



ANÁLISE PROJETUAL DE OPORTUNIDADES PARA ELEVAR A CIRCULARIDADE DE EDIFICAÇÕES

Palavras-Chave: ECONOMIA CIRCULAR, EDIFICAÇÕES, BIM

Autores/as:

ARTHUR DE SOUZA PERA, FECFAU, UNICAMP

Prof.^a Dr.^a VANESSA GOMES DA SILVA, FECFAU, UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A economia circular visa eliminar o conceito de poluição e de geração de resíduos, manter a integridade do produto ao longo de vários ciclos de uso e focar no fechamento de ciclos de materiais e energia. Métricas de circularidade são relevantes, pois servem para monitorar, relatar e comunicar o progresso rumo à implementação da economia circular. Aplicadas a edificações, tais métricas estruturam a avaliação por meio de indicadores padronizados, que estabelecem uma linguagem comum entre os agentes envolvidos, ajudam a implementar estratégias para avaliar o potencial circular das opções técnicas e para acompanhar o andamento de um projeto.

A ideia de circularidade aplicada a edificações passa pelo conceito de projeto para desmontagem (ou desconstrução): projetar e construir estruturas que podem ser desmontadas, com os materiais e componentes originais sendo retornados

aos ciclos produtivos, para maximizar a vida útil dos recursos utilizados. No entanto, os estudos tratando de métricas de circularidade e projeto para desmontagem de edificações são escassos mundialmente e muito variáveis entre si, o que prejudica o avanço do conhecimento e prática neste campo.

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar aspectos fundamentais de circularidade, ilustrados por edifícios exemplares e de projeto segundo os princípios da economia circular. Espera-se identificar e selecionar aspectos estratégicos aplicáveis a modelagem da informação construída (BIM) e formular um encaminhamento para aplicação de indicadores de circularidade na fase inicial de projeto.

METODOLOGIA:

Para alcançar os objetivos propostos, a abordagem metodológica selecionada para este projeto consiste em quatro etapas:

Realização de duas Revisão Sistemática da Literatura (RSL); Estudo de aplicação do indicador em BIM; Aplicação do indicador de circularidade em um estudo de caso; Análise dos indicadores com diferentes materiais e métodos construção para o mesmo edifício.

Assim, a primeira RSL teve como objetivo analisar novas métricas dando continuidade à pesquisa de Sara Valdivia: MÉTRICAS SOBRE CIRCULARIDADE PARA EDIFICAÇÕES, a qual possui Revisão Sistemática da Literatura para o período de 2015 a 2021, dessa forma, a revisão realizada se limita a artigos do ano de 2022 e abrange duas bases de dados (Scopus e Web of Science), totalizando 148 (77 + 71) artigos. A RSL é baseada na seguinte cadeia de pesquisa:

Scopus:

```
TITLE-ABS-KEY ( ( ( "Circula*" AND ( "economy" OR "design" ) ) OR ( "regenerative" ) ) AND ( "Indicato*" OR "metric*" OR "index*" ) AND ( "Buil* environment" OR "Buildin*" ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "re" ) ) ) AND ( LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2022 ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) OR LIMIT-TO ( LANGUAGE , "Spanish" ) )
```

Web of Science:

```
((TS=(((("Circula*" AND ("economy" OR "design")) OR ("regenerative")) AND ("Indicato*" OR "metric*" OR "index*") AND ("Buil* environment" OR "Buildin*")))) AND PY=(2022)) AND DT=(Article OR Review)) AND LA=(English OR Spanish) Filtrado por: Anos da publicação: 2022
```

Critérios para inclusão e exclusão de artigos, contendo a cada filtragem o número de artigos:

1º filtragem: todos os artigos duplicados foram excluídos uma cópia para que na amostra original permanecesse uma cópia de cada

trabalho. Dessa forma, saíram 51 documentos e restaram 97 artigos;

2º filtragem: Foram excluídos todos os artigos com títulos que indicassem claramente que o conteúdo do trabalho não se adequava à questão de pesquisa. Os artigos cujos títulos lançam dúvidas sobre sua conformidade foram retidos. Logo, excluiu-se 40 artigos e manteve-se 57 trabalhos.

