o maior impacto comparando com as outras.

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento latente da demanda por áreas urbanizadas eleva cada vez mais a necessidade da construção de edifícios, que é uma parcela relevante, dentre as atividades humanas de produção e consumo, que impactam no aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE). Dados do IPCC (2021) registram que caso as emissões de GEE globais continuem sendo produzidas no ritmo atual, o aquecimento terrestre em 1,5°C ocorrerá antes de 2030. Portanto é emergencial que se ampliem as metas para frear este aumento por meio de estratégias de descarbonização dos setores produtivos dos países.

A atividade da construção de edifícios foi responsável por 38% das emissões de CO<sub>2</sub> mundialmente em 2019 (UNEP, 2020), e de acordo com Ruuska e Häkkinen (2015), uma edificação consumia em

todo o seu ciclo de vida entre 14 e 50% de matéria-prima, ou seja, há um impacto gerado antes, durante e depois da vida útil de um edifício, como nas fases de produção, canteiro de obras e demolição. De acordo com Abeydeera; Mesthrige; Samarasinghalage (2019) Chang, Ries, Lei, (2012), Ibn-Mohammed et al. (2013) Ji et al. (2020) Langston e Langston (2008) e Ramesh; Prakash; Shukla (2010) dois conceitos vinculados à emissão de GEE pelos edifícios, sendo eles a emissão operativa de GEE – relacionada com a energia consumida para manter o edifício ativo e confortável e a emissão incorporada de GEE – relacionada com os GEE emitidos durante os processos de extração de matéria prima, manufatura, transporte, construção, operação, manutenção, renovação e demolição.

A metodologia consolidada mundialmente para avaliar a emissão de GEE de um edifício é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) definida pela *Society for Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC, 1991) como um processo de verificação dos impactos ambientais relacionados com a produção de um produto, sistema ou atividade, que quantifica as entradas e saídas de energia, uso de matéria e emissões que são liberadas no meio ambiente. Este método busca apoiar na identificação de melhorias nos processos que possam reduzir os impactos ambientais advindos da produção de um bem de consumo (ABNT, 2014).

## 2 JUSTIFICATIVA

Apesar de complexo, é essencial que se considerem as emissões incorporadas nos materiais e processos construtivos de um edifício (DE WOLF et al., 2017; DIXIT et al., 2012; HÄKKINEN et al., 2015; IBN-MOHAMMED et al., 2013; LÜTZKENDORF; BALOUKTSI, 2016), visto que muito tem sido discutido e regulamentado para a etapa operacional de edificações, mas que não ocorrem na mesma proporção para as emissões incorporadas (ABEYDEERA; MESTHRIGE; SAMARASINGHALAGE, 2019; BIRGISDÓTTIR et al., 2016; HERNANDEZ; KENNY, 2010; IBN-MOHAMMED et al., 2013) e que estão aumentando (POMPONI; MONCASTER, 2016; RÖCK et al., 2020).

Um dos desafios a ser superado pela atividade da construção de edifícios e pelos agentes dessa cadeia produtiva para a redução das emissões de GEE está relacionado à carência de dados coletados e comparáveis, que inclua a mensuração dos impactos ambientais advindos de todos os estágios vinculados ao ciclo de vida do edifício (LÜTZKENDORF; BALOUKTSI, 2016; JOHN et al., 2020).

Para que a descarbonização da atividade de construção de edifícios seja uma realidade, é essencial que os agentes dessa cadeia produtiva estejam alinhados com metas de redução das emissões de GEE, incluindo formuladores de políticas, fabricantes e projetistas (LÜTZKENDORF; BALOUKTSI, 2016). Destaca-se neste ponto de análise a importância de fabricantes compartilharem informações técnicas sobre o impacto da manufatura dos materiais, de modo a fomentar uma competitividade de mercado pautada na qualidade ambiental dos produtos, e dos projetistas optarem por decisões de projetos que busquem um menor impacto ambiental, como a especificação de materiais de menor emissão incorporada de GEE, por exemplo (BALOUKTSI; LÜTZKENDORF; KREINER, 2016).

