



O modelo 7D BIM utilizado na manutenção de edifícios

Inês Margarida Seixas Domingos

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil

Orientador: Professora Alcínia Zita De Almeida Sampaio

Orientador: Professor Augusto Martins Gomes

Júri

Presidente: Professora Maria Cristina De Oliveira Matos Silva

Orientador: Professora Alcínia Zita De Almeida Sampaio

Vogal: Professora Maria da Glória De Almeida Gomes

Novembro de 2020

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

Inicialmente gostaria de agradecer aos meus orientadores, professora Alcínia Zita Sampaio e professor Augusto Gomes, que neste processo prontamente me apoiaram e me deram o suporte técnico e à vontade para realizar esta dissertação.

Aos meus familiares, pais e irmã, agradeço pelo apoio incondicional em todas as minhas etapas e pelos incentivos constantes em cada objetivo a que me proponho.

Em especial, à minha avó, que desde sempre contribuiu para o desenvolvimento das minhas capacidades, sendo um pilar muito importante na minha formação.

Quero destacar o apoio constante do João Jorge, a quem agradeço pela partilha de conhecimento, como pela paciência, motivação e carinho que sempre me transmitiu.

Por fim agradeço aos meus amigos, em especial a todos os que partilharam comigo o mesmo percurso académico e que de certa forma agilizaram todo este desafio.

Resumo

O recurso à metodologia *Building Information Modelling* (BIM) tem-se tornado cada vez mais evidente nas várias fases de um empreendimento. O modelo virtual criado, admite uma elevada capacidade no registo de toda a informação produzida ao longo do ciclo de vida do edifício, demonstrando um potencial relevante na utilização da sua base de dados no apoio à atividade de manutenção. É, no entanto, na fase de projeto que a viabilidade das opções tomadas tem um maior impacto na redução dos custos relativos à atividade de manutenção. A escolha de opções de projeto com um conhecimento sustentado na durabilidade dos materiais e dos custos envolvidos ao longo do seu ciclo de vida, constituem aspetos a ponderar pelos donos de obra, na ótica do utilizador final.

Neste contexto, o objetivo desta dissertação consiste na avaliação de um método de previsão de vida útil, aplicado a determinados componentes da construção, essencial como base para a elaboração de um cronograma específico para a manutenção sustentável de cada elemento construtivo.

No estudo, foi utilizada a tecnologia de base BIM disponível, o *Revit* como o sistema de modelação e o *plug-in* de programação visual, o *Dynamo*, para a criação de dois *scripts* de apoio à estimativa da vida útil. Os *scripts* desenvolvidos, permitem que o utilizador estime a vida útil dos componentes selecionados, aplicados a casos de estudo, e que adicionalmente, preveja o seu estado de degradação para um determinado ano. O caso de estudo selecionado para a aplicação dos *scripts* corresponde a um edifício habitacional, inserido na zona de Lisboa. Assim, ainda em fase de projeto é possível: elaborar um planeamento das ações de manutenção, apoiada no conhecimento das condições a que os elementos irão estar sujeitos durante toda a vida útil do edifício; comparar a viabilidade de soluções construtivas a aplicar, sustentada na informação reunida no modelo BIM e compilada num ficheiro *Excel*, facilmente acedido para consulta.

O trabalho contribui positivamente para a implementação do BIM na atividade de manutenção, com relevância na demonstração da elevada potencialidade da ferramenta *Dynamo* na gestão da informação do modelo BIM, uma perspetiva ainda pouco explorada no âmbito da manutenção.

Palavras Chave: Previsão da Vida útil, Manutenção, BIM, Dynamo

Abstract

The use of the Building Information Modelling (BIM) methodology has become increasingly evident in the various phases of a project. The virtual model created, admits a high capacity in the registration of all the information produced throughout the life cycle of the building, demonstrating a relevant potential in the use of its database to support the maintenance activity. It is, however, in the design phase that the feasibility of the options taken has a major impact in reducing the costs related to the maintenance activity. The choice of design options with a sustained knowledge of the durability of materials and the costs involved throughout their life cycle, are aspects to be considered by the owners, in the perspective of the end user.

In this context, the aim of this paper consists in the evaluation of a method for service life prediction, applied to certain construction components, essential as a basis for the elaboration of a specific schedule for the sustainable maintenance of each construction element.

In this study, the available BIM-based technology, Revit as the modelling system and the visual programming plug-in, Dynamo, were used to create two scripts to support service life estimation. The developed scripts allow the user to estimate the service life of the selected components, applied to case studies, and additionally predict their degradation state for a given year. The case study selected for the execution of the scripts corresponds to a residential building, placed in Lisbon. Thus, still in the design phase it is possible to: prepare a planning of maintenance actions, supported by knowledge of the conditions to which the elements will be subject throughout the life of the building; compare the feasibility of constructive solutions to apply, supported by the information gathered in the BIM model and compiled in an Excel file, easily accessed for consultation.

This work contributes positively to the implementation of BIM in the maintenance activity, with relevance in demonstrating the high potential of the Dynamo tool in the information management of the BIM model, a perspective still slightly explored in the scope of maintenance.

Key Words: Service life prediction, Maintenance, BIM, Dynamo.

Índice

Índice de Figuras	XII
Índice de Tabelas	XV
Lista de Abreviaturas	XVI
1. Introdução	1
1.1. Objetivos e metodologia	2
1.2. Organização da dissertação	2
2. A metodologia BIM	5
2.1. Enquadramento geral	5
2.2. Níveis de implementação BIM	7
2.3. Objetos paramétricos	10
2.4. <i>Level of Development</i>	10
2.5. Interoperabilidade	12
2.6. Dimensões BIM	13
3. BIM-FM	17
3.1. <i>Facility Management</i>	17
3.2. Metodologia BIM aplicada ao FM	20
3.2.1. Ficheiro <i>COBie</i>	22
3.2.2. Desafios e dificuldades	23
3.2.3. Soluções BIM-FM	24
4. Manutenção de edifícios	27
4.1. Tipos de manutenção	28
4.2. Terminologia	29
4.3. Previsão da vida útil	30
4.3.1. Métodos determinísticos	30
4.3.2. Métodos probabilísticos	38
4.3.3. Métodos de engenharia	38

5. Programação visual em Dynamo.....	41
5.1. Plataforma Dynamo	41
5.2. Programação do <i>script</i> “Estimar vida útil”	44
5.2.1. Programação das interfaces.....	46
5.2.2. Geração da base de dados	50
5.2.3. Ligação <i>Dynamo/DB Browser</i>	52
5.2.4. Cálculo e atribuição do valor VUE	54
5.2.5. Exportação para o <i>Excel</i>	55
5.3. Programação do <i>script</i> “Análise VUE”	56
6. Caso de estudo.....	59
6.1. Modelação do edifício	59
6.1.1. Modelação dos elementos a analisar	60
6.1.2. Adição de parâmetros.....	61
6.2. Aplicação do <i>script</i> “Estimar Vida útil”	63
6.3. Aplicação do <i>script</i> “Análise VUE”	71
6.3.1. Utilização do <i>script</i> ao caso de estudo	73
6.4. Considerações finais	74
7. Conclusões e desenvolvimentos futuros	77
Bibliografia.....	79
8. Anexos	87

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Potencial melhoria de produtividade global no setor da construção.	6
Figura 2.2 – Níveis de maturidade BIM.....	8
Figura 3.1 – Soluções incluídas num sistema IWMS.....	19
Figura 3.2 – Evolução de modelos BIM.	21
Figura 3.3 – Interligação das diferentes folhas de trabalho COBie.	22
Figura 3.4 – Exemplo da folha de trabalho COBie.....	23
Figura 4.1 – Representação simplificada do ciclo de vida de um empreendimento.....	27
Figura 4.2 – Metodologia para previsão da vida útil de referência dos componentes de construção.	31
Figura 5.1 – Seleção da opção <i>Dynamo</i> , no <i>Revit</i>	42
Figura 5.2 – Estrutura generalizada dos nós.	42
Figura 5.3 – Ambiente de trabalho do <i>Dynamo</i>	43
Figura 5.4 – Instalação do <i>package Slingshot</i>	43
Figura 5.5 – Nó <i>Python Script</i>	44
Figura 5.6 – Rede de programação do <i>script</i> “Estimar vida útil”.....	45
Figura 5.7 - Organigrama das interfaces programadas no <i>script</i> “Estimar vida útil”.	46
Figura 5.8 – Interface correspondente ao retângulo 3.1 da Figura 5.7.....	47
Figura 5.9 – Programação da interface da Figura 5.8.	48
Figura 5.10 – Fluxo da utilização do nó <i>UI.MultipleInputForm++</i> e respetiva interface.	49
Figura 5.11 – Ilustração da aplicação dos nós auxiliares para a interface 3 (Figura 5.7.)	49
Figura 5.12 – Procedimento para criar uma tabela no <i>DB Browser for SQLite</i>	50
Figura 5.13 – Adição de entradas à “Tabela_Local” no <i>DB Browser for SQLite</i>	51
Figura 5.14 – Tabela “Vento” criada no <i>DB Browser for SQLite</i>	51
Figura 5.15 – Excertos da “Tabela_E” criada e da Tabela 4.4 referente ao fator E.....	52
Figura 5.16 – A “Tabela_G” criada no <i>DB Browser</i> e, à direita, fator G da Tabela 4.4.	52
Figura 5.17 – Interface de seleção dos campos relativos ao fator E.	53
Figura 5.18 – Utilização do nó <i>Query.SQLite_Query</i> para fazer a ligação à “Tabela_E”.....	53
Figura 5.19 – Código utilizado para a <i>Query</i>	54
Figura 5.20 – Representação parcial do <i>script</i> “Estimar Vida útil”.....	54
Figura 5.21 – Código utilizado para aplicação do método fatorial.	55
Figura 5.22 – Atribuição de valor a um parâmetro no <i>Revit</i>	55
Figura 5.23 – Exportação de informação para o <i>Excel</i>	56
Figura 5.24 – <i>Script</i> “Análise VUE”	57
Figura 5.25 – Programação do <i>custom node</i> do grupo a azul da Figura 5.24.	57

Figura 5.26 – Sintaxe textual para calculo da % de vida útil e atribuição de cor consoante o intervalo.	58
Figura 5.27 – Validação para atribuição da cor verde.	58
Figura 6.1 – Fachada principal com placas em grés porcelânico cinzento 40x40cm ²	59
Figura 6.2 – Fachada posterior com placas de fibrocimento 180x100cm ²	59
Figura 6.3 – Planta de piso, com a identificação das fachadas, e cobertura.	60
Figura 6.4 – Interfaces de identificação de material e propriedades.	60
Figura 6.5 – Parede dupla em alvenaria de tijolo (11+15cm) com revestimento em grés porcelânico e parede em fachada ventilada com placas de fibrocimento.	61
Figura 6.6 – Cobertura com acabamento em membrana de betume polímero APP auto protegida.....	61
Figura 6.7 – Criação do parâmetro VUE.....	62
Figura 6.8 – Propriedades dos elementos e parâmetros associados aos <i>scripts</i>	63
Figura 6.9 – Seleção da opção <i>Dynamo Player</i> , no Revit.	63
Figura 6.10 – Configurar <i>user inputs</i> , no <i>Dynamo</i> , para a janela do <i>script</i> do <i>Dynamo Player</i> ..	64
Figura 6.11 – Janela de execução do <i>script</i> e interface de seleção do elemento a analisar.	64
Figura 6.12 – Interface de preenchimento relativo aos dados gerais.	64
Figura 6.13 – Preenchimento dos fatores e seleção dos elementos no <i>Revit</i>	65
Figura 6.14 – Preenchimento das características associadas ao fator E.	65
Figura 6.15 – Preenchimento das classes associadas ao Fator G.....	66
Figura 6.16 – Seleção do ficheiro Excel.....	67
Figura 6.17 – Propriedades da parede em fachada ventilada.	69
Figura 6.18 – Propriedades da Parede dupla em alvenaria de tijolo.	70
Figura 6.19 – Propriedades da cobertura plana.....	70
Figura 6.20 – Duplicação da vista 3D.	71
Figura 6.21 – Janela <i>Visibility/Graphics</i> de controlo de aspetos gráficos da vista “Análise de vida útil”.	72
Figura 6.22 – Criação do filtro (<i>ruled base filter</i>).....	72
Figura 6.23 – Adição do filtro por VUE e resultado da sua aplicação sobre o modelo.....	73
Figura 6.24 – Atribuição de cores pelo <i>script</i> “Análise VUE”	73
Figura 6.25 – Propriedades dos elementos em análise.....	74
Figura 8.1 – Script “Estimar vida útil”.	87
Figura 8.2 – Programação do nó “SeleçãoElementoConstrutivo”.	87
Figura 8.3 – Programação do nó “Dados Gerais” com ilustração dos <i>Python Scripts</i>	88
Figura 8.4 – Programação do nó “Validação do elemento selecionado” com ilustração dos <i>Python Scripts</i>	89
Figura 8.5 – Programação do nó “FatoresParaVUEdaMembrana”.	90
Figura 8.6 – Programação do nó “FatorEeGMembranas” da Figura 8.5.	90

Figura 8.7 – Programação do nó “InputsFatorEeG” da Figura 8.5.	90
Figura 8.8 – Programação do nó “InputFatorEeG” da Figura 8.10.	91
Figura 8.9 – Programação do nó “FatoresVUEdoRevestCeramico”.....	91
Figura 8.10 – Programação do nó “FatorEeGRevestCeramico” da Figura 8.9.	91
Figura 8.11 – Programação do nó “FatoresVUEfachadasVentiladas” e ilustração dos <i>Python Scripts</i>	92
Figura 8.12 – Programação do nó “FatorGfachVentilada” da Figura 8.11.	92
Figura 8.13 – Programação do nó “FatorEfachVentilada” da Figura 8.11.	93
Figura 8.14 – Programação do nó “Cálculo valor VUE 3”.....	94
Figura 8.15 – Programação dos nós “Cálculo valor VUE” e “Cálculo valor VUE 2”.	94
Figura 8.16 – Programação do nó “ExportExcelCaso_1” com ilustração dos <i>Python Scripts</i> utilizados.....	95
Figura 8.17 – Interface de seleção do elemento a analisar.	96
Figura 8.18 – Interface de preenchimento dos dados gerais.....	96
Figura 8.19 – Preenchimento dos fatores e seleção do respetivo elemento no <i>Revit</i>	96
Figura 8.20 – Preenchimento dos restantes fatores.	97
Figura 8.21 – Seleção do ficheiro <i>Excel</i>	97
Figura 8.22 – Interface de preenchimento dos dados gerais.....	99
Figura 8.23 – Interface de seleção do elemento a analisar.	99
Figura 8.24 – Preenchimento dos fatores e seleção do respetivo elemento no <i>Revit</i>	100
Figura 8.25 – Preenchimento dos restantes fatores.	100
Figura 8.26 – Seleção do ficheiro <i>Excel</i>	101

Índice de Tabelas

Tabela 4.1 – Valores de desvio em relação à condição de referência	32
Tabela 4.2 – Matriz de Durabilidade aplicada a membranas de impermeabilização	34
Tabela 4.3 – Matriz de Durabilidade aplicada a Revestimentos Cerâmicos aderentes.	35
Tabela 4.4 – Matriz de Durabilidade aplicada a Revestimentos de Fachadas Ventiladas	37
Tabela 5.1 – Tipo de <i>input</i> com a respetiva codificação.	47
Tabela 6.1 – Dados exportados do <i>Revit</i> para o <i>Excel</i>	67
Tabela 6.2 – Descrição e índices atribuídos a cada fator.	67
Tabela 6.3 – Identificação de ações de manutenção genéricas para placas de fibrocimento em fachadas ventiladas.	68
Tabela 6.4 – Custos de manutenção preventiva.	69
Tabela 8.1 – Dados exportados do <i>Revit</i> para o <i>Excel</i> selecionado.	97
Tabela 8.2 – Descrição e índices atribuídos a cada fator exportados para <i>Excel</i>	98
Tabela 8.3 – Identificação de ações de manutenção genéricas para membranas de impermeabilização.	98
Tabela 8.4 – Custos de manutenção preventiva.	99
Tabela 8.5 – Dados exportados do <i>Revit</i> para o <i>Excel</i>	101
Tabela 8.6 – Descrição e índices atribuídos a cada fator exportados para o <i>Excel</i>	101
Tabela 8.7 – Identificação de ações de manutenção genéricas para revestimentos cerâmicos aderentes.	102
Tabela 8.8 – Custos de manutenção preventiva.	102

Lista de Abreviaturas

- AECO – Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
- AIA – *American Institute of Architects*
- APFM – Associação Portuguesa de *Facility Management*
- API – *Application Programming Interface*
- BIFM – *British Institute of Facility Management*
- BIM – *Building Information Modelling/ Model*
- BSI – *British Standard Institute*
- CAD – *Computer Aided Design*
- CAFM – *Computer Aided Facilities Management*
- CDE – *Common Data Environment*
- CMMS – *Computerized Maintenance Management Systems*
- COBie – *Construction Operations Building information exchange*
- EuroFM – European Facility Management Network
- FM – *Facility Management/Manager*
- FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis*
- IFC – *Industry Foundation Classes*
- IFMA – *International Facility Management Association*
- IPQ – Instituto Português de Qualidade
- IRS – Índice de radiação solar
- ISO – *International Organization for Standardization*
- IWMS – *Integrated Workplace Management System*
- GIS – *Geographic Information System*
- LOD – *Level of Development*
- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
- NBS – *National Building Specification*
- ONS/IST – Organismo de Normalização Setorial do Instituto Superior Técnico
- PLM – *Performance Limits Method*
- PM – *Project Management*
- RFID – *Radio-frequency identification*
- SQL – *Structured Query Language*
- VUE – Vida útil estimada
- VUR – Vida útil de referência

1. Introdução

Numa Europa pouco homogénea, enfrentando um conjunto de desafios de ordem política, económica, ambiental e social, o setor da construção, com a importância que lhe é reconhecida, está a procurar assumir o seu tradicional papel de motor do crescimento económico, num quadro mais tecnológico, inovador e competitivo [W1]. O método de trabalho tradicional, que ainda prevalece em Portugal, recorre à tecnologia baseada no desenho assistido por computador (CAD). Nas últimas décadas, a indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) tem evoluído no sentido de incorporar progressivamente a implementação da metodologia *Building Information Modelling* (BIM), possibilitado através dos constantes avanços tecnológicos e de vários incentivos, governamentais e da necessidade de competição empresarial, para a sua utilização. Esta metodologia revela uma nova e diferente forma de trabalhar e pensar no setor da construção, face aos métodos tradicionais, onde a transparência, comunicação e a colaboração entre os envolvidos são fatores determinantes. A metodologia admite como conceito fundamental, a geração de uma representação digital contendo, naturalmente, as características geométricas do edifício, mas também as propriedades físicas e funcionais dos seus componentes. O modelo BIM reúne a totalidade da informação produzida nas várias fases do ciclo de vida, formando uma base de dados acessível e confiável de suporte à tomada de decisões, durante a conceção do projeto, no processo de construção e, posteriormente, na gestão do imóvel. O conceito BIM destaca-se, assim, dos sistemas CAD de conteúdo meramente geométrico onde não é valorizada a informação produzida ao longo das várias fases.

O BIM tem potencial para oferecer uma rigorosa e completa representação do empreendimento, obtendo uma mais evidente adesão nas fases de projeto e construção (Pishdad-Bozorgia *et al.*, 2018). Contudo, a implementação do BIM requer um esforço inicial de formação de recursos humanos, de forma a adquirem as habilitações requeridas no uso das ferramentas disponíveis, que envolvem alguma complexidade, e um investimento financeiro na aquisição de novas tecnologias e equipamento. O processo inicial de mudança tende também a corresponder a um declínio de produtividade necessitando de um período de adaptação.

Na fase de ocupação do imóvel, o recurso ao BIM como suporte para a atividade de *Facility Management* (7D) não é tão recorrente apesar dos benefícios que têm vindo a ser salientados. Nesta atividade (FM), e que abrange várias disciplinas na garantia da funcionalidade do ambiente construído integrando pessoas, lugares, processos e tecnologia, a integração do BIM é ainda pouco frequente. As pesquisas nesta área, embora crescentes, ainda se encontram numa fase inicial. As vantagens que o BIM pode trazer para esta disciplina são várias na medida que permite guardar grandes quantidades de informação, associadas ao modelo virtual, necessárias nesta fase. Atualmente, a tecnologia BIM suporta, ainda, a ligação entre sistemas de modelação e de FM existentes, aportando uma contribuição positiva que merece destaque no contexto da investigação. Ainda assim vários estudos focam a necessidade de definir a informação

necessária para esta fase no âmbito de cada organização, determinar as ferramentas disponíveis e definir fluxos de trabalho segundo as melhores práticas. O presente estudo potencia a aplicabilidade do BIM na disciplina de manutenção, identificada como uma das áreas de atuação do FM.

1.1. Objetivos e metodologia

Cada vez mais o desempenho dos edifícios é um aspeto procurado pelos intervenientes no processo construtivo, preocupados tanto a curto como a longo prazo, quer em termos de custos como de durabilidade. Os técnicos, tem vindo a admitir, de um modo implícito, a necessidade de que o processo de manutenção deva ser considerado e analisado em fases iniciais da elaboração do projeto e não, somente na fase de utilização. Nesta perspetiva, o presente trabalho propõe a inclusão do método fatorial para a obtenção da estimativa da vida útil de elementos na construção, com o recurso à ferramenta de programação visual *Dynamo*, associada ao sistema de base BIM, o *Revit (Autodesk)*. O *Dynamo* é utilizado na conceção de scripts, dirigidos à gestão e manipulação da informação do modelo BIM, no âmbito da manutenção. A ligação deste tipo de algoritmos à base de dados do modelo BIM permite, numa fase inicial do projeto, o desenvolvimento de soluções alternativas, contabilizando a influência do ciclo de vida dos elementos do edifício, e fundamentar a seleção da opção mais adequada, em termos de manutenção. A metodologia de trabalho adotada para esta dissertação é a seguinte:

- Compreender o conceito BIM e o âmbito da sua aplicabilidade e implementação a um nível Europeu;
- Identificar os benefícios da metodologia aplicada no âmbito da manutenção;
- Análise teórica dos métodos para estimar a vida útil de componentes da construção;
- Criação de dois *scripts* de apoio à estimativa da vida útil em *Dynamo*, com base nos trabalhos estudados no ponto anterior;
- Criação de um modelo BIM de arquitetura, desenvolvido com recurso ao *software Revit (Autodesk)* para ilustrar a execução dos *scripts* programados;
- Análise da eficiência da utilização da ferramenta *Dynamo* no âmbito dos objetivos propostos;
- Desenvolvimento de um plano de manutenção em *Excel* a partir dos dados exportados do modelo, ficando o ficheiro acessível a partir do modelo BIM;
- Análise da adequabilidade das opções construtivas adotadas no caso de estudo tendo por base a informação criada.

1.2. Organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se estruturada em sete capítulos:

- Capítulo 2: enquadra a metodologia BIM no contexto atual, sendo apresentado o panorama nacional e europeu da sua adoção e discutidos os conceitos inerentes à sua utilização;

- Capítulo 3: apresenta a descrição da metodologia BIM-FM, onde são mencionados alguns conceitos relacionados, os programas disponíveis que promovem a gestão de edifícios e são, ainda, discutidas as principais dificuldades inerentes a este processo;
- Capítulo 4: analisa a atividade de manutenção, onde são introduzidos as terminologias e os métodos que permitem estimar a vida útil dos componentes da construção. São apresentados os três casos de estudo que servem de base à aplicação do método fatorial, cujos valores são utilizados posteriormente, na programação de *scripts*;
- Capítulo 5: introduz a ferramenta de programação visual *Dynamo* e apresenta os principais conceitos e técnicas de programação utilizadas para o desenvolvimento de dois *scripts*;
- Capítulo 6: apresenta o caso de estudo considerado, sobre o qual é criado o modelo de arquitetura, com o recurso ao *software Revit*, são criados os parâmetros de projeto necessários para executar os *scripts* desenvolvidos no capítulo anterior, posteriormente, aplicados ao caso de estudo. Com base nos resultados obtidos é estabelecido um plano de manutenção e são discutidos os resultados obtidos;
- Capítulo 7: conclui o estudo realizado e aborda possíveis desenvolvimentos futuros.

2. A metodologia BIM

2.1. Enquadramento geral

A constante preocupação em torno de um ambiente mais sustentável acresce as exigências ao setor da construção. Os edifícios e todo o ambiente construído, onde se inserem as infraestruturas necessárias para transporte, comunicação, abastecimento de água e esgotos, energia, e atividades comerciais e industriais necessárias para atender ao constante crescimento populacional mundial de forma sustentável e eficiente são atualmente um grande desafio (Teixeira, 2019).

O setor da construção apresenta uma grande influência na economia mundial. À escala europeia representa cerca de 10% do Produto Interno Bruto (PIB), enquanto que a nível nacional representa cerca de 6% do PIB, constituindo uma relevante fonte de empregabilidade (Costa, 2020). Contudo, o relatório apresentado por (Mckinsey, 2017), revelou que nas últimas duas décadas, a produtividade média global do setor acresce 1% ao ano, o que em comparação com setores de outras indústrias (como mecânica e agricultura, mais assentes na automatização, embora não totalmente comparáveis) revela um baixo desempenho. Este facto é, em parte, uma consequência do baixo nível de inovação introduzido neste setor, o que segundo (Costa, 2020) “dificulta o desenvolvimento de uma estrutura integrada e resiliente, capaz de resistir aos constantes desafios e complexidades da indústria e da sociedade”.

O setor é caracterizado pela sua regulamentação excessiva, com grande dependência da conjuntura económica (como taxas de juros, créditos bancários entre outros) e do investimento público [W2]. Tem-se também verificado uma tendência crescente na procura por diferenciação e especialização no setor da construção, o que leva a um aumento dos profissionais da indústria AECO envolvidos nos projetos, bem como, do número de organizações envolvidas em todas as fases do ciclo de vida do empreendimento, o que gera um aumento da informação a coordenar e se reflete na fragmentação do mercado de construção (Nawi *et al.*, 2014). Adicionalmente a comunicação assente no papel e no desenho (representação bidimensional, 2D) coloca um entrave ao tempo necessário para reunir toda a informação sobre o edifício.

Todos estes fatores evidenciam a necessidade de uma transição do processo tradicional para uma abordagem adaptada à atual realidade. Contudo, ao nível da produtividade e da eficiência na indústria, tem vindo a ser reconhecida a implementação do BIM como a solução necessária por forma a alcançar a Digitalização da Construção. O relatório elaborado pela (Mckinsey, 2017) identifica, ainda, as sete áreas de atuação principais por forma a incrementar a produtividade económica do setor, sendo notórias as referências ao modo de implementação do BIM, contribuindo para intervir, de um modo direto ou indireto. O gráfico da Figura 2.1 identifica as áreas selecionadas e os custos associados.

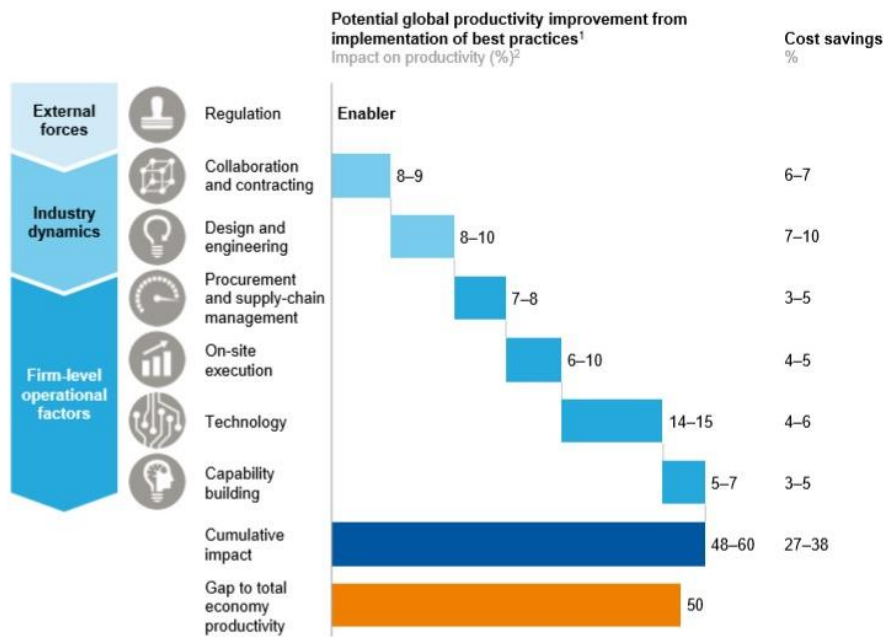


Figura 2.1 – Potencial melhoria de produtividade global no setor da construção (Mckinsey, 2017).

Embora existam distintos entendimentos do conceito BIM que, também dependem da posição de cada profissional da indústria, é consensual que o BIM é um processo que combina **informação** e **tecnologia** de forma a criar uma representação digital do projeto. No qual são integrados dados provenientes de diversas fontes e que evoluem em paralelo com o projeto real, ao longo de todas as fases, incluindo o projeto, construção e utilização, estando em constante atualização (Kjartansdóttir *et al.*, 2017).

As empresas de *software* de maior divulgação como, *Autodesk*, *Bentley Systems*, *Graphisoft* ou *Tekla*, são conhecidas pela indústria, associadas ao desenvolvimento de sistemas computacionais de traçado, *Computer Aided Design* (CAD). Estas empresas têm vindo a apostar no BIM, de um modo concorrencial, oferecendo ferramentas especializadas para conceber projetos de arquitetura, estruturas e instalações prediais, e permitem a total integração desses projetos através de uma plataforma colaborativa comum [W3]. O desenvolvimento dos projetos é suportado por modelos tridimensionais (3D) paramétricos criados de forma a representarem virtualmente e com um elevado grau de rigor, os aspetos físicos e funcionais do empreendimento, previamente à sua construção e utilização.