3º filtragem: Foram excluídos todos os artigos com resumos que indicassem claramente que o conteúdo do trabalho não se adequava à questão de pesquisa. Os artigos cujos resumos lançam dúvidas sobre sua conformidade foram retidos. Assim, foram excluídos 26 documentos, restando 31.

4º filtragem: Foram excluídos todos os artigos que não abordavam indicadores de circularidade na construção. Por fim, excluiu-se 19 artigos, chegando assim à amostra final de 12 trabalhos.

A segunda RSL teve como objetivo a busca de artigos que envolvem a aplicação de métricas de economia circular nos modelos de informação da construção (BIM – Building Information Modeling), a busca abrangeu a base de dados Scopus, totalizando 20 artigos. A RSL é baseada na seguinte cadeia de pesquisa:

Scopus:

```
TITLE-ABS-KEY ( ( ( "Circula*" AND ( "econom*" OR "design" ) ) OR ( "regenerativ*" ) ) AND ( "Indica*" OR "metric*" OR "index" ) AND ( "Buil* environment" OR "Buildin*" ) AND ( "BIM" OR "Information Modeling" ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "re" ) ) ) AND ( LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2022 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2021 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2020 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2019 ) OR
```

LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Portuguese"))

Critérios para inclusão e exclusão de artigos, contendo a cada filtragem o número de artigos:

1º filtragem: com base nos artigos apareceram na primeira revisão, aqueles que se repetiam foram excluídos. Dessa forma, saíram 4 documentos e restaram 16 artigos;

2º filtragem: Foram excluídos todos os artigos com títulos que indicassem claramente que o conteúdo do trabalho não se adequava à questão de pesquisa. Os artigos cujos títulos lançam dúvidas sobre sua conformidade foram retidos. Excluiu-se 7 artigos e manteve-se 9.

3º filtragem: Foram excluídos todos os artigos com resumos que indicassem claramente que o conteúdo do trabalho não se adequava à questão de pesquisa. Os artigos cujos resumos lançam dúvidas sobre sua conformidade foram retidos. Assim, foram excluídos 5 documentos, restando 4.

Na etapa de Estudo de aplicação dos indicadores circularidade em BIM foram realizados testes de inserção da informação de forma que os cálculos pudessem ser feitos dentro do próprio software de modelagem sem a necessidade de exportação e importação de dados, e assim, já se ter uma ideia prévia do indicador de circularidade final do edifício e poder intervir e repensar se aquela é a melhor decisão projetual.

Dessa forma, na terceira etapa foi aplicado o indicador de circularidade a partir

da metodologia desenvolvida na etapa anterior em um edifício totalmente modelado em BIM e maximamente detalhado do acervo pessoal do autor.

Na última etapa foi realizada a análise dos indicadores de circularidade a partir da alteração do tipo de material das estruturas e vedações e o método de construção, desde que viável para o edifício do estudo de caso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A primeira revisão sistemática da literatura adiciona 12 artigos a revisão anterior de Sara, porém não se encontrou novos índices que pudessem ser aplicados de forma clara e detalhada à edificação quanto o MCI (Indicador de Circularidade do Material) e suas derivações: PCI (Indicador de Circularidade do Produto), SCI (Indicador de Circularidade do Sistema) e o BCI (Indicador de Circularidade do Edifício) que varia de 0 a 1, sendo 0 um sistema linear e 1 totalmente circular. Assim, sendo este o indicador escolhido para aplicação no software BIM.

A segunda revisão sistemática da literatura chega a 4 artigos de 20 que pudessem contribuir para a aplicação de métricas de circularidade em BIM, porém nenhum artigo apresenta uma metodologia que pudesse ser aproveitada.

Dessa maneira, para a aplicação dos índices foi utilizado o software Archicad versão Estudante, aonde foi possível, por

meio dos gestor de propriedades, adicionar os dados (figura 1) de forma que pudessem ser editados durante o processo de projeto de forma intuitiva.

