

Processo automatizado para determinação de indicadores de impacto ambiental em modelos BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.21>

**Paula Assis¹, Ricardo Figueira¹,
Pablo Gilabert²**

¹ *Top Informática, Lda., Braga*

² *CYPE Ingenieros, S.A., Alicante*

Resumo

Metade da matéria-prima extraída na União Europeia é direcionada para a construção, uma indústria com alto consumo de recursos naturais e responsável pela geração massiva de resíduos. O Conselho Europeu definiu para a UE o objetivo de reduzir as emissões de CO₂ em 55% até 2030 e alcançar a neutralidade climática em 2050. Uma estratégia para a indústria da construção de edifícios baseada em práticas mais sustentáveis e na adoção de modelos de economia circular, permitirá reduzir o impacto ambiental, contribuindo assim para uma sociedade mais justa e próspera.

Neste trabalho é proposto um processo automatizado para a determinação de indicadores de impacto ambiental, calculados a partir da extração de quantidades de modelos BIM. O processo baseia-se num fluxo de trabalho multidisciplinar, colaborativo, utilizando ficheiros de formato aberto. O fluxo é suportado pelo software Open BIM Quantities, desenvolvido no âmbito do projeto CircularBIM, cofinanciado pela UE, e por uma base de dados que contém as características ambientais.

Trata-se de um processo dinâmico, sensível a alterações de projeto, que proporciona informação em tempo real e, conseqüentemente, facilita o estudo de soluções alternativas. Deste modo é possível fazer uma escolha fundamentada da solução a adotar com base no respetivo impacto ambiental, através da análise das emissões de CO₂, energia incorporada e, ainda, resíduos gerados e custo de construção. O processo automatizado proposto é aplicado a um caso de estudo com o objetivo de avaliar a sua implementação e o seu desempenho.

1. Introdução

A quantificação de indicadores de impacto ambiental e o seu controlo estão a ganhar enorme importância na indústria da construção. A metodologia BIM oferece grandes vantagens proporcionando um aumento da produtividade, especialmente através da automatização de processos, pois baseia-se em fluxos de trabalho colaborativo para a partilha de informação e recorre a um modelo BIM que representa o edifício. O modelo permite vários usos BIM, como o da determinação de medições de quantidades nas várias fases do projeto. Se a estas quantidades se afetarem parâmetros de sustentabilidades, podem-se obter indicadores relativos ao edifício com vista à análise de sustentabilidade.

O formato IFC (Industry Foundation Classes) é uma ferramenta de interoperabilidade por excelência, no entanto, é necessário que sejam cumpridas regras específicas de modelação ao criar os modelos BIM [1], de modo a otimizar o processo de colaboração, no que diz respeito à partilha, troca e extração de informação. Paralelamente, na análise BIM 5D, surge a necessidade de definir critérios de medição, transparentes e adaptados à realidade BIM, que permitam otimizar o processo de medição eliminando assim o erro humano resultante do sistema tradicional. Consequentemente, surge também a necessidade de dispor de bases de dados que permitam determinar o objeto final, isto é, o custo de construção. É aqui que se enquadra a base de dados Gerador de Preços CYPE. A sua evolução ao longo dos anos permitiu incluir uma série de outros parâmetros, para além dos custos de construção, como a implementação realizada no presente trabalho, relativa aos indicadores de impacto ambiental, que se veio juntar à implementação de resíduos gerados, realizada anteriormente, disponibilizando, assim, informação para a análise no âmbito da dimensão BIM 6D, mais especificamente de sustentabilidade ambiental.

A proposta que se apresenta diz respeito a um processo automatizado, suportado por um ecossistema de softwares OpenBIM, realizado a partir de ficheiros de formato aberto IFC e bases de dados que utilizam também um formato aberto, o BC3 [2]. A automatização do processo, permite uma redução do tempo na obtenção dos parâmetros de sustentabilidade de um edifício, um maior rigor no resultado final e clareza na informação gerada. Este processo proporciona, assim, vantagens comparativamente com os processos convencionais, bem como a possibilidade de efetuar a qualquer momento o estudo de soluções quer de alternativas mais sustentáveis, quer de alteração de projeto.

2. Impacte ambiental nas dimensões BIM

Segundo a norma ISO19650-1:2018, o BIM é definido como o uso de uma representação digital partilhada de um ativo construído para facilitar os processos de conceção, construção e operação, formando uma base confiável de apoio à decisão. Por outro lado, pode-se entender o modelo BIM como um modelo constituído por camadas de informação, correspondentes a dimensões, que vão desde o modelo tridimensional,

3D, passando pelo planeamento, 4D, pelo custo, 5D, e pela sustentabilidade, 6D, até à operação e manutenção, 7D, entre outras.