### 3 OBJETIVO

O objetivo deste artigo foi avaliar a categoria de impacto das mudanças climáticas da metodologia de avaliação de ciclo de vida (ACV) referente às decisões projetuais da escolha de revestimentos de fachadas em edifícios em altura no Setor Noroeste – DF.

### 4 MÉTODO

Para este estudo foi utilizada a metodologia ACV buscando avaliar nas envoltórias externas dos edifícios os materiais de revestimento das fachadas utilizados nos edifícios da etapa 01 (endereços de 11 a 7) do Setor Noroeste, localizado em Brasília, no Distrito Federal. Verificou-se na etapa 01, por meio de levantamentos in loco, a predominância de três tipologias edilícias para o estudo que se diferem pela área de projeção da planta, sendo elas: a. quadrada, 1.024m<sup>2</sup>; b. retangular, 1.000m<sup>2</sup> e c. retangular, 1.500m<sup>2</sup> (Figura 1).



**Figura 1.** Etapa 01 do Setor Noroeste e tipologias edilícias do estudo

A norma brasileira que descreve os princípios e a estrutura para realizar uma ACV é a NBR 14.040, que define quatro etapas principais, como: i. definição de objetivo e escopo; ii. análise de inventário (ICV); iii. avaliação do impacto (AICV); e iv. interpretação. Por conseguinte, as etapas metodológicas desta pesquisa seguem as mesmas quatro apresentadas pela Norma Brasileira.

#### 4.1 Definição do objetivo e escopo

De acordo com Khasreen, Banfill e Menzies (2009), é essencial identificar e definir as questões a serem respondidas pela ACV inicialmente como: A) unidade funcional, B) público-alvo, C) fronteiras do sistema, D) categoria de impacto e outros, que são denominados como objetivo e escopo pela norma. A definição do escopo contribui para restringir as fronteiras do estudo, como os estágios de avaliação, e aqui destaca-se a norma europeia EN 15.978 de 2011 que apresenta uma definição mais clara desses estágios de modo a contribuir com a comparabilidade de estudos.

No caso deste estudo, optou-se por trabalhar com os estágios de produção (A1-A3), focando a análise nos materiais de construção de revestimento das fachadas de edifícios construídos localizados na Etapa 01 do Setor Noroeste, utilizando bancos de inventários do Ecoinvent, de Declarações Ambientais de Produtos (DAP) e da literatura. O método de quantificação dos materiais proposto foi o levantamento in loco com modelagem 3D das informações da construção (BIM), consolidando as informações do estudo em planilha. A unidade funcional definida é área das fachadas (m<sup>2</sup>) dos edifícios verificados. Um resumo da definição do objetivo e escopo estão apresentados na Tabela 1 abaixo:

**Tabela 1.** Resumo da definição do objetivo e escopo da ACV

Itens verificados	Definições
Objetivo da avaliação	Calcular CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> de fachada dos materiais de revestimento das fachadas
Categoria de impacto	Mudanças climáticas
Público – alvo	Academia
Metodologia de avaliação	NBR 14.040, apoiada pela EN 15.978
Estágios da ACV	A1 - A3 (produção) - berço ao portão
Partes do edifício avaliadas	Fachadas
Base de dados	Ecoinvent, DAP, Literatura
Software ACV	Planilha - Microsoft Excel
Método de quantificação dos materiais	Levantamento in loco e modelagem 3D (BIM)
Unidade funcional	Área de fachada (m <sup>2</sup> )

## 4.2 Análise do inventário do ciclo de vida (ICV)

Nesta etapa do estudo foram calculados os dados de entrada e saída de energia, matéria prima e emissão de um processo, sistema ou atividade (PASSUELLO et al., 2014), que de acordo com a ABNT (2014) é um processo iterativo que depende da disponibilidade dos dados levantados. Neste estudo foram levantadas as informações da especificação e quantitativo dos materiais de construção que compõem as fachadas, para em seguida procurar suas informações nos bancos de inventários existentes, como o Ecoinvent, DAPs e a literatura que apresentem dados específicos para o contexto brasileiro.