O potencial do modelo BIM, formado com base em objetos paramétricos, é muito superior à simples visualização espacial e reside na base de dados interna onde a informação do projeto se encontra organizada, acessível para consulta e que possibilita a realização de simulações e verificações complexas através dos parâmetros que caracterizam cada objeto no modelo (Eastman *et al.*, 2011). O modelo de informação possibilita a exploração da base de dados, utilizado de um modo colaborativo entre parceiros no projeto, potenciando a otimização da qualidade do projeto. Numa fase inicial torna-se mais fácil e menos dispendioso fazer alterações sobre a forma digital, centralizado no modelo único, onde não há repetição ou incorreta

interpretação de dados. Assim é possível a deteção atempada de erros e omissões, que levam a trabalhos adicionais, em vez de o fazer quando a construção está a decorrer, onde as alterações são exponencialmente mais onerosas e propícias a derrapagens orçamentais e com repercussões diretas nos prazos de execução das atividades em obra e mesmo na qualidade do produto final (Kjartansdóttir *et al.*, 2017).

Naturalmente, a implementação do BIM requer uma **nova metodologia de trabalho**, tendo em vista potenciar a **colaboração** entre os diferentes intervenientes num projeto, de forma a adotar modos de trabalho mais eficientes. Para garantir um ambiente adequado para um método de trabalho colaborativo, é essencial considerar a cultura e os processos internos das organizações, as ferramentas digitais utilizadas e definir novas formas contratuais adequadas. Simultaneamente é também necessário garantir a habilidade de comunicação, trocar, atualizar e utilizar os dados entre diferentes equipas de projeto, sendo essencial garantir a interoperabilidade entre sistemas, ou pelo menos reconhecer o nível de interoperabilidade existente entre os sistemas BIM utilizados (Kjartansdóttir *et al.*, 2017).

Estas medidas encorajam a transparência no setor de construção e têm em vista melhorar a comunicação e o entendimento entre os intervenientes, contribuindo para um aumento de produtividade, qualidade e segurança de custos.

Uma correta implementação, no sector ou empresa, facilita a integração dos processos que envolvem o projeto e a construção, resultando numa maior qualidade geral dos edifícios (Eastman *et al.*, 2011). Ainda assim, alguns problemas na sua implementação recaem na falta de compreensão dos processos envolvidos, quer a nível da redação de contratos adequados como das melhores práticas. Carecendo de um investimento inicial significativo em tecnologia e formação que, por si só, não garante uma completa adaptação uma vez que, nem todas as entidades envolvidas num projeto podem ter adotado esta metodologia, tornando o processo menos eficiente. A transição tem vindo a ser progressiva, ao nível governamental e empresarial, mas a curto prazo a totalidade da indústria deverá gradualmente adaptar-se, até estar totalmente capacitada para recolher todos os benefícios do BIM e garantir competitividade ao nível internacional.

2.2. Níveis de implementação BIM

Desde a sua origem, em 1975, quando é apresentada por (Eastman, 1975) até à designação atual, *Building Information Modelling* (BIM), a metodologia tem vindo a ser progressivamente implementada a nível internacional em todos os sectores da indústria da Construção. A sua implementação não acontece de forma simultânea e homogénea em todo o mundo. Os potenciadores do uso generalizado do BIM incluem os setores público e privado, que reconhecem os benefícios inerentes à transição para a digitalização, bem como as organizações independentes da indústria que, sendo constituídas por intervenientes de ambos os setores, público e privado, têm um papel importante na consciencialização e normalização de suporte à adoção progressiva do BIM. Os países nórdicos foram pioneiros ao implementar o BIM de forma

obrigatória desde 2007, através de entidades públicas de gestão do património. Em particular, no Reino Unido, tornaram-se evidentes as iniciativas do governo para apoiar a transição para um ambiente BIM, que impulsionou a sua utilização em 2011 através da especificação de requisitos para atingir o nível 2 BIM na Estratégia de Construção do Governo, um programa liderado pelo governo e projetado para aproveitar o potencial das novas tecnologias para planear, construir e manter as infraestruturas de forma mais eficiente. E tendo em vista a sua aplicação obrigatória para o setor público até 2016. Para apoiar este objetivo foram definidos os Níveis de Maturidade BIM, pelo organismo *UK BIM Task Group*, apresentados na Figura 2.2 (MagiCAD, 2019) desencadeando uma notória incursão, pelo resto da Europa, pela digitalização da indústria:

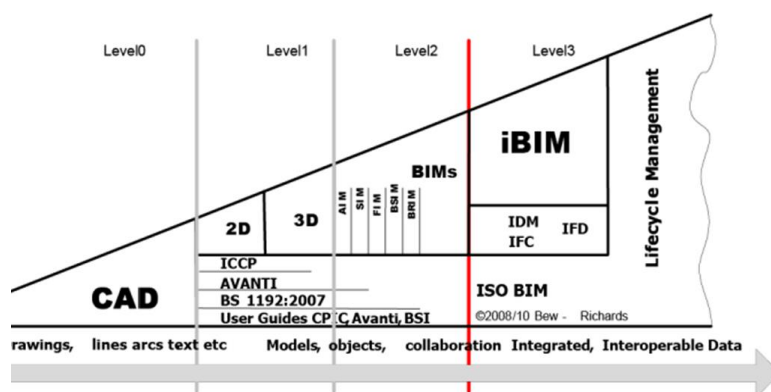


Figura 2.2 – Níveis de maturidade BIM (adaptado (PAS1192-2, 2013))

- **Nível 0:** compreende o uso de técnicas de desenho em CAD 2D, onde os projetos e a troca de informação se realizam em papel ou de forma digital, mas sem padrões ou processos comuns. Este nível reflete uma baixa colaboração entre as equipas de trabalho e, neste momento, grande parte da indústria já se encontra num nível mais avançado [W4].
- **Nível 1:** enquadra o uso de CAD 3D para trabalhos conceptuais, enquanto a elaboração de desenhos 2D é usada para elaboração de documentação final para a aprovação legal. Neste nível, a troca de informação entre os intervenientes do projeto é feita em modo digital, através de um *Common Data Environment* (CDE) (Kjartansdóttir *et al.*, 2017). Isto é um espaço digital online partilhado, a que todos os intervenientes têm acesso, permitindo recolher e gerir a informação. No entanto, neste nível apenas se pratica uma colaboração parcial entre as diferentes especialidades (Arquitetura, Estruturas, MEP) [W5].
- **Nível 2:** recorre à modelação BIM 3D de cada disciplina enriquecida com a informação que a valoriza, não sendo obrigatória a sua integração num único modelo. A colaboração completa, aspeto crucial deste nível, manifesta-se através de troca de informação entre todos os participantes. A informação do projeto é partilhada, num formato de ficheiro comum (como o IFC ou COBie que serão introduzidos posteriormente nesta dissertação), dentro de um ambiente de trabalho comum (CDE). O que permite às organizações combinar os dados adquiridos no modelo que estão a desenvolver e usar

a informação já criada por outros, sem perder a sua integridade (Kjartansdóttir *et al.*, 2017). Adicionalmente, pode ser incluída a informação relativa à sequência da construção (4D) e custo (5D), abordadas em detalhe em 2.6. O *British Standard Institute* (BSI) elaborou um conjunto de normas para apoiar a indústria na adoção do BIM Nível 2, descrevendo os processos e práticas de gestão de informações necessárias para aplicar este nível de maturidade [W6].

- **Nível 3:** pressupõe uma integração completa (iBIM) entre todas as partes envolvidas no planeamento, construção ou gestão do ativo durante todo o seu ciclo de vida. Admite a existência de um modelo único com todos os dados arquivados num repositório central, cujos dados podem ser acedidos e modificados por todas as partes, salvaguardando, naturalmente, as responsabilidades contratualizadas. A intenção é não originar imprecisão de dados ou a sua duplicação, minimizando erros e esforços [W7].

Tanto a Áustria como a Noruega foram os primeiros países a estabelecer padrões abertos BIM e uma exigência obrigatória da introdução do nível 3 BIM em projetos públicos. Os governos dos países nórdicos, Reino Unido, França e Rússia estabeleceram também uma obrigatoriedade de nível 2 BIM e estabeleceram cronogramas diferentes para atingirem o nível 3. A Itália já apresenta uma obrigação de adoção para projetos públicos que excedam 100 milhões de euros e a implementação completa é esperada em 2022 para todos os projetos públicos. A Alemanha, Espanha e República Checa têm programas ativos BIM com metas variadas, mas espera-se que todos eles estabeleçam um mandato de BIM dentro de alguns anos. Nomeadamente na Alemanha foi anunciado oficialmente que o uso do BIM será obrigatório para todos os projetos de transportes e infraestruturas alemãs até o final de 2020 [W8]. Em França, o plano de transição para a construção digital, promovido pelo governo francês, estabelece como meta o ano 2022 para a difusão completa das estratégias BIM na gestão de obras públicas, em grandes infraestruturas e no setor privado.

Embora os programas nacionais independentes permitam que os países adaptem, de acordo com as preferências locais, o seu desenvolvimento em BIM, também pode retardar a sua adoção. Atualmente, em Portugal, o BIM ainda não tem um carácter vinculativo bem como noutros países europeus (Suíça e Bélgica), no entanto não é um indicativo de falta de interesse pois cada país possui as suas iniciativas e organizações ativas para apoiar a sua utilização (MagiCAD, 2019).

O processo de normalização em Portugal encontra-se em desenvolvimento onde se destaca a iniciativa da criação da Comissão Técnica de Normalização BIM Nacional, a CT197. Sendo a entidade delegada pelo Instituto Português de Qualidade (IPQ), e coordenada pelo Organismo de Normalização Setorial do Instituto Superior Técnico (ONS/IST), como responsável pelo desenvolvimento da normalização no âmbito dos sistemas de classificação, modelação e processos ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos de construção. A CT 197 atua ao nível nacional e pretende acompanhar o trabalho relativo à normalização BIM da Comissão Técnica de Normalização Europeia, o CENT/TC 442, onde o IPQ se encontra representado, garantindo uma convergência entre os esforços nacionais e europeus.

Citando ONS/IST “A *normalização BIM em Portugal deve ser encarada como uma oportunidade de reorganização da indústria e otimização dos processos e fluxos de informação que lhe estão inerentes. A sua correta implementação permitirá, de forma inequívoca, potenciar sinergias entre os diversos agentes e abrir espaços de inovação importantes para o aumento da competitividade no mercado global*” [W9].

Existem ainda outras iniciativas dedicadas ao BIM desde grupos de trabalho formados por profissionais da indústria, como a Plataforma Tecnológica Portuguesa de Construção (PTPC), a nível académico o BIMClub que promove a sua implementação e divulgação sendo essencialmente dirigido a estudantes e docentes, bem como organização de eventos.

Ao longo deste capítulo são aprofundados alguns conceitos transversais a esta metodologia, essenciais para a sua compreensão.

2.3. Objetos paramétricos

O BIM veio alterar a convencional abordagem de desenho dos sistemas CAD. Distinguindo-se através da sua capacidade em modelar objetos concretos como paredes, portas, pavimentos entre outros, que se encontram relacionados entre si, ao invés de simples linhas, curvas ou outras formas geométricas como forma de representação dos elementos construtivos.

Os objetos passam a ser representados por parâmetros e regras que não só determinam a geometria do objeto, mas também permitem a sua adaptação aos restantes objetos do modelo permitindo que tenham um comportamento realista. Têm também associados algumas propriedades e características não geométricas que os caracterizam. Contendo assim, informação à cerca da sua identidade, aparência, desempenho (preço, fornecedores) e forma de utilização permitindo efetuar análises do modelo, deteção de conflitos, selecionar objetos específicos e definir todo o projeto fornecendo ainda uma base de dados completa e atualizada para suportar as operações de manutenção (Fernando G *et al.*, 2014).

A tecnologia de base BIM permite uma automática atualização dos objetos de acordo com as mudanças efetuadas pelo projetista, sendo refletidas em todas as vistas, cortes, plantas e alçados, permitindo uma modelação mais eficiente, menos propensa a erros de desenho e eliminando a introdução de dados redundantes (Eastman *et al.*, 2011).

2.4. Level of Development

Level of Development (LOD) é um conceito que serve de suporte ao desenvolvimento do modelo (Grytting *et al.*, 2017). A designação foi atribuída pela empresa de *software* Vico, referindo o nível de detalhe *Level of Detail* (LOD), com que um modelo é criado. Posteriormente, foi associada ao nível de desenvolvimento do projeto. Assim, o organismo *American Institute of Architects* (AIA) renomeou-o de *Level of Development* e com a função de “definir os requisitos mínimos ao nível dimensional, espacial, quantitativo, qualitativo, entre outros, que o elemento modelado deve incluir para que sejam autorizados os seus usos relativos a esse mesmo nível” [W10].

A definição introduzida pela AIA compreende 5 níveis (LOD 100 a LOD 500). Esta especificação está incorporada na Norma BIM Nacional dos EUA e atribui as seguintes definições a cada nível:

- **LOD 100:** modelo convencional, limitado a uma representação genérica do edifício, ou seja, mostram a existência de um componente, mas sem informações de forma ou representação geométrica
- **LOD 200:** geometria aproximada, consiste em elementos genéricos com informações geométricas e não geométricas aproximadas
- **LOD 300:** geometria precisa, todos os elementos são modelados com a sua quantidade, tamanho, localização e orientação
- **LOD 400:** o modelo incorpora informações adicionais como detalhe, fabricação e instalação
- **LOD 500:** conforme construído, os elementos do modelo são uma representação real em termos de tamanho, forma, localização, quantidade e orientação. O modelo e a informação associados são adequados para a operação e manutenção das instalações.

Adicionalmente, o grupo de trabalho *BIMForum* desenvolveu um nível intermédio, LOD 350, para permitir a coordenação detalhada entre as diferentes disciplinas, como deteção e prevenção de conflitos, e publicou o conceito de *Level of Development Specification*, seguindo, contudo, as bases definidas por AIA (Abualdenien *et al.*, 2019):

- **LOD 350:** documentação de construção, onde inclui a relação entre todos os sistemas de construção

Verifica-se que, quanto maior o valor numérico atribuído ao LOD, maiores são as exigências associadas. Estes apresentam um carácter cumulativo, que evoluem à medida que o projeto vai sendo desenvolvido, quando um elemento se encontra num determinado LOD, respeita os requisitos relativos a esse nível e aos níveis que o antecedem. É também importante salientar que, o LOD é atribuído a cada objeto, não sendo adequado afirmar que o modelo se encontra num determinado LOD.

Diferentes informações são exigidas pelos intervenientes do projeto e em diferentes etapas, os profissionais da indústria AEC devem conhecer as definições elementares dos níveis do LOD e recorrer a estas como uma medida de referência, para um documento contratual e como ferramenta de medição do progresso do modelo [W10]. Contribuindo para a transparência do conteúdo que deve ser incluído no documento e para que todos os intervenientes compreendam a fiabilidade e consistência da informação associada a cada elemento. Contudo, Jimmy Abualdenien e André Borrmann, citados por (Abualdenien *et al.*, 2019), salientam que as atuais definições atribuídas a cada LOD são informais e imprecisas, ilustradas apenas por texto e gráficos, o que facilmente pode levar a múltiplas interpretações e opiniões sobre as informações esperadas em cada nível.

Para além da especificação proposta pelo *BIMForum*, várias diretrizes foram propostas com a intenção de definir a existência de informação geométrica e não geométrica em cada LOD. No

UK foi introduzido o *Level of Definition*. Este consiste em sete níveis, que correspondem aproximadamente a cada fase de construção tradicional, e está dividido em duas componentes: *Level of Detail*, que representa o conteúdo gráfico do modelo, e em *Level of Information* que representa a informação semântica (Abualdenien *et al.*, 2019).

2.5. Interoperabilidade

A atividade da construção assenta num processo multidisciplinar que decorre ao longo do ciclo de vida de um empreendimento. Neste processo não existe um único *software* que admita a capacidade de lidar com todas as informações produzidas em cada fase (Ozturk, 2020). O BIM deve ser visto como um processo dinâmico, que permite a integração das várias disciplinas da construção com o recurso a vários fluxos de trabalho, associados a diferentes ferramentas disponíveis adstritas a cada organização. Como conceito fundamental do BIM, a informação produzida no modelo é gerada para ser partilhada com outras aplicações, quer para estudos iniciais de viabilidade do projeto, como para colaboração com engenheiros e outros consultores, seja nas fases de projeto e construção quer, posteriormente, na fase de operação e manutenção do empreendimento (Eastman *et al.*, 2011).

A interoperabilidade apoia o processo colaborativo em BIM e é crucial para permitir a eficiência na complexidade dos processos que envolvem a construção. É definida como uma característica de um produto ou sistema, cujas interfaces são completamente compreendidas, por forma a interagir com outros produtos ou sistemas, sem nenhuma restrição [W11]. Ou seja, os softwares estão aptos para ler e reutilizar a informação trocada entre sistemas e utilizá-la para outros fins, permitindo desenvolver atividades assentes no projeto e melhorar a gestão da qualidade da informação (Ozturk, 2020).

A interoperabilidade pode ser obtida de diferentes formas, uma delas dentro do grupo de *software* de um determinado fornecedor, em que cada *software* admite a capacidade de interpretar diretamente o formato dos ficheiros de um *software* BIM; outra forma pode ser através de um *software* que incorpora uma *Application Programming Interface* (API) que serve de intermediário entre ferramentas de outros fornecedores; ou, ainda, usar um *software* que suporte padrões de troca de dados aceites por toda a indústria (Alves *et al.*, 2018), como por exemplo o *Industry Foundation Classes* (IFC). O padrão IFC foi desenvolvido para suportar o processo *openBIM* que defende a transparência e uma cooperação aberta entre todos os participantes, independentemente do *software* utilizado.

O IFC foi desenvolvido pela atual *buildingSMART*, conhecida até 2005 como a referida *International Alliance for Interoperability* (AIA). A *buildingSMART* é uma organização internacional, englobando diversas empresas de vários países, e tem como objetivo criar um conjunto de definições de classes de objetos como produtos neutros. O IFC é um formato de dados aberto que permite arquivar tanto a geometria como as propriedades inerentes aos objetos modelados e, adicionalmente, identificar o tipo de relação entre objetos no modelo. Constitui atualmente a norma internacional ISO 16739-1:2018. O padrão IFC permite ainda assegurar a

disponibilidade do modelo no futuro, uma vez que, a evolução das versões dos *software* BIM pode impossibilitar o acesso a versões anteriores (Costa *et al.*, 2017). O padrão IFC encontra-se em constante atualização, tendo sido lançada em 2016 a última atualização da versão IFC 4.0, estando em curso já uma nova versão, IFC 5, com data ainda não prevista para sua disponibilização [W12].

A *buildingSMART* fornece uma lista de aplicações com certificado IFC, onde os utilizadores podem verificar se o software utilizado para os seus projetos suporta um fluxo *openBIM*, e se a metodologia de trabalho é compatível com esse processo, podendo ser consultada online em [W13].

Contudo Majcher [W14] salienta que, o uso do IFC por si só não é uma garantia de interoperabilidade. Embora o padrão tenha sido desenvolvido para facilitar a partilha de informação, há uma grande dependência das empresas que produzem programas que operam sobre o formato, mas que não conseguem atingir uma plena interoperabilidade entre sistemas com base no padrão IFC. Neste contexto, seria importante que fosse estabelecida uma cooperação mais próxima entre as empresas, de forma a contribuírem para o desenvolvimento de formatos universais abertos, em que a troca de informação se possa efetuar com confiança.

COBie

Finalizado um projeto, com as diferentes especialidades incorporadas no modelo centralizado, o modelo BIM admite um volume considerável de informação. O modelo deve poder fornecer a informação específica requerida pelos responsáveis na manutenção e gestão do edifício (Sattler *et al.*, 2019). Para agilizar o processo de seleção de informação direcionada para as diferentes atividades que operam sobre o projeto, foi desenvolvido, no Reino Unido, uma estrutura organizacional de dados designada de *Construction Operations Building information exchange* (COBie).

A COBie pode ser vista como uma simplificação não geométrica do IFC, uma vez que é um modelo de dados. Pode ser visualizada no software de projeto, construção e manutenção, sendo a sua representação mais comum em folhas de cálculo. Os seus *templates* são apenas uma forma de definir e preencher a informação requerida para entrega no final do projeto, mas ainda assim, cabe aos responsáveis definir qual a informação, quando é necessária e por quem (Yalcinkaya *et al.*, 2014). Na prática a sua utilização não é isenta de erros, como se descreve em detalhe no capítulo 3, mas é a solução atual e tem vindo a ser alvo de estudos para analisar a melhor forma da sua aplicação.

2.6. Dimensões BIM

Embora disponível há algumas décadas, só nos últimos anos é que o BIM e os seus conceitos começaram a desencadear mais interesse na indústria da construção, ampliando a sua aplicação a todo o ciclo de vida dos edifícios. Esta crescente expansão está relacionada com o avanço da

tecnologia computacional que, cada vez mais, possibilita suportar a complexidade de um projeto detalhado em BIM.

A distinta aplicabilidade do BIM é referida na literatura como as “n” dimensões do BIM. A cada dimensão está associada um conjunto de informação distinta, adicionada ao modelo 3D, complementando-o com as atividades que podem ser elaboradas com base nos dados extraídos do modelo (Kamardeen, 2010). Cada uma das dimensões pode ser aplicada de forma independente, não sendo necessário considerar simultaneamente outras dimensões do modelo. Assim, as “n” dimensões são referidas como:

- **3D** – O modelo BIM 3D é constituído pelos **objetos paramétricos** que representam o empreendimento e que contêm a informação relacionada com a sua geometria e as propriedades comportamentais associadas aos materiais aplicados nos componentes construtivos (Kjartansdóttir *et al.*, 2017). O modelo permite a visualização completa do projeto, com a sobreposição de disciplinas, sobre o qual a equipa de diferentes técnicos colaboram no sentido de desenvolver um modelo 3D completo, ou seja, uma representação digital que reproduza um empreendimento realista (Jamil *et al.*, 2019). A capacidade de visualização do modelo 3D, em desenhos ou cortes, promovida pelas ferramentas BIM, facilita a coordenação do projeto e a análise de conflitos entre disciplina, permitindo a sua resolução em fase inicial do projeto. O modelo 3D apresenta um aspeto, essencialmente, geométrico mas as suas potencialidades ao nível de consulta e de utilização da sua base dados é enorme, conduzindo à conceção das dimensões superiores do BIM.
- **4D** – A quarta dimensão insere a variável **tempo** no modelo 3D. Nesta dimensão é possível fazer o planeamento das atividades a realizar em obra e simular no modelo o seu desenvolvimento, por etapa construtiva. Ao associar as atividades do planeamento ao correspondente modelo geométrico, com recurso a ferramentas BIM que permitem a conceção de modelos 4D, é possível visualizar a sequência da construção no modelo e explorar cenários construtivos na totalidade da obra ou numa fase específica. A capacidade interativa de visualização da obra virtual facilita a identificação de erros lógicos na sequência da construção, maximizando a eficiência da gestão do avanço físico da obra e facilitando a comunicação entre os envolvidos no faseamento construtivo [W15]. O modelo 4D possibilita a monitorização da obra por comparação do andamento real da obra face ao planeado e fazer um balanço dos recursos, materiais e humanos, disponíveis face às atividades a executar.
- **5D** – A quinta dimensão acrescenta a variável **custo** ao modelo de informação. A estimativa dos custos é elaborada com base nos valores atribuídos, através dos parâmetros adicionais relacionados com os custos unitários, a cada elemento do modelo. Deste modo podem ser elaboradas estimativas relativas a custos de capital (compra e instalação), a custos de operação ou de substituição de elementos. As ferramentas de modelação BIM permitem a extração de quantidades de material (*Quantity take-off*,

QTO) a partir do modelo atualizado, e com base nos custos associados obter uma estimativa de custos. Este processo reduz substancialmente o tempo despendido em processos técnicos tradicionais e reduz eventuais erros humanos, devido à sua automatização e sincronização quando o modelo é alvo de alterações (Smith, 2015). Os custos quando associados ao modelo 4D permitem controlar os gastos previstos e reais ao longo do projeto através de controlos regulares para garantir que os gastos se encontram balizados com o orçamento disponível para o projeto [W16].

- **6D** – A sexta dimensão suporta as medidas de **sustentabilidade** dos empreendimentos no modelo de informação. Para tal, o modelo 6D deve ser enriquecido com parâmetros com dados sobre ventilação, acústica, iluminação natural e coeficientes térmicos dos materiais que, com o recurso a ferramentas adicionais (*aid-in* ou *plug-in*) específicas, atuam sobre os sistemas BIM de modelação, possibilitando uma análise de eficiência energética ou de impacto ambiental dos empreendimentos [W17]. O modelo 6D permite identificar áreas onde a eficiência poder ser melhorada para um melhor retorno económico e de satisfação/bem-estar dos utilizadores. Alguns autores referem-se à sexta dimensão como a atividade de manutenção e de gestão.
- **7D** – A sétima dimensão compreende a sua aplicação ao **Facility Management** e corresponde à aplicação BIM que apresenta um maior detalhe na presente dissertação. Num conceito geral, esta dimensão pretende reunir toda a informação que foi sendo desenvolvida e atualizada ao longo de todo o projeto, representando o modelo sob o conceito *as-built* do empreendimento (Jamil *et al.*, 2019). O modelo reúne a informação referente a cada componente e espaços, que representam o ativo, como os materiais constituintes, a sua quantificação e custos e, ainda, a informação específica necessária no apoio as ações de manutenção. Nomeadamente, dados relativos a fabricantes, informações técnicas dos produtos, garantias, manuais de utilizador, vida útil exetável entre outras necessárias para o suporte dessas atividades [W18]. Na fase de entrega do projeto, este tipo de informação acrescenta valor ao projeto, pois constitui a informação a transmitir aos responsáveis pela gestão do empreendimento (*facility managers*).
- **8D** – Estudos recentes abordam a oitava dimensão que inclui a **segurança e prevenção de acidentes** a nível do processo de construção e durante a ocupação do imóvel. O modelo 8D BIM tem em vista incorporar padrões de segurança a incluir no projeto de construção. O modelo interliga um sistema de gestão de segurança no modelo 3D, através de algoritmos definidos pelo utilizador, o que permite à equipa de projeto identificar visualmente os riscos que comprometem a segurança nas atividades de construção. Desta forma, as equipas em frente de obra podem ser instruídas e treinadas para trabalhar com a segurança necessária no local. A identificação automática de perigos na estrutura e simulação visual ao longo do tempo permite que os engenheiros de segurança planeiem e tomem medidas preventivas antes da execução da construção (Jamil *et al.*, 2019).

3. BIM-FM

3.1. Facility Management

Não é unânime o reconhecimento de qual a origem da atividade *Facility Management* (FM). Na perspectiva de Prince, citado por (Nor *et al.*, 2014), o conceito de FM corresponde ao papel do responsável de um edifício cuja preocupação abrange questões operacionais de manutenção, limpeza e segurança dos inquilinos. Acrescentou, ainda, que o crescimento da complexidade dos edifícios e o custo significativo da sua operação conduziu à necessidade da introdução de “funções de gestão de base estratégica e tática”, associadas a outras funções de suporte como a gestão de recursos humanos e o recurso a tecnologias da informação.

Outros autores salientam, no entanto, que o profissional *facility manager*, traduzido por gestor do edifício, nasceu da necessidade da organização e distribuição de espaços em edifícios de escritórios, devido ao crescente aumento de trabalhadores num mesmo espaço de trabalho, de forma a estabelecer condições de trabalho individuais adequadas. Surge assim o conceito de *facility management* entendido como uma prática interdisciplinar relacionada com a gestão de edifícios e instalações dirigidas aos seus utilizadores. A norma ISO 41001 (2017) descreve a atividade como uma “função organizacional que integra pessoas, locais e processos no ambiente construído com o objetivo de melhorar a qualidade de vida das pessoas e a produtividade do negócio principal”. Esta atividade serve de suporte às organizações no sentido de libertar os ocupantes da construção de problemas que não estão diretamente associados ao seu negócio principal. Ao conjugar a qualidade das instalações ao controlo ativo de custos, o FM permite aumentar a eficiência da organização que utiliza o edifício e melhora a eficiência do trabalho das pessoas empregadas (Araszkiewicz, 2017). Esta função está presente em edifícios de escritórios, edifícios técnicos (por exemplo, centrais de produção de energia), hospitais, escolas, complexos desportivos, hotéis e edifícios habitacionais.

O conceito FM é, ainda, relativamente recente no mercado da construção. A organização *International Facility Management Association* (IFMA), foi criada nos Estados Unidos da América no ano 1978, tendo sido integrada, em 1984, na Europa pelo *European Facility Management Network* (EuroFM), por forma a implementar o FM na prática da construção, educação e pesquisa. Desde então a sua importância tem vindo a aumentar e reconhecida necessária na administração de um edifício (Steenhuizen *et al.*, 2014). Posteriormente, outras organizações foram sendo criadas, como o *British Institute of Facility Management* (BIFM) fundado em 1993, no Reino Unido (BIFM, s.d.), e em Portugal, foi constituída em 2006 a *Associação Portuguesa de Facility Management* (APFM), uma área de investigação mais recente a nível nacional.

Naturalmente que cada país tem sua própria cultura, tipo de organização e liderança, resultando em diferentes perspectivas e níveis de implementação de *Facility Management* no sector (Nor *et al.*, 2014). Nos EUA e na Europa, há uma maior importância nos serviços de suporte, como os relacionados com a operação e a manutenção dos edifícios. Atualmente, a atividade FM tem admitido um alargamento de intervenção abrangendo a gestão do imobiliário (Douteiro de Sá,

2016) e a organização e administração de espaços dos edifícios, a curto e a longo prazos, e, ainda, na envolvente física dos edifícios como suporte para o desenvolvimento das organizações.

Com base nas mais recentes necessidades e práticas usadas na Gestão de Instalações e num inquérito sobre *Facility Managers* envolvendo 62 países, a IFMA identificou as 11 principais competências relacionadas com a atividade FM (IFMA, 2018):

- **Comunicação:** planos e processos de comunicação para as partes interessadas internas e externas;
- **Qualidade:** melhores práticas, melhorias de processos, auditorias;
- **Ocupação e fator humano:** ambiente de trabalho saudável e seguro para os utilizadores;
- **Finanças e negócio:** planos estratégicos, orçamentos, análises financeiras e aquisições;
- **Plano de emergência e continuidade do negócio:** planos e procedimentos de gestão de emergências e riscos;
- **Liderança e estratégia:** planeamento estratégico, organização, equipa e o líder da organização;
- **Gestão de projeto:** supervisão e gestão de todos os projetos e contratos relacionados;
- **Administração ambiental e sustentabilidade:** gestão sustentável de ambientes naturais e construídos;
- **Imobiliário e gestão de propriedade:** planeamento e aquisição de imóveis;
- **Operação e manutenção:** operação e manutenção predial, serviços aos ocupantes;
- **Tecnologia:** tecnologia de FM, sistemas de gestão do local de trabalho.

