



## INTELLECTUAL OUTPUT 1

### TASK 01-A2

# Métodos e procedimentos de construção sustentáveis utilizados para conceitos de Economia Circular



*Projecto financiado com o apoio da Comissão Europeia. A informação contida nesta publicação vincula exclusivamente o autor, não sendo a Comissão responsável pela utilização que dela possa ser feita.*



*Esta obra está licenciada sob uma [Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).*





## INTRODUÇÃO

Este relatório está incluído na tarefa “O1-A2. *Métodos e procedimentos de construção sustentável utilizados para conceitos de Economia Circular*”, correspondendo ao Resultado Intelectual 1 “*Estabelecimento de resultados de aprendizagem comuns sobre métodos de colocação baseados em critérios de economia circular, Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e regulamentos relativos*” do projecto CircularBIM.

Este relatório é o resultado de uma análise dos métodos, aptidões e competências relacionadas com os produtos de construção. Foram avaliados diferentes métodos de instalação e construção aplicados na indústria da construção, a fim de prolongar a vida útil destes produtos, utilizando os métodos de instalação mais sustentáveis seleccionados.

Foi desenvolvido um relatório de melhores práticas com o objectivo de transferir metodologias e estratégias pedagógicas de sucesso para melhorar o sistema de formação.

Foram tidos em conta métodos ambientais e a última investigação, tais como a erosão/revelação nos produtos de construção fabricados para a sua aplicação em projectos nZEB (net-Zero Energy Building) ou a utilização de novas tecnologias.

Toda a informação sobre o projecto e mais documentação técnica está disponível na seguinte url:

- Web do projecto CircularBIM: [www.circularbim.eu](http://www.circularbim.eu)



## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	4
2. METODOLOGIA .....	7
2.1 Aplicação da metodologia Arditec .....	8
2.1.1 Estrutura de custos .....	8
2.1.2 Modelo de cálculo ambiental .....	9
2.2. Soluções construtivas.....	14
3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	18
4. CONCLUSÕES .....	21
5. REFERÊNCIAS .....	22



## 1. INTRODUÇÃO

Com o crescente problema do aquecimento global, é necessário estudar a eficiência dos recursos, que no sector da construção começa por actuar na redução dos resíduos de construção e demolição, para os reduzir o mais possível. Para isso é necessário antecipar o momento em que os projectos são concebidos, onde a utilização de novas tecnologias ajudará à implementação de critérios de optimização de recursos baseados no conceito de economia circular.

Embora não exista um sistema exclusivo de indicadores para avaliar a circularidade no sector da construção, o parágrafo anterior já indica que a solução reside na melhoria da eficiência dos recursos, a redução e gestão correcta dos resíduos de construção e demolição (RCD) é a chave para alcançar este objectivo. Actualmente, apenas 40,9% dos RCD declarados são valorizados de qualquer forma, quando a meta estabelecida a nível da UE para 2020 era de 70%. Neste sentido, estima-se que 24% dos RCD são depositados em aterros e 30% ainda representam descargas não controladas (Spanish\_CDW\_Recycling\_Association, 2017). Estes dados mostram o cenário em que nos encontramos e sobre o qual devem ser tomadas medidas para alcançar o desenvolvimento do sector da construção no âmbito da economia circular.

O aumento incessante da consciência e cultura ambiental da sociedade, juntamente com o aumento das exigências regulamentares, fazem deste o momento ideal para implementar o cálculo da pegada de carbono (FC), bem como a energia incorporada (EE) no sector da construção, uma vez que, em termos estatísticos, este sector é responsável por aproximadamente 50% do consumo dos recursos naturais utilizados, 40% da energia consumida (incluindo a energia em uso), 50% do total de resíduos gerados e entre 35-40% do total de emissões de CO<sub>2</sub>eq, dos quais 10% são produzidos durante os processos de construção e desconstrução e outros 5% em tarefas de manutenção (PNUA, 2018).

A nova directiva europeia sobre a eficiência energética dos edifícios, reforça os seus objectivos na procura da eliminação da utilização de energia fóssil no parque habitacional até 2050 (Camporealle e Mercader-Moyano, 2019). Para este fim, estabelece como essencial a renovação energética do parque imobiliário existente, com uma taxa média anual de renovação de 3% a ser coberta. Entre as equações propostas pela directiva, há algumas propostas inovadoras para a digitalização dos sistemas energéticos como uma oportunidade para poupar energia durante a utilização (Directiva\_2018/844/UE, 2018) entre outras acções como a proposta eco-eficiente na renovação da Habitação Social.

Os últimos dados da Comissão Europeia sobre a economia circular indicam que evitar a produção de resíduos, promover a concepção ecológica, bem como a reutilização dos resíduos, proporcionará às empresas da UE uma poupança de cerca de 8% do volume



de negócios anual e uma redução anual das emissões de gases com efeito de estufa entre 2 e 4% (COMISSÃO EUROPEIA, 2019).

Neste sentido, a ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) avalia as cargas ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto, serviço ou trabalho. A Organização Internacional de Normalização (ISO) criou o sub-comité SC 5 com o objectivo de desenvolver normas internacionais para regular a metodologia de cálculo de indicadores ambientais universais. O estudo do ciclo completo inclui as fases de extracção e processamento de matérias-primas, produção, transporte e distribuição, utilização, reutilização e manutenção, reciclagem e eliminação final.

Os estudos da ACV cumprem as seguintes normas: UNE-ISO 14040 Gestão Ambiental. Análise do ciclo de vida. Princípios e quadro de referência (ISO\_14040:, 2006) e UNE-ISO 14044 Gestão ambiental. Análise do ciclo de vida. Requisitos e orientações (ISO\_14044:, 2006). Através desta padronização do cálculo da ACV e considerando o actual boom na tecnologia BIM (Building Information Modeling), que permite que toda a informação do projecto seja centralizada num modelo de informação digital, torna-se a ferramenta ideal para implementar a análise do ciclo de vida desde a fase de concepção e assim lançar as bases para um modelo que permita que os ideais da economia circular se enraízem no sector da construção.

O principal objectivo deste trabalho é aumentar a sensibilização dos agentes responsáveis do sector da Arquitectura, Engenharia e Construção sobre o impacto ambiental directo e indirecto produzido pelo seu desenvolvimento profissional, procurando a forma de melhorar as competências e a formação dos profissionais do sector no domínio da construção sustentável. É portanto essencial começar a incorporar na formação destes profissionais não só critérios baseados nos ideais da economia circular, mas também fornecer-lhes ferramentas que lhes permitam incorporar estes ideais de forma rápida e intuitiva no desenvolvimento diário da sua actividade profissional. Neste sentido, o presente estudo é desenvolvido, onde são feitos os primeiros avanços para a criação de uma ferramenta de aprendizagem interactiva através do BIM, com a qual é possível conceber e calcular um projecto de construção, sob critérios de economia circular.

Para a inclusão da Avaliação do Ciclo de Vida no BIM, partimos da metodologia de quantificação do impacto ambiental desenvolvida pelo grupo de investigação Arditec, ao qual pertencem os autores do presente trabalho. Esta metodologia de cálculo do impacto ambiental baseada no indicador da Pegada Ecológica (EF) (Solís-Guzmán, Martínez-Rocamora e Marrero, 2014), faz parte do orçamento dos projectos e foi adaptada para medir o ciclo de vida completo do edifício: urbanização (Marrero et al., 2017), utilização e manutenção (Martínez-Rocamora, Solís-Guzmán e Marrero, 2016, 2017), e reabilitação ou demolição (Alba-Rodríguez et al., 2017). Estudam também outros indicadores como a energia incorporada (EE) (Freire Guerrero e Marrero, 2015), pegada de carbono (CF) (Solís-Guzmán, Martínez-Rocamora e Marrero, 2014; Freire



Guerrero, Marrero Meléndez e Muñoz Martín, 2016; Solís-Guzmán et al., 2018a) e a pegada hídrica (WF) (Ruiz-Pérez, Alba Rodríguez e Marrero, 2017; Ruiz-Pérez, Alba-Rodríguez e Marrero, 2019), pois são os indicadores mais interessantes no sector da construção graças à simplicidade da sua mensagem e que partem da quantificação dos recursos efectuada para o controlo económico dos projectos.