O Ecoinvent é uma ferramenta elaborada pelo Instituto Federal Suíço para Pesquisas e Testes de Materiais (EMPA) em parceria com o governo suíço, e que desde sua versão 3.6 possui dados de materiais para o contexto brasileiro. Já as DAPs (em inglês *Environmental Product Declaration – EPD*) são documentos compartilhados pelas indústrias que apresentam o impacto ambiental relativo à produção de um produto (CALDAS; CARVALHO; TOLEDO FILHO, 2020), sendo neste caso, os materiais de construção, e que seguem a metodologia de avaliação da ACV. Por fim, para alguns materiais não encontrados no Ecoinvent ou em DAPs, optou-se por buscar os dados na literatura.

Neste estudo, para a etapa de ICV, organizou-se quatro fases de levantamento das informações, sendo elas: 01) a de levantamento in loco para compreender os padrões construtivos dos edifícios da Etapa 01 do Setor Noroeste, 02) o levantamento de informações sobre a especificação dos materiais mais utilizados nas fachadas dos edifícios, 03) o escaneamento a laser das tipologias edilícias e 04) a modelagem 3D realizada com tecnologia BIM (Figura 2).



**Figura 2.** Fluxo do levantamento de informações sobre os materiais de construção das fachadas

#### 4.2.1 O levantamento in loco

Realizou-se por meio de registros fotográficos de 33 edifícios edificadas na Etapa 01 do Setor Noroeste, a partir dos quais verificou-se os materiais de construção mais utilizados nas fachadas dos edifícios.

#### 4.2.2 O levantamento das especificações dos materiais de revestimento das fachadas

Realizou-se por meio de consulta a empresa especializada que realiza estudos e certificações de desempenho de edifícios, a qual informou os materiais aplicados a quatro diferentes edifícios avaliados pela empresa no Setor Noroeste que estão apresentados na Tabela 2 abaixo:

**Tabela 2.** Materiais de referência comumente encontrados nas fachadas dos edifícios avaliados pela empresa especializada

Paredes externas	Material de construção	Espessura (cm)	Especificação
Edifício A	Esquadria	-	Alumínio anodizado preto fosco
	Vidro	0,8	Incolor comum / NP41 CCC.NP41.4.4
	Granito	2,0	Branco Siena
	Camada de Ar	6,0	-

	Bloco de Concreto	11,5	-
	Reboco	2,0	-
Edifício B	Esquadria	-	Alumínio anodizado
	Vidro	0,8	Incolor / AG43 CCC 44.1 – Guardian
	Reboco externo	3	-
	Bloco de concreto	12	-
	Reboco interno	2	-
Edifício C	Esquadria	-	Alumínio anodizado
	Vidro	0,8	Ambar Face / BRB 127
	Granito	2,0	Marrom Goiás / Branco Siena
	Revestimento cerâmico	1,0	Pastilha SG8414 boráx Atlas 5x5cm
	Argamassa de assentamento	0,5	-
	Reboco	1,5	-
	Alvenaria / Bloco de Concreto	19	-
	Reboco / Pintura	1,5	Novacor cinza em cimento ou concreto desempenado
Edifício D	Esquadria	-	Alumínio anodizado
	Vidro	0,6	Incolor / Reflect Guardian
	Granito	2,0	-
	Camada de ar	6,0	-
	Tijolo cerâmico	14,0	-
	Argamassa com pintura	1,5	-

Fonte: Adaptado da Quali-A (2023)

#### 4.2.3 Escaneamento a laser

Realizou-se com sensores terrestres que analisaram os três edifícios representativos das tipologias verificadas. O equipamento utilizado foi o Laser Scan da FARO modelo Focus<sup>m</sup> (**Error! Reference source not found.**). A partir do escaneamento produziram-se arquivos de nuvens de pontos que foram utilizados como material base para a modelagem 3D (**Error! Reference source not found.**).