Como consultor, o *facility manager* deve participar na formulação das condições restritivas na fase de conceção do projeto. Com base na sua experiência, pode definir requisitos do ponto de vista dos custos operacionais futuros: especificar um programa funcional otimizado para o uso espacial do edifício (por exemplo, limitação de áreas não utilizadas) do ponto de vista dos futuros utilizadores; recomendar tipos de acabamento a aplicar em algumas tipologias construtivas (paredes e pisos) quanto à manutenção futura; indicar as soluções mais adequadas relativas a materiais de construção do ponto de vista de futuros trabalhos de manutenção e reparação; bem como, detalhar, infraestrutura e equipamentos técnicos necessários ao suporte técnico do edifício (Potkany *et al.*, 2015).

O gestor do edifício, em coordenação com o dono de obra e com a equipa de projeto, deve definir os requisitos para a construção do ponto de vista dos objetivos estratégicos e, assim, contribuir para a redução dos custos de investimento e melhores serviços de gestão de instalações para os utilizadores do edifício (Potkany *et al.*, 2015). Assim, a função do técnico FM constitui uma necessidade no estabelecimento antecipado e sustentado de diferente tipo de recomendações.

O trabalho dos *facility manager* é fortemente apoiado pelas ferramentas de trabalho disponíveis que sustentam o processo de gestão dos edifícios. Impulsionadas pelo avanço tecnológico, como forma de atender à crescente complexidade dos edifícios e à conformidade regulatória que estes exigem, surgem os sistemas de dados informáticos que se apresentam como:

- **Integrated Workplace Management System (IWMS):** é uma plataforma de dados que oferece apoio ao planeamento, projeto e gestão do património físico de uma organização (Chen *et al.*, 2018). Permite que as organizações otimizem a utilização e a administração dos recursos no local de trabalho e garante a comunicação dessas informações entre toda a organização;
- **Computer Aided Facilities Management (CAFM):** desenvolvida no final da década de 1980 com o objetivo de alavancar o uso de computador para automatizar a recolha e manutenção de informações de gestão de instalações (Chen *et al.*, 2018). O CAFM fornece aos gestores de instalações as soluções de que precisam para rastrear e relatar informações sobre as suas instalações e imóveis;
- **Computerized Maintenance Management Systems (CMMS):** é uma base de dados de informações sobre as operações de manutenção de uma organização. Normalmente inclui a gestão de solicitações de serviço, programação de manutenção preventiva e fluxos de trabalho, gestão de ativos e controle de stock. Como se pode depreender, no diagrama da Figura 3.1, CMMS constitui apenas uma parte do conjunto completo do sistema IWMS [W19].

O diagrama da Figura 3.1 representa as soluções existentes num sistema informático IWMS. A principal diferença entre CAFM e IWMS reside no facto de o sistema IWMS permitir que a informação seja partilhada por todos na organização, enquanto que o CAFM é limitado pela sua incapacidade de distribuir informação para além da equipa de FM [W19].

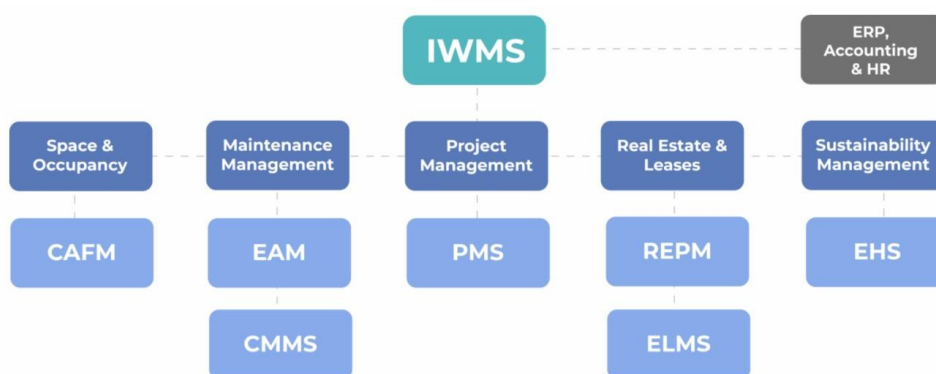


Figura 3.1 – Soluções incluídas num sistema IWMS, [W19].

Recentemente, o FM é uma das disciplinas profissionais e operacionais que mais tem crescido. A organização de pesquisa e consultoria, Frost & Sullivan (2016), prevê que até 2025 o mercado global de serviços externos de FM valerá aproximadamente 1 bilião de dólares (CBRE, 2017). Devido às constantes alterações ambientais, económicas e tecnológicas, o FM tornou-se ainda

mais necessário. As empresas foram gradualmente reconhecendo a eficiência, produtividade, vantagem competitiva e poupança em custos que o FM podia proporcionar às organizações.

3.2. Metodologia BIM aplicada ao FM

Salientando uma vez mais a capacidade da metodologia BIM poder englobar todas as fases do ciclo de vida de um empreendimento, este item explora a sua aplicabilidade no contexto da atividade de manutenção dos edifícios. São apresentadas as práticas atuais realizadas quer pela indústria como a nível científico e os processos e *software* mais comuns que resultam da sua aplicação.

Os avanços tecnológicos orientados para o apoio à prática do FM têm permitido desenvolver soluções computacionais mais abrangentes e fiáveis relacionados com a acumulação, categorização, visualização e atualização de informações sobre a operação e manutenção de um edifício, que devem ser completas, organizadas e precisas. O principal desafio consiste na integração da informação acumulada com os dados adquiridos nas fases de projeto e construção e o fornecimento destes dados aos sistemas de gestão e operação do edifício (Araszkiewicz, 2017). A integração dos sistemas de gestão com ferramentas de base BIM é reconhecida por vários autores, salientando a capacidade de reunir, de uma forma contínua durante as várias fases, de projeto e construção, toda a informação necessária para a atividade FM, contribuindo para uma melhoria da eficiência e produtividade dos processos de gestão (Pishdad-Bozorgia *et al.*, 2018). A aptidão para conseguir guardar grandes quantidades de informação e mantê-la acessível para consulta, aliada ao facto de atualmente vários sistemas de FM que, embora não sejam soluções BIM, já suportam a ligação com modelos BIM, potencia a sua utilização.

Para os técnicos FM, a mudança para BIM-FM, representa uma significativa evolução, não exigindo, contudo, uma alteração brusca na forma como esta é aplicada. Do desenvolvimento das fases de projeto e construção resulta um volume considerável de informação que é entregue ao dono de obra, tradicionalmente transmitidas em 2D, em suporte de papel ou em ficheiros eletrónicos. Este modo de trabalho requer um esforço considerável para a organização e o entendimento de toda a informação relevante requerida na gestão, manutenção e operação do edifício (Eastman *et al.*, 2011). O técnico FM deve identificar a informação recolhida e, adicionalmente, deve introduzir, manualmente, a mesma informação nos sistemas de gestão usuais. Esta prática é demorada, repetitiva e sujeita a erros humanos, dificultando a obtenção de informações precisas, sendo mais evidente em grandes empreendimentos, distinguidos por uma estrutura de ocupação complexa. O processo de transferência de informação, no suporte à atividade FM, requer uma especial atenção por parte de profissionais e empresas de *software*, com o objetivo de o agilizar (Chen *et al.*, 2018). Neste sentido, o fluxo de informação do modelo BIM para o sistema FM tem potencial para ser mais eficiente, que o modo de preenchimento manual de informação, essencial na prática do FM (Araszkiewicz, 2017).

No contexto BIM, os dados do projeto e da construção fluem de um modo mais integrado entre fases. (Schley *et al.*, 2016) identificam quatro tipos de modelos BIM, que se ilustram na Figura

3.2. Reconhecem que é necessário considerar que nem toda a informação produzida é essencial para apoiar a fase de operação existindo uma diferença entre os modelos BIM criados para o projeto e construção e o necessário para a fase de operação. A consulta do técnico FM é relevante na formulação das condições de modelação do projeto (Potkany *et al.*, 2015), nomeadamente, na definição dos requisitos ao nível de informação necessária para as atividades de FM, bem como o nível de detalhe desejado para essa informação (Pishdad-Bozorgia *et al.*, 2018).



Figura 3.2 – Evolução de modelos BIM.

Como a inserção de toda a informação num único modelo é difícil ou inviável, a capacidade de interoperabilidade entre os sistemas disponíveis, é um dos fatores que deve ser analisado na aplicação do BIM no contexto FM. O fluxo de informação do modelo BIM para o sistema FM pode, essencialmente, ser garantido através dos seguintes métodos:

- A **integração direta** entre o modelo BIM e os sistemas de FM, com base no formato nativo de dados, garantem uma elevada interoperabilidade entre sistemas onde a transferência ocorre sem perdas de informação. Não há a necessidade de validar os dados transferidos, promove uma visualização realista e permitir o acesso à base de dados do modelo BIM. Adicionalmente, o modelo BIM pode ser permanentemente atualizado, permitindo a consequente atualização dos serviços de exploração do edifício por parte do técnico FM. Deste modo o proprietário tem um registo preciso como base para futuras remodelações e expansões, e de apoio à atividade FM (Schley *et al.*, 2016);
- A transferência com base do **formato IFC** é, um dos métodos utilizados pois os sistemas FM de uso frequente têm admitido um forte incremento com a adição de capacidades de interpretação de modelos transferidos neste formato. No entanto, o formato IFC apesar da emissão de versões incrementalmente mais eficientes, os dados transferidos admitem ainda alguma omissão. A maioria dos fornecedores de *software* BIM já permite a “exportação” dos seus modelos para um formato IFC [W20];
- Por iniciativa conjunta de empresas da indústria AEC no Reino Unido, foi desenvolvida uma solução de apoio à troca de informação entre técnicos, sustentada por uma estrutura específica de dados, designada de **COBie**. Esta fornece uma estrutura para registar os dados necessários para os principais sistemas de construção, constituindo

uma forma de recolher informação de um modo estruturado a partir do modelo BIM. Várias empresas responsáveis pelos softwares BIM e FM desenvolveram interfaces para importar e exportar dados *COBie*. No entanto, os utilizadores devem estar cientes de que os dados necessitam de ser validados após importação, uma vez que o sistema de origem não se encontra integrado no sistema de destino (Schley *et al.*, 2016).

3.2.1. Ficheiro *COBie*

A *COBie* é apresentada como um ficheiro de dados, de fácil importação pelos programas de gestão, substituindo a submissão de múltiplas cópias de documentos entregues em papel no final da construção. A informação requerida para a *COBie* corresponde à atualmente requerida nas especificações necessárias para a fase de entrega, onde apenas é adaptado o modo de como a informação é partilhada, organizada e entregue, não contendo, contudo, qualquer informação referente à modelação geométrica [W21]. A extração, da informação do modelo BIM, a inserir nas tabelas *COBie* deve ser efetuada de uma forma faseada, podendo os dados ser recolhidos ao longo das fases de projeto e de construção, devendo cada interveniente preencher a informação relativa à sua especialidade, ou pela qual é responsável. A *COBie* está organizada em folhas de trabalho que interligam as três áreas principais - *Design*, *Build* e *Common*, apresentadas na Figura 3.3, seguida de um exemplo ilustrado na Figura 3.4:

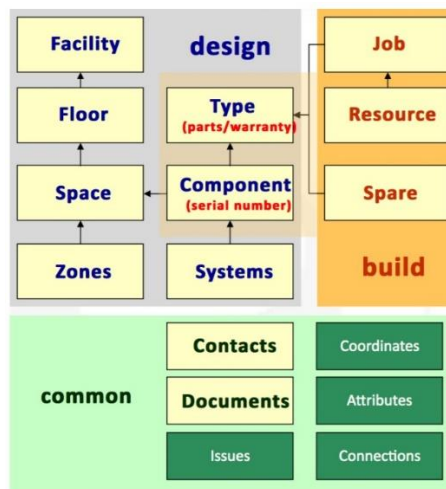


Figura 3.3 – Interligação das diferentes folhas de trabalho *COBie*, [W22].

- A **área de projeto** (*Design*) representa o núcleo das informações e contém os dados associados aos componentes construtivos, os tipos (categoria de produto), espaços (quartos e salas), zonas (agrupamentos de espaços), instalações (o próprio edifício), pisos e sistemas (equipamentos) [W23];
- A informação referente à **construção** (*Build*) abrange o trabalho, os recursos humanos e materiais, as peças de reserva ou de substituição e, ainda, os documentos relativos a diretrizes de manutenção, manuais de operação e listas de equipamentos ou componentes [W23];

- Os **itens comuns** (*Common*) consideram a informação vinculada a todos os itens das outras listas, como contatos dos técnicos e operacionais envolvidas no projeto, a documentação sobre materiais ou equipamento entregue, os atributos relacionados com o método para marcar dados personalizados para qualquer tipo de item e o sistema de classificação [W23].

O uso de um sistema de classificação constitui uma base fundamental para a COBie, sendo da responsabilidade do proprietário a escolha de um sistema de classificação que deve constar nos requisitos contratuais quando a COBie é considerada como uma parte integrante do contrato.

	Name	Identifier	ReplacementCost	ExpectedLife	DurationUnit	WarrantyDescription	NominalLength	NominalWidth	NominalHeight	ModelReference	Shape	Size	Color	Finish	Grade	Material
2	1810 x 2110mm	1CDIQ4E3	n/a	n/a	year	n/a	1810.0	150.0	2110.0	Generic Int DD:1810 x 2110mm	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Generic
3	790 x 2110mm 3	1uSECSY8	n/a	n/a	year	n/a	790.0	150.0	2110.0	Generic Int D Cell Door:790 x 2110mm	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Generic
4	Cell Bed family	0uCr33MT	n/a	n/a	year	n/a	2000.0	700.0	400.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
5	Desk Whitewood	0uCr33MT	n/a	n/a	year	n/a	1360.0	450.0	900.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
6	Cell Locker	0uCr33MT	n/a	n/a	year	n/a	500.0	450.0	1000.0	n/a	n/a	n/a	n/a	Whitewood	n/a	Whitewood
7	Safer Seat	0uCr33MT	n/a	n/a	year	n/a	500.0	500.0	500.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
8	1275x1200h	1ZA_U6m	n/a	n/a	year	n/a	1275.0	340.0	1200.0	Safer Cell 7 Bay FF:1275x1200h	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
9	Basic Wall:Generic Ext - 150mm	n/a	n/a	n/a	year	n/a	1000.0	150.0	2700.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
10	Basic Wall:Generic Ext - 340mm	n/a	n/a	n/a	year	n/a	1000.0	340.0	2700.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
11	Basic Wall:Generic Ext - 80mm	n/a	n/a	n/a	year	n/a	1000.0	80.0	2675.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
12	Concrete (Painted)	n/a	n/a	n/a	year	n/a	1000.0	1000.0	1000.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
13	Generic	n/a	n/a	n/a	year	n/a	1000.0	1000.0	1000.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
14	Generic Inserts	n/a	n/a	n/a	year	n/a	1000.0	1000.0	1000.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15	Material Brickwork	n/a	n/a	n/a	year	n/a	1000.0	1000.0	1000.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
16	TFT Monitor	n/a	n/a	n/a	year	n/a	400.0	75.0	400.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Figura 3.4 – Exemplo da folha de trabalho COBie.

3.2.2. Desafios e dificuldades

O número crescente de pesquisas que abordam a temática BIM-FM são um indicativo do interesse da indústria na sua aplicação, no entanto ainda salientam alguns entraves para a sua adoção. No caso particular do formato COBie, alguns dos seus utilizadores revelam ainda algumas limitações associadas com o seu potencial de transferir informação entre sistemas BIM e FM (Araszkievicz, 2017) (Pishdad-Bozorgia *et al.*, 2018) (Gamboa, 2015). Como consequência, é necessário validar todo processo, preenchendo manualmente toda a informação em falta, tornando o processo significativamente menos eficiente. O relatório inglês, elaborado pela (NBS, 2019), mostra que entre os técnicos que utilizam a tecnologia BIM, apenas 41% recorrem ao formato COBie para a extração da informação, salientando que ainda é necessário investimento no incremento do nível de interoperabilidade entre os sistemas BIM e FM.

Em relação ao padrão IFC, modo recorrente na transferência de modelos BIM para os sistemas FM, (Yalcinkaya *et al.*, 2015) sugerem que a natureza genérica dos seus padrões e a sua complexidade, constituem um entrave para associar diretamente os modelos BIM ao sistema FM (Eadie *et al.*, 2019). O papel da administração no apoio ao BIM-FM, deve garantir que os seus

funcionários recebam uma formação adequada, sendo fundamental para um uso bem-sucedido do padrão IFC na sua atividade.

Consequentemente, os técnicos FM mostram, ainda, alguma relutância na implementação do BIM na sua atividade. A razão assenta principalmente na falta de confiança relativa aos modos de transmissão de dados entre sistemas BIM e FM, pois envolvem frequentemente procedimentos complexos para os quais os sistemas apresentam fortes limitações, tornando o fluxo de dados entre os processos de BIM e FM demorados e pouco eficientes. As dificuldades técnicas podem em parte ser ultrapassadas através da padronização do método de compartilhamento de dados e da resolução de problemas de interoperabilidade entre o BIM e os sistemas FM (Mohamed *et al.*, 2020). Adicionalmente, para que o modelo de informação possa apoiar a atividade FM, este deve ser enriquecido com a informação necessária para esta fase, mas a natureza fragmentada da indústria da construção apenas admite a adição desta informação, posteriormente, quando é requerida no planeamento de manutenção. Sublinhando a necessidade de inclusão da intervenção do técnico FM no acompanhamento do ciclo de vida do edifício, este deve ser consultado em fase de projeto, de modo a permitir-lhes definir, como parte das premissas de projeto, o objetivo detalhado e as prioridades entre as informações e dados necessários para o cumprimento dos objetivos FM, sujeito ao seu enquadramento nos objetivos de cada organização (Araszkievicz, 2017).

3.2.3. Soluções BIM-FM

Uma vez que os tradicionais sistemas CAFM apresentam recursos e funções limitadas para recolher as informações do edifício enviadas pelos vários intervenientes em diferentes fases do ciclo de vida do projeto (Araszkievicz, 2017), aplicações orientadas para o BIM têm vindo a ser desenvolvidas para recolher simultaneamente os dados produzidos e transferir essas informações para o facility manager num ambiente em *Cloud* (Eadie *et al.*, 2019). Deste modo, o modelo ou plataforma de trabalho colaborativo BIM em *Cloud*, atua como um sistema de base de dados virtual, onde o técnico tem disponível uma completa visualização do edifício e o acesso a várias ferramentas que permitem a sua gestão. Uma vez que o funcionamento da *Cloud* é *online* a necessidade de computadores que exijam grande capacidade de processamento são evitadas não exigindo que o técnico tenha o *software* de modelação, sendo assim evitada a aquisição dispendiosa de equipamento e de *software*. O técnico FM deverá apenas dispor de uma conta do *software* de visualização e do sistema FM, através do qual é feita a gestão do edifício. Atualmente, existem cada vez mais ferramentas que apoiam esta metodologia e seguem a lógica apresentada, tais como, *EcoDomus*, *ArchiFM*, *FM:Interact*, *Bentley Facilities*, *IBM Maximo*, entre outros:

- O ***EcoDomus*** apoia a metodologia BIM-FM, no entanto não faz parte de um *software* exclusivo BIM ou FM. O seu ambiente de trabalho proporciona uma visualização 3D das instalações, a consulta da informação associada a cada equipamento, a integração com sistemas GIS, e permite recolher dados de operação das instalações em tempo real adquiridos por meio de sensores integrados com o sistema FM. Deste modo, é permitida

uma análise inteligente do desempenho de um edifício e apoia uma abordagem mais abrangente para a gestão dos ativos. O sistema *EcoDomus* admite a capacidade de importação e de exportação de dados a partir e para as ferramentas BIM de uso corrente, das empresas *Autodesk* e *Bentley*, no formato IFC. Neste processo utiliza a sua página *online* através da extensão *EcoDomus BIM Connector*, o que possibilita a visualização 3D do edifício e facilita o processo de troca de informação [W24]. Atualmente, o *EcoDomus* apresenta dois produtos: *EcoDomus PM* e *EcoDomus FM*. Embora ambos analisem a informação importado do modelo BIM, apresentam um distinto objetivo: o *Project Management (PM)* destina-se à equipa de projeto e construção e permite a recolha da informação produzida nestas fases e a sua posterior validação, facilitado a sua integração com padrões de informação abertos, como a *COBie*; O produto *Facilities Management (FM)* destina-se aos técnicos FM proporcionando a gestão dos ativos do edifício em tempo real e apoiando as atividades de manutenção e de operação, incrementada com a capacidade de visualização da representação 3D;

- A empresa *Graphisoft* criou o sistema **ArchiFM**, com o benefício de poder funcionar em conjunto com o *software* de BIM o *ArchiCAD* usado na produção de modelos de arquitetura, estruturas e serviços BIM. O problema de interoperabilidade é, naturalmente, reduzido pois é baseada no formato nativo, mas o *ArchiFM* permite também a importação de modelos em formato IFC, criados noutros modeladores BIM. A aplicação é formada pelos módulos: *ArchiFM Asset Planning (CAFM)* para gestão de ativos; *ArchiFM Maintenance (CMMS)* orientado para planeamento das atividades de manutenção e controlo de custos; *ArchiFM ProFM Reporting Services* (serviços de informação) permite a criação de relatórios e ao recorrer ao ambiente *online* proceder à sua exibição e edição; *ArchiFM-GIS integrated solution* torna possível trabalhar com instalações a nível geográfico; *ArchiFM conditional maintenance solution* atende às necessidades da atividade FM [W25]. Adicionalmente, a solução *archifm.net*, desenvolvido com base nas funcionalidades do sistema *ArchiFM*, contém opções adicionais de trabalho FM e incorpora inovações tecnológicas funcionando em ambiente *online*, possibilitando a gestão do edifício com acesso ao modelo BIM e sem a necessidade de possuir o programa de modelação.
- O sistema **FM:Interact** é a solução desenvolvida pela *FM:Systems* e integra as funcionalidades comuns dos sistemas informáticos utilizados na gestão de ativos. A sua estrutura admite módulos de gestão em tempo real e em ambiente *online*: *Space Management*, especializado na gestão e otimização de locais de trabalho; *Strategic Planning* utilizado no planeamento estratégico de espaços adaptados às necessidades da organização e análise de futuras necessidades de adaptação; *Maintenance Management* apoia o desenvolvimento de programas de manutenção preventiva conciliado com o rastreamento das solicitações de serviço que suportam as atividades de manutenção; entre outros módulos como o *Move Management*, *Project Management*, *Real Estate Management* e *Sustainability* que capacitam o técnico FM da visualização

do modelo 3D e da consulta da informação associada ao desempenho das instalações, de forma a aumentarem a sua eficiência [W26]. Com a ferramenta *FM:Interact* é disponibilizada uma componente que permite manter uma integração bidirecional entre os modelos BIM desenvolvidos no *software Revit (Autodesk)* e o sistema, permitindo que os profissionais FM partilhem informação durante o processo de projeto, construção e todo o ciclo de vida do edifício. Existe também a possibilidade de o sistema *FM:Interact* ser integrado com *Autodesk A360 Model Viewer* por forma a incrementar as potencialidades dos modelos criados no *software Revit* em relação ao funcionamento e gestão de instalações. O visualizador A360 permite a consulta da informação associada aos elementos de construção de forma a que os utilizadores finais possam selecionar facilmente os componentes da construção, na interface do navegador, e obter a informação requerida em tempo real sobre o componente selecionado [W27];

Adicionalmente, têm vindo a ser exploradas outras tecnologias que apoiam o trabalho do gestor de edifícios com o objetivo de simultaneamente recolher dados e transmiti-los para a equipa de técnicos FM. Neste contexto, os sistemas BIM precisam de estar integrados e poder comunicar com sensores. O equipamento de **radiofrequência** (RFID) utiliza uma tecnologia de sensor sem fios aplicado ao rastreamento e monitorização dos ativos e ambiente do edifício. A integração de sistemas RFID a aplicativos BIM, através de servidores de base de dados e serviços em *Cloud*, fornece o acesso aos dados em tempo real de instalação através do computador ou de dispositivos móveis (Yalcinkaya *et al.*, 2014). Este modo de integração apresenta vantagens significativas, nomeadamente, em relação à comunicação de falhas de equipamento em tempo real ou a monitorização de parâmetros como a humidade, a temperatura e etc. No entanto, é preciso ter em atenção que estando várias tecnologias envolvidas, exige uma sincronização e calibração em todo o processo.

4. Manutenção de edifícios

O ciclo de vida de um edifício envolve várias etapas. A conceção do projeto; a construção da obra; a exploração do empreendimento; o processo de demolição. A fase de maior duração corresponde à ocupação do edifício. Para manter a qualidade do edifício, ao longo desta fase, é necessário efetuar ações de manutenção, de conservação ou de renovação aplicadas aos componentes do imóvel, de forma a assegurar as condições de serviço e prolongar a vida útil da edificação.

A atividade de manutenção é definida, pela norma vigente ISO 15686 (2000), como o conjunto de ações técnicas e administrativas que devem ser realizadas durante a vida útil do edifício, de forma a manter as funções para a qual a infraestrutura foi concebida. Preferencialmente, estas ações devem ser estabelecidas na fase de projeto do edifício, com o objetivo de planear estratégias de manutenção de forma a manter adequadas as condições de desempenho dos edifícios, prolongando a sua vida útil (Vilhena, s.d.). Durante o período de exploração do edifício, a atividade de manutenção é frequentemente bastante onerosa, acrescentando custos consideráveis ao valor inicial de compra do imóvel. Embora o custo de aquisição seja, normalmente, elevado, para um empreendimento com uma vida útil de 50 anos, as despesas relativas às fases de projeto e de execução correspondem a cerca de 20 a 25% dos custos totais, sendo que, os restantes 75 a 80% desses mesmos custos estão associados à fase de exploração, como se ilustra na Figura 4.1. (Tavares, 2009). Assim, no contexto dos custos globais envolvidos num edifício, a manutenção apresenta uma componente relevante, requerendo uma ponderação, ainda em fase de projeto, da viabilidade das opções de apoio às ações de manutenção a realizar, com o objetivo de permitir diminuir os custos de utilização e melhorar a eficiência da utilização dos recursos (humanos e financeiros). Esta atividade constitui um aspeto bastante importante a considerar por parte, principalmente, dos proprietários e dos gestores do património edificado.

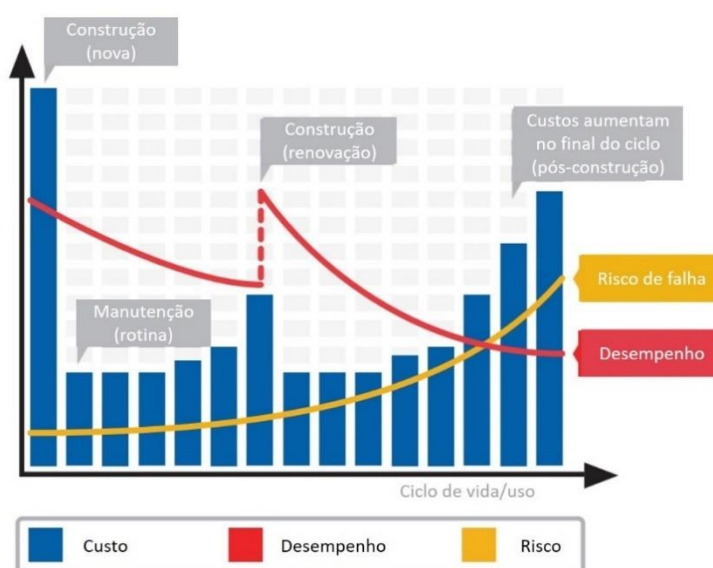


Figura 4.1 – Representação simplificada do ciclo de vida de um empreendimento (Saunders, 2016)

4.1. Tipos de manutenção

Um edifício tem uma vida útil normalmente longa, e, portanto, os gastos contabilizados com a sua manutenção podem, frequentemente, exceder os custos associados à sua construção. A gestão dos processos associados à manutenção deve ser eficiente e, para tal, as ações associadas devem ser realizadas baseadas nas estratégias de manutenção pró-ativas e reativas (Riley *et al.*, 2005): A ação de manutenção pró-ativa tem como objetivo controlar o processo de degradação dos componentes do edifício e, conseqüentemente, minimizar os custos globais enquanto que a ação corretiva atua em situação de falha (Flores *et al.*, 2002);

- A manutenção **preventiva** ou planeada, considerada uma atividade pró-ativa, estabelece as ações de manutenção a realizar, de acordo com a prioridade considerada, e a sua periodicidade, por forma a contribuir para um adequado desempenho do edifício. Para tal, é considerada a vida útil prevista de cada componente do edifício, devendo as ações serem planeadas com o intuito de evitar a falha do elemento. A correta execução dos trabalhos planeados contribui para reduzir, posteriormente, os custos de reparação ou substituição, minimizar a interferência com a normal utilização do edifício e contribui para um melhor controlo de custos;
- A manutenção **preditiva** ou condicionada, também uma estratégia pró-ativa, contempla a execução de ações de manutenção, em concordância com o estado de degradação e desempenho dos elementos ou componentes. O seu planeamento é baseado na realização de inspeções ou na monitorização em tempo real das condições dos elementos. Este processo é considerado bastante eficiente pois permite a redução dos gastos com uma posterior manutenção, baseada na avaliação do desempenho do edifício em serviço e na aplicação atempada de ações de acordo com o diagnóstico de anomalias verificada. Contudo, requer a disponibilidade de técnicos especializados e equipamento apropriado, associados a custos adicionais a considerar no planeamento (Flores *et al.*, 2002);
- A manutenção **reativa** ou resolutiveira corresponde ao conjunto de ações de manutenção que sejam necessárias efetuar após a verificação de rotura, deformação ou inoperação, nomeadamente, as ações de reparação significativas e de substituição. A manutenção resolutiveira é, maioritariamente, aplicada quando é omissa um planeamento de manutenção, o planeamento embora definido não foi devidamente acompanhado ou, ainda, na sequência de anomalias imprevistas. Devido ao seu caráter de urgência e imprevisibilidade, este tipo de ações corretivas tende a revelar-se mais onerosa (Flores-Colen, s.d.).