A metodologia baseia-se num tratamento de dados simples e acessível, uma vez que os dados provêm de bases de dados de acesso aberto ou de fontes de informação e podem ser consultados por qualquer pessoa, em qualquer parte do mundo, como as bases de dados genéricas da LCA (Martínez-Rocamora et al., 2016). A robustez da metodologia é baseada em ferramentas de gestão amplamente contrastadas, tais como os Sistemas de Classificação da Informação da Construção (CICS).

Numa análise feita por Freire (Freire Guerrero e Marrero, 2015), destacam-se, entre outros, os seguintes: MasterFormat (CSI/CSC, 1983), Unifomat (UniFormatTM. The Construction Specifications Institute, 1998), Standard Method of Measurement of Civil Engineering (Telford, 1991), CI / SfB (Jones, 1987) e o Uniclass (Omniclass, 2012). Todas estas bases são propostas como instrumento ideal para a realização da quantificação económica ou orçamentação e como elemento integrador, uma vez que o seu sistema de decomposição e hierarquização torna possível introduzir um processo padronizado.

O conceito básico em todas elas é o de dividir um problema complexo em partes mais simples que podem depois ser acrescentadas, sem sobreposição ou repetição, para definir o desenvolvimento completo dos projectos. Em Espanha, as bases de custos de construção (CCB) têm as suas próprias CICS e o seu âmbito é normalmente o ambiente geográfico: O Instituto de Tecnologia da Construção da Catalunha (ITeC, 2012), PRECIOCENTRO de Guadalajara (Colégio Oficial de Topógrafos de Quantidades, 2012), BPCM Madrid (Ministério do Ambiente e Planeamento do Território, 2007), BDEU no País Basco (Departamento de Habitação, 2012), BDC-IVE em Valência (Ministério das Infra-estruturas, Território e Ambiente, 2012), e a Base de Dados Andaluza de Custos de Construção (ACCD) (Marrero e Ramirez-De-Arellano, 2010). Esta última é a utilizada no desenvolvimento do modelo; porque pertence à área geográfica em que o modelo Arditec foi desenvolvido e apresenta uma classificação sistemática robusta, de aplicação simples e esquemática, que permite uma estimativa e quantificação dos recursos básicos, aos quais podem ser aplicados os diferentes indicadores ambientais para obter o impacto ambiental das diferentes soluções de construção.

Os indicadores ambientais baseados na ACV são reconhecidos pela comunidade científica, e podem ser facilmente compreendidos pela sociedade (Freire-Guerrero, Alba-Rodríguez e Marrero, 2019). No presente trabalho, foi utilizado o indicador de Pegada de Carbono (FC), é um indicador cuja utilização é muito alargada, pelo que existe uma grande quantidade de revisões bibliográficas relacionadas com a utilização



do indicador FC na construção (Geng et al., 2017). Através da decomposição em recursos básicos (materiais e maquinaria) fornecidos pela classificação sistemática da ACCD das diferentes soluções de construção, aplica-se o modelo ARDITEC (Marrero, Rivero-Camacho e M Desirée Alba-Rodríguez, 2020), que traduz este montante em termos do impacto produzido pelos recursos durante o seu ciclo de vida, expresso através do indicador CF. O principal objectivo é poder prever o impacto que um projecto irá gerar na fase de concepção, quantificando as quantidades do projecto, identificando os materiais que geram maior impacto ao longo do seu ciclo de vida e substituindo-os por outros que reduzam o seu impacto. Os instrumentos existentes para o controlo de custos do projecto podem ser utilizados como uma ferramenta para introduzir considerações de sustentabilidade.

A sustentabilidade das obras de construção, bem como o desempenho ambiental e o método de cálculo, definem o ciclo de vida do edifício de acordo com a norma UNE-EN 15978 (UNE-EN\_15978, 2012). Os limites do sistema em que este estudo se centra são a fase de fabrico dos materiais de construção e os resíduos que produzem no final do seu ciclo de vida.

## 2. METODOLOGIA

O desenvolvimento metodológico está dividido em duas partes: a aplicação da metodologia Arditec, que, partindo da decomposição efectuada pela classificação sistemática do orçamento, permite quantificar os impactos ambientais dos recursos básicos; e a implementação desta informação ambiental no software BIM aberto, gerando assim uma ferramenta para quantificar a redução do impacto ambiental, de modo a que os impactos ambientais das novas soluções possam ser comparados com as soluções de construção tradicionais.

Em primeiro lugar, são desenvolvidas soluções construtivas baseadas em critérios de economia circular, respeitando os requisitos técnicos e normativos exigidos, para mais tarde avaliar a viabilidade ambiental das soluções através da metodologia LCA. A partir daqui, são criados os objectos BIM das soluções construtivas desenvolvidas. Estes objectos BIM serão compostos pelas famílias de materiais que definem os sistemas construtivos desenvolvidos, aos quais é atribuído o impacto ambiental calculado pela metodologia Arditec e depois integrado no software BIM aberto através de plug-in (Fig. 1).

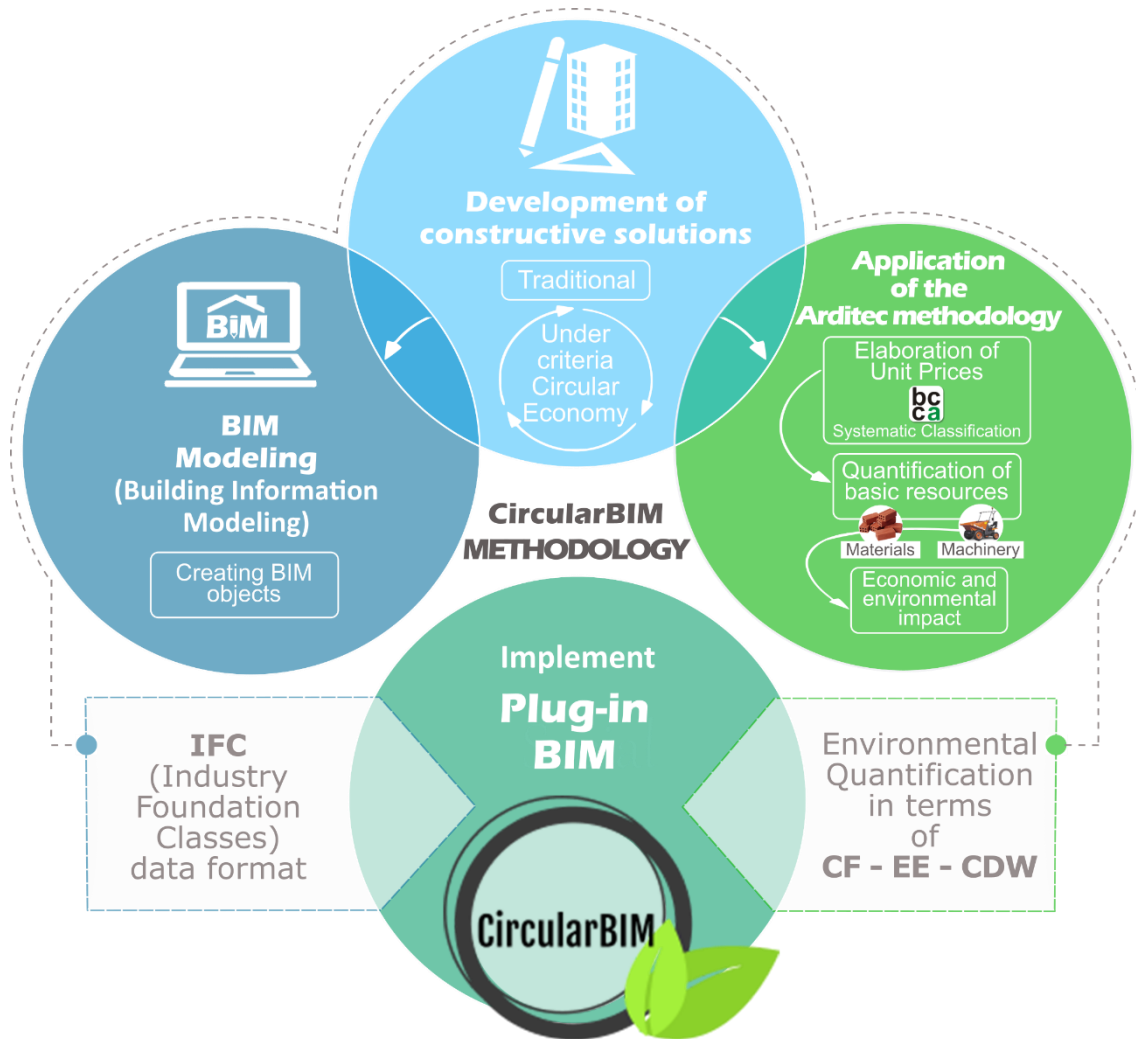


Fig. 1 Diagrama de fluxo metodológico. Fonte: USE.