#### 4.2.4 Modelagem 3D

Realizou-se com tecnologia BIM pelo software Archicad com o qual também foram extraídos os quantitativos de materiais definidos na modelagem. Os três modelos representativos desenvolvidos das tipologias verificadas na etapa 01 do Setor Noroeste para o estudo foram os apresentados pela Figura 3.



Figura 3. Tipologias modeladas no estudo

#### 4.3 Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV)

Para esta etapa, se relaciona um método de avaliação, também denominados de modelos de caracterização. Estes modelos calculam fatores de caracterização (ou emissão) relacionados a uma categoria de impacto que são multiplicados pelos dados encontrados na etapa de ICV (PIEKARSKI et al., 2012).

Para esse estudo, optou-se por utilizar o método EN 15804 +02 Method / EF 3.0 normalization and weighting set que é o mais utilizado para estudos da construção civil e, como apresentado na primeira etapa de definição do objetivo e escopo, o estudo focou em avaliar apenas a categoria de impacto das mudanças climáticas que utiliza o indicador de CO<sub>2</sub> equivalente e é equivalente ao Potencial de Aquecimento Global (em inglês *Global Warming Potential – GWP*) definido no relatório de 2007 do IPCC.

#### 4.4 Interpretação dos resultados

A etapa de interpretação dos resultados foi essencial para consolidar os resultados obtidos no estudo, sendo que a partir dela foram comunicados os resultados, limitações e recomendações relevantes para apoiar a melhoria do processo objetivando um menor impacto ambiental (PASSUELLO et al., 2014).

Nesta etapa, propôs-se apresentar um comparativo entre os impactos dos materiais de revestimento de fachada utilizados nos edifícios do Setor Noroeste focados na categoria de impacto das mudanças climáticas com os dados observados para o contexto brasileiro, apoiando, assim, a reflexão sobre decisões de projetos mais alinhadas com a meta de redução das emissões de GEE.

## 5 RESULTADOS

O resultado obtido do levantamento das informações dos materiais das fachadas verificou que com relação aos materiais das fachadas, a tipologia 01 obteve o total de 109,34 kgCO<sub>2</sub>eq./m<sup>2</sup> de fachada. A tipologia 02 obteve o total de 80,75 kgCO<sub>2</sub>eq./m<sup>2</sup> de fachada. E a tipologia 03 obteve o total de 76,11 kgCO<sub>2</sub>eq./m<sup>2</sup> de fachada. Os valores detalhados obtidos por materiais estão expressos na Tabela 3 abaixo:

**Tabela 3.** Quantitativo dos materiais por tipologia (fluxo de entrada e saída)

Tipologia 01: área total de fachadas de 3.048m <sup>2</sup>						
Material	Qtd.	Un.	Massa	Fator de emissão	Un.	kgCO <sub>2</sub> eq
Argamassa Colante	7,30	m <sup>3</sup>	13.879,00	0,204 (DAP)	m <sup>3</sup>	2.829,48
Bloco de Concreto	565,38	m <sup>3</sup>	1.208.217,06	0,11 (Freitas, <i>et al.</i> , 2022)	Kg	132.903,88
Granito	48,87	m <sup>3</sup>	146.610,00	0,96 (Ecoinvent)	Kg	140.745,60
Pastilha cerâmica	7,37	m <sup>3</sup>	14.733,60	0,87 (Carcassi <i>et al.</i> , 2022)	Kg	12.818,23
Reboco	10,36	m <sup>3</sup>	35.037,00	0,47 (Ecoinvent)	Kg	4.025,66
Esquadria de alumínio	591,02	m <sup>2</sup>	478,73	8,43 (Carcassi <i>et al.</i> , 2022)	Kg	4.035,66
Vidro	1.405,72	m <sup>2</sup>	1.402,72	20,00 (DAP)	m <sup>2</sup>	28.114,40
Tinta	512,60	m <sup>2</sup>	1.537,80	2,36 (Moraga, 2017)	m <sup>3</sup>	3.629,21
Tipologia 02: área total de fachadas de 4.166m <sup>2</sup>						
Material	Qtd.	Un.	Massa	Fator de emissão	Un.	kgCO <sub>2</sub> eq
ACM <sup>1</sup>	1.468,54	m <sup>2</sup>	1.468,54	26,70 (DAP)	m <sup>2</sup>	39.210,02
Argamassa Colante	8,16	m <sup>3</sup>	15.504,00	0,204 (DAP)	Kg	3.162,82
Bloco de Alvenaria	733,71	m <sup>3</sup>	1.027.194,00	0,15 (Freitas, <i>et al.</i> , 2022)	Kg	154.079,10
Pastilha Cerâmica	8,48	m <sup>3</sup>	16.969,40	0,87 (Carcassi <i>et al.</i> , 2022)	Kg	14.763,38
Granito	5,19	m <sup>3</sup>	16.781,00	0,96 (Ecoinvent)	Kg	14.943,46
Reboco	75,34	m <sup>3</sup>	128.073,41	0,47 (Ecoinvent)	Kg	59.682,21
Esquadria de alumínio	959,73	m <sup>2</sup>	777,38	8,43 (Freitas, <i>et al.</i> , 2022)	Kg	6.553,32