De realçar que a estratégia de manutenção a implementar deve ser definida tendo em conta um balanço entre os tipos de manutenção apresentados. Conciliando as necessidades dos vários elementos do edifício e o orçamento disponível para as ações a realizar. Sendo preferível a realização de ações pró-ativas, através do conhecimento adquirido em serviço e com base em inspeções realizadas, para situações imprevistas é inevitável recorrer a ações reativas.

4.2. Terminologia

Ao longo do tempo, os edifícios e os seus componentes tendem a deteriorar-se, naturalmente, e vão perdendo algumas das suas propriedades originais. Para uma melhor compreensão da evolução das construções ao longo do tempo é importante distinguir alguns conceitos:

- A **vida útil** ou período de serviço de um edifício corresponde ao *período de tempo durante o qual as suas propriedades respondem ou excedem os níveis mínimos aceitáveis para o seu funcionamento - de ordem intrínseca ao elemento, normativa ou subjetiva - numa situação de manutenção corrente* (Gaspar *et al.*, 2003b), (ISO 15685-1, 2000). Este conceito é ambíguo quanto à definição de níveis mínimos aceitáveis para o desempenho de um edifício, dependendo não só dos critérios de quem avalia cada característica, como também de aspetos de segurança, da funcionalidade para uma determinada época ou do contexto ambiental ou normativo em que se adequa a sua avaliação (Gaspar *et al.*, 2009). A previsão da vida útil do edifício, considerando esta diversidade de aspetos, é de difícil obtenção ou de simulação através de modelos simples ou lineares. Adicionalmente, um edifício não envelhece de uma forma homogénea e a sua envolvente está sujeita a um elevado número de agentes agressores, originando um ritmo de envelhecimento mais acelerado, quando comparado com as componentes interiores.
- O processo de **envelhecimento** do edifício engloba uma cadeia de acontecimentos, diretamente condicionados, inicialmente, pelas decisões implementadas na fase de conceção e, posteriormente, pelo uso ou ocorrências desenvolvidas durante período de serviço. O modo de envelhecimento depende ainda das mudanças funcionais e alterações construtivas impostas decorrentes da evolução técnica de requisitos, motivação de carácter estético ou de conforto, de acordo com as necessidades dos utilizadores (Gaspar, s.d.). Para o fenómeno de envelhecimento contribuem ainda os processos de deterioração e de desgaste, a que os componentes do edifício são submetidos, e que comprometem a sua durabilidade.
- A **durabilidade** é a capacidade do edifício ou dos seus componentes apresentarem um bom desempenho quando sujeitos a condições ambientais adversas, sem a necessidade de reparações ou de substituição dos seus elementos (Souza *et al.*, 2018). Estando, portanto, associada ao conhecimento das propriedades dos materiais e da sua interação com o ambiente ao longo do tempo.
- A **degradação** verificada numa componente é consequência do processo de envelhecimento natural, associado à exposição a condições ambientais adversas.

A avaliação do nível de degradação é baseada em modelos matemáticos, que consideram diverso tipo de variáveis, e que quando devidamente ajustados, permitem estimar a vida útil remanescente do elemento em análise. Os modelos permitem, ainda, avaliar os custos ambientais e económicos associados relacionados com o seu ciclo-de-vida, otimizando a adoção de planos eficazes de manutenção (Souza *et al.*, 2018). Estes modelos assentam numa

metodologia de diagnóstico dos mecanismos de degradação, desenvolvidos em função dos agentes exteriores que influenciam os elementos, através das anomalias mais relevantes e na avaliação das suas causas (Brito *et al.*, 2002).

Contudo, estes modelos não são de simples aplicação, e o desconhecimento do comportamento dos materiais, face às condições a que vão estar sujeitos, requer o desenvolvimento de métodos capazes de avaliar o desempenho de materiais ao longo da sua vida útil. O desenvolvimento de métodos eficazes de avaliação da previsão de vida útil, de componentes ou de materiais, é relevante para alcançar uma base de apoio à conceção de padrões úteis que considerem os níveis específicos de durabilidade de materiais (Lacasse *et al.*, 2003). A investigação relacionada com o estabelecimento de modelos fidedignos e abrangentes, realizada no contexto nacional e internacional, tem vindo a produzir documentos técnicos e normativos de apoio ao planeamento da vida útil dos edifícios. A metodologia de previsão da vida útil dos componentes da construção, baseado na aplicação de modelos matemáticos, deve ser integrada pelos técnicos projetistas como um critério de projeto (Matos, 2007).

4.3. Previsão da vida útil

A consciencialização da relevância da durabilidade dos edifícios para uma construção mais sustentável conduziu ao estabelecimento de diversas metodologias para o cálculo da previsão da vida útil de um edifício. Segundo Moser e Hovde (2004) podem ser considerados os métodos de previsão: determinísticos, probabilísticos (ou estocásticos) e de engenharia (Hovde *et al.*, 2004).

4.3.1. Métodos determinísticos

Os métodos determinísticos baseiam-se na análise dos fatores e dos mecanismos que afetam a degradação dos elementos construtivos, sob as condições normais de utilização, permitindo quantificar o nível de degradação verificado (Silva *et al.*, 2013). A metodologia considera a atribuição de pesos específicos de ponderação, a cada um dos fatores, os quais são aplicados em função da variável degradação, permitindo determinar a influência de cada mecanismo ao longo do tempo até se atingir o valor mínimo aceitável de desempenho (Gaspar, 2002). Este procedimento, apresenta significativas vantagens, relacionadas com a elevada capacidade de operacionalidade, a sua fácil implementação em projetos reais e o facto de evitar a redundância de informação (Gaspar, 2002), (Marques, 2016).

Nesta metodologia são utilizados valores absolutos indicativos, relacionados com o limite esperado para a vida útil do elemento em análise, não considerando a dispersão de resultados. Adicionalmente, as pequenas variações na quantificação dos fatores de durabilidade, podem originar um intervalo relativamente alargado de valores da vida útil do componente, o que frequentemente é apontado como uma desvantagem, assim como a simplicidade e subjetividade com que são abordados os fenómenos de degradação (Silva *et al.*, 2009).

Este conceito está na base do **método fatorial**, uma aproximação simplificada de apoio à previsão da vida útil dos componentes da construção. Esta metodologia foi, inicialmente, referida

no documento normativo, proposto pela Ordem dos Arquitetos Japoneses, *Principal Guide for Service Life Planning of Buildings*, e que serviu de base para o desenvolvimento da norma ISO 15686-1 (Hovde et al., 2004). O objetivo principal do método consiste na obtenção de um valor para a vida útil estimada (VUE), para os elementos da construção, através do produto do valor da vida útil de referência (VUR), sob condições padrão, por sete fatores determinísticos:

$$VUE = VUR \times \text{fator A} \times \text{fator B} \times \text{fator C} \times \text{fator D} \times \text{fator E} \times \text{fator F} \times \text{fator G}$$

Em que:

- Fator A – Qualidade do material
- Fator B – Nível de qualidade do projeto
- Fator C – Nível de qualidade da execução
- Fator D – Características do ambiente interior
- Fator E – Características do ambiente exterior
- Fator F – Características do uso
- Fator G – Nível de manutenção

A norma (ISO 15685-1, 2000), define a vida útil de referência como a “vida útil que um edifício ou partes de um edifício espera (ou se prevê que tenha) num determinado conjunto de referência de condições de uso”.

Contudo, estas condições de referência nem sempre coincidem com as condições em serviço e, portanto, é importante verificar se o valor VUR garante fiabilidade e se admite um nível de pormenor adequado (Santos, 2010). A normativa ISO sugere uma metodologia rigorosa para a previsão de vida útil de referência, a qual se apresenta esquematizada na Figura 4.2.

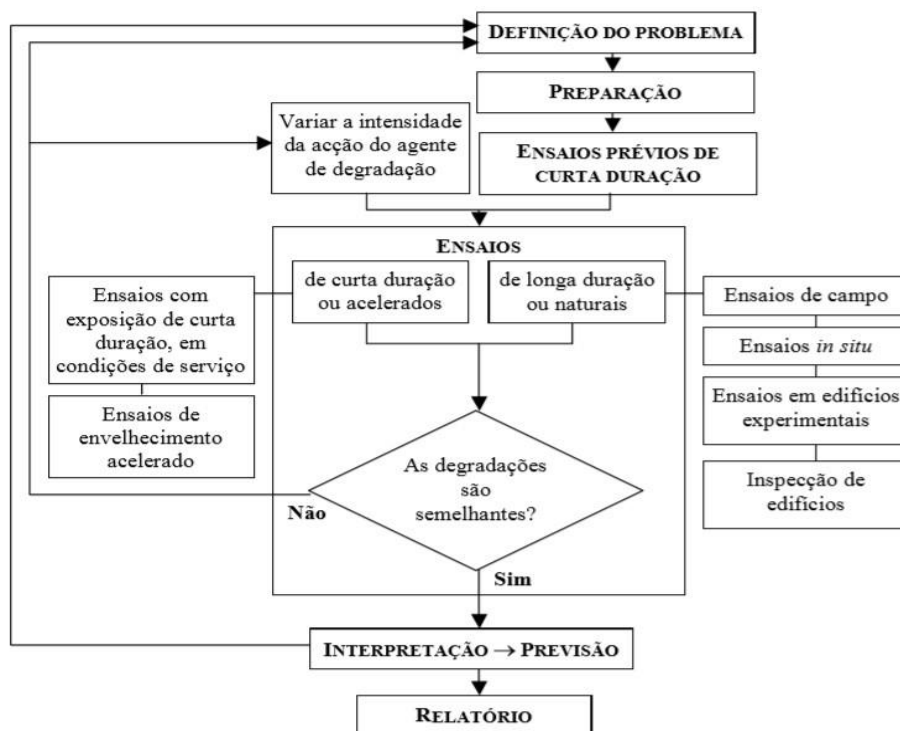


Figura 4.2 – Metodologia para previsão da vida útil de referência dos componentes de construção, adaptado de (ISO 15685-1, 2000).

Adicionalmente, a determinação do valor da VUR é influenciada pela origem da informação, dados fornecidos pelo fabricante, documentação homologada ou bibliografia temática e, ainda, pela recolha de informação verificada em casos semelhantes e sob idênticas condições de utilização.

Os dados recolhidos devem ser registados, para que se avalie a robustez do valor estimado, pois a confiança no valor obtido é importante para o desenvolvimento de uma calibração adequada dos fatores envolvidos, e de forma a contabilizar um suficiente volume de dados, para uma correta determinação da VUR, por forma a evitar uma redundância de informação. A atribuição de valores a cada um dos fatores determinísticos deve seguir a norma ISO 15686, considerando o desvio das características do elemento em análise em relação às condições de referência, as quais estão listadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Valores de desvio em relação à condição de referência

Valor	Desvio em relação à condição de referência
0,8	Influência negativa
1,0	Sem influência
1,2	Influência positiva

A referida norma sugere que os fatores determinísticos devem apresentar valores compreendidos entre 0.8 e 1.2: o valor unitário é atribuído quando o fator não tem peso para o elemento em estudo; um valor superior corresponde a um acréscimo da VUE; um valor inferior é traduzido num decréscimo da vida útil estimada. Os distintos fatores compreendem a informação listada:

- **Fator A:** representa a **qualidade do material** ou componente da construção nas condições em que é apresentado em obra, estando sujeito à forma como foi fabricado, às suas características e à sua conformidade em relação às normas técnicas que referem as necessidades funcionais e ambientais do edifício;
- **Fator B:** representa o nível **de qualidade do projeto** de acordo com a sua implementação no edifício, devendo refletir a forma como o projeto fornece a cada componente a proteção adicional contra os agentes de degradação;
- **Fator C:** representa o **nível de qualidade de execução** e está relacionado com o processo de execução dos trabalhos em obra, no que respeita à conformidade com as condições construtivas idealizadas, bem como o grau de fiscalização existente em obra;
- **Fator D:** representa as **características do ambiente interior**, nomeadamente, a exposição a agentes de degradação e o respetivo grau de severidade, o tipo de uso do edifício e a localização do elemento relativamente a locais relevantes como a proximidade a locais húmidos (casa-de-banho e cozinha);
- **Fator E:** representa as **características do ambiente exterior** englobando os fatores relativos à exposição solar, ao vento, à humidade, entre outros agentes de degradação onde a sua combinação pode ter um efeito crítico;

- **Fator F:** representa as **características do uso** e reflete o efeito de utilização do edifício, nomeadamente, o tipo de uso do espaço onde o componente se encontra localizado;
- **Fator G:** representa o **nível de manutenção** e, mesmo que esta previsão seja efetuada com base no planeamento de manutenção estabelecido, é necessário verificar a sua adequabilidade para o edifício em análise, nomeadamente, a acessibilidade do elemento ou a necessidade de equipamentos especiais. A experiência do técnico especialista relativamente à atividade de manutenção deve também ser considerada.

O método fatorial fornece, apenas, uma estimativa empírica com base nas informações disponíveis, mas constitui uma forma expedita de reunir a influência de cada uma das variáveis que podem afetar a vida útil do elemento. Contudo, o método pode ser aplicado para efetuar uma avaliação sistemática, mesmo quando as condições de referência não correspondem à totalidade das condições de uso previstas e permite, ainda, a incorporação, em qualquer fase do processo, de informação adicional para complementar a previsão da vida útil (Magos, 2015).

No presente trabalho foram consultadas as referências bibliográficas de Raposo (2009), de Lopes (2009), e de Matos (2007), onde são descritos três casos de aplicação do **método fatorial** segundo as diretrizes da norma ISO 15686-1. Em cada caso é apresentada uma matriz de durabilidade, desenvolvida por cada autor listada em tabelas, contendo os fatores aplicáveis a um conjunto de elementos construtivos. Assim, cada tabela analisa um tipo de componente: Tabela 4.2, revestimentos aplicados em coberturas planas; Tabela 4.3, revestimentos cerâmicos aderentes em fachadas; Tabela 4.4, revestimentos de fachadas ventiladas. As tabelas são compostas pela descrição dos fatores e respetivo índice, de forma a poderem ser aplicadas como variáveis do método fatorial com o intuito de estimar a vida útil de cada elemento. Estas tabelas serviram de base ao desenvolvimento prático desta dissertação, tendo sido possível estimar a vida útil para os elementos selecionados em cada caso de estudo e desenvolver um plano de manutenção com base nos valores de VUE obtidos.

- Raposo (2009) apresenta uma metodologia de previsão de vida útil aplicada aos **revestimentos de coberturas planas**. Neste contexto, o autor estudou diversos tipos de revestimento: membrana de impermeabilização pré-fabricada não-tradicional (betume polímero, termoplástica e elastomérica); ladrilho cerâmico e hidráulico; lajetas pré-fabricadas de betão. O trabalho descreve o processo de levantamento efetuado e a caracterização das patologias mais frequentes, verificadas em cada tipo de elemento, e a identificação dos agentes de degradação. Com base na recolha de dados, definiu os fatores modificadores relativos à durabilidade dos materiais e a sua influência sobre os revestimentos de coberturas planas, segundo as diretrizes da norma ISO 15686-1, e que se listam na Tabela 4.2. No estudo, o método fatorial é aplicado na estimativa da vida útil de uma membrana de betume polímero APP auto-protegida com granulado mineral em três zonas distintas do país. A vida útil de referência (VUR) considerada para este elemento foi de 10 anos e para o cálculo da vida útil estimada (VUE), foi utilizada como referência a matriz de durabilidade apresentada na Tabela 4.2, apenas os dados

relativos a membranas de impermeabilização. Assim, embora o trabalho de base englobe os parâmetros A3, A5 a A11, B2, B3, B6, B8 A B10, E1 e E2, estes são de aplicação no conjunto dos outros tipos de revestimento estudados pelo autor.

Tabela 4.2 – Matriz de Durabilidade aplicada a membranas de impermeabilização (Raposo, 2009)

Fator Modificador		Descrição do fator modificador	Índice aplicável	
Fator A	A1	Declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade		
		Com declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	1,2	
		Com declaração de conformidade CE ou Certificado de Qualidade	1,0	
	A2	Características do isolamento térmico da cobertura		
		Com classificação ISOLE superior à recomendada para o tipo de cobertura	1,2	
		Com a classificação ISOLE recomendada para o tipo de cobertura	1,0	
	A4	Tipo de armadura da membrana betuminosa		
		Feltro de poliéster de 250 g/m2 ou armada com feltros de poliéster e fibra de vidro	1,2	
		Com feltro de poliéster de, pelo menos, 150 g/m2	1,0	
	Fator B	B1	Qualidade e nível de pormenorização construtiva do projeto	
Soluções adequadas e pormenorização cuidada			1,2	
Soluções adequadas e pormenorização geral			1,0	
Soluções inadequadas ou deficiente pormenorização			0,8	
B4		Caminhos de circulação		
		Caminhos de circulação que permitem o acesso a todos os pontos de inspeção	1,2	
		Caminhos de circulação que permitem o acesso aos pontos de inspeção principais	1,0	
B5		Juntas de sobreposição das membranas		
		Largura das juntas superior à recomendada para a membrana	1,2	
		Largura das juntas igual à recomendada para a membrana	1,0	
B7		Juntas de dilatação		
		Juntas de dilatação sobrelevadas e com interrupção da membrana	1,2	
		Juntas de dilatação ao nível da superfície da cobertura e com interrupção da camada de proteção rígida e/ou da membrana	1,0	
Fator C		C1	Qualificação da mão de obra	
			Mão-de-obra qualificada e experiente	1,2
	Mão-de-obra qualificada		1,0	
	C2	Regularidade da Fiscalização em obra		
		Fiscalização permanente	1,2	
		Fiscalização pontual	1,0	
Fator D		Não aplicável		
Fator E	E3	Ação da temperatura em membranas aparentes		
		Membranas localizadas na zona V1 ou V2, com valores de α_s entre 0,2 e 0,3	1,2	
		Membranas sujeitas às restantes situações	1,0	
	E4	Zonas de precipitação		
		Edifícios localizados na zona P1	1,2	
		Edifícios localizados na zona P2	1,0	
	E5	Localização da cobertura face às ações do vento		
		Pressão dinâmica do vento: $w \leq 1000$ Pa	1,2	
		Pressão dinâmica do vento: $1000 < w \leq 1300$ Pa	1,0	
	E6	Estanquidade ao ar da estrutura resistente		
		Cobertura com proteção pesada	1,2	

		Cobertura com estrutura resistente em betão armado, sem proteção pesada	1,0	
		Cobertura com estrutura resistente em chapas metálicas nervuradas ou pranchas de madeira, sem proteção pesada	0,8	
	E7	Altura das platibandas		
		Cobertura com platibandas de altura superior a 1 m	1,2	
		Cobertura com platibandas de altura entre 0,5 e 1 m	1,0	
		Cobertura sem platibanda ou com platibanda de altura inferior a 0,5 m	0,8	
	E8	Características da atmosfera		
		Atmosfera E1*, E2*, E1+E4 ou E2+E4	1,2	
		Atmosfera E3*, E3+E4, E1+E5 ou E2+E5	1,0	
		Atmosfera E3+E5, E1+E6, E7, E8 ou E9	0,8	
Fator F		Não aplicável		
Fator G	G1	Frequência da manutenção		
		Realização de inspeções e limpeza anuais, medidas corretivas quando necessário	1,2	
		Realização das operações de manutenção com periodicidade entre um e dois anos	1,0	
		Ausência de manutenção ou realização de apenas algumas operações de manutenção ou, com periodicidade superior a 2 anos	0,8	

- Lopes (2009) desenvolveu uma metodologia de previsão de vida útil para os **revestimentos cerâmicos** aderentes em fachadas. Como base do estudo, foram analisados inicialmente as patologias e identificadas as prováveis causas de degradação, relacionadas com todos os componentes do sistema de revestimentos cerâmicos (ladrilhos, produtos de colagem e tipos de suporte). Como resultado, foram estabelecidos os valores dos fatores modificadores apresentados na Tabela 4.3, definidos com base na metodologia da norma consultada. O método fatorial foi utilizado para obter a estimativa da vida útil de dois tipos de ladrilhos cerâmicos, em relação a duas zonas distintas do país, tendo como referência a matriz de durabilidade da tabela. A vida útil de referência adotada para o revestimento cerâmico aderente foi de 35 anos.

Tabela 4.3 – Matriz de Durabilidade aplicada a Revestimentos Cerâmicos aderentes (Lopes, 2009).

Fator Modificador		Descrição do fator modificador	Índice aplicável
Fator A	A1	Classificação do fornecimento dos revestimentos cerâmicos	
		Com declaração de conformidade CE e com Certificado de Qualidade	1,2
		Declaração de conformidade CE ou Certificado de Qualidade	1,0
		Sem declaração de conformidade CE e sem Certificação	0,8
	A2	Determinação da qualidade dos revestimentos cerâmicos	
		Absorção de água $E \leq 0.5\%$	1,2
		$0,5\% < E \leq 3\%$	1,0
		$E > 3\%$	0,8
	A3	Características do produto de colagem	
		Utilização de produtos de colagem homologados com elevada qualidade	1,2
		Utilização de produtos de colagem homologados	1,0
		Utilização de produtos de colagem não homologados	0,8
	A4	Características do produto de colagem (cimento-cola)	
		(se altura da fachada: $H \leq 6m$) C2S	1,2
		(se altura da fachada: $H \leq 6m$) C2	1,0
		(se altura da fachada: $6m < H \leq 28m$) Cimento-cola bicomponente	1,2
		(se altura da fachada: $6m < H \leq 28m$) C2S	1,0
Classe Inferior		0,8	
Fator B	B1	Qualidade geral do projeto	

		Proj. execução e desenhos de pormenores construtivos do sistema de revestimento e especificação de todos os produtos a aplicar, incluindo pontos singulares	1,2	
		Com projeto de execução	1,0	
		Sem projeto de execução	0,8	
	B2	Características do suporte		
		Suporte com acabamento cuidado, novo em ótimas condições de estabilidade, limpeza, regularidade, humidade, aderência, com desvio de planeza inferior a 6mm e sem fissuras	1,2	
		Suporte com acabamento corrente, estável, limpo de poeiras, seco no momento de aplicação do sistema, boa aderência, com desvio de planeza inferior a 6mm e sem fissuras	1,0	
		Suporte instável, fraca aderência, desvio de planeza superior a 6mm ou fissuras	0,8	
Fator C	C1	Mão de obra		
		Mão de obra especializada e experiente	1,2	
		Mão de obra experiente	1,0	
			Mão de obra não qualificada	0,8
	C2	Direção técnica da obra e fiscalização		
		Existência de técnico qualificado na direção da obra com visitas regulares. Existência de controlo regular de qualidade e de fiscalização independente	1,2	
		Existência de técnico qualificado na direção da obra com visitas pontuais. Existência de controlo pontual de qualidade e de fiscalização	1,0	
			Inexistência de técnico qualificado na direção da obra e de fiscalização	0,8
	C3	Condições atmosféricas		
		Bom tempo e temperaturas amenas. Proteção da fachada a revestir com toldos para evitar a exposição à luz direta do sol	1,2	
		Temperaturas acima dos 5 °C; se houver períodos de chuva ou sol, existe proteção dos trabalhos com toldos nos andaimes	1,0	
			Períodos de chuva; temperaturas inferiores a 5 °C ou superiores a 30°C; superfícies expostas ao sol no Verão ou sujeitas a ventos fortes	0,8
Fator D		Não aplicável		
Fator E	E1	Ação combinada vento/precipitação		
		(definida pela orientação da fachada) Restantes Quadrantes	1,2	
			(definida pela orientação da fachada) Quadrante Sul	0,8
	E2	Ação da radiação solar		
		Sistema parcialmente abrigado da exposição solar (palas, etc.)	1,2	
		Temperaturas superficiais do suporte baixas	1,0	
			Sistema exposto ao sol	0,8
			Temperatura superficial do suporte elevada	0,8
	E3	Ação da radiação solar (coeficiente de absorção)		
		Coeficiente de absorção de radiação solar, α inferior a 0,3 (em função da cor do ladrilho, cor branca)	1,2	
		Coeficiente, α entre 0,3 e 0,7	1,0	
			Coeficiente, α superior a 0,7 (cores escuras)	0,8
	E4	Ação da radiação solar (incidência da radiação)		
		Incidência da radiação solar IRS inferior a 140 Kcal/cm ²	1,2	
		IRS entre 140 Kcal/cm ² e 150 Kcal/cm ²	1,0	
			IRS superior a 150 Kcal/cm ²	0,8
	E5	Ação combinada temperatura/geada		
		Absorção de água, E, dos ladrilhos $E \leq 0.5\%$	1,2	
$0,5\% < E \leq 3\%$		1,0		
		$E > 3\%$	0,8	
E6	Ação combinada temperatura/geada			
	(Nº médio anual de dias com geadas) menos de 25 dias	1,2		
	Entre 25 e 50 dias	1,0		
		Mais de 50 dias	0,8	
Fator F	F1	Condições e tipo de uso		
		Sistema em locais não acessíveis ou locais com uso restrito	1,2	
		Sistema em locais com uso público ou privado, protegidos de atos de vandalismo	1,0	
		Locais com usos excecionalmente agressivos, potencialmente alvos a atos de vandalismo	0,8	
F at	G1	Tipo e frequência de manutenção		

		Operações regulares de manutenção preventiva, reparações e limpeza geral em cada 5 anos	1,2	
		Manutenção corretiva ou reativa com reparações em cada 10 anos	1,0	
		Ausência de manutenção	0,8	
	G2	Acessibilidade para manutenção		
		Edifícios até 2 pisos	1,2	
		Edifícios facilmente inspecionados a partir do exterior	1,0	
		Edifícios com mais de 2 pisos, com uma configuração ou implantação que dificulte uma simples inspeção visual	0,8	

- Matos (2007), tendo como objetivo integrar a durabilidade como critério de projeto, adaptou a metodologia fatorial para o planeamento da vida útil dos edifícios e dos produtos da construção, seguindo igualmente a normativa, adaptada ao contexto nacional. O estudo descreve o procedimento seguido na estimativa de vida útil de determinados elementos da construção, sujeitos a condições específicas. A matriz de durabilidade desenvolvida, representada na Tabela 4.4, ilustra os fatores modificadores para a aplicabilidade do método fatorial no contexto de **revestimentos de fachadas ventiladas** nomeadamente, placas de fibrocimento e madeira modificada, em relação a duas zonas do país. Para as placas de fibrocimento foi adotada uma vida útil de referência 30 anos.

Tabela 4.4 – Matriz de Durabilidade aplicada a Revestimentos de Fachadas Ventiladas (Matos, 2007)

Fator	Descrição do fator modificador		Índice aplicável									
Fator A	Classificação segundo o fornecimento do produto											
	Com declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade		1,2									
	Com declaração de conformidade CE emitida pelo fabricante ou com Certificado de Qualidade		1,0									
	Sem declaração de conformidade CE e sem Certificação		0,8									
Fator B	Níveis de qualidade do projeto											
	Projeto de acordo com D.L. 555/99 e Portaria 1110/2001 incluindo no Projeto de Execução os Desenhos à escala adequada ao trabalho a executar em obra, a definição de todos os produtos a aplicar, bem como, Caderno de Encargos e respetivas Especificações Técnicas		1,2									
	Projeto de acordo com D.L. 555/99 e Portaria 1110/2001 incluindo no Projeto de Execução memória descritiva com descrição sistemática das principais soluções construtivas adotadas		1,0									
	Projeto sem cumprimento do artigo 80º do D.L. 555/99		0,8									
Fator C	Mão de obra e Fiscalização											
	Mão de obra qualificada e Fiscalização regular		1,2									
	Mão de obra qualificada e Fiscalização pontual ou ausente		1,0									
	Mão de obra não qualificada e Fiscalização regular		1,0									
	Mão de obra não qualificada e Fiscalização pontual ou ausente		0,8									
Fator D	Não aplicável											
Fator E	Zona Climática de Inverno	Precipitação	Atmosfera			Zona Climática de Verão						
						V1		V2		V3		
		I1	E1*, E1+E4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,2	1,0	1,0
			E2*, E2+E4	1,2	1,2	1,0	1,2	1,0	1,0	1,2	1,0	0,8
			E3*, E3+E4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8
			E1+E5, E2+E5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
			E3+E5, E1+E6, E7	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8	1,0	0,8	0,8
			E8, E9	1,0	0,8	0,8	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
		I2	E1*, E1+E4	1,2	1,2	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			E2*, E2+E4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8

		I3	E3*, E3+E4	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8		
			E1+E5, E2+E5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8
			E3+E5, E1+E6, E7	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
			E8, E9	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
			E1*, E1+E4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
			E2*, E2+E4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8
			E3*, E3+E4	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
			E1+E5, E2+E5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8
			E3+E5, E1+E6, E7	1,0	0,8	0,8	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
			E8, E9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Fator F	Classificação do produto segundo a sua adequação ao seu uso													
	Possui classificação superior à exigida em todos os níveis										1,2			
	Possui a classificação mínima exigida										1,0			
	Inexistência de classificação de adequação ao uso aplicável ao produto										0,8			
Fator G	Classe de manutenção - e		Classe de reparação - r											
			r1	r2	r3	r4								
	e1		0,8	0,8	0,8	1,0								
	e2		0,8	0,8	1,0	1,2								
	e3		0,8	1,0	1,2	1,2								
	e4		0,8	1,0	1,2	1,2								

4.3.2. Métodos probabilísticos

Os métodos probabilísticos ou estocásticos, abordam a evolução da degradação ao longo do tempo, tendo por base o cálculo probabilístico assente em variáveis aleatórias, com apenas o conhecimento dos parâmetros iniciais (Moser *et al.*, 2002). Este método considera, assim, a incerteza associada ao processo de degradação, partindo do pressuposto que “não existem duas construções que se degradem da mesma forma ao longo do seu ciclo de vida” (Silva *et al.*, 2013).