## 2.1 Aplicação da metodologia Arditec

### 2.1.1 Estrutura de custos

A automatização de dados e processos são avanços nas Tecnologias de Informação (TI) que proporcionam grandes vantagens na análise preditiva. Como mencionado na introdução a este trabalho, o sector é dominado pelos sistemas de classificação da informação da construção (CICS) como ferramentas de gestão, especificamente o ACCD é utilizado neste estudo (ACCD, 2017). O seu Sistema de Classificação de Informação Sistemática (Ramírez-de-Arellano-Agudo, 2010), baseia-se numa estrutura hierárquica e arborescente com níveis definidos, onde cada grupo é dividido em subgrupos de características homogéneas. Esta organização do trabalho facilita a divisão de um sistema complexo como o orçamento de trabalho em elementos mais





simples, ou seja, materiais, maquinaria e mão-de-obra (Freire-Guerrero, Alba-Rodríguez e Marrero, 2019).

Os preços são expressos em termos de uma determinada unidade de medida; mas também devem ser estabelecidos critérios para que, dentro do projecto de construção em questão, o número de unidades que estão sujeitas a esse preço possa ser quantificado. Para tal, são estabelecidos critérios para facilitar essa medição através de uma compensação adequada ajustada aos usos e costumes de execução dessas unidades (Alba-Rodríguez, 2016). O conjunto de preços por unidade de trabalho é reforçado pelo estabelecimento de um significado único para cada duo de forma rígida entre os critérios de medição estabelecidos para uma dada unidade de trabalho e o seu preço correspondente; entende-se que se os critérios forem modificados, o preço deve ser alterado por sua vez, e devem ser utilizados critérios de medição comuns para preços semelhantes.

Os conceitos acima descritos constituem o que se chama uma epígrafe de preço, todos os preços têm um e este é diferente para cada elemento do sistema. Estes elementos são mostrados nos preços das fachadas ventiladas nas tabelas 3 e 4 da secção sobre soluções de construção. Todas as características acima referidas facilitam a incorporação do custo ambiental com base nas mesmas hipóteses e contornos definidos no cálculo do custo económico.

### 2.1.2 Modelo de cálculo ambiental

O modelo de cálculo ambiental desenvolvido pelo grupo Arditec para avaliar todas as fases do ciclo de vida do edifício, permite a avaliação de diferentes indicadores ambientais (Freire-Guerrero, Alba-Rodríguez e Marrero, 2019), (Marrero, Rivero-Camacho e M Desirée Alba-Rodríguez, 2020). Na presente proposta, a partir do orçamento do projecto, é avaliado o impacto ambiental dos materiais, o que permite a identificação das famílias de materiais que controlam o orçamento.

Para este efeito, são quantificados os resíduos; bem como os indicadores CF e EE utilizando bases de dados internacionais de LCAs de produtos de construção e as Declarações Ambientais de Produtos (EPD) disponíveis na ECO-Platform ([www.eco-platform.org/](http://www.eco-platform.org/)), uma plataforma europeia para programas de EPD no sector da construção que é estabelecida com o objectivo de uma implementação da EN 15804 (ISO\_15804:2012+A1:2013, 2012) com reconhecimento mútuo entre os membros.

É feita uma análise geral dos diferentes conceitos que constituem um indicador ambiental, no qual o consumo de recursos naturais na obra é tratado como um custo ambiental.

Em primeiro lugar, foram definidos custos directos, que nos orçamentos tradicionais de construção correspondem a maquinaria, mão-de-obra e materiais e, de forma semelhante, causam a utilização directa de recursos no local através do gasto de



energia da maquinaria utilizada no local (combustível ou electricidade) e o consumo de materiais de construção (durante o seu fabrico, transporte e instalação), bem como a geração de resíduos associados a este consumo de materiais.

Quantificação dos resíduos:

Uma vez identificados os elementos que constituem a solução de construção, o passo seguinte é quantificar os resíduos esperados dos mesmos. Os elementos geradores de resíduos são identificados através de uma classificação normalizada e quantificados por meio de coeficientes de transformação (Solís-Guzmán et al., 2009), por aplicação da equação (1):

$$QR_i = Q_i \cdot CR_i \cdot CC_i \cdot CT_i \quad (1)$$

onde:  $QR_i$  é a quantidade de resíduos "i" gerados pelo material,  $Q_i$ ;  $CR_i$  determina a quantidade de material que se torna resíduo;  $CC_i$  transforma as unidades dos componentes do edifício em unidades de resíduos;  $CT_i$  é para a mudança de volume do material quando este se torna resíduo. O sistema de unidades é o utilizado no sector da construção para cada família de materiais de construção, kg, m<sup>3</sup>, m<sup>2</sup>, ou unidade (u). Os coeficientes são calculados com base no ACCD (ACCD, 2017) (ver exemplos de coeficientes Quadro 1).

Quadro 1 Exemplos de coeficientes de transformação (Marrero, Rivero-Camacho and M. Desirée Alba-Rodríguez, 2020)

Material	Origin	Destination	Cr	Cc	Ct
kg Steel	losses	t Steel	0.0	0.00	1.0
m <sup>2</sup> Ceramic brick	losses	m <sup>3</sup> Ceramic	0.0	0.01	1.3
t Cement	losses	t Cement	0.0	1.00	1.0
m <sup>3</sup> Concrete	losses	m <sup>3</sup> Concrete	0.1	1.00	1.1

## Análise Ambiental:

### **Maquinaria**

Este é o impacto da utilização de maquinaria, especificamente o seu consumo directo de energia (tanto combustível como energia eléctrica), ligando-a à potência do seu motor.

Para obter o consumo de combustível, é utilizado o "Manual de Máquinas" preparado por (SEOPAN, 2008), onde são recolhidos os dados técnicos de diferentes modelos e tipologias de máquinas no mercado. Escolhendo os consumos mais desfavoráveis, analisam-se as máquinas classificadas, onde é aplicado um coeficiente à potência de cada motor para obter os litros de combustível consumidos, diferenciando se a máquina consome gasóleo ou gasolina.



Uma vez obtidos os litros de combustível consumidos, é aplicado o coeficiente que indica a quantidade de CO<sub>2</sub> gerada por um litro de combustível (IDAE, 2011). A estes dados são aplicados os obtidos a partir de bases de dados internacionais de ACV e são obtidos os respectivos FC e EE.

É seguida uma abordagem semelhante para o consumo da maquinaria eléctrica utilizada no local, analisando a potência do motor e as horas de utilização, obtendo-se o kWh total consumido. A estes dados aplica-se o coeficiente que indica as emissões de CO<sub>2</sub> geradas para a produção de um kWh de energia pelo sistema eléctrico espanhol (REE, 2014), ou seja, as emissões de GEE, medidas através do potencial de aquecimento global (GWP) dos vários gases emitidos para a atmosfera, pesando as toneladas de gases emitidas e transformando-as em t de CO<sub>2</sub> equivalente.

### **Materiais de construção**

O primeiro passo a dar para obter o impacto ambiental de cada material consiste em converter a unidade de medida original de cada preço básico (m<sup>3</sup>, m<sup>2</sup>, metros, toneladas, milhares...) em m<sup>3</sup>, para que possamos aplicar a densidade estabelecida nos documentos de apoio utilizados, no Catálogo de Soluções de Construção do Código Técnico da Edificação (IETcc, 2010) e no Documento Básico de Segurança Estrutural do Código Técnico da Edificação. Acções no Edifício DB-SE AE (RD\_314, 2006), para obter o peso de cada elemento.