▼ MCI		
↳ Índice de Circularidade do Material (MCI)	Número	<Expressão>
↳ Vida Útil (Lp)	Inteiro	<Indefinido>
↳ Entrada de Material Virgem (V)	Inteiro	<Indefinido>
↳ Saída de Material NÃO Reutilizável (W)	Inteiro	<Indefinido>
↳ Índice de Fluxo Linear (LFI)	Número	<Expressão>
↳ Vida Útil Esperada (Lsys)	Inteiro	<Indefinido>
↳ Fator de Utilidade (X)	Número	<Expressão>
↳ Função de X (F(X))	Número	<Expressão>
▼ PCI - Fatores de Determinação de Desmontagem - DDF		
↳ Índice de Circularidade do Produto (PCI)	Número	<Expressão>
↳ Separação Funcional	Número	<Indefinido>
↳ Dependência Funcional	Número	<Indefinido>
↳ Ciclo de Vida Teórico / Coordenação	Número	<Indefinido>
↳ Geometria das bordas do produto	Número	<Indefinido>
↳ Padronização da borda do produto	Número	<Indefinido>
↳ Tipo de Conexão	Número	<Indefinido>
↳ Acessibilidade a fixações	Número	<Indefinido>
▼ SCI		
↳ Massa	Vol.	<Expressão>
↳ MCI * Massa	Vol.	<Expressão>
↳ PCI * Massa	Vol.	<Expressão>
↳ Massa Geral	Número	<Indefinido>
↳ Somatória SCI - teórico	Número	<Indefinido>
↳ Somatória SCI - prático	Número	<Indefinido>
↳ SCI - teórico	Número	<Expressão>
↳ SCI - pratico	Número	<Expressão>
▼ BCI		
↳ Sistema	Definir...	<Indefinido>
↳ Nível de Importancia	Número	<Indefinido>
↳ SCIt * Importancia	Número	<Expressão>
↳ SCIp * Importancia	Número	<Expressão>
↳ Somatória Nível de Import.	Número	<Indefinido>
↳ Somatória SCIt * Import.	Número	<Indefinido>
↳ Somatória SCIp * Import.	Número	<Indefinido>
↳ BCI - teórico	Número	<Expressão>
↳ BCI - pratico	Número	<Expressão>

Tabela 1 - Lista das propriedades adicionadas

Algumas propriedades são pré-etapas necessárias para que os cálculos sejam feitos integralmente no software como a *Somatória SCI – teórico* que deve ser alimentada com o dado gerado na tabela *Pré-Cálculos SCI* (tabela 2).

CIR Pré-Cálculos SCI						
Tipo de Elemento	Densidade	Massa	Índice de Circularidade do Material (MCI)	MCI * Massa	Índice de Circularidade do Produto (PCI)	PCI * Massa
Laje	2400.000	2.868.549,9328	0,550	1.577.702,4632	0,306	879.005,6581
Laje	2400.000	183.095,4074	0,100	18.309,5407	0,014	2.615,6487
Pilar	2400.000	123.416,8320	0,389	48.044,4096	0,111	13.726,9735
Viga	2400.000	307.811,7127	0,389	119.826,7019	0,139	42.795,2521
		3.482.873,8849 m³		1.763.883,1154 m³		938.143,5324 m³

Tabela 2 - Exemplo de tabela de Pré-Cálculo SCI

Todavia, para facilitar o entendimento dos resultados de cada índice foi configurada *Sobreposições Gráficas* (funcionalidade do Archicad) que na visualização 3D mostrasse o elemento conforme o seu índice de circularidade em uma escala de cores, do vermelho (valores de 0,0 a 0,2) e verde (valores de 0,8 a 1,0).