Da aplicação deste método resultam intervalos de valores com probabilidades de ocorrência associadas, sendo possível obter mais informação à cerca das estimativas efetuadas. Isto possibilita uma mais completa interpretação dos resultados (Chai, 2011). No entanto, o esforço que estes métodos envolvem tornam a sua aplicação bastante complexa, pois requerem uma elevada quantidade de informação para a obtenção de amostras representativas, que nem sempre são possíveis de recolher, devido aos custos envolvidos e ao dispêndio de tempo requerido (Moser *et al.*, 2002). Cecconi (2002) refere que a aplicação destes métodos, em projetos de engenharia reais, é rentável apenas quando o projeto é de volume considerável.

O **modelo de Markov** é um dos métodos probabilísticos mais utilizados. Este processo tem como base o princípio de que um modelo de degradação pode ser definido considerando um determinado número de condições, e que a evolução dos estados de degradação, por unidade de tempo, segue critérios probabilísticos de desempenho (Frangopol *et al.*, 2004). Estes fatores são definidos através de variáveis aleatórias, e estão relacionados com a degradação do sistema, passível de ser classificado por escalões (Ramos, 2016).

4.3.3. Métodos de engenharia

Os métodos de engenharia englobam as vantagens dos métodos determinísticos e probabilísticos (Cecconi, 2004). Este método integra metodologias determinísticas simplificadas e de fácil constituição, pois requer um menor volume de informação, do que o probabilístico, mas,

adicionalmente, permite associar algum nível de variabilidade à previsão da vida útil dos elementos. Desta forma, a aplicação deste método permite obter resultados com uma fiabilidade condicionada às simplificações consideradas em cada caso real (Gaspar, 2002). Os métodos de engenharia mais relevantes são:

- O método **Failure Modes and Effects Analysis** (FMEA) que visa garantir a certificação dos elementos da construção, permitindo listar os agentes e mecanismos de degradação que possam atuar nos elementos, durante a fase de utilização do edifício (Talon *et al.*, 2005);
- O método **Performance Limits Method** (PLM) tem o objetivo de avaliar a durabilidade dos componentes do edifício por simulação da sua performance ao longo do tempo, até atingir o seu limite físico ou de desempenho aceitável (Daniotti *et al.*, 2008).

No modelo de engenharia pode ainda ser incluída a aproximação probabilística do método fatorial, em que a quantificação dos fatores de durabilidade é avaliada com base em funções de densidade de probabilidade, em detrimento de valores absolutos (Moser *et al.*, 2002).

5. Programação visual em Dynamo

O presente capítulo descreve detalhadamente os programas desenvolvidos, *scripts*, e a sua aplicação, relativos à determinação de uma estimativa da previsão da vida útil de componentes da construção, com o objetivo de apoiar a atividade de planeamento de ações de manutenção. A avaliação da sua eficiência é efetuada por análise de resultados obtidos sobre distintos componentes de um caso de estudo. O recurso à metodologia BIM é evidente na geração do modelo digital tridimensional (3D) do edifício selecionado, e na aplicação da ferramenta de programação visual *Dynamo*, integrada no sistema de modelação de base BIM utilizada, o *Revit*.

A aplicação a desenvolver no *Dynamo* utiliza as matrizes de durabilidade (Tabela 4.2, Tabela 4.3 e Tabela 4.4) apresentadas respetivamente por Raposo (2009), Lopes (2009) e Matos (2007), associadas a elementos construtivos específicos. Com base nestes dados e por aplicação do método fatorial, é estimada a vida útil dos elementos selecionados, representados no modelo BIM e sujeitos a diverso tipo de condições com influência no processo de deterioração, ao longo da vida útil do edifício. Assim, foi possível efetuar previsões assertivas quanto à durabilidade dos elementos e, ainda, efetuar um estudo de viabilidade de aplicação de soluções construtivas em detrimento de outras, que apresentavam uma relação custo/eficiência menos favorável. O trabalho envolve o desenvolvimento de dois *scripts*, definidos no sistema *Dynamo*:

- o *script* “Estimar Vida Útil” efetua o cálculo da vida útil estimada, baseado no método fatorial, e possibilita a exportação da informação relevante de apoio ao plano de manutenção e do cronograma financeiro, para o aplicativo *Excel*;
- o *script* “Análise VUE” determina uma previsão do estado de degradação dos elementos, para um determinado ano, através de um esquema de cores, com base nos valores do parâmetro VUE, atribuídos pelo *script* anterior.

Os *scripts* desenvolvidos podem ser aplicados em qualquer projeto desenvolvido em ambiente *Revit*. Contudo, são limitados aos elementos construtivos abrangidos pelas matrizes de durabilidade apresentadas. De seguida, são abordados os principais aspetos de programação, considerados na definição dos *scripts* desenvolvidos no *Dynamo*. De forma a avaliar a eficácia da aproximação proposta, é efetuada a sua aplicação sobre um caso de estudo.

5.1. Plataforma Dynamo

São, inicialmente, apresentadas em detalhe as principais técnicas e recursos utilizados para a construção dos *scripts* elaborados no sistema *Dynamo*. O *Dynamo* é uma plataforma *open source* disponível para *download*, considerada como um *plug-in* do *Revit*, nas versões *Revit* 2017 a 2019, e na versão *Revit* 2020 já está incluída no *software*. Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada a versão *Dynamo* 2.0.3. compatível com o *Revit* 2019, acedida no separador *Manage* incluída no painel *Visual Programming*, como mostra a Figura 5.1.

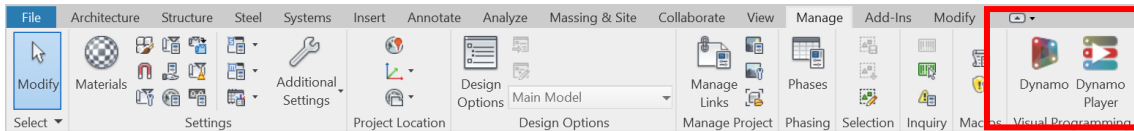


Figura 5.1 – Seleção da opção *Dynamo*, no *Revit*.

O *Dynamo* permite trabalhar num ambiente de programação visual, no qual é possível conectar elementos, nós, para o estabelecimento de relações e definir as sequências de ações que compõem os algoritmos. É possível recorrer a algoritmos para uma ampla variedade de funções, desde o processamento de dados até a geração de geometria [W28].

O manuseamento de informação é elaborado através de nós e ligações no ambiente de trabalho do *Dynamo*. Num *script*, os nós correspondem a uma operação ou tarefa, que poderá corresponder a uma ação simples, como arquivar um número numa lista, ou à criação de uma geometria complexa. De um modo simplificado a estrutura principal de um nó corresponde à apresentada na Figura 5.2. A numeração apresentada na imagem refere: nome do nó com a convenção de nomenclatura *Category.Name* (1); portas de entrada e saída (*input* e *output*) correspondentes a recetores que fornecem os dados de entrada ao nó, assim como os resultados após o processamento do nó (2).

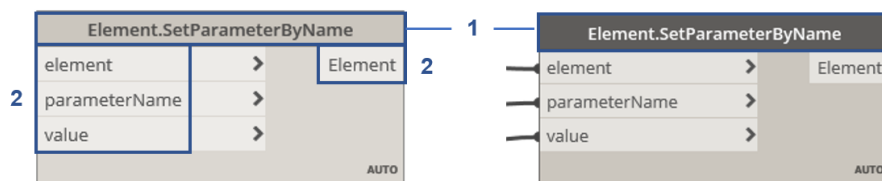


Figura 5.2 – Estrutura generalizada dos nós.

O *Dynamo* disponibiliza uma vasta biblioteca de nós, possibilitando a realização de diversas tarefas de programação visual, permitindo a seleção dos nós necessários para a execução de comandos específicos. O sistema possibilita, ainda, a criação de nós personalizados (*custom nodes*), permitindo simplificar e tornar mais intuitiva a programação de um *script*, e que podem ser reutilizados, no mesmo projeto ou noutros. Um *custom node* é constituído por uma sequência de nós para a realização de uma determinada tarefa. Este tipo de nós pode ser criado na janela inicial do *Dynamo*, no ficheiro *Custom Node*, ou posteriormente, durante o desenvolvimento do *script*. A Figura 5.3 ilustra o ambiente organizado de trabalho do *Dynamo*, sendo: menus (1); barra de ferramentas (2); biblioteca de nós (3); biblioteca de nós customizados e packages instalados (4); barra de execução dos *scripts* (5); barra descritiva de comandos (6).

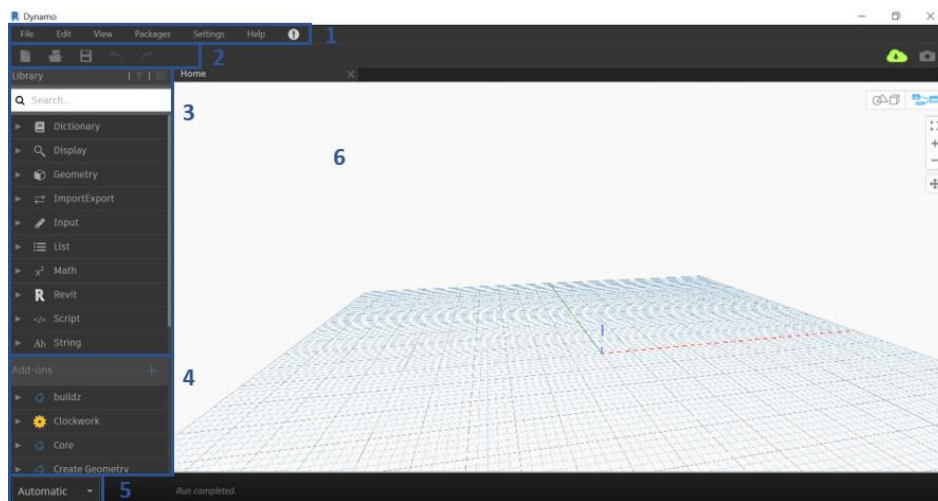


Figura 5.3 – Ambiente de trabalho do *Dynamo*.

Adicionalmente, é possível fazer *download* de *packages* (conjunto de nós personalizados) que complementam as funcionalidades principais das bibliotecas *standard* do *Dynamo*. A forma mais fácil de instalar um *package* é através da janela de trabalho do *Dynamo*, devendo ser selecionada a opção *Package*, seguida de *Search for a Package*, surgindo a janela de pesquisa *online*, onde é possível selecionar o *package* necessário e proceder à sua instalação. A Figura 5.4 ilustra a instalação do *package Slingshot! for Dynamo*.

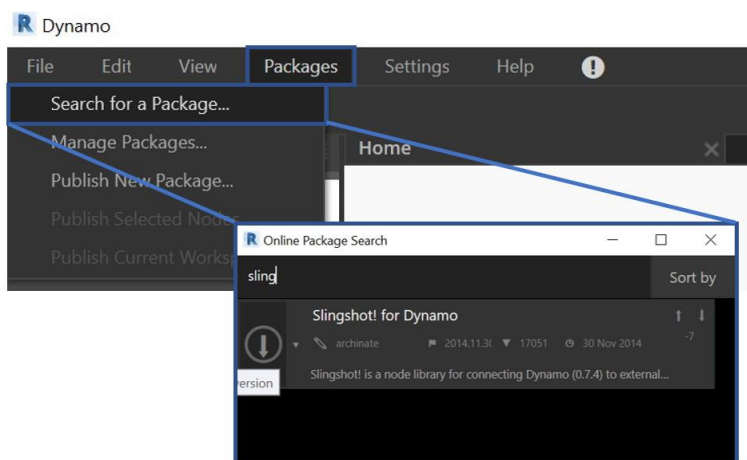


Figura 5.4 – Instalação do *package Slingshot!*

A vantagem de uma programação visual é a de não necessitar de utilizar comandos escritos. O ambiente de trabalho visual é mais intuitivo, mas rapidamente a rede visualizada pode tornar-se complexa, à medida que o *script* é desenvolvido, limitando algumas funcionalidades devido à flexibilidade limitada deste tipo de programação que podem ser contornadas por recurso à sintaxe textual de uma linguagem de programação.

O *Revit* possui uma API (*Application Programming Interface*) construída sobre a *framework.NET* o que significa que podem ser utilizadas as linguagens de programação desenvolvidas pela *Microsoft*, como *C#*, *VB.NET* ou *F#*. Os nós do *Dynamo* utilizam objetos da API do *Revit* para definir os algoritmos e acionar as tarefas relacionadas com cada nó. Assim, o utilizador não

necessita de conhecer a sua sintaxe para desempenhar tarefas complexas no *Dynamo*. Na presente dissertação, foi necessário recorrer à linguagem textual *Python* para obter maior flexibilidade na programação dos *scripts* tendo sido escolhida principalmente por ser de fácil aprendizagem, uma vez que existe muita informação disponível *online*. Apesar de a linguagem *Python* não conseguir comunicar diretamente com a *framework.NET* existe uma implementação de *Python* criada para este propósito, o *IronPython*. Os *scripts* de *Python* em *Dynamo* utilizam esta implementação e assim o utilizador pode facilmente comunicar com a API do *Revit* utilizando sintaxe semelhante à sintaxe utilizada na linguagem *Python*. Desta forma é possível criar nós personalizados que ampliam as funcionalidades do *Dynamo* e permite uma maior flexibilidade na forma como o *script* é desenvolvido. Para tal, é utilizado o nó *Python Script* que apresenta uma interface de escrita inserido em ambiente *Dynamo*. Este nó foi utilizado em muitas fases dos *scripts* desenvolvidos e a sua representação está ilustrada na Figura 5.5. Consoante as variáveis de entrada que se quer relacionar, este nó permite adicionar ou remover várias entradas *IN[#]*, através dos botões “+” e “-”.

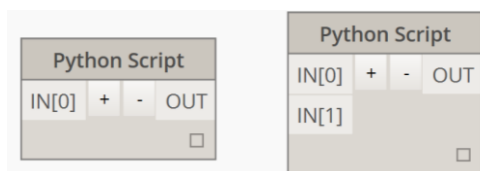


Figura 5.5 – Nó *Python Script*.

5.2. Programação do *script* “Estimar vida útil”

Um *script* é um algoritmo que efetua uma sequência de operações de forma a obter resultados de acordo com os objetivos pretendidos. Como referido o *Dynamo* utiliza uma abordagem de programação visual, que difere da usual sintaxe textual, utilizando uma lógica de encadeamento de nós para a construção de um *script*. A sua elaboração requer a utilização de técnicas de programação, que são de seguida apresentadas de um modo simplificado, sendo a extensão completa dos passos estabelecidos, para ambos os *scripts* desenvolvidos, listadas em anexo.

O *script* “Estimar Vida Útil” foi estabelecido com objetivo de permitir a automatização das seguintes etapas:

- **Recolher** os fatores modificadores e valor de VUR atribuídos a cada elemento no modelo;
- **Calcular** a VUE de acordo com o método fatorial;
- **Atribuir** o valor calculado ao parâmetro do projeto VUE atribuído ao respetivo objeto paramétrico;
- **Exportar**, para o *Excel*, a informação relativa ao material de revestimento do elemento selecionado como outros dados, referentes ao técnico responsável, VUE, área e custos relacionados com as atividades de manutenção dos elementos para servir de apoio ao planeamento da manutenção;

- **Preenchimento** do parâmetro *Excel Manutenção*, que contém a diretoria do ficheiro Excel que serve de base para o plano de manutenção do elemento selecionado.

A rede de programação do *script* “Estimar Vida útil”, representada na Figura 5.6, apresenta vários agrupamentos de nós correspondentes a fases distintas de acordo com a sua função:

- Os grupos de nós a **verde** foram programados para receber os dados selecionados pelo técnico através das interfaces associadas, relacionadas com a informação identificada no organigrama da Figura 5.7;
- Enquanto que os grupos de nós a **azul** foram programados para calcular a vida útil, atribuir o valor calculado ao respetivo parâmetro no modelo, e exportar informação para o Excel, depois de receber os dados selecionados pelo técnico.

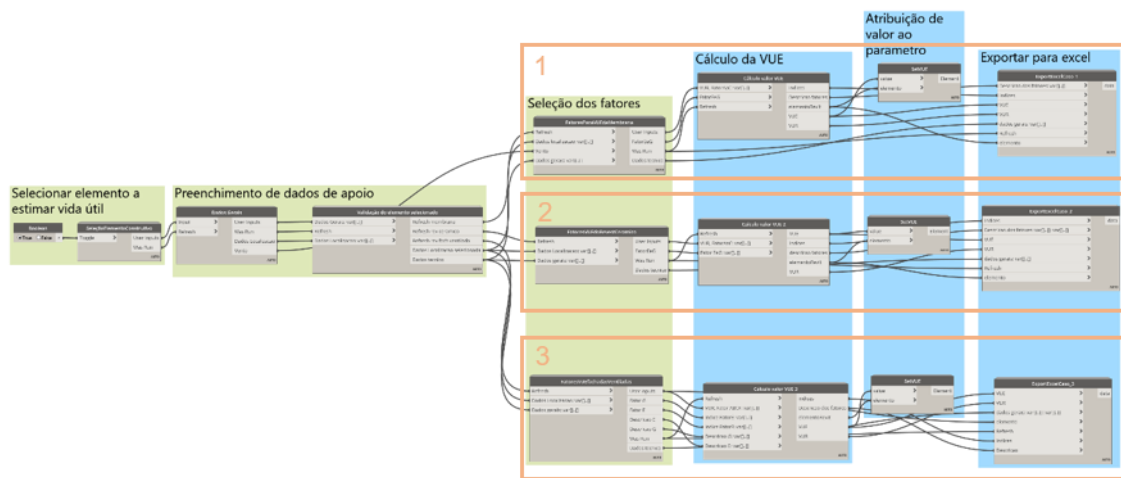


Figura 5.6 – Rede de programação do *script* “Estimar vida útil”.

O fluxo de informação é transmitido da esquerda para a direita, executando cada um dos nós sequencialmente quando recebe informação do nó anterior. Na figura distinguem-se, ainda, três partes do *script* referentes à programação das componentes construtivas selecionadas: membrana de impermeabilização (1); revestimento cerâmico aderente (2); revestimentos de fachadas ventiladas (3). A programação inserida em cada um dos nós (*custom nodes*) apresentados na Figura 5.6 pode ser consultada no Anexo 1.

A Figura 5.7 ilustra o organigrama onde se representam as interfaces programadas para recolha de informação no *script* “Estimar Vida Útil”:

- Cada retângulo azul representa uma interface programada pelo *script*; sob cada retângulo está listado o **tipo de informação inserida** em cada interface que devem ser selecionadas pelo utilizador;
- O **resultado** da seleção dos campos destacados a amarelo depende de informação tabelada em base de dados.

Através da primeira interface é selecionado o elemento em relação ao qual se pretende estimar a sua vida útil. Consoante o elemento escolhido, membrana de impermeabilização, revestimento cerâmicos ou fachada ventilada, é efetuado o reencaminhamento para a respetiva interface, permitindo a introdução de dados requeridos na estimativa da vida útil desse tipo de elemento.

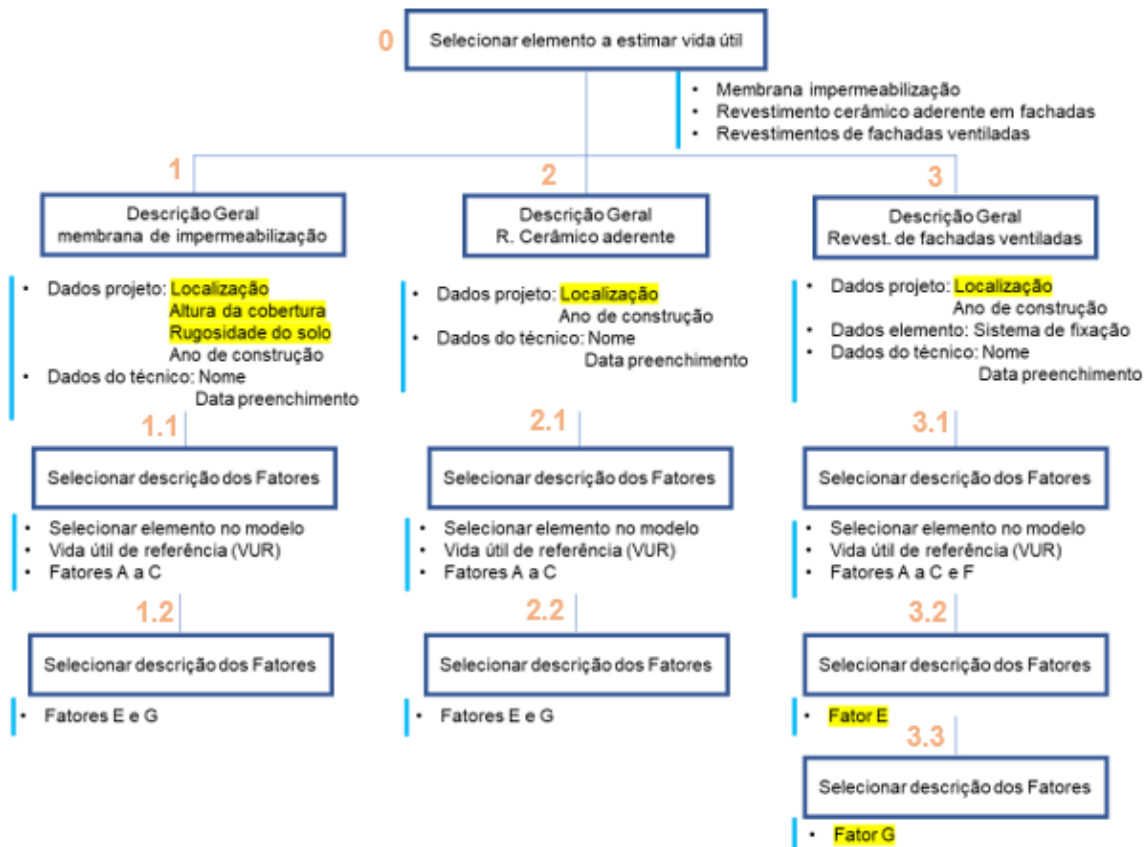


Figura 5.7 - Organigrama das interfaces programadas no *script* “Estimar vida útil”.

Os retângulos do organigrama foram numerados para que se torne fácil a sua identificação ao longo dos próximos itens, onde se procede à descrição de cada módulo do *script*. A gestão dos dados realçados a amarelo na imagem é descrita no Item 5.2.2.

5.2.1. Programação das interfaces

Para o desenvolvimento do *script* “Estimar vida útil” foi efetuada a instalação do *package Data/Shapes*, que permite recolher vários tipos de *user inputs* consoante o tipo de dados a introduzir. Este *package* é bastante flexível, permitindo um fácil controlo relativo ao tipo e ordem dos dados de *inputs* a considerar. Deste *package* fazem parte, entre outros, os nós *UI.MultipleInputForm* e *UI.MultipleInputForm++*, utilizados no desenvolvimento das interfaces deste *script*, que como referido, correspondem aos nós utilizados nos grupos representados a verde na Figura 5.6. Os nós referidos encontram-se inseridos na programação de cada um dos nós representados, através de *custom nodes* ilustrados detalhadamente no Anexo 1. Neste subcapítulo são apenas ilustradas algumas destas interfaces, em conjunto com o algoritmo que as definem, uma vez que na sua programação apenas altera o tipo de informação introduzida em cada nó.

O nó *UI.MultipleInputForm* permite o desenvolvimento de interfaces, como a representada na Figura 5.8, que diz respeito ao retângulo 3.1 da Figura 5.7, tendo sido programada de forma a permitir que o técnico selecione os elementos correspondentes no modelo, introduzir a VUR e

escolher, dentro da lista das descrições de cada fator (A, B, C e F), a que se enquadra a cada elemento.

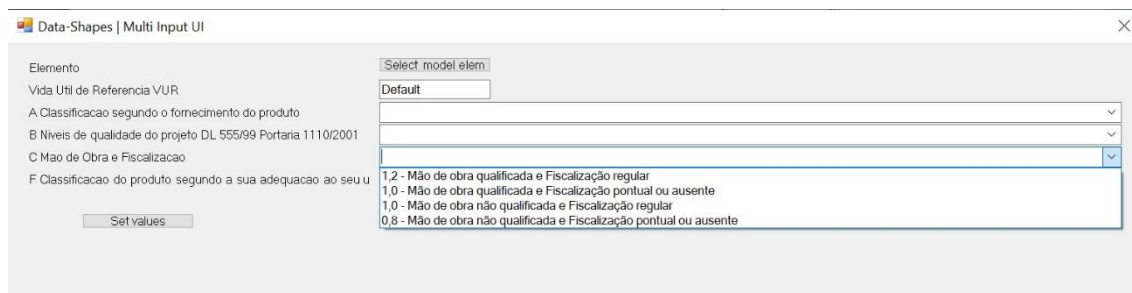


Figura 5.8 – Interface correspondente ao retângulo 3.1 da Figura 5.7.

A Figura 5.9 ilustra a utilização deste tipo de nó na construção da interface da Figura 5.8, com recurso ao nó *UI.MultipleInputForm*. Na imagem pode ser observado o nó *Code Block*, disponível na biblioteca *standard* do *Dynamo*, responsável pela inserção de vários tipos de dados. A ligação a cada entrada no nó principal é feita através de listas. Devido ao elevado volume de informação a apresentar nas interfaces optou-se por utilizar o nó *Python Script* para a criação das listas, simplificando a programação na interface do *Dynamo*.

No *Python Script* apresentado na Figura 5.9, foi introduzida a informação referente aos fatores (A, B, C e F) da matriz da Tabela 4.4, e criadas duas listas agrupadas (*nested list*), uma com o *Nome_dos_Parametros* e outra com os *Valores_Final* onde estão guardados os tipos de *input* pela ordem correspondente ao respetivo nome do parâmetro tendo sido utilizados os 3 tipos de *inputs* salientados na Tabela 5.1: *string*, *combo box* para listar as opções de seleção para cada fator e *revit element selection* que permite a seleção do elemento no modelo. Este nó recebe as seguintes entradas: nome a atribuir aos Inputs no ecrã de seleção (*InputNames*); especificados na Tabela 5.1 com a respetiva codificação (*InputTypes*); Input do tipo *True* ou *False* (*Refresh*).

Tabela 5.1 – Tipo de *input* com a respetiva codificação.

Codification	Input Type
"s"	string input
"bool"	boolean input
"fp"	file path input
"dp"	directory path input
{list}	combo box input
"se"	revit element selection input
"sf"	revit face selection input
"sed"	revit edge selection input

O conjunto de nós apresentados na Figura 5.9 foram também utilizados para a construção das interfaces correspondentes aos retângulos 1.1, 2.1 e 3.1 de forma análoga à ilustrada, variando apenas a informação colocada no *Python Script*.

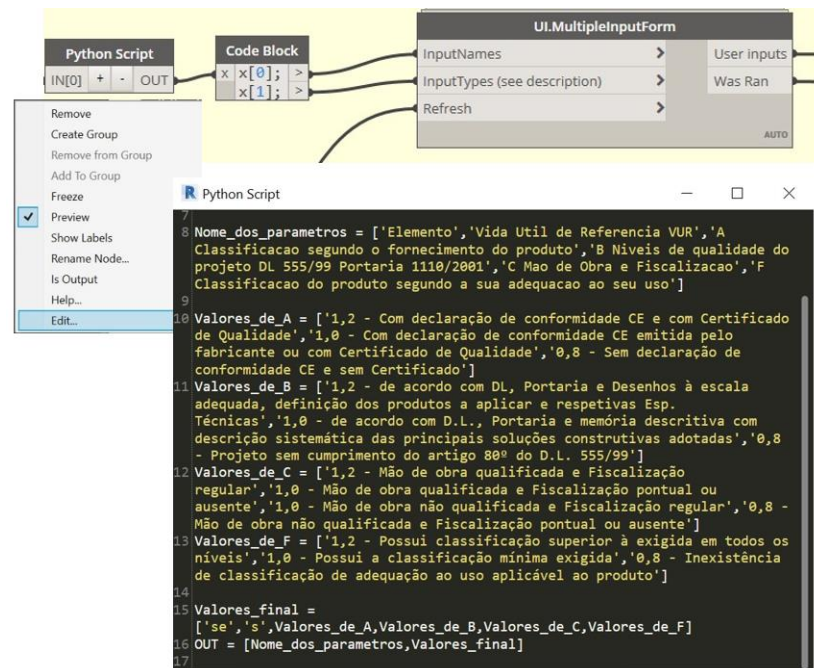


Figura 5.9 – Programação da interface da Figura 5.8.

O nó **UI.MultipleInputForm ++** possibilita a interligação de um número mais elevado de opções ou de comandos, que o anterior nó, tendo sido usado como base para a definição das restantes interfaces correspondentes aos retângulos da Figura 5.7. Este nó apresenta *inputs* opcionais que acrescentam um maior número de funcionalidades à interface. Os tipos de *user inputs* ligados ao nó **UI.MultipleInputForm++** para criar as interfaces deste *script* recorrem a outros nós, também presentes no *package Data/Shapes* adequados aos objetivos da presente dissertação, nomeadamente:

- *UI.RadioButtonsData* - permite fazer uma seleção do elemento a aplicar o método fatorial para a estimativa da vida útil;
- *UI.TextNoteData* – permite inserir notas pré-definidas de apoio ao preenchimento de certos fatores;
- *UI.TextBoxData* - para inserir informação através de escrita;
- *UI.DropDownData* – permite listar as opções possíveis para seleção de cada campo;
- *UI.FilePathData* – para selecionar o ficheiro Excel.

A Figura 5.10 ilustra o conjunto de nós utilizados e a respetiva interface a que dão origem (retângulo 0 da Figura 5.7), com a utilização do nó *UI.RadioButtonsData* como *Input*, para a seleção de um dos três elementos presentes nesta análise.