Entre as diferentes bases de dados da LCA, foi escolhida a base de dados Ecoinvent (Frischknecht et al., 2005), implementada em Symapro e desenvolvida pelo Centro Suíço de Inventários do Ciclo de Vida, devido à sua transparência no desenvolvimento de processos (relatórios, fluxogramas, metodologia...), consistência, referências e destacando-se o facto de fundir dados de várias bases de dados da indústria da construção (Martínez-Rocamora et al., 2016).

A partir desta base de dados, foi obtida uma série de "famílias ambientais" que serão responsáveis por atribuir a cada preço de base as suas unidades de impacto correspondentes, de acordo com a sua semelhança.

A partir do inventário do ciclo de vida (ICV) para cada um dos materiais, foram analisadas as emissões incorporadas nos materiais de construção, através da aplicação da metodologia IPCC 100 A, que é utilizada pelo indicador da pegada de carbono, uma vez que isola as emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases com efeito de estufa (GEE) do ICV expressas em t CO<sub>2</sub> eq. /kg (Solís-Guzmán et al., 2018b).

A Figura 2 resume a metodologia que combina o orçamento do trabalho com o impacto ambiental.

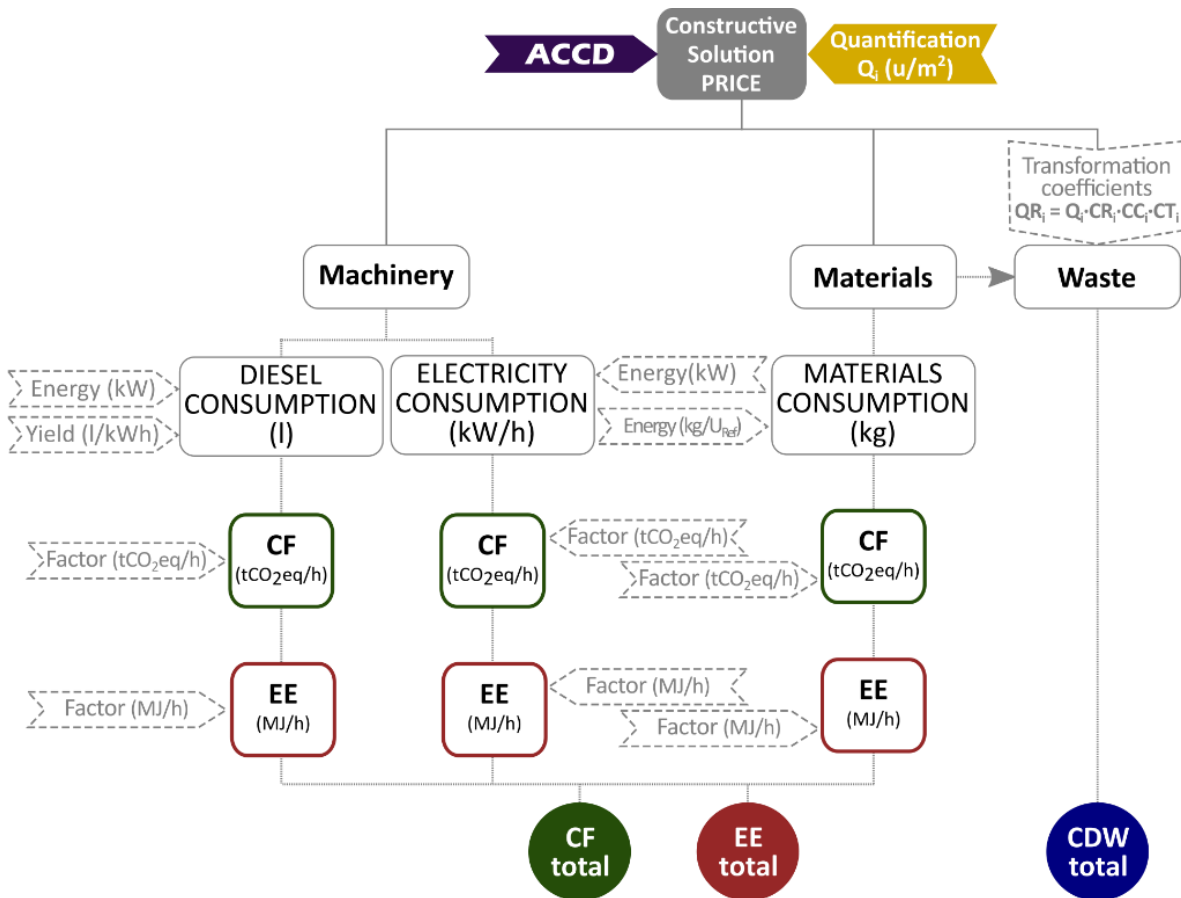


Fig. 2 Metodologia de cálculo. Fonte: USE.

É também realizada uma análise do transporte do material, estabelecendo aproximações da distância coberta pelo meio de transporte, como na secção anterior sobre máquinas (Freire-Guerrero, Alba-Rodríguez e Marrero, 2019). A primeira coisa a considerar é o meio de transporte a ser utilizado, no nosso caso é por camião, cuja capacidade é definida em toneladas e consumo médio de gasóleo, considerando também as emissões de CO<sub>2</sub> para cada litro de combustível consumido.

O segundo aspecto a considerar é a distância da fábrica de cada material até ao local de trabalho; tomando as seguintes aproximações: como o nosso campo de trabalho corresponde à Andaluzia, consideramos que a maioria dos materiais são fabricados nessa área, para a qual a distância corresponde à média de 250 km. No caso específico do betão, será considerada uma distância máxima de 20 km, de acordo com as considerações da EHE-08 (EHE-08, 2008).

Com estes dados, podemos obter as toneladas de CO<sub>2</sub> que estariam envolvidas no transporte de cada material e/ou resíduos; este valor reflectir-se-á na capacidade do camião para obter o valor de acordo com os kg de material transportado, e estes dados podem ser aplicados directamente ao peso de cada preço de base (Tabela 2).



Quadro 2 Dados para o cálculo do impacto do transporte:

	Concrete	Other materials
Truck load capacity (kg)	24.0	2.0
Distance to factory (km)	20.0	250.0
Average diesel consumption (litros/100km)	26.0	26.0
Diesel emissions (tCO <sub>2</sub> /litro)	2.6E-03	2.6E-03
Energy incorporated into diesel (MJ/litro)	57.7	57.7
Energy incorporated into electricity (MJ/kWh)	3.6	3.6

### Implementação de dados ambientais no BIM

Uma vez desenvolvido o modelo para quantificar o impacto ambiental e dado que o objectivo final é automatizar orçamentos ambientais através de ferramentas BIM, o próximo passo será incluir a informação ambiental obtida através do BIM. Dada a natureza incipiente da investigação, esta secção mostra uma pincelada da forma como esta tarefa deve ser abordada no futuro imediato.

Para a inclusão desta nova informação ambiental no BIM, é necessário criar esta informação no chamado formato de dados IFC (Industry Foundation Classes), cuja particularidade é permitir a troca de dados de um modelo de informação para outro sem gerar perda ou distorção de dados. É um formato aberto e neutro, não controlado por produtores de software, nascido para facilitar a interoperabilidade.

O IFC foi concebido para produzir toda a informação sobre o edifício ao longo do seu ciclo de vida, desde a concepção preliminar até à execução e manutenção, incluindo as diferentes fases de concepção e planeamento. A maior parte dos recursos do BIM actualmente disponíveis estão concentrados na construção e, dentro desta, no sector residencial. Por esta razão, na investigação em curso e com o objectivo de aproveitar ao máximo as vantagens oferecidas pelo BIM, o que estamos a tentar alcançar é a expansão da sua aplicação nas diferentes fases do ciclo de vida do edifício, aprofundando os benefícios que pode trazer à sustentabilidade, mais especificamente, como incorporar os critérios da economia circular através do BIM.

Graças aos modelos IFC, é possível criar um modelo virtual do edifício que não seja uma simples representação 3D, mas um modelo que contenha informação geométrica, materiais, quantificação de custos, elementos complexos tais como estruturas, instalações, características térmicas, e mesmo informação relacionada com as diferentes fases do ciclo de vida do edifício.