<sup>1</sup> Placas compostas por chapas de alumínio e polietileno.

Vidro	869,34	m2	869,34	20,00 (DAP)	m2	17.386,80
Tinta	3.764,50	m2	11.293,50	2,36 (Moraga, 2017)	Kg	26.652,66
Tipologia 03: área total de fachadas de 6.162m2						
Material	Qtd.	Un.	Massa	Fator de emissão	Un.	kgCO2eq
ACM	276,65	m2	276,65	26,70 (DAP)	m2	7.386,56
Argamassa colante	12,40	m3	23.560,00	0,204 (DAP)	Kg	4.712,00
Pastilha cerâmica	17,35	m3	21.830,63	0,87 (Carcassi <i>et al.</i> , 2022)	Kg	18.992,65
Porcelanato	6,43	m3	13.504,35	0,13 (Archicad)	Kg	1.755,57
Granito	2,27	m3	7.339,99	0,96 (Ecoinvent)	Kg	6.550,85
Reboco	171,95	m3	292.315,00	0,47 (Ecoinvent)	Kg	136.218,70
Bloco de Concreto	1.099,65	m3	1.759.187,00	0,11 (Freitas, <i>et al.</i> , 2022)	Kg	193.510,57
Esquadria de alumínio	1.671,24	m2	1.353,70	8,43 (Carcassi <i>et al.</i> , 2022)	Kg	11.411,73
Vidro	1.950,04	m2	1.950,04	20,00 (DAP)	m2	39.000,80
Tinta	6.986,79	m2	20.960,37	2,36 (Moraga, 2017)	Kg	49.466,47

Ao comparar os resultados obtidos nas três tipologias comparando os impactos de cada material, observou-se a predominância dos materiais que compõem a estrutura das paredes, como bloco de concreto e bloco de alvenaria, como apresentado na Figura 4 abaixo:

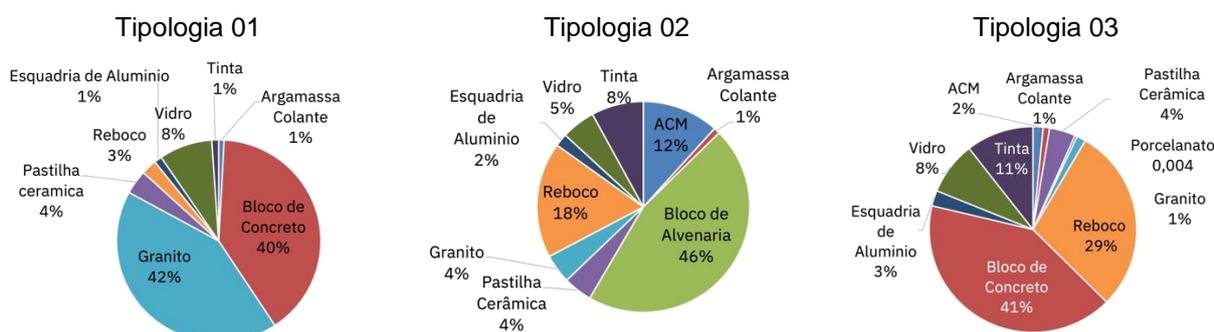
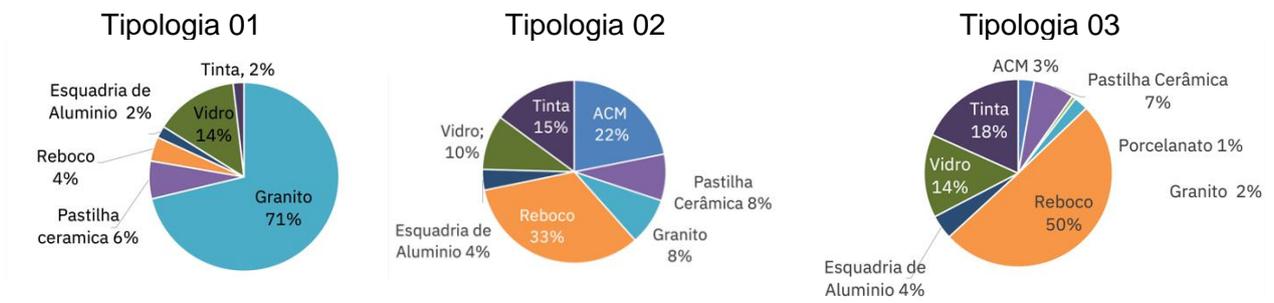


Figura 4. Resultado da avaliação do potencial de aquecimento global dos materiais das fachadas

Buscando compreender o impacto referente as escolhas dos materiais de revestimento das fachadas, retirou-se os materiais que compõem a estrutura das paredes, e os resultados obtidos apresentaram que há um alto impacto referente a escolha de materiais como granito, reboco, ACM, tinta e vidro (Figura 5). Portanto, ao analisar os revestimentos das tipologias observou-se um alto uso de granito e vidro na tipologia 01, de reboco, ACM e Tinta na tipologia 02 e reboco, vidro e tinta na tipologia 03, o que responde ao resultado da fachada com maior impacto ser a da tipologia 01, com 109, 34 kgCO<sub>2</sub>eq./m<sup>2</sup> de fachada.



**Figura 5.** Resultado da avaliação do potencial de aquecimento global dos materiais de revestimento das fachadas



**Figura 6.** Composição das fachadas do estudo

## 6 CONCLUSÃO

Para que a atividade da construção de edifícios possa contribuir com a meta global de redução de GEE é essencial que haja estudos e dados sobre os impactos ambientais advindos das escolhas projetuais. Contudo, para melhor avaliação dos resultados de uma ACV sobre edifícios no Brasil, é necessário ampliar os bancos de inventários dos materiais contemplando uma maior variedade de fabricantes e tipos de materiais produzidos no país.

A especificação dos materiais de revestimento das fachadas pode contribuir com a redução das emissões incorporadas de GEE de edifícios, logo mostra-se importante vincular essa decisão aos instrumentos legais de construção das cidades, como códigos de obra, planos diretores e outros, além de recompensar projetos que demonstrem a redução de emissão de GEE por meio das decisões projetuais.

Por fim, é importante ampliar os estudos de ACV em edifícios para contemplar mais estágios, como o de construção (A4-A5), o de operação (B1-B7) e demolição (C1-C4).