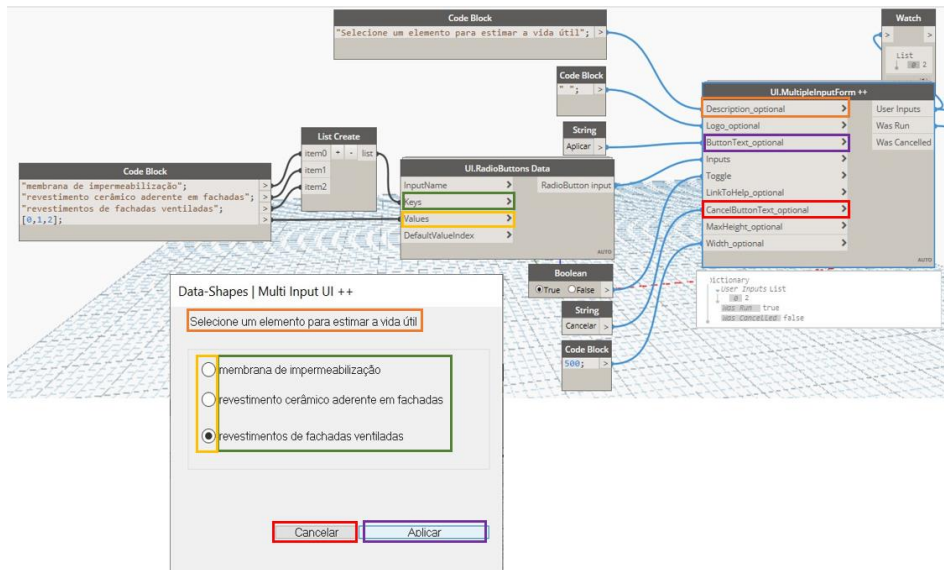


Figura 5.10 – Fluxo da utilização do nó *UI.MultipleInputForm++* e respetiva interface.

A Figura 5.11 ilustra a aplicação deste procedimento referente aos nós auxiliares utilizados como entradas. A ordem pela qual são alocados a uma posição na lista é a ordem pela qual vão aparecer no ecrã quando for corrido o programa. A lista criada é, posteriormente, ligada aos *Inputs* no nó *UI.MultipleInputForm ++*, para retornar a interface apresentada na Figura 5.11. Na imagem é possível visualizar o comando a que cada informação corresponde na respetiva interface, destacado pelos retângulos que apresentam a mesma cor.

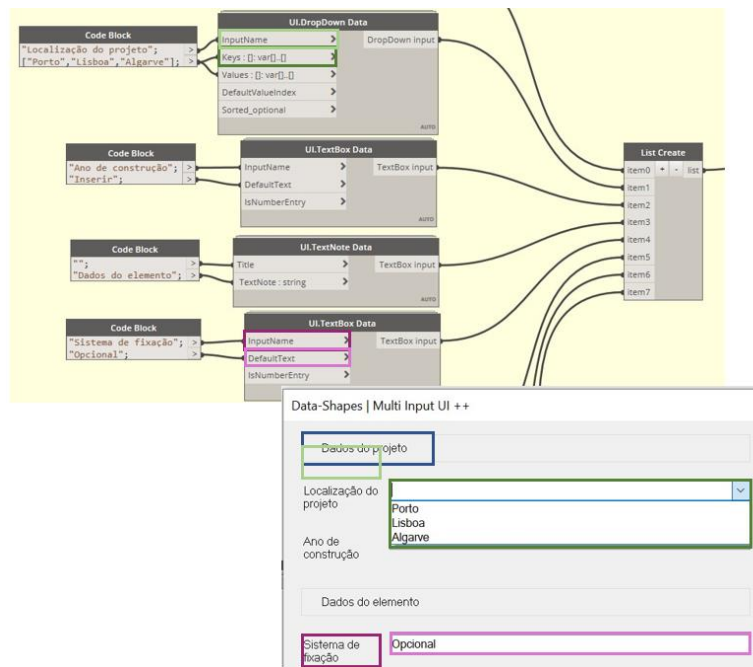


Figura 5.11 – Ilustração da aplicação dos nós auxiliares para a interface 3 (Figura 5.7.)

As restantes interfaces, definidas nos *scripts* criados, recorrem às mesmas técnicas apresentadas neste item, variando na personalização adequada a cada caso. Para além dos nós

abordados, o *package Data/Shapes* possui uma biblioteca extensa de outros nós que pode também ser consultada [W29].

5.2.2. Geração da base de dados

Para facilitar a gestão dos dados realçados a amarelo na Figura 5.7, que servem de apoio às respetivas interfaces, foi necessário recorrer à criação de uma base de dados. Para tal foi utilizada a ferramenta visual, *open source*, *DB Browser for SQLite*. Esta funcionalidade permite o controlo e a manipulação de ficheiros de bases de dados compatíveis com o *SQLite*.

A sequência dos passos para a criação da base de dados no *DB Browser* pode ser observada na Figura 5.12. Para a criação de uma nova base de dados, selecionar “*New Database*”, atribuir uma designação e arquivar em diretoria específica. A criação de uma tabela é definida através da respetiva janela, por preenchimento dos campos de entrada e o tipo de dados solicitados. Cada campo pode ser, posteriormente, editado, eliminado ou podem ser adicionados outros campos.

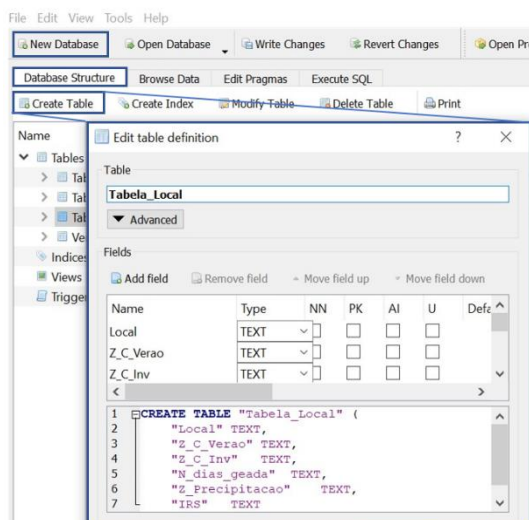


Figura 5.12 – Procedimento para criar uma tabela no *DB Browser for SQLite*.

A Figura 5.13 ilustra o procedimento para a adição de entradas a uma das tabelas criadas. Através do separador *Browse Data* é possível introduzir as novas entradas, para cada tabela criada, ao ser selecionada a opção *New Record* é adicionada uma nova linha à tabela onde é possível preencher manualmente os campos com os dados necessários. Para que os dados fiquem disponíveis para consulta é necessário selecionar *Write Changes*. Para adicionar outra tabela à base de dados, selecionar o separador *Database Structure* e *Create Table* e o procedimento a aplicar é análogo à criação da tabela anterior. Com esta metodologia foram criadas quatro tabelas referentes: à localização do edifício, tabela_”Local”, às características da ação do vento, tabela “Vento”, ao fator E, “Tabela_E”, e ao factor G, “Tabela_G”:

- Na **tabela “Local”** (Figura 5.13) foram inseridas as entradas relativamente aos três locais referidos na pesquisa bibliográfica efetuada, Lisboa, Porto e Algarve. Os campos atribuídos a cada local servem de apoio ao preenchimento do fator E, que representa as

características do ambiente exterior, função da localização do edifício, e as descrições associadas possibilitam que o técnico responsável possa preencher a informação relativa a este fator sem necessitar de consultar informação adicional, reduzindo o tempo despendido no preenchimento dos campos das interfaces. Nesta tabela, os dados relativos às zonas climáticas de verão e inverno foram consultados no Despacho nº15793-F/2013, e os dados relativos ao número médio anual de dias com geada, à zona de precipitação e índice de radiação solar (IRS) foram consultados nos mapas presentes nas dissertações analisadas no capítulo de manutenção. A interface de seleção deste campo, relativa a esta tabela, está representada na Figura 5.11.

Local	Z_C_Verao	Z_C_Inv	N_dias_geada	Z_Precipitacao	IRS
1 Porto	V2	I1	entre 25 e 50 dias com geada/ano	P3	140<IRS<150
2 Lisboa	V2	I1	menos 25 dias com geada/ano	P2	140<IRS<150
3 Algarve	V3	I1	menos 25 dias com geada/ano	P1 ou P2	IRS>150

Figura 5.13 – Adição de entradas à “Tabela_Local” no DB Browser for SQLite.

- A **tabela “Vento”**, representada na Figura 5.14, tem por base os valores retirados do Regulamento de Segurança e Ações para Edifícios e Pontes (RSA) que caracteriza a ação do vento em função do zonamento do território e da rugosidade aerodinâmica do solo. Para efeitos da quantificação da ação do vento, Portugal divide-se em duas zonas, sendo que para esta tabela só se considerou a Zona A, onde está inserida a generalidade do território, exceto os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5km de largura ou a altitudes superiores a 600m, que pertencem à Zona B. A tabela de dados foi relacionada com a matriz de durabilidade da membrana de impermeabilização, pois é a única que considera este parâmetro. A interface de seleção de cada campo, relativa a esta tabela, está representada em Anexo.

altura	Tipo_I	Tipo_II
1 10m	921Pa	1212Pa
2 15m	921Pa	1347Pa
3 20m	1025Pa	1454Pa
4 40m	1309Pa	1759Pa

Figura 5.14 – Tabela “Vento” criada no DB Browser for SQLite.

- A Figura 5.15 apresenta excertos da **“Tabela_E”**, inserida na mesma base de dados. A tabela completa criada contém 162 entradas. O número de entradas corresponde ao número dos índices que aparecem na tabela da mesma figura, à direita, definida por Matos (2007), no contexto do fator E de aplicação apenas no contexto dos revestimentos das fachadas ventiladas. Os retângulos salientam a correspondência dos índices em cada tabela. A **“Tabela_E”** permite que o técnico selecione, através da interface

apresentada na Figura 5.17, as características atmosféricas e as zonas climáticas de verão e inverno e de precipitação, aos quais estão associadas um índice na tabela da base de dados, sendo esse o índice atribuído ao fator E para ser, posteriormente, utilizada no método fatorial. A estrutura da tabela criada na base de dados teve de ser reajustada para se conseguir selecionar o valor do índice requerido.

Atmosfera		Zona Climática de Verão									
		V1			V2			V3			
Precipitação		P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	
Zona Climática de Inverno	I1	E1*, E1+E4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,2	1,0	1,0
		E2*, E2+E4	1,2	1,2	1,0	1,2	1,0	1,0	1,2	1,0	0,8
		E3*, E3+E4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8
	I2	E1+E5, E2+E5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
		E3+E5, E1+E6, E7	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8	1,0	0,8	0,8
		E8, E9	1,0	0,8	0,8	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	I3	E1*, E1+E4	1,2	1,2	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
		E2*, E2+E4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
		E3*, E3+E4	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8

Figura 5.15 – Excertos da “Tabela_E” criada e da Tabela 4.4 referente ao fator E.

- A “Tabela_G”, representada na Figura 5.16, é elaborada de um modo idêntico, com base no trabalho de Matos (2007), e a seleção de cada um dos campos é efetuada através de uma interface. Aos campos selecionados nessa interface é atribuído o índice correspondente para aplicação do método fatorial.

Classe de manutenção - e		Classe de reparação - r			
		r1	r2	r3	r4
e1		0,8	0,8	0,8	1,0
e2		0,8	0,8	1,0	1,2
e3		0,8	1,0	1,2	1,2
e4		0,8	1,0	1,2	1,2

Figura 5.16 – A “Tabela_G” criada no DB Browser e, à direita, fator G da Tabela 4.4.

A base de dados criada é facilmente atualizada, por alteração direta dos valores através do DB Browser, e a sincronização com o Dynamo é automática, não sendo necessário fazer alterações no script no Dynamo caso seja necessária uma posterior alteração dos valores tabelados.

5.2.3. Ligação Dynamo/DB Browser

Para estabelecer a ligação das tabelas inseridas na base de dados com o Dynamo foi necessário instalar o package Slingshot. Este package apresenta uma coleção de nós para utilização com sistemas de gestão de bases de dados, e atualmente contém nós que permitem a conexão e a comunicação com bases de dados criadas em formatos MySQL e SQLite, por recurso a comandos e consultas na linguagem SQL [W30].

A ligação a cada tabela da base de dados é feita através do nó *Query.SQLite_Query*, incluído neste *package*. Como exemplo do procedimento a aplicar é ilustrada a aplicação deste nó para o estabelecimento da ligação entre a interface e a “Tabela_E”, presente na base de dados criada. Para as restantes tabelas o procedimento é semelhante. A Figura 5.17 inclui a interface onde é permitida a seleção de cada um dos campos identificados no retângulo 3.2. do organigrama (Figura 5.7).

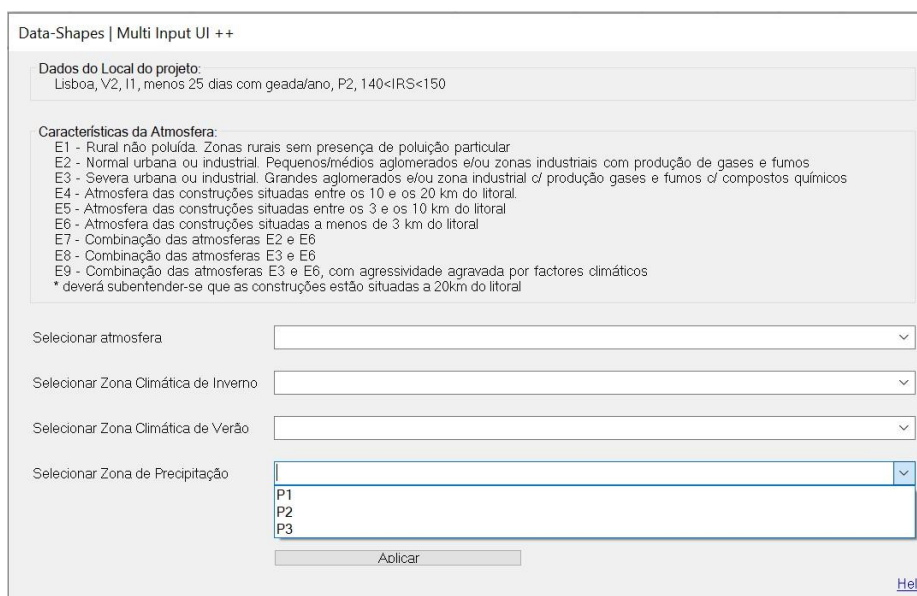


Figura 5.17 – Interface de seleção dos campos relativos ao fator E.

A programação executada para esta interface está inserida no *custom node FatorEfachVentilada*, representado na Figura 5.18 com ligação ao nó *Query.SQLite_Query* que recebe a seleção feita pelo técnico, na respetiva interface, através da entrada *Query*. Esta entrada é usada para realizar uma solicitação na “Tabela_E” da base de dados, e seleccionar os índices pretendidos. Na sua programação foi considerada a linguagem *SQL*, por recurso aos comandos próprios desta linguagem, visível no *Python Script* da Figura 5.19.

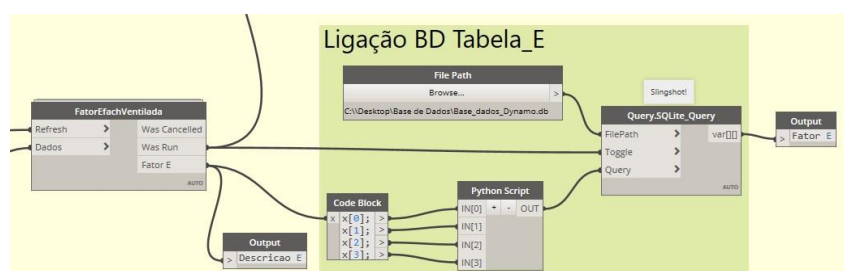


Figura 5.18 – Utilização do nó *Query.SQLite_Query* para fazer a ligação à “Tabela_E”.

SELECT nome_dos_campos *FROM* tabela_respetiva *WHERE* nome_entrada = parâmetro_selecionado

```

Python Script
1 # Enable Python support and load DesignScript library
2 import clr
3 clr.AddReference('ProtoGeometry')
4 from Autodesk.DesignScript.Geometry import *
5
6 Atmosfera = "" + IN[0] + ""
7 Z_C_Inverno = "" + IN[1] + ""
8 Z_C_Verao = "" + IN[2] + ""
9 Z_Precipitacao = "" + IN[3] + ""
10
11 Query_string = 'SELECT Indice FROM Tabela_E WHERE Atmosfera
12 = ' + Atmosfera + ' ' + 'and' + ' ' + 'Z_C_Inverno = ' +
13 Z_C_Inverno + ' ' + 'and' + ' ' + 'Z_C_Verao = ' + Z_C_Verao
14 + ' ' + 'and' + ' ' + 'Z_Precipitacao = ' + Z_Precipitacao
15
16 OUT = Query_string

```

Figura 5.19 – Código utilizado para a Query.

O resultado deste módulo de programação é a obtenção do índice referente ao fator E de acordo com a seleção que o técnico deverá efetuar na Figura 5.17. O próximo capítulo ilustra, sobre o caso de estudo, a utilização desta e de outras ações.

5.2.4. Cálculo e atribuição do valor VUE

A Figura 5.20 ilustra a representação parcial do script “Estimar vida útil”. A descrição da sua programação é apresentada neste item e constitui as etapas finais do script.

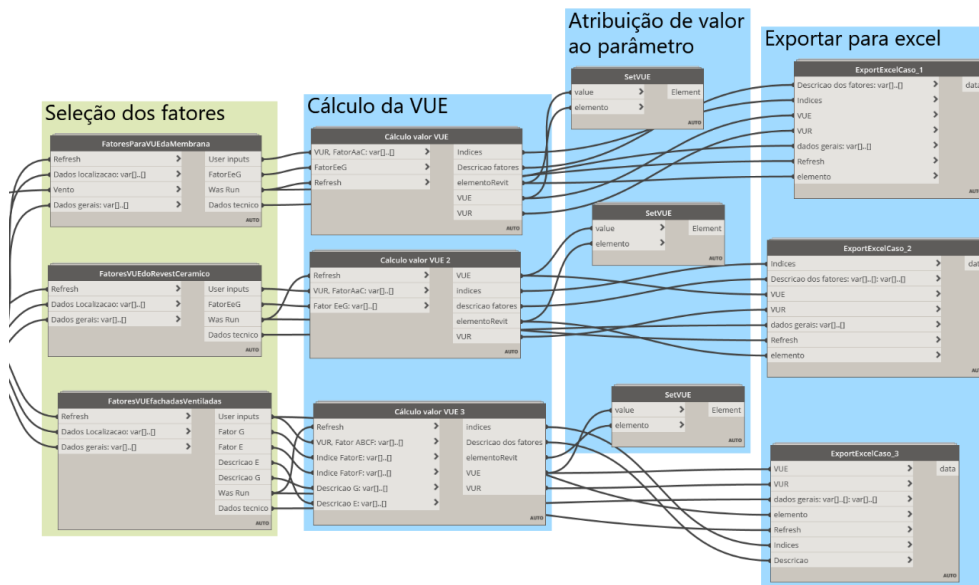


Figura 5.20 – Representação parcial do script “Estimar Vida útil”.

A aplicação do método fatorial para estimar a vida útil de um elemento tem por base a seguinte equação:

$$VUE = \bar{A} \times \bar{B} \times \bar{C} \times \bar{D} \times \bar{E} \times \bar{F} \times \bar{G} \times VUR$$

A Figura 5.21 ilustra o código do Python Script, inserido em cada um dos custom nodes, do grupo representado a azul na Figura 5.20, referente ao “Cálculo da VUE”. O código é utilizado para a aplicação do método fatorial, sendo necessário definir as funções referentes ao cálculo do valor

médio (*def* media) de cada fator e à multiplicação (*def* mult) de todas as variáveis. Assim, este nó retorna a Vida Útil Estimada (VUE) consoante a seleção, pelo técnico no preenchimento das interfaces, do índice atribuído a cada fator.

```

6 Indices = IN[0]
7 VUR = [IN[1]]
8 if Indices != None:
9     Valores = Indices + VUR
10    lista1 = []
11    for i in range(0,len(Valores)):
12        num_string = Valores[i]
13        num_replace = num_string.replace(',','.')
14        num_float = float(num_replace)
15        lista1.append(num_float)
16    fatorA = lista1[3]
17    fatorB = lista1[3:7]
18    fatorC = lista1[7:9]
19    fatorE = lista1[9:15]
20    fatorG = lista1[15]
21    VUR_num = lista1[16]
22
23    def media(num):
24        soma = 0
25        for i in num:
26            soma = soma + i
27        avg = soma / len(num)
28        return avg
29    media_A = round(media(fatorA),2)
30    media_B = round(media(fatorB),2)
31    media_C = round(media(fatorC),2)
32    media_E = round(media(fatorE),2)
33    medias = [media_A,media_B,media_C,media_E,fatorG,VUR_num]
34
35    def mult(lista):
36        total = 1
37        for x in lista:
38            total *= x
39        return total
40    result = str((round(mult(medias),1)))
41 else:
42    result = None
43
44 OUT = result

```

Figura 5.21 – Código utilizado para aplicação do método fatorial.

Após o cálculo da VUE, recorreu-se ao nó representado na Figura 5.22 que permite atribuir um valor a um parâmetro existente no *Revit* e associá-lo a um elemento no modelo. Para tal, é necessário que o parâmetro seja criado previamente no ambiente do *Revit*, este processo será explicado no próximo capítulo, na aplicação ao caso de estudo.

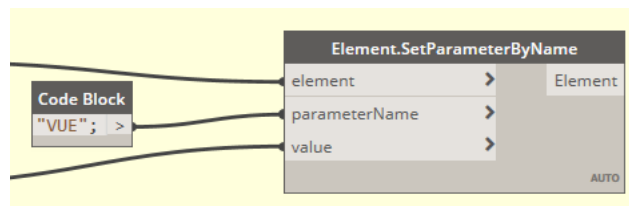


Figura 5.22 – Atribuição de valor a um parâmetro no *Revit*.

A utilização deste nó, está inserida no grupo “Atribuição de valor ao parâmetro” na Figura 5.20 tendo sido estabelecidas as ligações para a sua utilização. Como resultado da aplicação deste nó, o valor do parâmetro VUE preenchido e atribuído a um elemento no modelo passa a poder ser visualizado no painel de propriedades do respetivo elemento.

5.2.5. Exportação para o Excel

A visualização de resultados através do ambiente de trabalho do *Dynamo*, é por vezes limitativa. Assim, foi utilizada a funcionalidade de exportação da informação, introduzida e criada nos *scripts*, para o aplicativo *Excel*, através do nó *Data.ExportExcel*. A possibilidade de exportação dos dados para uma folha de *Excel* torna a sua leitura mais clara e os dados podem ser manipulados e organizados de acordo com objetivo pretendido por cada técnico. O organigrama da Figura 5.20 identifica no grupo a azul a Ação “Exportar para Excel” onde se insere a programação parcial representada na Figura 5.23, podendo ser consultada a representação completa no Anexo 1.

Este *script* foi programado para extrair para folhas Excel os parâmetros associados aos elementos, como a composição dos elementos selecionados no modelo, área e respetivos custos

associados, os fatores selecionados pelo técnico através das interfaces e o correspondente índice. No nó *Data.ExportExcel* a localização do ficheiro Excel é inserida pelo técnico através de uma interface, para onde toda a informação é exportada sendo os dados gravados por linha, onde a cada posição na lista de dados inserida corresponde uma célula no ficheiro Excel.

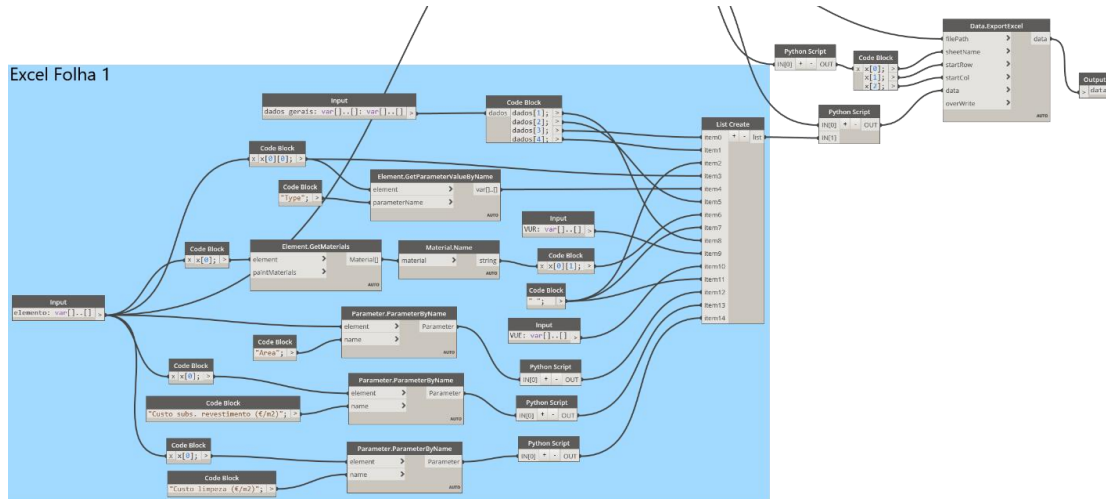


Figura 5.23 – Exportação de informação para o Excel.

No caso de estudo, a descrever no próximo capítulo, são geradas as folhas *Excel* de resultados requeridas, e é ainda estabelecida a sua associação das folhas ao respetivo elemento no modelo, ficando sempre disponíveis para consulta.

5.3. Programação do script “Análise VUE”

O script “Análise VUE” foi criado como complemento do script “Estimar Vida Útil”, sendo que a sua utilização prevê que o script anterior seja executado, e permite:

- **Calcular** a % de vida útil para em relação a determinado ano, com base no valor calculado para o parâmetro VUE,
- **Atribuir** um esquema de cores aos elementos com base na % de vida útil.

Através do valor VUE obtido para cada um dos elementos em estudo é possível apresentar uma previsão do estado de degradação dos elementos para um determinado ano. Para tal, foi assumida uma degradação linear dos elementos, onde foi atribuído um conjunto de cores em função do intervalo em que se encontra a % de vida útil, calculada pela expressão:

$$\% \text{ vida útil} = \frac{VUE - (\text{Ano previsão} - \text{Ano construção})}{VUE} \times 100$$

A Figura 5.24 ilustra a programação utilizada no script “Análise VUE”. A programação da interface para a introdução dos dados requeridos na expressão, nomeadamente, o ano de construção e o ano para o qual se pretende fazer a previsão do estado de degradação de cada elemento, recorre aos mesmos nós apresentados em 5.2.1.

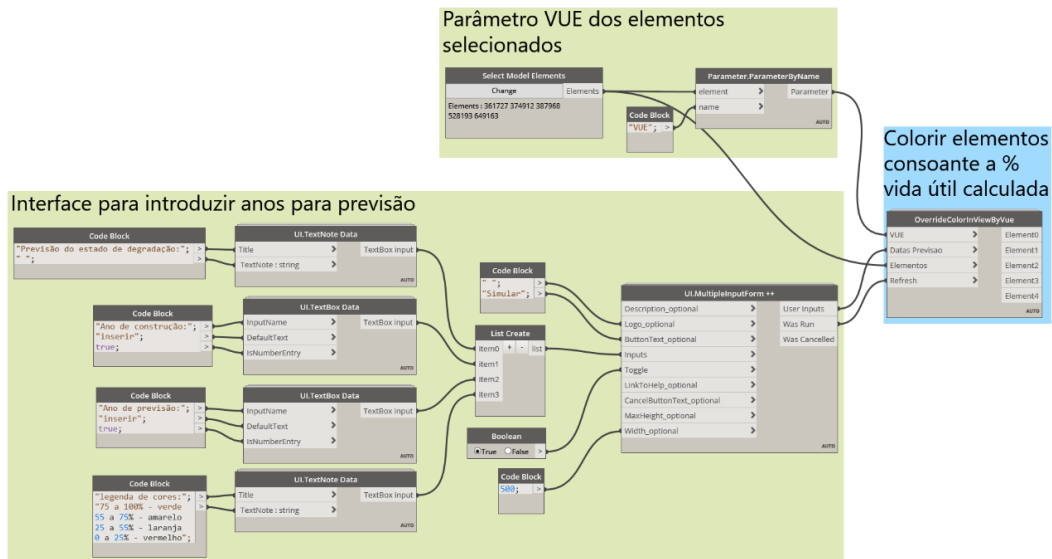


Figura 5.24 – Script “Análise VUE”

O grupo relativo a “Parâmetro VUE” permite efetuar a seleção dos elementos no *Revit*, para a recolha dos valores atribuídos ao parâmetro VUE, arquivado no *script* “Estimar vida útil”. O grupo a azul da Figura 5.25, representa a programação inserida no *custom node* *OverrideColorInViewByVUE* da Figura 5.24 e calcula a % em que a vida útil dos elementos se posiciona em relação aos anos inicial e horizonte indicados. De acordo com intervalo em que essa percentagem estiver inserida, é atribuída automaticamente uma cor ao elemento analisado, denotando ou não, à data da consulta, da necessidade da realização de manutenção ou reparação. A cor verde é atribuída para uma representação em relação a um estado de degradação inicial, enquanto que a cor vermelha para um estado de degradação mais avançado.

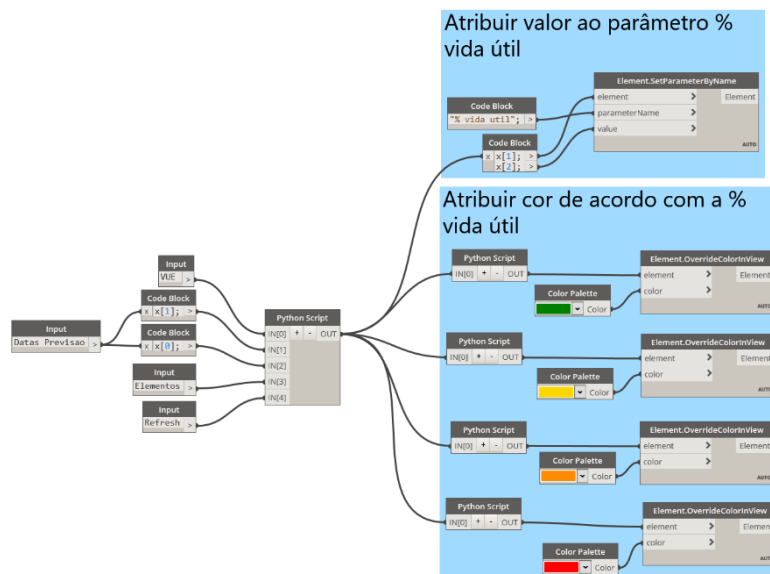


Figura 5.25 – Programação do *custom node* do grupo a azul da Figura 5.24.