O ponto de partida do processo automatizado que se apresenta é precisamente o modelo tridimensional, seguidamente o processo foca-se nos parâmetros de sustentabilidade, uma vez que o objetivo é a determinação de indicadores de impacte ambiental, sendo que a dimensão custo assume também importância relevante, a par dos resíduos gerados, para aquilo que é a finalidade do processo, ou seja, a tomada de decisão sobre possíveis soluções.

3. Determinação de indicadores de impacte ambiental

3.1. Enquadramento do fluxo de trabalho

O processo proposto, pressupõe a utilização de softwares e de bases de dados que trabalham com ficheiros de formato aberto e se integram através de um fluxo de trabalho multidisciplinar e colaborativo, onde o ator principal é o software Open BIM Quantities [3]. De acordo com a figura 1, o fluxo de trabalho é suportado pela plataforma BIMserver.center [4].

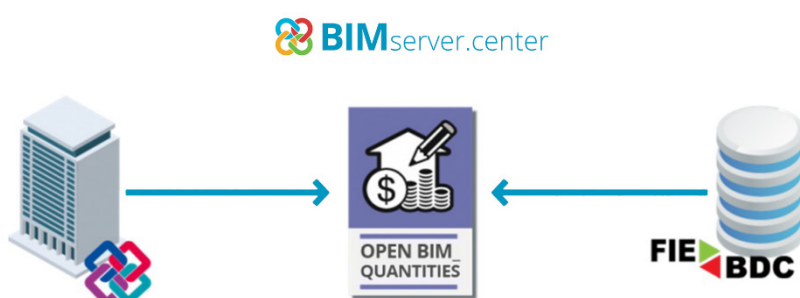
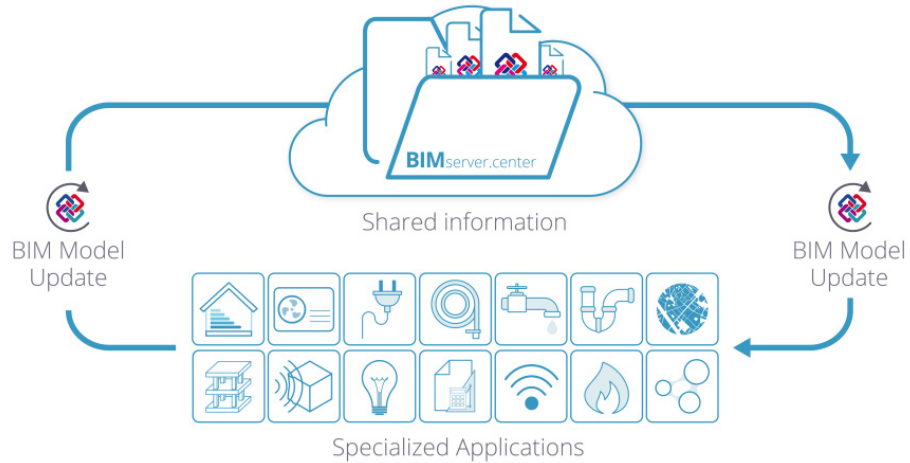


Figura 1
Fluxo de trabalho –
software.

O BIMserver.center, de utilização gratuita, figura 2, é uma plataforma colaborativa OpenBIM, localizada na nuvem, destinada à partilha e troca de informação para o projeto de edifícios. Apresenta características como: a partilha de informação geométrica e não geométrica, através de ficheiros IFC; a sincronização da informação partilhada dos modelos das especialidades do projeto e a obtenção do modelo federado do edifício.

Figura 2
Plataforma BIMserver.
center.



Para a modelação da arquitetura, poderão ser utilizados softwares, tais como o Archi-cad, o Revit ou o CYPE Architecture [5]. Como softwares de engenharia podem ser utilizados quaisquer softwares que permitam efetuar a modelação das especialidades, um exemplo destes são os softwares CYPE que para além de realizarem a modelação também calculam e dimensionam.

O Open BIM Quantities, foi desenvolvido no âmbito do projeto europeu Circular BIM [6] [7] para integrar a medição, a orçamentação e a análise de impacte ambiental num fluxo de trabalho colaborativo, através da sincronização de ficheiros IFC e BC3.

As bases de dados deverão trabalhar com ficheiros de formato aberto BC3 como é o caso do Gerador de Preços. O Gerador de Preços, de utilização gratuita, é uma base de dados paramétrica e interativa, que atendendo aos materiais, equipamentos e processos construtivos selecionados, permite obter especificações técnicas das respetivas unidades de obra que incluem indicadores de impacte ambiental, resíduos gerados, fichas de custo, entre outros.

3.2. Funcionalidades do software Open BIM Quantities

Figura 3
Fluxo de trabalho do
Open BIM Quantities.