A associação desta informação adicional é conseguida porque a estrutura IFC é baseada na semântica, relações e propriedades dos objectos modelados, criados para descrever os diferentes componentes dos edifícios (colunas, vigas, paredes, lajes, etc.) podendo acrescentar propriedades específicas a cada objecto; quantificação de custos através de orçamentos, quantificação de materiais através de medições, e o que se pretende nesta investigação, quantificação ambiental através da adesão à metodologia Arditec baseada em indicadores ambientais e LCA.

## 2.2. Soluções construtivas

A metodologia acima descrita é aplicada a duas soluções de construção: uma solução composta por materiais tradicionalmente utilizados na construção, e esta mesma solução modificada com a incorporação de materiais sustentáveis com base em critérios de economia circular. A fachada ventilada é a solução de construção escolhida como exemplo de desenvolvimento para mostrar o progresso do modelo proposto. Descrições completas da construção das soluções podem ser encontradas na epígrafe de preços das tabelas 3 e 4, em correspondência com as imagens 1 e 2.

O quadro 3 descreve e decompõe os materiais que compõem a fachada ventilada considerada tradicional (S01), o quadro 4 mostra os materiais sustentáveis (S02) propostos para melhorar o impacto ambiental da solução de construção.

Quadro 3 Exemplo de preço de fachada ventilada tradicional (S01):

14FVL00001	m <sup>2</sup>	FACHADA VENTILADA COM REVESTIMENTO EXTERIOR DE PEDRA NATURAL
Folha principal de fachada ventilada de fábrica de tijolos cerâmicos perfurados de 24x11,5x9 cm, recebida com argamassa de cimento industrial M-5. Isolamento térmico constituído por painel de lã mineral, segundo UNE-EN 13162, 60 mm de espessura, resistência térmica 1.75 m <sup>2</sup> K/W, condutividade térmica 0.034 W/(mK), colocado entre os montantes da estrutura de suporte, também p. p. de elementos de fixação, corte e colocação. Revestimento de paredes internas com placas de gesso de 13 mm de espessura para gesso autoportante, colocadas sobre perfis de aço galvanizado com fixações mecânicas, incluindo piquetagem, limpeza, nivelamento, encanamento, realização de esquinas e reparação de juntas. Revestimento exterior feito de placas de calcário Capri maquinadas, acabamento bujardado, 60x40x4 cm; instalação usando o sistema de ancoragem horizontal contínua numa subestrutura de suporte ajustável em liga de alumínio; subestrutura para suporte do revestimento exterior usando o sistema de ancoragem horizontal feito de perfis verticais de alumínio extrudido com tratamento térmico; incluindo parafusos e ancoragens mecânicas em aço inoxidável, para fixação da subestrutura. Medir a superfície executada.		



01-A2. SUSTAINABLE CONSTRUCTION METHODS AND PROCEDURES USED FOR CIRCULAR ECONOMY CONCEPTS

Code	Quantity	u	Description	Price	Cost (€)	CF (tCO <sub>2</sub> eq.)	EE (MJ/h)	CDW (t/m <sup>3</sup> )
TO02100	2.72	h	OFFICIAL 1ST	19.85	53.99	---	---	---
TA00200	2.52	h	SPECIALIST ASSISTANT	19.04	47.98	---	---	---
TP00100	0.50	h	SPECIAL PEON	18.80	9.45	---	---	---
MW00300	0.26	h	LIFTING PLATFORM	7.50	1.94	0.0108	177.3	---
06LHM00005	1.00	m <sup>2</sup>	BRICK MASONRY	29.64	29.64	0.0717	832.4	264.26
09TPP00161	1.00	m <sup>2</sup>	MINERAL WOOL INSULATION	11.14	10.14	0.0183	282.3	12.386
QP01100	1.00	m <sup>2</sup>	ALUMINUM PROFILE	19.06	19.06	0.0231	372.4	1.93
10LWW90201	1.00	m <sup>2</sup>	SELF-SUPPORTING COATING. PLASTER	18.18	18.18	0.0860	1457.4	19.97
RA05300	1.00	m <sup>2</sup>	LIMESTONE PANELS 3 cm	37.87	37.87	0.0003	1.5	28.55
WW00400	2.00	u	SMALL MATERIAL	0.30	0.60	0.0003	5.3	0.00
Total					229.85	0.2105	3128.7	327,09

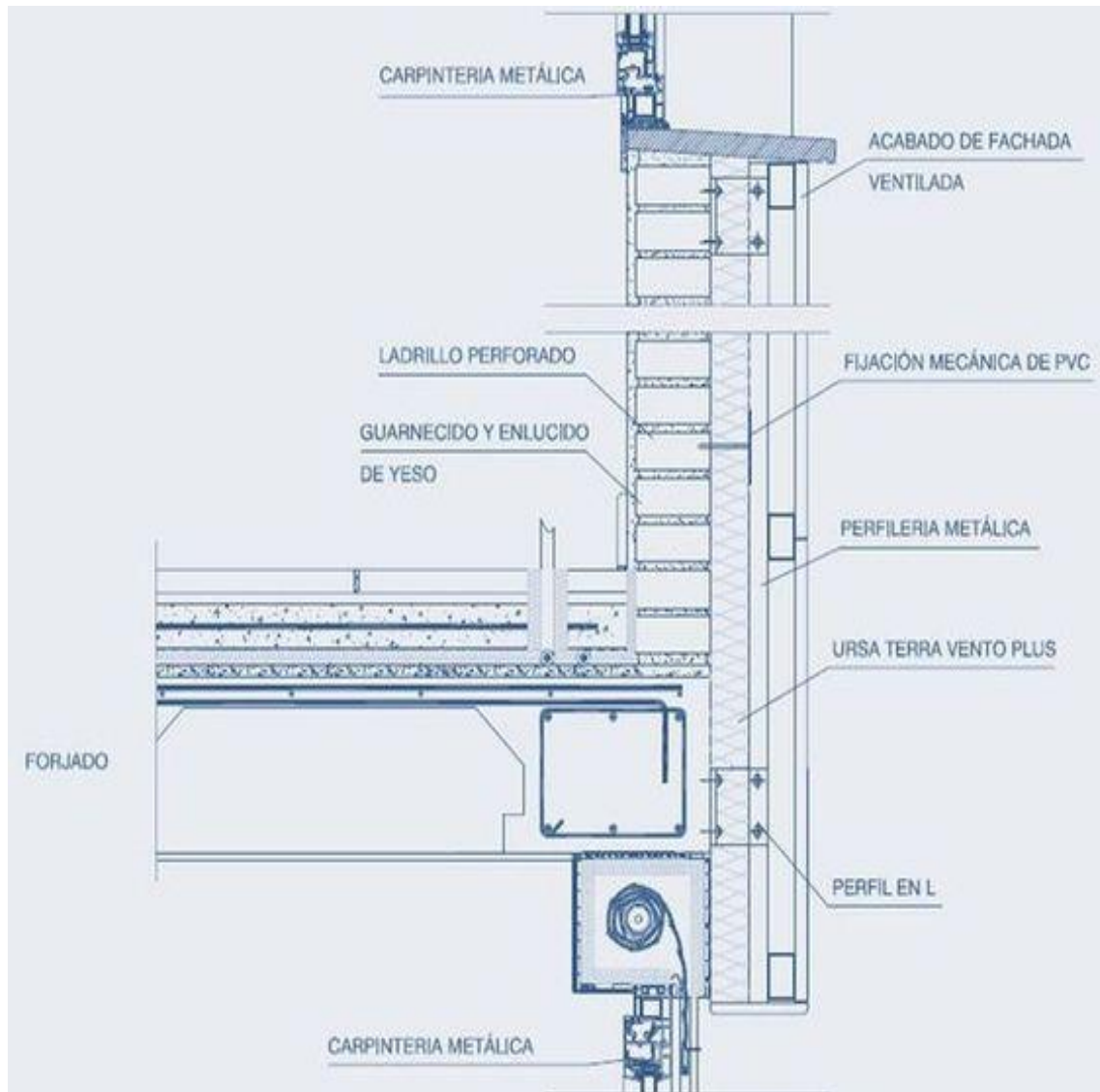


Image 1. Exemplo de detalhe de construção. Fachada ventilada tradicional (S01).