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeydeera, L. H. U. W.; Mesthrige, J. W.; Samarasinghalage, T. I. (2019). Perception of embodied carbon mitigation strategies: The case of Sri Lankan construction industry. *Sustainability (Switzerland)*, v. 11, n. 11, 1 jun. 2019.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. p. 21, 2014.
- Balouktsi, M.; Lützendorf, T.; Kreiner, H. (2016) Guidance to including Embodied Energy & Embodied GHG Emissions in the decision-making process for SME's - Guidline for Construction Product Manufacturers (IEA EBC Annex 57).
- Birgisdóttir, H. et al. Evaluation of Embodied Energy and CO<sub>2</sub>eq for Building Construction (Annex 57) - Subtask 4: Case studies and recommendations for the reduction of embodied energy and embodied greenhouse gas emissions from buildings. [s.l: s.n.].
- Caldas, L.; Carvalho, M.; Toledo Filho, R. (2020). Inserção da ACV no processo de projeto de edificações: avaliação de alternativas e ferramentas computacionais para a prática de mercado. Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo, n. 28, p. 0–1, 2020.
- Carcassi, O. B. et al. (2022) Material Diets for Climate-Neutral Construction. *Environmental Science and Technology*, v. 56, n. 8, p. 5213–5223.
- Chang, Y.; Ries, R. J.; Lei, S. (2012). The embodied energy and emissions of a high-rise education building: A quantification using process-based hybrid life cycle inventory model. *Energy and Buildings*, v. 55, p. 790–798.
- De Wolf, C.; Pomponi, F.; Moncaster, A. (2017) Measuring embodied carbon dioxide equivalent of buildings: A review and critique of current industry practice. *Energy and Buildings*, v. 140, p. 68–80.
- Dixit, M. K. et al. (2012) Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

- Freitas; Urruchua; e Caldas. (2022) Pirâmide de diferentes materiais da construção do Brasil.
- Häkkinen, T. et al. (2015). Reducing embodied carbon during the design process of buildings. *Journal of Building Engineering*, v. 4, p. 1–13, 2015.
- Hernandez, P.; Kenny, P. (2010). From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings*, v. 42, n. 6, p. 815–821.
- IBN-Mohamed, T. et al. (2013). Operational vs. embodied emissions in buildings - A review of current trends. *Energy and Buildings*, v. 66, p. 232–245.
- International Energy Agency (IEA). Evaluation of Embodied Energy and CO<sub>2</sub>e for Building Construction (Annex 57). [s.l: s.n.].
- Ji, C. et al. (2020). Embodied and Operational CO<sub>2</sub> Emissions of the Elementary School Buildings in Different Climate Zones. *KSCE Journal of Civil Engineering*, v. 24, n. 4, p. 1037–1048.
- John, V. M. et al. (2020). Proposta de método prático para avaliar o desempenho ambiental no ciclo de vida da construção. *CONCRETO & Construções*, v. ,XLVIII, n. 100, p. 48–56.
- Khasreen, M. M.; Banfill, P. F. G.; Menzies, G. F. (2009) Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: A review. *Sustainability*, v. 1, n. 3, p. 674–701.
- Langston, Y. L.; Langston, C. A. (2008). Reliability of building embodied energy modelling: An analysis of 30 Melbourne case studies. *Construction Management and Economics*, v. 26, n. 2, p. 147–160.
- Lützkendorf, T.; Balouktsi, M. Evaluation of Embodied Energy and CO<sub>2</sub>e for Building Construction (Annex 57) - Subtask 1: basics, actors and concepts. [s.l: s.n.].
- Moraga, G. L. (2017). Avaliação do Ciclo de Vida e simulação termoenergética em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Passuelo, A. C. B. et al. (2014). 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*, v. 14, n. 4, p. 7–20.
- Piekarski, C. M. et al. (2012). Métodos de avaliação de impactos do ciclo de vida: uma discussão para adoção de métodos nas especificidades brasileiras. *Revista Gestão Industrial*, v. 8, n. 3, 6.
- Pomponi, F.; Moncaster, A. (2016). Embodied carbon mitigation and reduction in the built environment – What does the evidence say? *Journal of Environmental Management*, v. 181, p. 687–700.
- Ramesh, T.; Prakash, R.; Shukla, K. K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, v. 42, n. 10, p. 1592–1600.
- Röck, M. et al. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, v. 258, 15 jan.
- Ruuska, A. P.; Häkkinen, T. M. (2015). The significance of various factors for GHG emissions of buildings. *International Journal of Sustainable Engineering*, v. 8, n. 4–5, p. 317–330.