A figura 3 pretende resumir o fluxo de trabalho centrado no Open BIM Quantities. Após sincronizar o modelo BIM o Open BIM Quantities apresenta-o no ambiente de trabalho do programa, paralelamente apresenta uma árvore de componentes onde se podem identificar os componentes contidos no modelo. A estrutura de dados apresentados na árvore de componentes segue o esquema da norma IFC que pode ser visualizada de duas formas: por entidades ou por estrutura. No primeiro caso

apresenta uma árvore que organiza os componentes de acordo com a entidade IFC a que pertencem, “IfcWall”, “IfcSlab”, “IfcSpace”, etc. No segundo caso organiza a árvore com base na estrutura espacial do modelo BIM: local, edifício, piso e espaço. O software mostra também uma lista de parâmetros que dependem dos “IfcPropertySet” e dos “IfcQuantitySet” definidos no modelo IFC.

O Open BIM Quantities permite a incorporação de bases de dados. Podem ser criadas novas bases de dados ou importadas. O processo de vinculação entre os componentes do modelo e as linhas de medição de quantidades é baseado em regras de medição que lhes associam as correspondentes unidades de obra, contidas nas bases de dados.

Cada regra de medição corresponde a um conjunto de instruções, estas utilizam “operadores lógicos” que permitem realizar o filtro dos componentes, bem como a definição das “condições” necessárias, para realizar a sua associação às unidades de obra desejadas. Ou seja, o Open BIM Quantities possibilita o estabelecimento das regras de medição que se considerem adequadas, com o objetivo de ler os dados contidos nos componentes do modelo e associá-los a unidades de obra, obtendo assim a lista de medição de quantidades do edifício a partir da qual, com recurso novamente à base de dados, se determinam os respetivos indicadores ambientais, resíduos gerados e custos, contemplados na base de dados Gerador de Preços.

3.3. Funcionalidades do Gerador de Preços

O Gerador de Preços, publicado em 2004, é amplamente utilizado em 27 países, incluindo Portugal. Tal como descrito no capítulo 1, foi inicialmente concebido para proporcionar fichas de custo. Na versão portuguesa, foram implementados, em 2010, os dados relativos a resíduos gerados e, no âmbito do presente trabalho, foram implementados os dados relativos a indicadores de impacte ambiental. Os valores dos indicadores de impacte ambiental constantes no Gerador de Preços provêm na sua grande maioria de Declarações Ambientais de Produto, DAP, bem como de outros documentos de referência [8].

Tendo em consideração a classificação e a nomenclatura incluída na norma NP EN 15978:2019, são estabelecidas quatro etapas no ciclo de vida de uma construção: Produto: A1-A3; Construção: A4-A5; Utilização: B1-B7 e Fim de vida: C1-C4. Até ao momento atual foram introduzidas no Gerador de Preços as duas primeiras etapas: Produto (A1, A2 e A3) e Construção (A4 e A5). Para estas etapas implementaram-se sete indicadores de impacte ambiental e três de utilização de recursos, tabela 1.

Tabela 1: Indicadores de impacto ambiental e de utilização de recursos

Descrição do indicador	Abreviatura	Unidades
Potencial de aquecimento global	GWP	kg CO ₂ eq.
Potencial de depleção da camada do ozono estratosférico	ODP	kg CFC-11 eq.
Potencial de acidificação do solo e da água	AP	kg SO ₂ eq.
Potencial de eutrofização	EP	kg PO ₄ eq.
Potencial de formação de oxidantes fotoquímicos do ozono troposférico	POCP	kg C ₂ H ₄ eq.
Potencial de depleção para os recursos abióticos não fósseis	ADPE	kg Sb eq.
Potencial de depleção para os recursos abióticos fósseis	ADPF	MJ
Uso total de energia primária renovável	PERT	MJ
Uso total de energia primária não renovável	PERNRT	MJ
Uso do valor líquido de água doce	FW	m ³

O Gerador de Preços apresenta os valores, para as etapas referidas, decompostos por materiais, embalagens, maquinaria e meios auxiliares. Esta informação pode ser consultada no separador “Indicadores de impacto ambiental” para cada unidade de obra.

3.4. Proposta de um processo automatizado

A figura 4 ilustra o processo automatizado desenvolvido no âmbito deste trabalho. O processo prevê o estudo de várias soluções de projeto e a respetiva comparação dos resultados. Sempre que seja estudada uma nova solução será analisada a necessidade de criar ou rever o conjunto de regras de medição estabelecido na iteração anterior. Para cada solução de projeto são determinadas as quantidades do edifício e identificadas as respetivas unidades de obra recorrendo à base de dados. De cada unidade de obra são extraídos os valores dos indicadores de impacto ambiental, resíduos gerados e custos de construção. Através do produto destes valores pela medição de quantidades do edifício obtêm-se os resultados de cada solução de projeto. Segue-se a comparação dos resultados das soluções de projeto analisadas até à seleção da solução final. O processo termina com a partilha do modelo no BIMserver center, o qual inclui a informação gerada que poderá ser consultada pelos colaboradores envolvidos no projeto.