Quadro 4 Exemplo de preço de fachada ventilada sustentável (S02):

14FVL00002	m <sup>2</sup>	FACHADA VENTILADA COM REVESTIMENTO EXTERIOR DE PAINÉIS DE MADEIRA
<p>Folha principal de fachada de tijolo oco duplo ventilado 24x11. 5x9 cm, recebido com argamassa de cimento industrial M-5. Isolamento de paredes com placas de cortiça de conglomerado de densidade 110 kg/m<sup>3</sup> com 60 mm de espessura, colocadas em superfícies planas, incluindo corte e assentamento e material complementar. Revestimento de paredes interiores com placas de madeira para revestimento autoportante de paredes, colocadas sobre perfis de madeira, incluindo piquetagem,</p>		





limpeza, nivelamento, realização de cantos e reparação de juntas. Revestimento exterior de painéis compostos de madeira natural para exteriores, constituídos por um corpo de baquelite de alta densidade, revestidos com folheado de madeira natural tratada com resinas sintéticas que proporcionam maior durabilidade, protecção contra a radiação solar, agentes atmosféricos, sujidade e ataques químicos (anti-grafite). Faz parte de um kit de construção para o revestimento de fachadas ventiladas formadas por painéis de madeira natural e a sua correspondente subestrutura. Devido à sua elevada resistência, não requerem a manutenção habitual de outras madeiras de exterior. Materiais com mais de 8% de matéria-prima de origem reciclada e rótulo ecológico III. Medir a superfície executada.

Code	Quantity	u	Description	Price	Cost (€)	CF (tCO <sub>2</sub> eq.)	EE (MJ/h)	CDW (t/m <sup>3</sup> )
TO02100	2.72	h	OFFICIAL 1ST	19.85	52.99	---	---	---
TA00200	2.52	h	SPECIALIST	19.04	47.98	---	---	---
TP00100	0.50	h	ASSISTANT	18.90	9.45	---	---	---
MW00300	0.26	h	SPECIAL PEON	7.50	1.94	0.0108	177.3	---
06LHM0005	1.00	m <sup>2</sup>	LIFTING PLATFORM	29.64	29.64	0.0717	832.4	264.26
10LWW90202	1.00	m <sup>2</sup>	BRICK MASONRY	14.44	14.44	-0.0040	354.1	6.71
10LWW90300	1.00	m <sup>2</sup>	CORK PANELS INSULATION	19.51	19.51	0.0388	967.2	15.22
RA00200	1.01	m <sup>2</sup>	SELF-SUPPORTING COATING.	83.97	83.97	0.0250	684.8	13.08
WW00400	2.00	u	WOODEN PANELS OUTER COATING. WOODEN PANELS	0.30	0.60	0.0003	5.3	0.00
Total					262.36	0.1427	3021.2	299.26

Os materiais da solução S02 foram seleccionados segundo critérios ambientais, especificamente materiais que, além de satisfazerem as condições técnicas exigidas para a sua função dentro da solução de construção, possuem o rótulo ecológico III (EPD) e têm uma percentagem de material reciclado na sua composição, assim certificado no seu correspondente rótulo ecológico. Desta forma, garantimos a incorporação de materiais produzidos segundo critérios de economia circular, bem como a certeza de que estes materiais estão disponíveis no mercado.



*Imagem 2. Exemplo de detalhe de construção. Fachada Ventilada Sustentável (S02).*

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a aplicação da metodologia descrita, obtém-se o custo económico (euros) e o impacto ambiental em termos de Pegada de Carbono (FC), Energia Incorporada (EE) e Resíduos (CDW), de cada solução de construção. Em primeiro lugar, a atenção centra-se nos resultados totais, tanto económicos como ambientais, de ambas as soluções de fachada ventilada, representados graficamente na Figura 3.

Pode-se ver como a solução S01, constituída por materiais tradicionalmente utilizados na construção, apresenta um custo económico inferior ao da solução S02 que incorpora materiais com critérios ambientais e de reciclabilidade. No entanto, ao comparar o custo económico com o impacto ambiental, verifica-se que o custo ambiental da solução S02 é inferior em qualquer um dos três indicadores (CF, EE e CDW) utilizados na análise.

É interessante fazer uma análise comparativa da Figura 3, através da repartição económica e ambiental por materiais, onde se pode observar que em ambas as



soluções de fachada ventilada, o maior custo económico recai sobre os elementos que compõem a folha exterior do recinto, sendo a solução S01 8% mais económica. Ao comparar os resultados ambientais em termos de FC e EE destes mesmos elementos, verifica-se que a solução S01 apresenta um impacto ambiental entre 7% e 11% menos.

Isto deve-se ao facto de o revestimento exterior da fachada ventilada da solução S01 original ser composto por pedra natural, cujo processo de transformação requer muito pouca energia incorporada e, como consequência, baixas emissões de CO<sub>2</sub>, enquanto que na solução S02 o material de revestimento é feito de madeira especial para exteriores tratados com baquelite e resinas sintéticas que requerem mais energia incorporada nos seus processos de produção.

Em contraste, ao comparar os RCD gerados por ambas as soluções, verifica-se que com a solução S02, a geração de RCD é reduzida em cerca de 5%, graças ao facto de as placas de revestimento desta solução terem uma elevada percentagem de reciclabilidade e conterem mais de 8% de matéria-prima de origem reciclada, certificada através do rótulo ecológico tipo III.

Continuando a análise dos resultados por materiais, é de salientar a comparação entre os materiais de isolamento utilizados nas soluções de construção, onde se destaca o CF dos materiais de isolamento da solução S02, que é representado no gráfico em termos negativos.

Isto deve-se ao facto de a cortiça utilizada como material isolante na solução S02 durante o seu processo de fabrico produzir menos emissões do que a sequestração de CO<sub>2</sub> realizada pelos montados de sobro, a árvore de onde provém a matéria-prima cortiça, na sua análise do ciclo de vida, o que se traduz num balanço negativo da pegada de carbono.