O intervalo de percentagens, bem como as cores escolhidas podem ser alteradas a partir do *Dynamo*. A % vida útil a calcular segundo a expressão referida encontra-se programada no *Python Script* representado na Figura 5.26, que corresponde ao *Python Script* com cinco entradas da Figura 5.25. Onde a uma %vida útil calculada compreendida entre 100 e 75% é atribuída a cor verde; 75 e 55% a cor amarela; 55 e 25% cor laranja e para os valores inferiores a 25% é atribuída a cor vermelha.

```

1 # Enable Python support and load DesignScript library
2 import clr
3 clr.AddReference('ProtoGeometry')
4 from Autodesk.DesignScript.Geometry import *
5
6 VUE = IN[0]
7 Ano_de_simulação = IN[1]
8 Ano_de_construção = IN[2]
9 elementos = IN[3]
10 was_run = IN[4]
11
12 result = []
13 perc_vida = []
14
15 if was_run == True:
16     for ele in VUE:
17         str_VUE = str(ele)
18         split_elements = str_VUE.split(':', 1)
19         VUE_nr = float(split_elements[1])
20         Percentagem_de_Vida = ((VUE_nr - (Ano_de_simulação -
21
22         if Percentagem_de_Vida <= 100 and Percentagem_de_Vida > 75:
23             cor = 'Verde'
24         elif Percentagem_de_Vida <= 75 and Percentagem_de_Vida > 55:
25             cor = 'Amarelo'
26         elif Percentagem_de_Vida <= 55 and Percentagem_de_Vida > 25:
27             cor = 'Laranja'
28         elif Percentagem_de_Vida <= 25:
29             cor = 'Vermelho'
30
31         result.append(cor)
32         perc_vida.append(str(round(Percentagem_de_Vida,0)))
33     else:
34         result = None
35         elementos = None
36 OUT = [result, elementos, perc_vida]

```

Figura 5.26 – Sintaxe textual para calculo da % de vida útil e atribuição de cor consoante o intervalo.

Para a atribuição da cor correta a cada elemento no modelo, foi necessário fazer uma validação em *Python Script* à entrada de cada nó *Element.OverrideColorInView* que verifica a posição do elemento que tem a respetiva cor. Na Figura 5.27 ilustra-se a programação para a atribuição da cor verde, que corresponde ao *Python Script* da Figura 5.25 incluído no grupo “Atribuir cor de acordo com a % vida útil”. Este raciocínio foi implementado para todas as cores definidas no intervalo de percentagens da vida útil calculada.

```

5
6 Cores_elementos = IN[0]
7 result = []
8
9 for i in range(0, len(Cores_elementos[0])):
10     if Cores_elementos[0][i] == 'Verde':
11         result.append(Cores_elementos[1][i])
12     else:
13         result.append(None)
14
15 OUT = result

```

Figura 5.27 – Validação para atribuição da cor verde.

6. Caso de estudo

O presente capítulo descreve o processo de modelação do edifício selecionado como caso de estudo e a aplicação dos *scripts* desenvolvidos em relação a três componentes do edifício.

6.1. Modelação do edifício

O caso de estudo selecionado corresponde a um edifício integrado num condomínio privado, situado na zona de Lisboa, com 5 pisos elevados, 3 pisos em semi-cave e cobertura em terraço e apresenta duas empenas cegas orientadas a Oeste e Nordeste. Por recurso ao *software Revit (Autodesk)* foi criado o modelo BIM de arquitetura, tendo sido modelado com um maior detalhe a envolvente do edifício, alvo de análise no presente trabalho, nomeadamente, os revestimentos aplicados nas fachadas e na cobertura:

- A fachada principal, orientada a Norte, é constituída por parede dupla em alvenaria de tijolo (11cm+15cm), e é revestida com ladrilhos aderentes em **grés porcelânico** (Figura 6.1);
- A fachada orientada a Sudeste, é uma solução em fachada ventilada revestida com **placas de fibrocimento** (Figura 6.2);
- Na cobertura em terraço foi aplicado, como material de acabamento, a **membrana de impermeabilização** em betume polímero APP auto-protegida com granulado mineral (Figura 6.3).



Figura 6.1 – Fachada principal com placas em grés porcelânico cinzento 40x40cm².



Figura 6.2 – Fachada posterior com placas de fibrocimento 180x100cm².

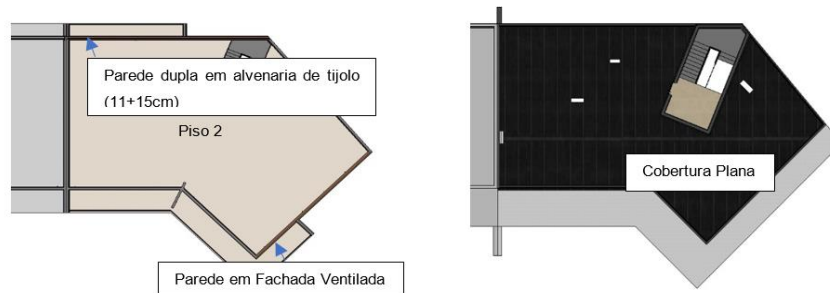


Figura 6.3 – Planta de piso, com a identificação das fachadas, e cobertura.

6.1.1. Modelação dos elementos a analisar

No processo de modelação do edifício foram criadas todas as componentes do edifício, com base nos desenhos fornecidos, constituídos por plantas, alçados e cobertura. É descrita com um maior pormenor a modelação das **fachadas** e da **cobertura**.

Na modelação das paredes foram criadas novas tipologias, a partir das existentes na biblioteca de objetos paramétricos, disponibilizados no sistema utilizado. A adequação dos objetos relativos a paredes é efetuada com base na adição de sucessivas camadas na sua composição, sendo atribuído o tipo de material adequado a cada camada e indicada a respetiva espessura. Os materiais definidos como membrana não assumem qualquer espessura. Os materiais podem ser selecionados a partir da biblioteca de materiais predefinidos, caracterizados com parâmetros relativos ao aspeto gráfico e a propriedades térmicas e físicas, controlados através das interfaces representadas na Figura 6.4.

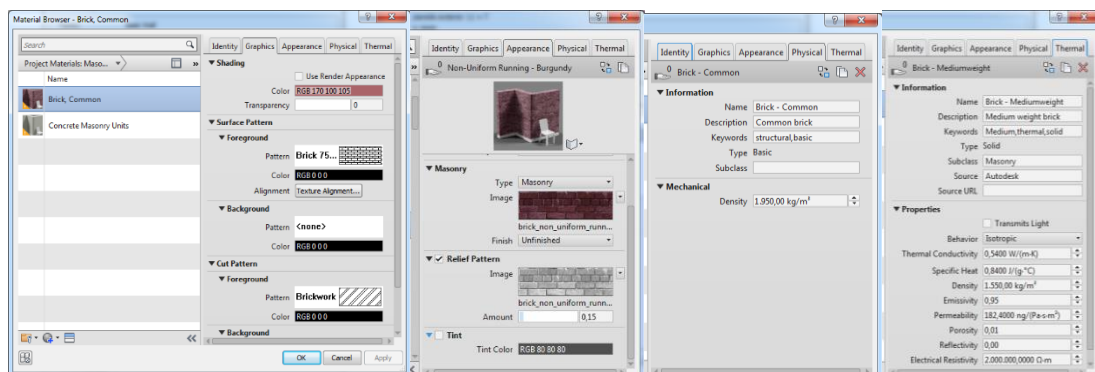


Figura 6.4 – Interfaces de identificação de material e propriedades.

Os materiais disponíveis no sistema podem ser adaptados às características gráficas e às propriedades requeridas em cada caso concreto. No presente caso, a modelação das camadas de revestimento exterior das paredes, foi efetuada por seleção de materiais semelhantes aos requeridos, posteriormente adaptados às soluções pretendidas. As camadas dos materiais de revestimento aplicados nas fachadas, grés porcelânico e placas de fibrocimento, podem ser visualizadas na Figura 6.5, identificadas pela correspondente representação gráfica em corte. A mesma metodologia foi aplicada para a criação da cobertura apresentada na Figura 6.6.

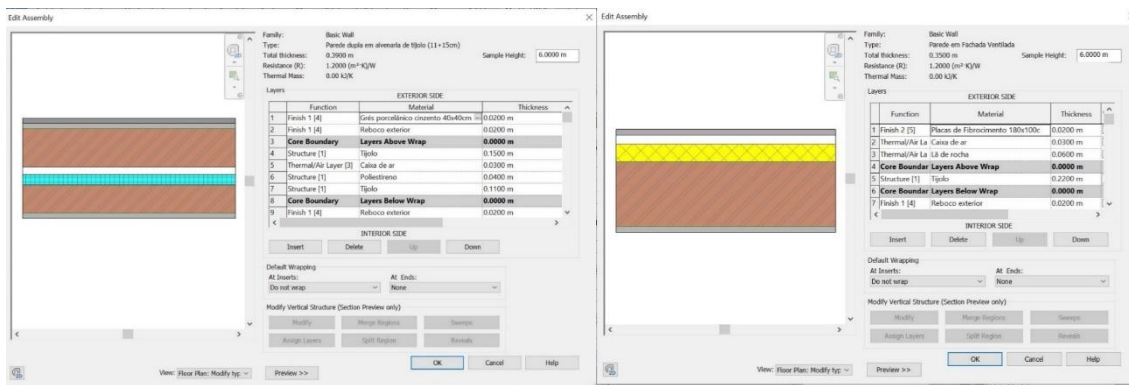


Figura 6.5 – Parede dupla em alvenaria de tijolo (11+15cm) com revestimento em grés porcelânico e parede em fachada ventilada com placas de fibrocimento.

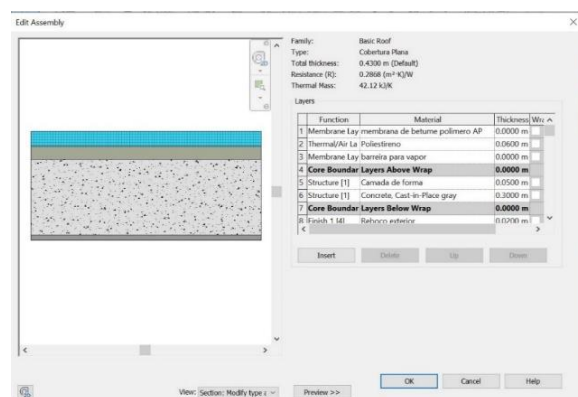


Figura 6.6 – Cobertura com acabamento em membrana de betume polímero APP auto protegida.

O Revit incorpora um conjunto vasto de bibliotecas de famílias de objetos paramétricos. Adicionalmente, existem diversas plataformas *online* onde é possível selecionar, e utilizar num projeto, os produtos disponibilizados em catálogos digitais fornecidos pelos fabricantes, pois atualmente diversas empresas já apresentam os seus produtos no formato de objetos paramétricos BIM. Os produtos, obtidos diretamente *online*, são modelos compostos por objetos paramétricos associados a todas as características técnicas que normalmente acompanham o tradicional catálogo digital. Adicionalmente, a plataforma *BIMObject* oferece diversos tipos de objetos paramétricos, aptos a serem utilizados de um modo gratuito. No projeto em análise, foram descarregados os elementos de guarda-corpos, janelas e portas.

6.1.2. Adição de parâmetros

No entanto, os parâmetros associados aos objetos utilizados no presente trabalho não contêm os parâmetros necessários, relacionados com a vida útil dos componentes em análise, pelo que foi necessário proceder à sua adição. Foram criados novos parâmetros, associados aos materiais selecionados, de forma a poderem admitir, de um modo dinâmico, os valores a calcular através dos dois *scripts* programados em *Dynamo*, apresentadas no Capítulo 5. Os novos parâmetros foram designados de:

- *VUE*, recebe o valor de vida útil estimada pelo *script* “Estimar Vida Útil”;

- *Excel Manutenção*, regista a diretoria do ficheiro *Excel* que ao ser selecionada é aberto o ficheiro;
- *% Vida útil*, variável referente à percentagem da vida útil calculada com base no parâmetro VUE e o ano de previsão, controlada no *script* “Análise VUE”;
- Os parâmetros relacionados com custos, a considerar posteriormente, foram preenchidos manualmente no *Revit*.

Para a criação de novos parâmetros é necessário aceder ao separador *Manage* e selecionar *Project Parameters*. É possível adicionar o novo parâmetro apenas ao projeto que está a ser criado, *Project Parameter*, ou pode ser partilhado entre projetos, *Shared Parameter*. Na criação do parâmetro, é necessário selecionar uma categoria e uma especialidade, o tipo de dados do parâmetro e o grupo em que se insere. O preenchimento dos campos relacionados com o parâmetro VUE é ilustrado na Figura 6.7. Para que seja possível associar um valor de VUE diferente para cada elemento, mas pertencente à categoria selecionada, o parâmetro tem de ser criado como *instance*. Pelo contrário, ao ser selecionada a opção *type*, o valor que for atribuído ao parâmetro passa a ser o mesmo em todos os elementos inseridos em famílias desse tipo.

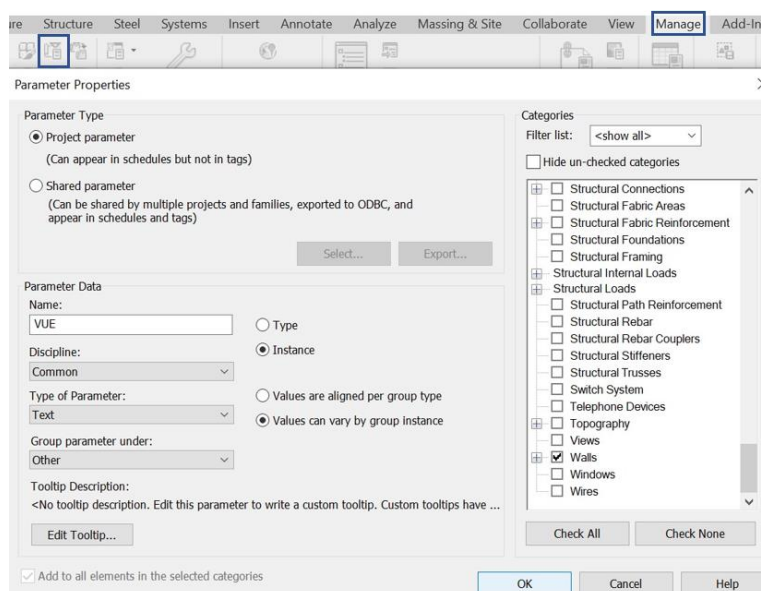


Figura 6.7 – Criação do parâmetro VUE.

Os parâmetros VUE e % vida útil foram considerados integrados em ambas as categorias *Walls* e *Roofs*. Foram ainda admitidos os parâmetros relacionados com os custos unitários [W31], nomeadamente, na categoria *Walls*, o *Custo de substituição do revestimento* e o *Custo de limpeza*, e na categoria *Roofs*, o *Custo de substituição da membrana* e o *Custo de limpeza* de sistema de evacuação de água. Os custos de substituição a considerar na atividade de manutenção, incluem os encargos diretos e indiretos, nomeadamente, os materiais a utilizar ou a eventual necessidade de colocação de andaimes. As interfaces da Figura 6.8 identificam os parâmetros adicionados a cada tipo de elemento.

Element	Parameter	Value
Basic Wall (Parede dupla em alvenaria de tijolo (11+15cm))	VUE	
	Custo subs. revestimento (€/m²)	72.88
	% vida útil	
	Custo limpeza (€/m²)	17.69
	Excel Manutenção	
Basic Roof (Cobertura Plana)	VUE	
	Custo subs. membrana (€/m²)	23.53
	% vida útil	
	Custo limpeza (€/m)	4.86
	Excel Manutenção	
Basic Wall (Parede em Fachada Ventilada)	VUE	
	Custo subs. revestimento (€/m²)	96
	% vida útil	
	Custo limpeza (€/m²)	19.49
	Excel Manutenção	

Figura 6.8 – Propriedades dos elementos e parâmetros associados aos *scripts*.

6.2. Aplicação do script “Estimar Vida útil”

Como referido em 5.2. os *scripts* foram desenvolvidos para a análise dos três componentes modelados no caso de estudo: membrana de impermeabilização; revestimento em grés porcelânico; fachada ventilada com placas de fibrocimento.

Como ilustração de aplicação do *script* “Estimar vida útil”, é apresentada uma descrição detalhada referente ao revestimento aplicado na fachada ventilada, orientada a Sudeste. É indicado o modo de preenchimento das interfaces, é efetuada a exportação de resultados para o *Excel* e é organizada e analisada a informação transferida. No entanto, o *script* foi aplicado aos restantes elementos, cujos processos se apresentam detalhadamente no Anexo 2.

A execução dos *scripts* desenvolvidos em *Dynamo* podem ser acionadas através da funcionalidade *Dynamo Player* localizado no menu principal do *Revit*, incluída no separador *Manage* do painel *Visual Programming* (Figura 6.9).

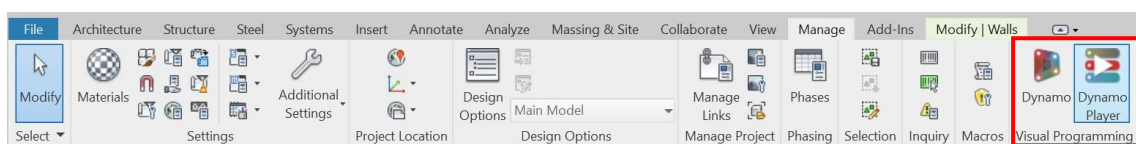


Figura 6.9 – Seleção da opção *Dynamo Player*, no *Revit*.

Os *inputs* dos *scripts* elaborados no *Dynamo* podem ser facilmente adaptados às necessidades do utilizador. Os *scripts* podem ser configurados de forma a solicitar os dados de entrada, previamente a acionar o *script*. Para tal, no *script* criado, foi definido como dado de entrada para o *Dynamo Player* o nó *Boolean*, selecionado como *Is Input* no ambiente de trabalho do *Dynamo*, como ilustra a Figura 6.10. Este nó, *Boolean (True or False)*, apresenta: a opção falso, elimina os dados registados na última utilização do *script*; a opção verdadeiro, permite correr o programa e apresentar a interface relativa a uma nova utilização.

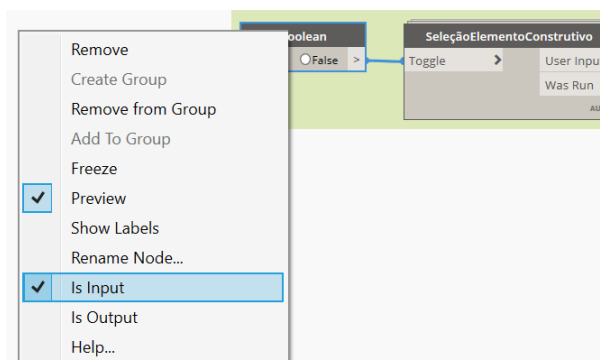


Figura 6.10 – Configurar *user inputs*, no *Dynamo*, para a janela do *script* do *Dynamo Player*.

A janela do *Dynamo Player*, apresentada na Figura 6.11, exibe a lista de *scripts* disponíveis, numa diretoria especificada, juntamente com o estado atual de cada *script*. Iniciado o *script* é apresentada a interface que permite selecionar o tipo de elemento para o qual se pretende estimar a vida útil, que corresponde ao retângulo 0 da Figura 5.7 onde se encontra selecionada a opção dos revestimentos de fachadas ventiladas, analisada neste tópico. As interfaces subsequentes para esta seleção correspondem aos retângulos 3, 3.1, 3.2 e 3.3 da Figura 5.7.

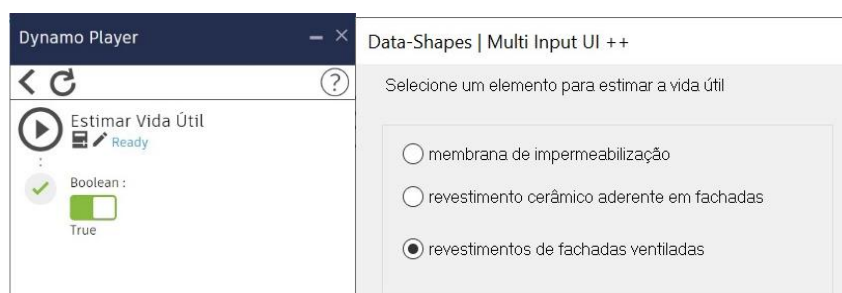


Figura 6.11 – Janela de execução do *script* e interface de seleção do elemento a analisar.

De seguida, o técnico introduz os dados gerais relativos ao projeto (Figura 6.12). A seleção do local do projeto permite sugerir opções de preenchimento para o fator E (a abordar posteriormente) relacionado com as características do ambiente exterior. Como exemplo de localização, foram incorporadas as opções Lisboa, Porto e Algarve, escolhidas por estarem associadas aos exemplos utilizados na programação do *script*. A interface da Figura 6.12 permite ainda introduzir o tipo de fixação do revestimento, variável consoante a estrutura de suporte escolhida para o sistema em fachada ventilada, e os dados para identificação do técnico. Neste caso, o sistema de fixação escolhido é um sistema de fixação à vista com utilização de presilhas.

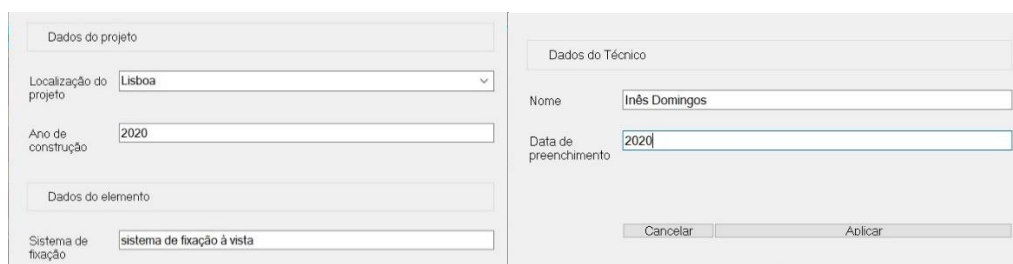


Figura 6.12 – Interface de preenchimento relativo aos dados gerais.

A janela da Figura 6.13 é visualizada após o preenchimento completo da anterior interface. Apresenta os fatores modificadores A, B, C e F e permite a seleção apropriada para cada fator com base na matriz de durabilidade (Tabela 4.4) do autor Matos (2007). No *Revit*, sobre o modelo é selecionado o elemento a analisar, através da opção *Select model element*, sendo identificada a fachada ventilada (visualizada a azul na Figura 6.13), e para concluir a seleção dos objetos indicar *Finish* na barra de opções, caso contrário, é reportada uma mensagem de erro. A figura ilustra ainda a atribuição do valor correspondente à vida útil de referência, retirado de Matos (2007), e as descrições atribuídas a cada fator de acordo com o projeto em que se inserem.

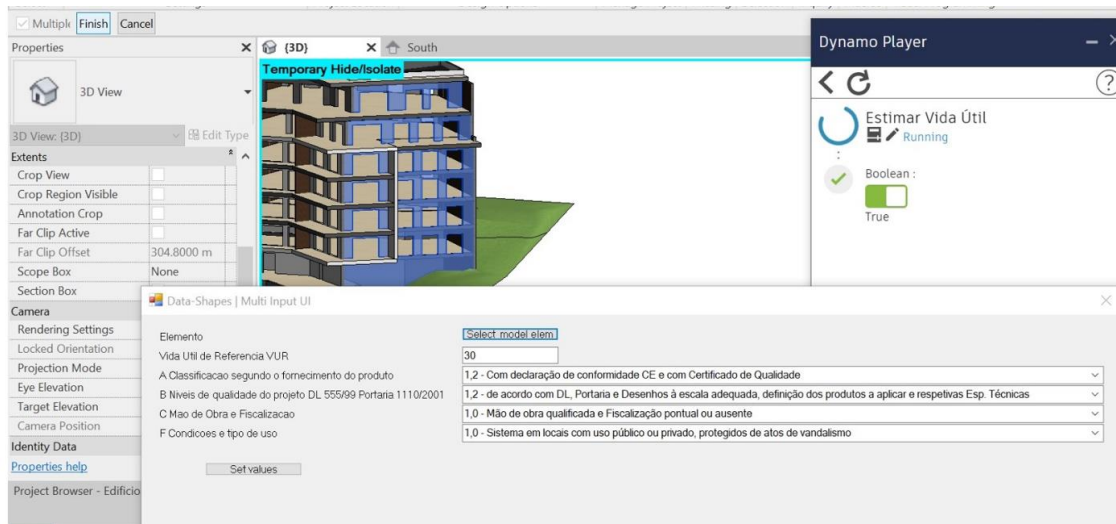


Figura 6.13 – Preenchimento dos fatores e seleção dos elementos no *Revit*.

A escolha de cada um dos campos na janela representada na Figura 6.14 permite definir o índice a atribuir ao fator E. Nesta interface é possível, com base nos dados introduzidos pelo utilizador, seleccionar um índice relacionado com o mapeamento correspondente à matriz de durabilidade apresentada na Tabela 4.4 do Capítulo 4.

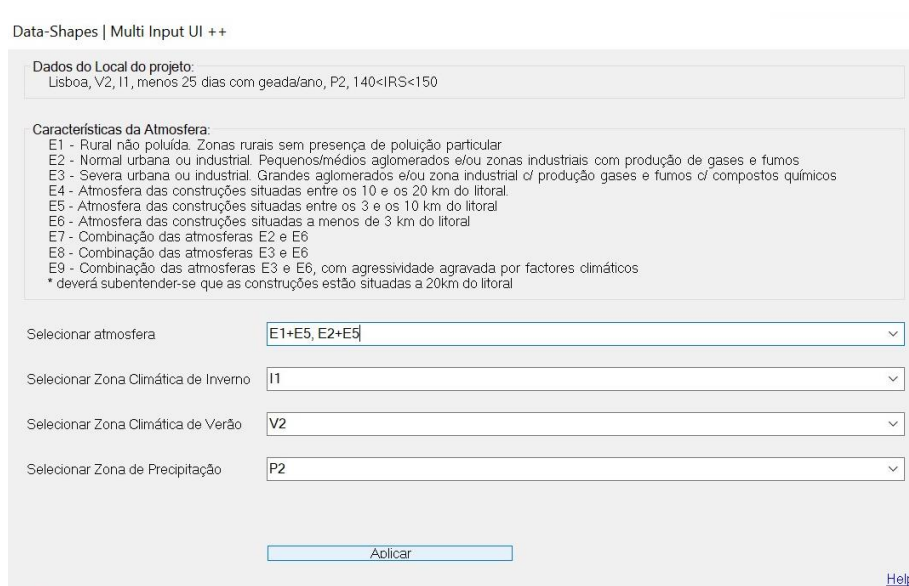


Figura 6.14 – Preenchimento das características associadas ao fator E.

O cabeçalho da interface apresenta as sugestões de preenchimento do fator E associadas ao local escolhido (Lisboa), onde são indicadas as zonas climáticas de Inverno e Verão e a zona de precipitação, a preencher pelo técnico. São também listadas as características da atmosfera para uma correta seleção do campo necessário para a caracterizar. As descrições visualizadas, associadas ao elemento selecionado no modelo 3D, fornecem um esclarecimento suficiente para o completo preenchimento das células apresentadas. No entanto, o botão *help* redireciona para a referência bibliográfica (Matos, 2007) base da constituição da matriz de durabilidade utilizada, para alguma consulta complementar.

A escolha de cada um dos campos apresentados na interface da Figura 6.15 permite quantificar o índice a atribuir ao fator G. Este fator reflete o nível de manutenção definido para o revestimento aplicado na fachada ventilada, onde é necessário ter em consideração a necessidade de operações de limpeza, incluindo lavagens, reparações e substituições do revestimento em análise. Sendo para isso identificadas as classes de manutenção, onde é identificada a frequência necessária das ações de manutenção a realizar, e a de reparação, que caracteriza a facilidade de reparar e/ou substituir pontualmente um produto da construção.

Data-Shapes | Multi Input UI ++

Classe de manutenção:
e1 - se necessitar de manutenção frequente (entre 3 e 10 anos)
e2 - manutenção normal (entre 10 e 20 anos)
e3 - manutenção espaçada (igual ou superior a 20 anos)
e4 - apenas lavagem periódica (de 10 em 10 anos)

Classe de reparação:
r1 - reparação difícil e com produtos ou componentes específicos
r2 - se reparação é fácil mas necessita de produtos específicos ou se a reparação é difícil mas pode ser feita com produtos correntes
r3 - reparação fácil e a realizar com produtos correntes, mas com necessidade de intervenção além da zona a reparar
r4 - reparação fácil e a realizar com produtos correntes

Selecionar classe de manutenção

Selecionar classe de reparação

Figura 6.15 – Preenchimento das classes associadas ao Fator G.

Finalmente, através da interface da Figura 6.16 é selecionado o ficheiro *Excel* para o qual se pretende exportar a informação inserida, bem como os dados complementares relativos ao elemento selecionado. Para cada um dos elementos a analisar foi elaborado um *template* específico, no sistema *Excel*, contendo a descrição de cada informação e as células preparadas para arquivar os respetivos dados do modelo. A criação de um *template*, por tipo de elemento, é necessária para que não sejam sobrepostos os dados, por cada exportação efetuada. A Figura 6.16 ilustra a seleção do *template* para o qual se pretende arquivar a informação introduzida, relativa à fachada ventilada.