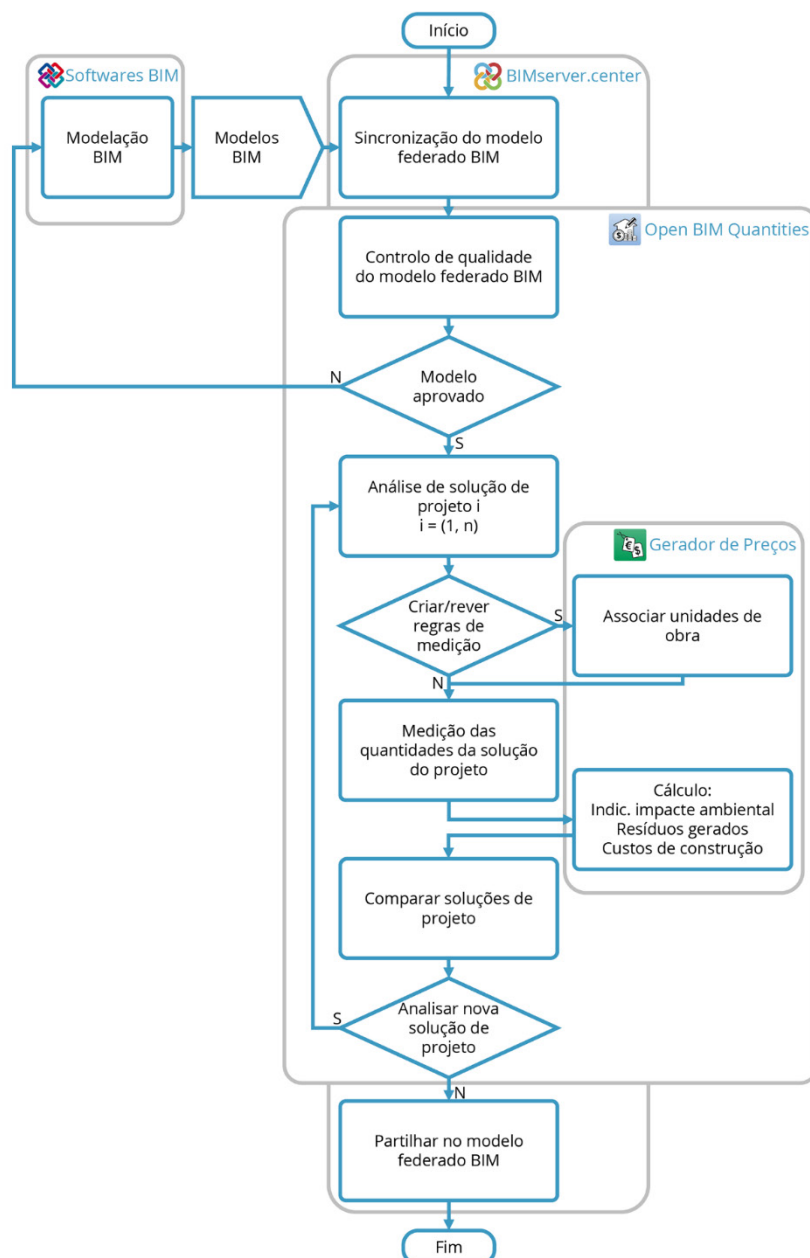


Figura 4
Processo automatizado para determinação de indicadores de impacte ambiental.

4. Caso de estudo

O caso de estudo teve como objetivo avaliar a implementação e o desempenho do processo. O propósito fundamental do processo automatizado proposto é fornecer informação para a tomada de decisão, com base em critérios de seleção a estabelecer para cada projeto. Neste contexto, foram também analisadas soluções de projeto alternativas, proporcionando condições para a tomada de decisão.

Para o projeto que serve de base ao caso de estudo foi desenvolvida, pelos autores, uma versão do edifício de habitação “Cube House” do arquiteto alemão Simon Ungers [5] [9]. Este edifício encontra-se localizado em Ithaca, nos Estados Unidos, e foi

construído com o pretexto de servir de refúgio de fim-de-semana. O edifício dispõe de rés do chão, primeiro andar e cobertura.

Numa primeira fase foram criados os modelos da arquitetura e das especialidades de engenharia para o edifício em causa, os quais foram partilhados na plataforma colaborativa BIMserver.center, onde é possível obter o modelo federado. Foram utilizados os softwares CYPE para a modelação e cálculo das várias especialidades do projeto.

4.1. Aplicação do processo automatizado

Numa segunda fase foi estruturada a informação no Open BIM Quantities, para isso foi utilizado o Gerador de Preços. Para cada um dos componentes que constituem o modelo BIM foram seleccionadas as unidades de obra adequadas. Como exemplo da informação contida no Open BIM Quantities, apresenta-se, na figura 5, a unidade de obra relativa ao sistema ETICS de revestimento exterior das fachadas.

Figura 5
Informação de uma unidade de obra.