01-A2. SUSTAINABLE CONSTRUCTION METHODS AND PROCEDURES USED FOR CIRCULAR ECONOMY CONCEPTS

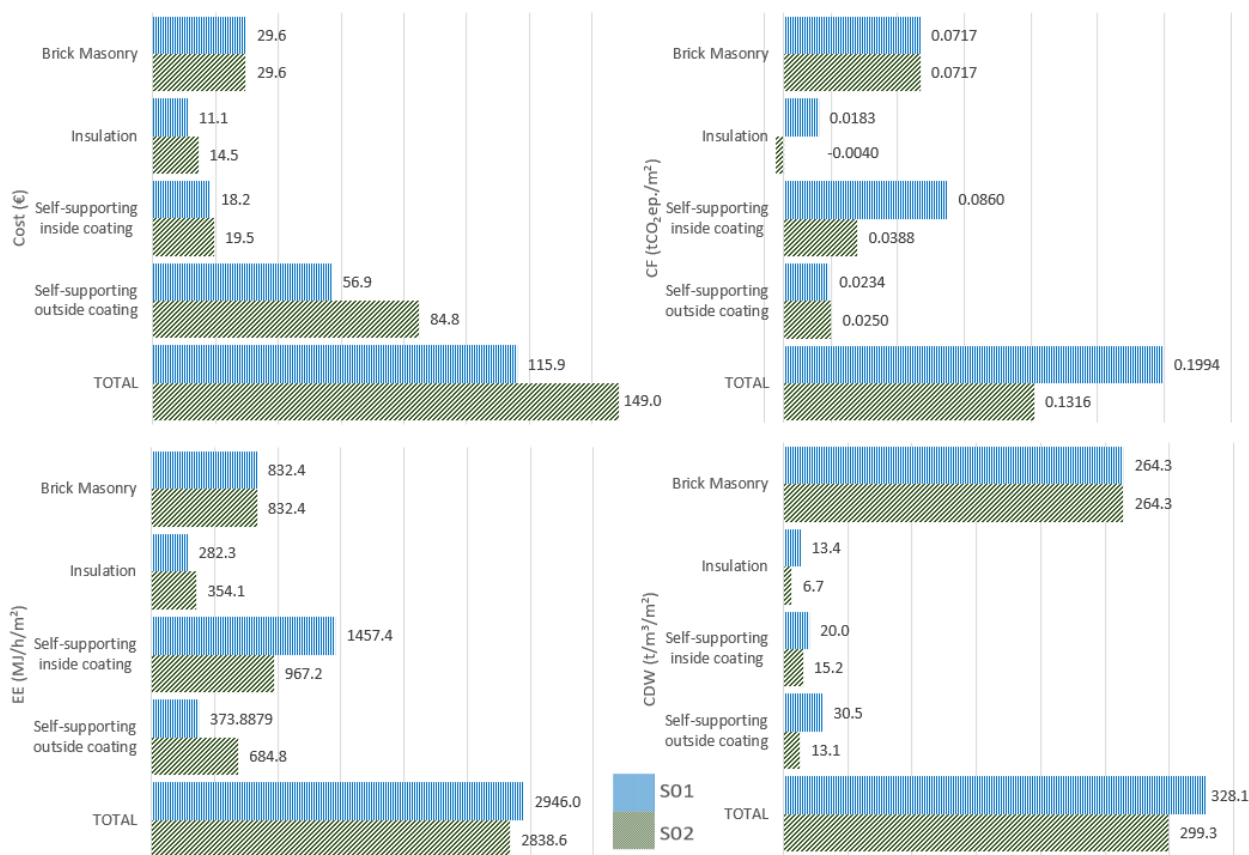


Fig. 3 Comparação económica e ambiental por material das soluções de fachada ventilada S01 e S02.

O material que produz o maior impacto ambiental da solução deve ser destacado em dois dos indicadores utilizados na análise (CF, EE), nomeadamente as placas de gesso laminado, o material de revestimento do reboco interior que compõe a solução S01. Este elemento representa cerca de 43% do CF e 49% do EE da solução construtiva, devido ao elevado impacto que gera desde a extracção como matéria-prima, ao longo de todo o seu ciclo de vida até à sua geração como resíduo, uma vez que este material tem poucas possibilidades de reutilização e reciclagem, pelo que está longe dos critérios da economia circular.

Na solução S02, este material é substituído por folhas de madeira fabricadas a partir de madeira reciclada, que consegue reduzir o FC da solução em cerca de 55% e o EE em 34%, para além de contribuir para os objectivos de reutilização e reciclagem prosseguidos pela economia circular

Para concluir a análise, concentramo-nos no indicador referido no RCD, que nos permite vislumbrar a quantidade de resíduos gerados pelos materiais que compõem as diferentes soluções de construção e assim analisar a possibilidade de recirculação e reciclabilidade de tais resíduos. De acordo com os resultados obtidos, todos os elementos da solução S02 têm uma produção de resíduos inferior à dos elementos que



compõem a solução S01. Desta análise, destaca-se a folha exterior, gerando menos 53% de resíduos na solução S02 do que na solução S01. Isto deve-se ao uso potencial dos materiais de madeira que compõem a folha exterior da solução S02. Na análise dos resultados deste indicador, é necessário considerar, para além da geração de resíduos dos diferentes elementos, a percentagem de reciclabilidade de tais resíduos.

Dado que as soluções de fachada ventilada analisadas neste trabalho se caracterizam pela sua capacidade de desmantelamento, ou seja, que no final da sua vida útil é possível desmantelar os diferentes materiais que compõem cada elemento, a percentagem de reciclabilidade destes é aumentada. Especificamente no caso da solução S01, considerando o peso total da solução de construção (440.38 kg), a reciclabilidade do total dos seus componentes é de cerca de 74%, enquanto que a solução S02 (peso total 412.56 kg) apresenta uma reciclabilidade de 73%.

## 4. CONCLUSÕES

As bases de dados de custos de construção são tradicionalmente utilizadas no sector para gerar e controlar orçamentos. Estas bases de dados permitem a determinação precisa dos recursos utilizados num projecto de construção; além disso, graças à sua estrutura interna e classificação sistemática, é possível incluir de forma fiável indicadores ambientais para o cálculo paralelo do custo ambiental do projecto. Isto torna-se uma oportunidade para introduzir a consciência ambiental e o controlo do projecto através destas bases de custos, amplamente integradas pelos agentes do sector para o controlo económico dos projectos.

Tirando partido do actual boom da tecnologia BIM, que permite que toda a informação do projecto seja centralizada num modelo de informação digital, fazem dela a ferramenta ideal para promover esta consciencialização ambiental a partir dos orçamentos dos projectos.

Incluindo este cálculo do impacto ambiental através dos diferentes indicadores ambientais (CF, EE e CDW), a ferramenta proposta permite quantificar a redução do impacto ambiental gerado pelos projectos, para que os impactos ambientais das novas soluções possam ser comparados com as soluções construtivas tradicionais.

Uma amostra desta afirmação é extraída dos resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia acima descrita nas duas soluções construtivas analisadas, observando que a solução composta por materiais tradicionais apresenta um custo económico inferior ao da solução que incorpora materiais com critérios ambientais e de reciclabilidade, em contraste com os resultados ambientais, onde se aprecia que a solução que incorpora critérios ambientais apresenta menor impacto para qualquer dos três indicadores (FC, EE e CDW) utilizados na análise.



A discriminação detalhada por elementos de construção que é possível devido à estrutura interna e classificação sistemática das bases de custos, permite identificar os materiais das soluções de construção que geram um maior impacto ambiental e assim propor uma alternativa de substituição que reduz esse impacto. No caso específico das soluções analisadas nesta obra, o material de revestimento do reboco interior (placas de gesso laminado) foi identificado como o material que produz maior impacto ambiental, representando cerca de 43% do FC e 49% do EE da solução de construção.

Isto permite propor e quantificar como alternativa para substituir este elemento por outro que gere menos impacto, especificamente neste caso considera-se a sua substituição por folhas de madeira feitas de madeira reciclada, que consegue reduzir a FC da solução em cerca de 55% e a EE em 34%, além de contribuir para os objectivos de reutilização e reciclagem que a economia circular prossegue.

O objectivo da ferramenta proposta neste documento é incorporar a metodologia de cálculo descrita nos projectos de construção utilizando tecnologias BIM. Para este efeito, depois de incluir as características do projecto específico e a definição geométrica dos seus objectos BIM, os impactos ambientais de cada solução de construção previamente definida podem ser calculados e representados por meio de indicadores.

A informação pode ser acrescentada ao modelo BIM através de plug-ins, inserida directamente no software BIM ou através do envio da informação BIM para as ferramentas de avaliação ambiental. Por ser um recurso aberto, será possível aceder gratuitamente ao software e obter técnicas de construção que facilitem a reutilização dos materiais utilizados na construção.

Em conclusão, a ideia é unificar a tecnologia BIM e as técnicas de revalorização e reutilização de materiais de construção com base nos ideais da economia circular, criando assim uma ferramenta útil tanto para estudantes como para profissionais da Arquitectura, Engenharia e Construção.

## 5. REFERÊNCIAS

ACCD (2017) *Andalusia Construction Cost Database, Andalusia Government*. Available at: <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/fomentoyvivienda/areas/vivienda-rehabilitacion/planes-instrumentos/paginas/bcca-sept-2017.html>.

Alba-Rodríguez, M. D. (2016) *Modelo de evaluación de la viabilidad económica y ambiental de la recuperación de edificios. Aplicación en edificios residenciales de la ciudad de Sevilla. 'Model for evaluating the economic and environmental viability of building recovery'*. PhD Thesis. University of Seville, Spain. Available at: [https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/44469/VEARE\\_Acceso\\_cerrado.pdf?sequence=1](https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/44469/VEARE_Acceso_cerrado.pdf?sequence=1) (Accessed: 21 August 2018).