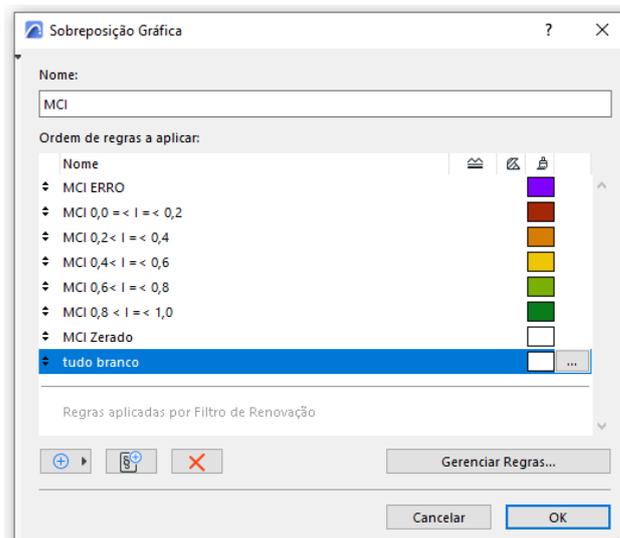


Tabela 3 - Janela de Sobreposição Gráfica

Assim, aplicando esta metodologia à parte estrutural do edifício selecionado, obteve-se resultados de MCI abaixo de 0,4 e o de PCI e SCI abaixo de 0,2 por se tratar de uma estrutura completamente de concreto.

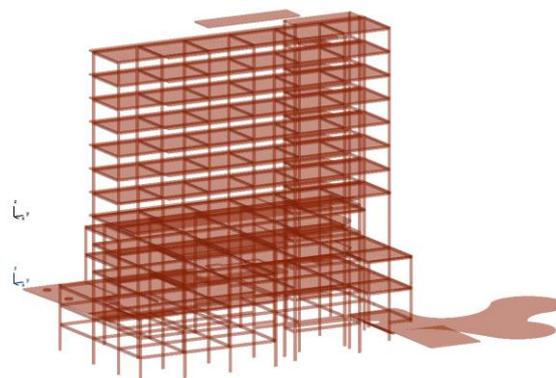


Figura 1 - Visualização do SCI na edificação

Com isso foi feito uma análise aplicando outros tipos de materiais e técnicas construtivas em vista que sua volumetria não pode ser alterada. Chegando ao resultado que a escolha de materiais afeta diretamente o MCI e os índices teóricos de SCI e BCI, e que quanto mais desmontável o edifício, independente do material, mais circular, próximo de 1, são os índices de PCI e os índices práticos de SCI e BCI.

CONCLUSÕES:

Neste trabalho foi aplicado à prática projetual o índice de circularidade possibilitando, assim, que nas primeiras etapas de desenvolvimento do projeto já se possa ter um olhar mais crítico para as decisões e priorizar materiais e métodos construtivos que tornem o edifício mais circular e com impacto positivo no ambiente.

Entretanto é visível a escassez de pesquisa nesta área ainda mais quando se deseja testar as métricas de circularidade em vista que a Economia Circular não é apenas escolha de materiais e técnicas de construção e sim de política e uma maneira diferente de consumir e usar os recursos para que se tenha menor impacto ambiental.

O MCI (Indicador de Circularidade do Material) e suas derivações: PCI (Indicador de Circularidade do Produto), SCI (Indicador de Circularidade do Sistema) e o BCI (Indicador de Circularidade do Edifício), apresentam um indicativo de como melhorar

a circularidade do edifício porém não considera a fonte do material, sendo assim, que um edifício totalmente circular não é totalmente sustentável, pois para a circularidade a ideia é perpetuar o uso daquele material no sistema independente de quanto de energia é necessário para isso ou quanto poluente gere.

BIBLIOGRAFIA

VALDIVIA, S. E. O.; GOMES, V.; PULGROSSI, L. M.; GOMES DA SILVA, M. Measuring circularity from buildings to neighbourhoods. **Acta Polytechnica CTU Proceedings**, v. 38, n. 1321, p. 656–671, 2022.

FIORUCI, B. B. **Subsistemas De Edificação Pela Ótica Da Economia Circular: Análise De Projetos Para Desmontagem**. Trabalho De Conclusão De Curso—UNICAMP: [s.n.].

KOVACIC, Iva; HONIC, Meliha; SRECKOVIC, Marijana. Digital Platform for Circular Economy in AEC Industry. **Engineering Project Organization Journal**, [s. l.], 2020.

JIANG, L.; BHOCHHIBHOYA, S.; SLOT, N.; DE GRAAF, R.; Measuring product-level circularity performance: An economic value-based metric with the indicator of residual value. **Resources, Conservation & Recycling**, [s. l.], 2022.

LEI, H.; YANG, W.; WANG, W.; LI, C.-Q.; A new method for probabilistic circular economy assessment of buildings. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], 2022.