Código	Ud	Resumo	Quantidade	Preço	Importância	Custo energético	Emissão de CO2	Massa unitária do resíduo	Volume unitário do resíduo
FSM010	m ²	Sistema ETICS de isolamento térmico pelo exterior de fach...	1 m ²	59.81	59.81	246.238230 MJ/m ²	11.185280 kg/m ²	1.282021 kg/m ²	0.001509 m ³ /m ²
mt28mop080f	m	Perfil de arranque de alumínio, de 60 mm de largura, c...	0.170 m	1.78	0.30	7.694880 MJ	0.564400 kg		
mt28mop085f	m	Perfil de fecho superior, de alumínio, de 60 mm de larg...	0.170 m	6.49	1.10	4.648940 MJ	0.340340 kg		
mt28mop030ta	kg	Argamassa tipo GP W2, segundo EN 998-1, composta ...	10.400 kg	0.75	7.80	24.897600 MJ	2.017600 kg		
mt16pep010ad	m ²	Painel rígido de poliestireno expandido, segundo NP E...	1.050 m ²	8.97	9.42	120.641850 MJ	4.215750 kg		
mt16pep100c	Ud	Bucha de expansão de polipropileno, de 120 mm de co...	8.000 Ud	0.20	1.60	9.232000 MJ	0.768000 kg		
mt28mop050a	m ²	Malha de fibra de vidro, anti-álcalis, de 5x4 mm de vão...	1.100 m ²	1.58	1.74	14.854400 MJ	0.730400 kg		
mt28mop070b	m	Perfil de canto de PVC com malha, para reforço de can...	0.300 m	0.50	0.15	3.570000 MJ	0.256500 kg		
mt28mop320a	kg	Primário acrílico, composto por resinas acrílicas, pigm...	0.220 kg	3.41	0.75	19.087420 MJ	0.724680 kg		
mt28mop310ma	kg	Argamassa acrílica, cor branco, composta por resinas a...	2.500 kg	3.07	7.68	37.787500 MJ	1.447500 kg		
mt15bas010a	m	Cordão de polietileno expandido de células fechadas, ...	0.170 m	0.06	0.01	1.552780 MJ	0.009690 kg		
mt15bas035a	Ud	Cartucho de massa elastomérica tixotrópica, monococ...	0.020 Ud	8.24	0.16	2.269960 MJ	0.110420 kg		
mo054	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0.100 h	20.72	2.07	0.000000 MJ	0.000000 kg		
mo101	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0.100 h	19.67	1.97	0.000000 MJ	0.000000 kg		
mo039	h	Oficial de 1ª rebocador.	0.600 h	20.15	12.09	0.000000 MJ	0.000000 kg		
mo079	h	Ajudante de rebocador.	0.600 h	19.67	11.80	0.000000 MJ	0.000000 kg		
%	%	Custos directos complementares	2.000 %	58.64	1.17				

Foram criadas as regras de medição para a extração das quantidades do modelo. Os componentes dos quais se pretende extrair as medições, como janelas, pilares ou paredes, etc., são seleccionados através de um conjunto de filtros. Após a seleção dos componentes são sincronizadas as unidades de obra que se pretendem medir. Como exemplo das regras de medição criadas apresenta-se o caso da medição dos tetos, figura 6.

Figura 6
Regra de medição dos tetos.

Seleção			
Op	Parâmetro	Condição	Valor
	{(Property)}{(BaseProperties)}{(Entity)}	igual	IfcSpace
E	{(Property)}{(BaseProperties)}{(Application)}	igual	CYPE Architecture
Unidades de obra			
Ca#	Código	Ud	Referência
RT	RTC015	m ²	Tecto falso contínuo de placas de gesso laminado.
RI	RIP035	m ²	Pintura com tinta plástica sobre paramento interior de gesso projectado ou placas de gesso lamina...
			Fôr B
			{(Quantity)}{(Qto_SpaceBaseQuantities)}{(NetCeilingArea)}
			{(Quantity)}{(Qto_SpaceBaseQuantities)}{(NetCeilingArea)}
			C D Agri
			-
			-

Nesta fase estão reunidas as condições para a extração das medições do modelo BIM.

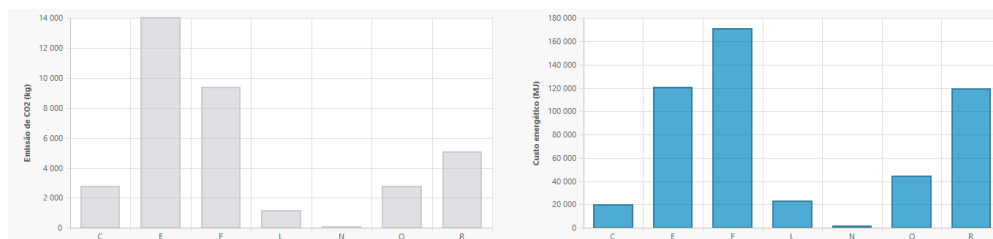
A partir da informação presente em cada unidade de obra foi, assim, possível extrair os indicadores de impacte ambiental: uso total de energia primária renovável e não renovável (Custo energético) e emissões de CO₂ equivalente (Emissão de CO₂). Foram ainda obtidos os resíduos gerados em massa e em volume e o custo de construção (Importância). As figuras 7 e 8 apresentam, a título de exemplo, os resultados para o modelo federado apenas com as especialidades de arquitetura e estrutura.