- Alba-Rodríguez, M. D. *et al.* (2017) 'Building rehabilitation versus demolition and new construction: Economic and environmental assessment', *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier, 66, pp. 115–126. doi: 10.1016/j.eiar.2017.06.002.
- Camporeale, P. and Mercader-Moyano, P. (2019) "Towards Nearly Zero Energy Buildings: Shape Optimization of Typical Housing Typologies in Ibero-American Temperate Climate Cities from a Holistic Perspective", *Solar Energy*. Elsevier, 193C. pp. 738-765. doi: 10.1016/j.solener.2019.09.091
- CSI/CSC (1983) 'Construction Specifications Institute/Construction Specifications Canada. Masterformat manual of practice (MP2-1). Alexandria, Va.'
- Department of Housing, P. W. and T. of the B. G. (2012) 'BDEU in the Basque Country'.
- Directiva\_2018/844/UE (2018) *Directiva 2018/844/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por las que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.*
- EHE-08 (2008) *Instrucción de Hormigón Estructural. Structural Concrete Instruction, normative series 2011 Spanish Government Ministry of Development General Technical Secretariat.*
- EUROPEAN COMMISSION (2019) *Closing the circle: Commission delivers on Action Plan for the Circular Economy.* Available at: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP\\_19\\_1480](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP_19_1480) (Accessed: 12 February 2020).
- Freire-Guerrero, A., Alba-Rodríguez, M. D. and Marrero, M. (2019) 'A budget for the ecological footprint of buildings is possible: A case study using the dwelling construction cost database of Andalusia', *Sustainable Cities and Society*. Elsevier, 51, p. 101737. doi: 10.1016/J.SCS.2019.101737.
- Freire Guerrero, A. and Marrero, M. (2015) 'Evaluation of the embodied energy of a construction project using the budget', *Habitat Sustentable*, 5(1), pp. 54–63.
- Freire Guerrero, A., Marrero Meléndez, M. and Muñoz Martín, J. (2016) 'Incorporación de huella de carbono y huella ecológica en las bases de costes de construcción. Estudio de caso de un proyecto de urbanización en Écija, España', *Hábitat Sustentable*, ISSN-e 0719-0700, Vol. 6, Nº. 1, 2016 (*Ejemplar dedicado a: Junio*), págs. 6-17. Universidad del Bío-Bío, 6(1), pp. 6–17.
- Frischknecht, R. *et al.* (2005) 'The ecoinvent database: Overview and methodological framework (7 pp)', *The international journal of life cycle assessment*. Springer, 10(1), pp. 3–9.
- Geng, S. *et al.* (2017) 'Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 76, pp. 176–184.
- IDAE (2011) *Factores de emisión de CO2 / CO2 emission factors.*
- IETcc (2010) *Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción (IETcc).*
- ISO\_14040: (2006) *Environmental Management: Life Cycle Assessment; Principles and*



*Framework. International Standardization Organization. ISO.*

ISO\_14044: (2006) *Environmental Management, Life Cycle Assessment, Requirements and Guidelines. International Standardization Organization. ISO.*

ISO\_15804:2012+A1:2013 (2012) 'Sustainability of construction works. International Standardization Organization.', *Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products.*

ITeC (2012) *Institute of Construction Technology of Catalonia, Barcelona.*

Jones, A. R. (1987) 'CI/SfB construction indexing manual', *Royal Institute of British Architects RIBA. London, U.K.*

Marrero, M. *et al.* (2017) 'Assessing the economic impact and ecological footprint of construction and demolition waste during the urbanization of rural land', *Resources, Conservation and Recycling*, 117, pp. 160–174. doi: 10.1016/j.resconrec.2016.10.020.

Marrero, M. and Ramirez-De-Arellano, A. (2010) 'The building cost system in Andalusia: application to construction and demolition waste management', *Construction Management and Economics*. Routledge, 28(5), pp. 495–507. doi: 10.1080/01446191003735500.

Marrero, M., Rivero-Camacho, C. and Alba-Rodríguez, M Desirée (2020) 'What are we discarding during the life cycle of a building? Case studies of social housing in Andalusia, Spain', *Waste Management*. Elsevier, 102, pp. 391–403.

Marrero, M., Rivero-Camacho, C. and Alba-Rodríguez, M. Desirée (2020) 'What are we discarding during the life cycle of a building? Case studies of social housing in Andalusia, Spain', *Waste Management*. Elsevier Ltd, 102, pp. 391–403. doi: 10.1016/j.wasman.2019.11.002.

Martínez-Rocamora, A. *et al.* (2016) 'LCA databases focused on construction materials: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 58, pp. 565–573. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.243.

Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J. and Marrero, M. (2016) 'Toward the Ecological Footprint of the use and maintenance phase of buildings: Utility consumption and cleaning tasks', *Ecological Indicators*, 69, pp. 66–77. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.04.007.

Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J. and Marrero, M. (2017) 'Ecological footprint of the use and maintenance phase of buildings: Maintenance tasks and final results', *Energy and Buildings*. Elsevier Ltd, 155, pp. 339–351. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.09.038.

Mercader Moyano, P., Esquivias, P.M. and Muntean, R. (2020) "Eco-Efficient Analysis of a Refurbishment Proposal for a Social Housing", *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Núm. 17. doi 10.3390/su12176725

Ministry of Infrastructure, Territory and Environment, G. V. (2012) 'BDC-IVE in Valencia'.  
Ministry of the Environment and Planning of the Territory, C. of M. (2007) 'BPCM Madrid'.

Official College of Quantity Surveyors, T. A. and B. E. of G. (2012) 'PRECIOCENTRO





of Guadalajara’.

Omiclass (2012) ‘A strategy for classifying the built environment - Table 13: Spaces by function’.

Ramírez-de-Arellano-Agudo, A. (2010) ‘Presupuestación de obras / Budgeting of works’, *Edited by the Secretariat of the University of Seville (1998). Seville.*

RD\_314 (2006) *Código técnico de la edificación (CTE): Real Decreto 314/2006, de 17 de Marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.* Ministerio de Vivienda.

REE (2014) *El sistema eléctrico español / The Spanish electric system.*

Ruiz-Pérez, M. R., Alba-Rodríguez, M. D. and Marrero, M. (2019) ‘The water footprint of city naturalisation. Evaluation of the water balance of city gardens.’, in *The 22nd biennial conference of The International Society for Ecological Modelling (ISEM)*. SALZBURG, AUSTRIA.

Ruiz-Pérez, M. R., Alba Rodríguez, M. D. and Marrero, M. (2017) ‘Systems of Water Supply and Sanitation for Domestic Use. Water Footprint and Carbon Footprint Evaluation: First Results’, in Research, I. I. C. on C. and B. (ed.). Santa Cruz de Tenerife, España.

SEOPAN (2008) *Machinery costs manual (in Spanish: Manual de costes de maquinaria).* Available: [http://www.concretonline.com/pdf/07construcciones/art\\_tec/SeopanManualCostes.pdf](http://www.concretonline.com/pdf/07construcciones/art_tec/SeopanManualCostes.pdf) (accessed 01.07.16).

Solís-Guzmán, J. *et al.* (2009) ‘A Spanish model for quantification and management of construction waste.’, *Waste management (New York, N.Y.)*, 29(9), pp. 2542–8. doi: 10.1016/j.wasman.2009.05.009.

Solís-Guzmán, J. *et al.* (2018a) ‘Carbon Footprint Estimation Tool for Residential Buildings for Non-Specialized Users: OERCO2 Project’, *Sustainability*, 10(5), p. 1359. doi: 10.3390/su10051359.

Solís-Guzmán, J. *et al.* (2018b) ‘Carbon Footprint Estimation Tool for Residential Buildings for Non-Specialized Users: OERCO2 Project’, *Sustainability*, 10(5), p. 1359. doi: 10.3390/su10051359.

Solís-Guzmán, J., Martínez-Rocamora, A. and Marrero, M. (2014) ‘Methodology for Determining the Carbon Footprint of the Construction of Residential Buildings’, in Springer Singapore, pp. 49–83. doi: 10.1007/978-981-4560-41-2\_3.

Spanish\_CDW\_Recycling\_Association (2017) *Report on Production and Management of Construction and Demolition Waste (CDW) in Spain.* Available at: <https://rcdasociacion.es/images/documents/Informe-RCDA-11-15.pdf> (Accessed: 5 May 2020).

Telford, T. (1991) ‘Civil engineering standard method of measurement’, *3rd Ed., LTD., U. K.*, 4–39.

UNE-EN\_15978 (2012) ‘Standard UNE-EN 15978. Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method.’



UNEP (2018) 'Global Status Report: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector'. Available at: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/27140> (Accessed: 5 May 2020).  
UniFormat™. The Construction Specifications Institute (1998) 'A Uniform Classification of Construction Systems and Assemblies. Alexandria, VA'.