Orçamento									
Código	Ud	Resumo	Quantidade	Preço	Importância	Custo energético	Emissão de CO2	Massa total do resíduo	Volume total do resíduo
Orçamento		Orçamento			74,677.14	499,134.541141 MJ	35,116.345214 kg	4,950.417912 kg	4.029364 m³
C		Fundações			2,220.96	19,716.025000 MJ	2,743.454000 kg	83.392400 kg	0.053935 m³
CS		Superficiais			2,220.96	19,716.025000 MJ	2,743.454000 kg	83.392400 kg	0.053935 m³
CSV010	m²	Sapata continua de...	7.00	317.28	2,220.96	19,716.025000 MJ	2,743.454000 kg	83.392400 kg	0.053935 m³
E		Estruturas			23,582.66	200,501.441664 MJ	13,995.221133 kg	462.419552 kg	0.335782 m³
EH		Betão armado			16,487.25	112,087.944664 MJ	13,558.712133 kg	448.040432 kg	0.328935 m³
EHE010	m²	Laje de escada.	3.46	115.47	399.53	5,063.278649 MJ	243.218465 kg	32.760402 kg	0.027621 m³
EHL010	m²	Laje maciça.	104.88	99.98	10,485.90	72,141.374377 MJ	9,022.901389 kg	229.797848 kg	0.177666 m³
EHM010	m²	Muro de betão.	5.16	369.88	1,908.58	13,334.080046 MJ	1,904.756621 kg	64.685621 kg	0.041295 m³
EHS010	m³	Pilar rectangular o...	2.00	820.13	1,640.26	8,437.349166 MJ	925.785302 kg	59.860992 kg	0.041694 m³
EHW010	m³	Viga de betão arma...	3.75	547.46	2,052.98	13,111.862426 MJ	1,462.050356 kg	60.335569 kg	0.040659 m³
EA		Metálicas			7,095.41	8,413.497000 MJ	436.509000 kg	14.379120 kg	0.006847 m³
EAE010	kg	Aço em estrutura d...	855.90	8.29	7,095.41	8,413.497000 MJ	436.509000 kg	14.379120 kg	0.006847 m³
F		Fachadas			24,146.68	170,872.821587 MJ	9,369.579813 kg	3,424.105710 kg	2.851613 m³
FF		Alvenaria não estrutural			7,820.61	128,511.145214 MJ	7,442.292084 kg	3,203.909865 kg	2.592426 m³
FFQ010	m²	Pano de parede div...	49.09	14.78	725.55	9,720.441872 MJ	743.465497 kg	347.215925 kg	0.278978 m³
FFR010	m²	Pano interior de fa...	171.71	16.81	2,886.45	48,933.619257 MJ	2,571.229669 kg	1,328.135812 kg	1.074903 m³
FFZ010	m²	Pano exterior de fa...	171.71	24.51	4,208.61	69,857.084085 MJ	4,127.596918 kg	1,528.58128 kg	1.238545 m³
FS		Fachadas ETICS			10,269.98	42,281.566473 MJ	1,920.624429 kg	220.135825 kg	0.259112 m³
FSM010	m²	Sistema ETICS de is...	171.71	59.81	10,269.98	42,281.566473 MJ	1,920.624429 kg	220.135825 kg	0.259112 m³
FD		Proteções e gradeame...			6,056.09	80,109900 MJ	6,663300 kg	0.060020 kg	0.000075 m³
FDD115	m	Guarda de escada, ...	25.05	241.76	6,056.09	80,109900 MJ	6,663300 kg	0.060020 kg	0.000075 m³
L		Vãos			4,066.19	23,115.499962 MJ	1,115.627949 kg	11,145225 kg	0.013024 m³
LE		Portas exteriores			408.05	4,124.559000 MJ	35.911200 kg	1.954446 kg	0.002144 m³
LEM010	Ud	Porta interior de en...	1.00	408.05	408.05	4,124.559000 MJ	35.911200 kg	1.954446 kg	0.002144 m³
LP		Portas interiores			232.75	3,314.503600 MJ	16.344000 kg	1.827105 kg	0.001973 m³
LPM010	Ud	Porta interior de ba...	1.00	232.75	232.75	3,314.503600 MJ	16.344000 kg	1.827105 kg	0.001973 m³
LC		Caixilharias			2,695.25	7,465.480000 MJ	516.183200 kg	2,559685 kg	0.003540 m³
LCL060	Ud	Caixilharia exterior ...	5.00	539.05	2,695.25	7,465.480000 MJ	516.183200 kg	2,559685 kg	0.003540 m³
LV		Vidros			730.14	8,210.957362 MJ	547.189549 kg	4.803989 kg	0.005367 m³
LVC010	m²	Vidro duplo standa...	13.22	55.23	730.14	8,210.957362 MJ	547.189549 kg	4.803989 kg	0.005367 m³
N		Isolamentos e impermeabil...			347.10	1,683.007373 MJ	62.387482 kg	2.594091 kg	0.004306 m³
NB		Isolamentos acústicos			347.10	1,683.007373 MJ	62.387482 kg	2.594091 kg	0.004306 m³
NBL020	m²	Isolamento acústic...	66.24	5.24	347.10	1,683.007373 MJ	62.387482 kg	2.594091 kg	0.004306 m³
Q		Coberturas			4,328.82	44,154.868848 MJ	2,777.668398 kg	269.744362 kg	0.229126 m³
QA		Planas acessíveis			4,328.82	44,154.868848 MJ	2,777.668398 kg	269.744362 kg	0.229126 m³
QAB040	m²	Cobertura plana ac...	36.00	103.22	3,715.92	37,065.895560 MJ	2,524.879440 kg	254.285892 kg	0.213552 m³
QAF020	m	Encontro de cobert...	24.00	23.50	564.00	6,834.347088 MJ	245.821608 kg	15.075984 kg	0.015144 m³
QAF030	Ud	Encontro de cobert...	1.00	48.90	48.90	254.626200 MJ	6.967350 kg	0.382486 kg	0.000430 m³
R		Revestimentos			15,984.73	119,090.876707 MJ	5,052.406439 kg	697.016572 kg	0.541578 m³
RA		De paredes em placas			2,311.22	8,160.710270 MJ	707.612480 kg	50.963652 kg	0.034014 m³
RAG110	m²	Revestimento interi...	72.68	31.80	2,311.22	8,160.710270 MJ	707.612480 kg	50.963652 kg	0.034014 m³
RI		Pinturas interiores			1,055.75	2,725.200770 MJ	116.299380 kg	6.109813 kg	0.007218 m³
RIP035	m²	Pintura com tinta p...	180.47	5.85	1,055.75	2,725.200770 MJ	116.299380 kg	6.109813 kg	0.007218 m³
RP		Conglomerados tradici...			2,780.41	18,873.991847 MJ	1,440.063289 kg	301.977595 kg	0.243576 m³
RPE005	m²	Emboço de ciment...	186.91	13.58	2,538.24	17,561.749591 MJ	1,377.112507 kg	274.795802 kg	0.215133 m³
RPG011	m²	Acabamento de ge...	114.23	2.12	242.17	1,312.242256 MJ	62.950782 kg	27.182513 kg	0.028443 m³
RQ		Sistemas monomassa			4,809.60	15,109.363885 MJ	979.887154 kg	187.789268 kg	0.131874 m³
RQO010	m²	Argamassa mono...	171.71	28.01	4,809.60	15,109.363885 MJ	979.887154 kg	187.789268 kg	0.131874 m³
RS		Pavimentos			3,494.96	38,192.875743 MJ	1,007.941000 kg	114.478050 kg	0.089921 m³
RSB020	m²	Base de argamassa ...	66.24	11.74	777.66	10,823.589504 MJ	903.877920 kg	61.666526 kg	0.041797 m³
RSG011	m²	Pavimento de ladril...	11.11	20.60	228.87	3,978.805413 MJ	242.255772 kg	26.064694 kg	0.020987 m³
RSM040	m²	Parquet multicama...	55.13	39.41	2,172.67	20,747.097709 MJ	-102.842258 kg	25.341497 kg	0.025691 m³
RSM050	m	Rodapé de madeira.	53.61	5.89	315.76	2,643.383117 MJ	-35.350434 kg	1.405333 kg	0.001446 m³
RT		Tetos falsos			1,532.79	36,028.734192 MJ	800.603136 kg	35.698194 kg	0.034975 m³
RTC015	m²	Tecto falso continu...	66.24	23.14	1,532.79	36,028.734192 MJ	800.603136 kg	35.698194 kg	0.034975 m³

Figura 7
Quadro dos resultados do modelo federado de arquitetura e estrutura.

Figura 8

Gráficos dos resultados do modelo federado de arquitetura e estrutura.



4.2. Estudo de soluções alternativas

De modo a aferir as soluções de projeto que apresentem os melhores indicadores de impacto ambiental, foram estudadas várias soluções construtivas das quais se apresenta um exemplo com duas alternativas. Na alternativa 1, o material das caixilharias, que na solução base tinha sido previsto em alumínio, foi alterado para PVC. Na alternativa 2, o sistema de isolamento térmico pelo exterior da solução base, constituído por painéis de poliestireno expandido, foi alterado para painéis de fibra da madeira. Os resultados globais da obra são apresentados na tabela 2, para a solução base, a alternativa 1, a alternativa 2 e para o conjunto das alternativas 1 e 2.

Tabela 2: Resultados da alternativa 1 e alternativa 2

Resultado	Solução base	Alter.1	Alter.2	Alter.1+Alter.2
Importância (€)	74 677,14	73 743,04	79 122,71	78 188,61
Custo energético (MJ)	499 134,54	496 351,48	492 503,49	489 720,43
Emissão de CO ₂ (kg CO ₂ eq.)	35 116,35	35 060,46	34 780,37	34 724,49
Massa total do resíduo (kg)	4 950,42	4 949,37	4 961,51	4 950,46
Massa total do resíduo (m ³)	4,03	4,03	4,07	4,06

O processo permitiu, assim, obter rapidamente os valores globais dos indicadores de impacto ambiental, bem como os resíduos gerados e os custos de construção. Conclui-se que o processo proporciona as condições para que, com base nos resultados que se obtêm, seja possível a tomada de decisão, a partir de critérios de seleção estabelecidos para cada projeto.

5. Conclusões

O processo proposto permite determinar indicadores de impacto ambiental, resíduos gerados e custos de construção de edifícios. O processo procura dar visibilidade à análise de impacto ambiental, sem esforço adicional, uma vez que esta é realizada a partir da medição de quantidades necessária em cada projeto para a respetiva orçamentação.

O fluxo de trabalho apresentado pode incluir modelos em IFC de qualquer especialidade do projeto de edifícios. O processo pressupõe que cada modelo contemple o uso BIM da determinação de medição de quantidades. São, então, determinadas automaticamente as medições dos componentes do modelo federado e a partir destas

medições o processo calcula automaticamente os indicadores de impacto ambiental, resíduos gerados e custos de construção, do edifício, mediante a utilização de uma base de dados que contém informação de sustentabilidade e custos. A automatização do processo reduz o tempo para a obtenção dos resultados, através de uma maior precisão e transparência na informação gerada, cujo detalhe permite facilmente rastrear os resultados obtidos.

O caso de estudo permitiu demonstrar a utilidade do processo automatizado para determinação de indicadores de impacto ambiental, bem como a sua pertinência para o estudo de soluções alternativas, proporcionando informação em tempo real. Paralelamente proporcionou os resíduos gerados e os custos de construção, elementos relevantes para a tomada de decisão.

Apesar do Open BIM Quantities e do processo apresentado não terem limitações, devido às restrições do formato BC3, atualmente, apenas três dos indicadores disponíveis são utilizados: GWP, PERT e PERNRT, no entanto, o Gerador de Preços abrange outros indicadores. Assim, planeia-se estender a utilização aos restantes, preferencialmente através do BC3 ou IFC. Para que a ampliação seja possível, aguarda-se a evolução destes formatos, caso não ocorra essa evolução, é possível considerar a utilização do IFC por meio de propriedades não normalizadas no formato.

Referências

- [1] A. Roldán, "Quantity take-off and cost estimating with OpenBIM models: process automation for buildings," Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Braga, Portugal, 2023.
- [2] FIEBDC, "Formato FIEBDC-3," 2020. [Online]. Disponível: <https://www.fiebdc.es/web2/datos/uploads/Formato-FIEBDC-3-2020v2.pdf> [acedido a 02/10/2023].
- [3] Open BIM Quantities. [Online]. Disponível: <https://info.cype.com/pt/software/open-bim-quantities/> (acedido a 23/11/2023).
- [4] P. Assis, R. Figueira and P. Gilabert, "Plataforma Open BIM para o projeto de engenharia," in *Construção 2018*, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2018, pp. 740-749.
- [5] P. Assis, R. Figueira, P. Oliveira and C. Costa, "Conceção de software de arquitetura, implementação e contributo para o fluxo de trabalho Open BIM," in *4.º Congresso Português de Building Information Modelling*, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2022, pp. 50-61. doi: 10.21814/uminho.ed.32.
- [6] M. Serrano-Baena, C. Ruiz-Díaz, P. Gilabert, and P. Mercader-Moyano, "Optimising LCA in complex buildings with MLCAQ: A BIM-based methodology for automated multi-criteria materials selection", *Energy & Buildings*, vol. 294, pp. 1-13, September 2023. doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113219.

- [7] CircularBIM. [Online]. Disponível: <https://circularbim.eu/> (acedido 22/03/2023).
- [8] Impacte ambiental. Análise do ciclo de vida. [Online]. Disponível: <https://info.cype.com/pt/produto/impacte-ambiental-analise-do-ciclo-de-vida/#analise-do-ciclo-de-vida> (acedido a 20/02/2024).
- [9] Cube House, (n.d.). [Online]. Disponível: <https://arquitecturaviva.com/works/casa-cubo-ithaca> (acedido a 02/10/2023).