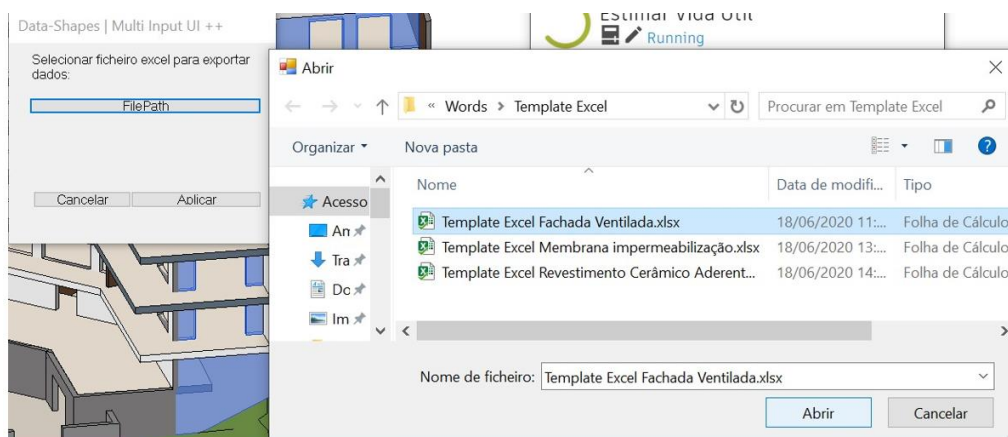


Figura 6.16 – Seleção do ficheiro Excel.

A informação transposta, do *Revit* para o *Excel*, e organizada de acordo com o *template* selecionado, está apresentada nas Tabela 6.1 e Tabela 6.2.

Tabela 6.1 – Dados exportados do *Revit* para o *Excel*.

Nome do técnico:	Inês Domingos
Data:	2020

Categoria do elemento:	Wall
Tipo do elemento:	Parede em Fachada Ventilada
Sistema de fixação:	sistema de fixação à vista
Elemento fonte de manutenção (EFM):	Placas de Fibrocimento 180x100cm

Ano de construção:	2020
Vida útil de referência (VUR) do EFM:	30
Vida útil estimada (VUE) do EFM:	34,6

Área total da(s) fachada(s) [m ²]:	219
Custo de substituição [€/m ²]:	96
Custo de limpeza [€/m ²]:	19,49
Custo de inspeção [€]:	70

Tabela 6.2 – Descrição e índices atribuídos a cada fator.

Fator	Descrição	Índice
A	Com declaração de conformidade CE e com Certificado de Qualidade	1,2
B	de acordo com DL, Portaria e Desenhos à escala adequada, definição dos produtos a aplicar e respetivas Esp. Técnicas	1,2
C	Mão de obra qualificada e Fiscalização pontual ou ausente	1
F	Sistema em locais com uso público ou privado, protegidos de atos de vandalismo	1
E	E1+E5, E2+E5 I1 V2 P2	1
G	e2 r2	0,8

As ações de manutenção a realizar contribuem para um incremento da vida útil do elemento podendo prolongar a vida útil estimada. No *Excel* foi pré-definido, para cada tipo de sistema construtivo, um conjunto de ações de manutenção genéricas a realizar de acordo com o elemento a manter, estruturado de acordo com a Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Identificação de ações de manutenção genéricas para placas de fibrocimento em fachadas ventiladas, adaptada de (Oliveira, 2011)

Identificação de ações de manutenção					
Ação de manutenção	Tipo	Descrição	Recursos humanos	Recursos materiais	Meios de acesso
1	Inspeção visual	Inspeção	técnico	Equipamento fotográfico; régua e lupa	pelo interior do edifício ou andaime [q.n.]
2	Inspeção métrica	Inspeção	técnico	Medidores de humidade e de planimetria	pelo interior do edifício ou andaime [q.n.]
3	limpeza técnica e remoção de manchas	Limpeza	empresa especializada	Jato de água e produtos de limpeza	plataforma elevatória
4	Substituição pontual do revestimento	Reparação	pedreiro	Placas de fibrocimento e se, necessário, serra circular com disco diamantado	plataforma elevatória/ andaime [q.n.]
5	Substituição total do revestimento	Substituição	pedreiro e auxiliar	Placas de fibrocimento e se, necessário, serra circular com disco diamantado	plataforma elevatória/ andaime [q.n.]

*Devem ser seguidas as práticas de aplicação técnica da marca dos elementos em causa

[q.n.] – quando necessário

A análise dos meios de acesso, em situação de reparação ou manutenção ativa, pode ser facilmente identificada por manipulação do modelo *Revit* criado. Os planos de manutenção são estabelecidos com base nas previsões devendo ser atualizados frequentemente de acordo com o conhecimento sobre o desempenho do edifício e dos seus constituintes e respetivo estado de conservação identificado através da realização de inspeções periódicas.

A Figura 6.17 ilustra o modo de consultar as propriedades associadas à parede em fachada ventilada, quando selecionada no modelo *Revit*, assim como os valores dos parâmetros adicionais, automaticamente preenchidos relativos a cada parâmetro, e a atribuição do correspondente valor ao parâmetro VUE, calculado pelo *script* “Estimar vida útil”. A diretoria do parâmetro *Excel Manutenção* é também incluída automaticamente, sendo possível aceder ao ficheiro *Excel* com a informação exportada.

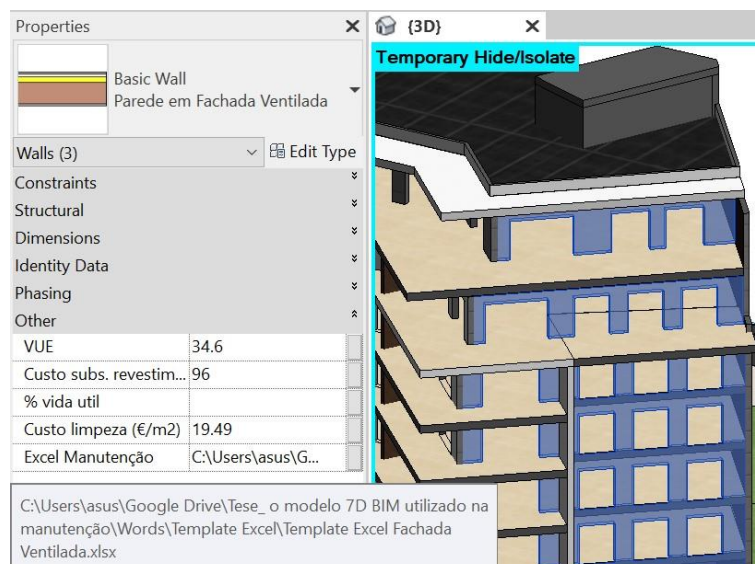


Figura 6.17 – Propriedades da parede em fachada ventilada.

Com os dados apresentados em folha de *Excel* é possível explorar vários cenários de planeamento das ações de manutenção identificadas na Tabela 6.4, conciliados com os custos respetivos e áreas do elemento sob a ação de uma eventual intervenção, ilustrados na Tabela 6.1. A vida útil estimada é o principal parâmetro envolvido em todas as considerações económicas como retorno do capital investido e planeamento de investimentos para a manutenção e posterior demolição. Com base nos custos pode ser obtido um valor da anuidade das ações a realizar. Este valor pode, contudo, não corresponder ao custo real, uma vez que o planeamento inicialmente previsto de atividades de manutenção, deverá ser atualizado e reajustado em conformidade com o estado de degradação dos elementos, observado em inspeção recente. A numeração atribuída na Tabela 6.4 corresponde à ação de manutenção numerada na Tabela 6.3.

Tabela 6.4 – Custos de manutenção preventiva.

Determinação de custos de manutenção preventiva (30 anos) [W31]												
	Qtd [m2]	Custo			Periodicidade	Ano						
		Unit.	Total	Ano 0		5	10	15	20	25	30	35
1	219	-	70	-	5 anos	70	70		70		70	-
2	43,8	-		-	5 anos							
3	219	19,49	4268,3	-	10 anos		4268,3		4268,3		4268,3	-
4	21,9	96	2102,4	-	q.n.			2102,4		2102,4		-
5	219	-	21024	-	q.n.							-
Valores a preços correntes						70	4338,3	2102,4	4338,3	2102,4	4338,3	-
Valores atualizados						52,21	2413,3	872,31	1342,5	485,2	746,84	-
VA LCC						5912,52						
VAE LCC						431,38						
Taxa de inflação		1,5%		Tx de atualização		6,04%						
A taxa de inflação considerada foi 1.5%. A taxa de rentabilidade Obrigações do Tesouro (OT), a taxa fixa a 10 anos, em Portugal apresenta um valor de 1.92%. Para a taxa de juro sem risco considerada foi 2.5%. Por fim, para calcular a taxa de atualização utilizou-se a seguinte expressão: $TA=(1+T1)(1+T2)(1+T3)-1$ em que, T1 é a taxa de inflação, T2 é a taxa de rentabilidade OT e T3 a taxa de juro sem risco.												
Período de estudo	30	Anuidade	431,38									
O plano de manutenção previsto para este caso de estudo ao longo de 30 anos apresenta um custo total de 5.912,52€. Distribuindo este valor de forma equivalente pelos 30 anos analisados obter-se-ia um valor de anuidade de 431,38€.												

A vida útil estimada pelo *script* desenvolvido foi de 34.6 anos (Figura 6.17), o que mostra que as condições a que o revestimento da fachada ventilada se encontra superam a vida útil de referência de 30 anos. O *script* foi identicamente aplicado aos restantes elementos em análise, identificados nas Figura 6.18 e Figura 6.19, tendo-se obtido para a o revestimento cerâmico aderente uma VUE de 48.5 anos sendo superior à VUR indicada de 35 anos, com uma anuidade de 344€ (Anexo 2).

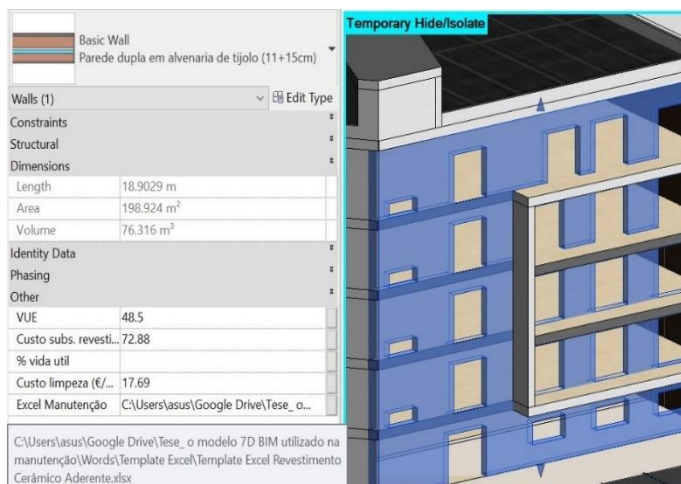


Figura 6.18 – Propriedades da Parede dupla em alvenaria de tijolo.

A membrana de impermeabilização, representada na Figura 6.19, apresentou um valor de VUE de 15.8 anos tendo sido utilizada uma VUR de 10 anos, que também demonstrou superar a vida útil de referência, com uma anuidade de 290€ (Anexo 2).

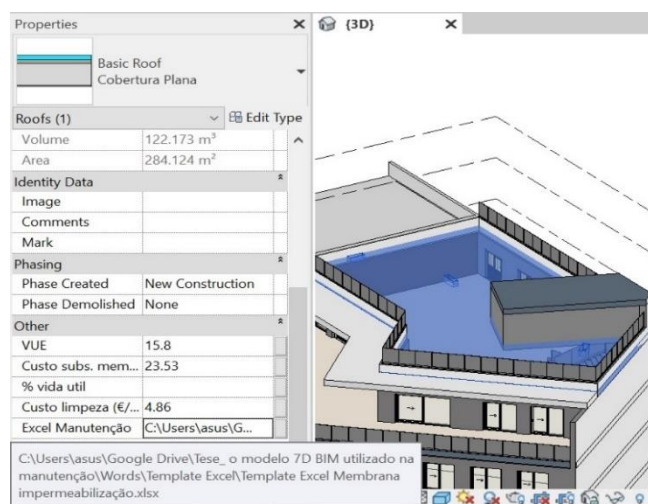


Figura 6.19 – Propriedades da cobertura plana.

As duas fachadas podem ser comparáveis, uma vez que do ponto de vista do dono de obra e utilizador do edifício seria mais vantajosa a solução de parede dupla em alvenaria com revestimento em grés porcelânico, pois esta solução demonstra ser, não só mais durável, mas também mais acessível, uma vez que tanto o custo de colocação como a anuidade são menos dispendiosas do que a solução em fachada ventilada.

Cada vez mais o desempenho dos edifícios é um aspeto procurado pelos intervenientes no processo construtivo, preocupados tanto a curto como a longo prazo, quer em termos de custos como durabilidade, estando implícita a necessidade que o processo de manutenção seja pensado e discutido em fases iniciais do processo construtivo e não somente na fase de utilização. A utilização do *script* permitiu fazer uma análise comparativa entre custo e eficiência dos materiais ao longo da vida útil, ainda em fase de projeto, que ajuda na tomada de decisões, podendo levar a uma redução de custos e a uma escolha de materiais sustentada pela sua durabilidade.

6.3. Aplicação do *script* “Análise VUE”

Como referido o *script* “Análise VUE” foi criado como complemento do *script* “Estimar Vida Útil” através do valor VUE obtido para cada um dos elementos em estudo é possível fazer uma previsão do seu estado de degradação para um determinado ano. Para tal, foi assumida uma degradação linear dos elementos, onde foi atribuído um conjunto de cores em função do intervalo em que se encontra a % de vida útil calculada, explicado em 5.3.

Para facilitar a utilização deste *script* recorreu-se à duplicação da vista 3D no navegador de projeto. As vistas atuam como *layers* dinâmicas atualizáveis sempre que há alterações verificadas no modelo BIM criado. A nova vista criada foi designada por “Análise de vida útil”, e desta forma a atribuição de cores aos objetos do modelo, não se sobrepõem às cores do modelo original. Para consulta dos efeitos da vida útil, em determinado período de tempo, é selecionada esta vista para executar o *script* “Análise VUE”, que está associada ao modelo que contém os valores do parâmetro VUE obtidos pelo *script* inicial. Para duplicar a vista, deve ser selecionada, no menu Navegador de Projeto do *Revit*, a opção *Duplicate View*, seguida de *Duplicate*, como se ilustra na Figura 6.20.

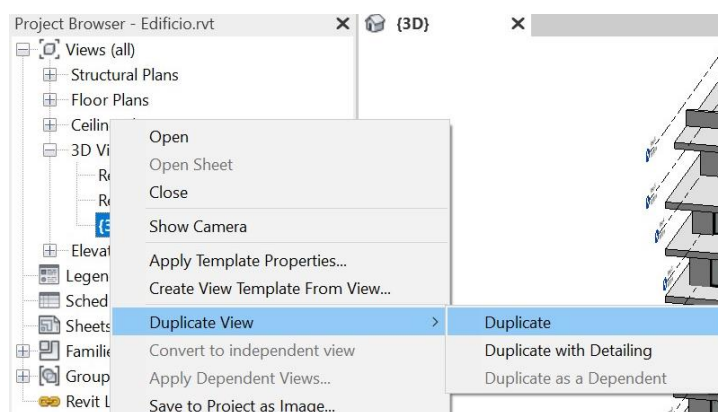


Figura 6.20 – Duplicação da vista 3D.

O *Revit* permite controlar a visibilidade e a exibição gráfica dos elementos do modelo e também dos elementos específicos para cada vista de um projeto. Este controlo pode ser feito através da seleção das categorias presentes no modelo e da aplicação de regras aos filtros com base nos parâmetros comuns das categorias selecionadas, através das funcionalidades disponíveis. Esta

capacidade pode ser acedida no separador *View*, incluída no painel *Graphics*, devendo ser selecionado o quadro *Visibility/Graphics* (Figura 6.21).

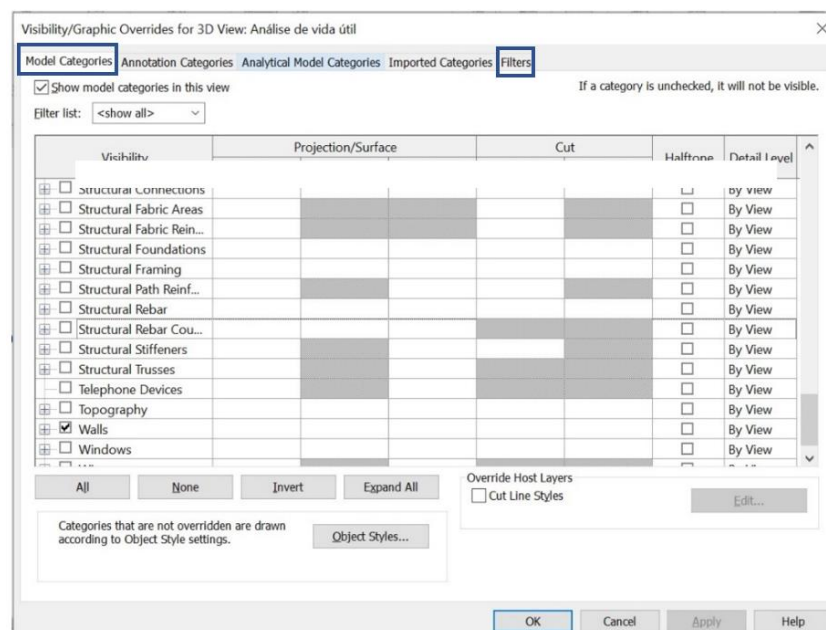


Figura 6.21 – Janela Visibility/Graphics de controlo de aspetos gráficos da vista “Análise de vida útil”.

Em relação à vista, foram alteradas as categorias de visibilidade, através do separador *Model Categories*, sendo apenas selecionadas as categorias *Walls* e *Roof*. No separador *Filters* foi criado uma opção de filtro, “Filtro por VUE”, associada a uma regra, possibilitando que, apenas, os objetos que apresentem um valor de VUE superior a zero, fiquem visíveis na nova vista criada. Para tal, no filtro criado foram selecionadas as categorias *Walls* e *Roofs*, ficando assim disponíveis para seleção os parâmetros comuns destas categorias. Tendo sido selecionado o parâmetro VUE, a regra criada tem por base o parâmetro VUE igual a “vazio”, onde foi selecionado o operador *equals*, seguido de um espaço em branco, apresentado na Figura 6.22.

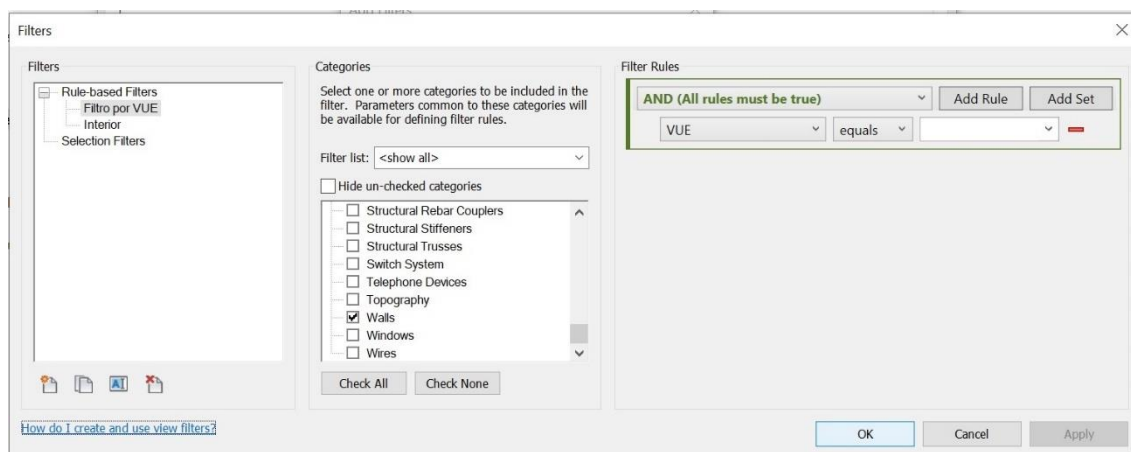


Figura 6.22 – Criação do filtro (*ruled base filter*).

Depois de atribuída a regra mencionada, o filtro é adicionado ao separador *Filters*, como ilustrado na Figura 6.23. Ao serem selecionadas as opções *Add* e o filtro por VUE, onde a coluna *Visibility*

deve permanecer desmarcada, ficando apenas visíveis os objetos do modelo que apresentam um valor VUE diferente de vazio. O resultado da aplicação do filtro por VUE na vista “Análise de vida útil” pode ser visualizada na perspetiva incluída na Figura 6.23.

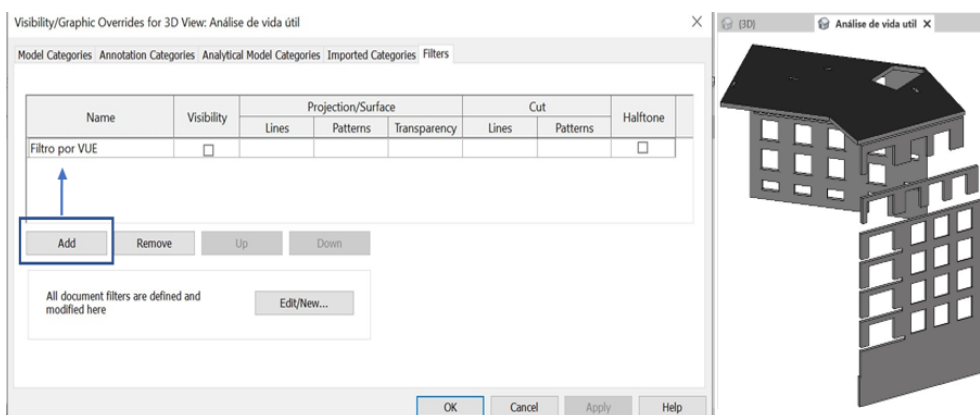


Figura 6.23 – Adição do filtro por VUE e resultado da sua aplicação sobre o modelo.

6.3.1. Utilização do *script* ao caso de estudo

Da mesma forma que o *script* “Estimar vida útil”, o *script* “Análise VUE” pode ser acionado através da janela do *Dynamo Player*. Tendo sido configurados como *inputs* deste *script* a seleção dos elementos na vista criada e o nó *Boolean*. procedeu-se à seleção de todos os elementos presentes na vista “Análise de vida útil” onde se inserem as duas fachadas e a cobertura em análise (Figura 6.23).

De seguida, o *script* “Análise VUE” requer a indicação do ano de construção e do ano para o qual se quer fazer a previsão do estado de degradação do elemento em análise (através da interface da Figura 6.24). Na zona inferior da mesma interface é apresentada a legenda de cores que foi atribuída consoante distintos períodos do valor de % de vida útil. Consoante o intervalo em que a percentagem calculada estiver inserida o elemento apresenta a cor atribuída ao intervalo. A cor verde corresponde a um estado de degradação inicial, enquanto que a cor vermelha é atribuída a um estado de degradação avançado (Figura 6.24).

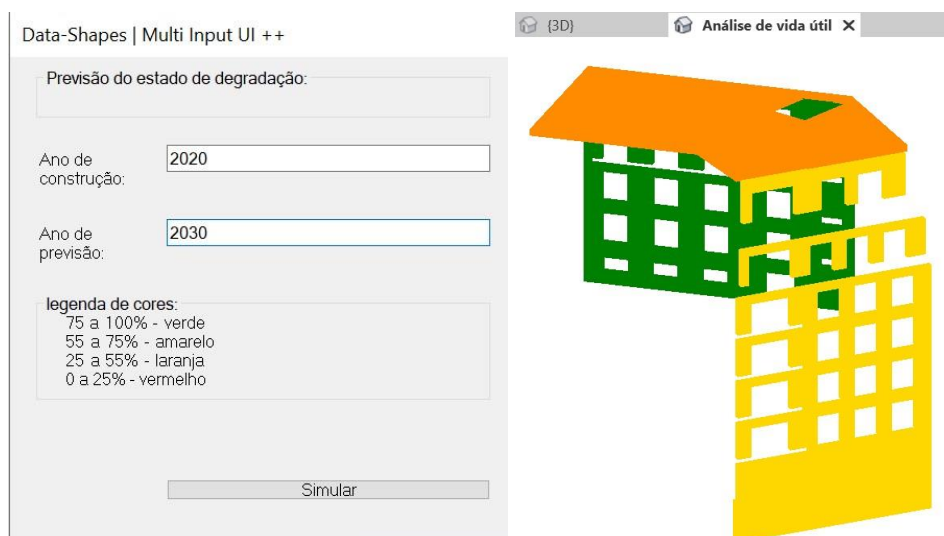


Figura 6.24 – Atribuição de cores pelo *script* “Análise VUE”

Como exemplo, foi indicado o ano de 2030, para a apresentação da previsão de vida útil, sendo possível observar os elementos com uma coloração distinta, representada na vista criada, como resultado dos valores inseridos (Figura 6.25), encontra-se o preenchimento automático do parâmetro % de vida útil calculada para cada elemento, de acordo com o ano inserido. As cores visualizadas na Figura 6.24 correspondem ao estado de conservação do edifício para o ano inserido. O intervalo de percentagens, bem como as cores escolhidas podem ser alteradas a partir do *Dynamo*, como explicado em 5.3.

Elemento	VUE	Custo subs. membrana (€/m2)	% vida útil	Custo limpeza (€/m)	Excel Manutenção
Basic Roof Cobertura Plana	15.8	23.53	37.0	4.86	C:\Use...
Basic Wall Parede dupla em alvenaria de tijolo (11+15cm)	48.5	72.88	79.0	17.69	C:\Use...
Basic Wall Parede em Fachada Ventilada	34.6	96	71.0	19.49	C:\Use...

Figura 6.25 – Propriedades dos elementos em análise.

Como referido, este *script* considera de uma forma global a previsão da vida útil de cada elemento, o que permite ter uma ideia temporal da degradação dos elementos. No entanto apresenta algumas limitações pois considera uma degradação linear dos materiais tendo sido aplicada de igual forma à superfície de cada elemento em análise, não fazendo diferenciação entre zonas do elemento que são mais suscetíveis de apresentar anomalias e por isso poderiam apresentar uma cor diferente. Adicionalmente também não prevê ações de manutenção que vão sendo realizadas ao longo da fase de exploração que podem contribuir para um aumento da vida útil do elemento face ao previsto. Contudo permite fazer uma comparação geral entre os elementos do edifício o que pode conduzir a repensar a escolha de alguns materiais por forma a que se aproximem mais da vida de projeto. No entanto, numa situação mais realista, extrapolando este estudo académico, poderia ser aplicada uma modelação mais fragmentada de cada um dos elementos.

6.4. Considerações finais

A utilização do software *Dynamo* na programação dos *scripts* apresentados permitiu demonstrar as potencialidades da ferramenta na forma como se pode explorar, manipular e exportar os dados do modelo BIM. Contudo, tendo em consideração que a integração *Dynamo* com *Revit* é utilizada com maior incidência para o desenvolvimento e manipulação da geometria do modelo, apresentou bastantes dificuldades quanto ao encadeamento das interfaces utilizadas no primeiro *script*. Um problema muito reportado pelos utilizadores do *Dynamo* e que foi sentido nesta dissertação, foi a pouca flexibilidade que o *software* permite na manipulação do fluxo do

algoritmo. Por exemplo, a dificuldade recorrente que existiu no impedimento de certos nós serem executados em benefício de outros quando se possibilita ao utilizador a opção de três caminhos diferentes que neste caso representam os 3 elementos para os quais foi estimada a vida útil (inseridos num mesmo *script*). Este problema foi contornado através de várias validações em *Python Script* (para impedir que os nós não fossem executados), não tornando o *software* muito eficaz neste sentido.

À *posteriori* deste desenvolvimento conclui-se que teria sido mais fácil desenvolver um *script* para a estimativa da vida útil de cada um dos elementos construtivos em separado. O *Revit* disponibiliza também a funcionalidade de poderem ser desenvolvidas macros que possibilita uma melhor manipulação do fluxo do algoritmo e que para os desenvolvimentos feitos no âmbito desta dissertação poderia ter sido mais adequado, além disso em termos de performance em *Dynamo* quando um nó é ativado recorre-se a 100% do seu processamento, enquanto que para os objetivos do algoritmo que se está a desenvolver, poderá não ser necessária toda essa capacidade, o que em termos de performance não é o mais vantajoso porque se recorre ao processamento e a uma memória interna do computador que não é necessária.

Este ponto não foi muito significativo nesta dissertação, no entanto numa aplicação de maior dimensão e mais complexa poderia ser crítica. A construção de uma macro em *Revit* permite uma maior gestão da memória interna e capacidade de processamento do computador. No entanto, é de notar a facilidade de utilização dos objetos e das suas funções dos nós em *Dynamo* que comparativamente à utilização análoga desses objetos numa macro em *Revit* que necessitariam para o mesmo objetivo um maior conhecimento técnico e uma curva de aprendizagem mais lenta sobre a API do *Revit*. Conclui-se assim que as duas metodologias não são concorrentes, mas sim complementares.

A aplicação dos *scripts* desenvolvidos ao caso de estudo permitiu atingir os objetivos pretendidos para esta dissertação, permitindo fazer uma análise da durabilidade dos elementos a aplicar no edifício em estudo, em fase de projeto, onde a alteração de soluções têm menor impacto a nível de custos gerais. Contudo, os objetos BIM não tinham os parâmetros necessários para aplicação do método fatorial, destacando-se a necessidade de no catálogo digital de cada objeto seja incluída a vida útil de referência (VUR) para poder avaliar a durabilidade dos elementos construtivos no projeto a que são aplicados, tendo em conta todos os fatores a ser preenchidos pelo técnico. A execução de cada um dos *scripts* ao caso de estudo ocorreu sem problemas, não tendo sido reportado qualquer erro pelo *Dynamo*.

Contudo, para a aplicação destes *scripts* a um modelo BIM é necessário que sejam criados os parâmetros de projeto: *VUE*, *Excel Manutenção*, *% Vida útil* e os parâmetros relativos aos custos, mencionados em 6.1.2. tal qual como mencionados, pois foi assim que foram denominados quando foi feita a programação em *Dynamo*. Para este ponto ser contornado era necessário incluir na programação de cada *script* a criação de cada um dos parâmetros, na tentativa de o fazer foi inicialmente incluído o nó *Parameter.CreateProjectParameter* mas sempre que o *script* era executado eram criados os parâmetros e na execução seguinte havia duplicação dos

parâmetros criados, não tendo conseguido contornar esta situação chegou-se à conclusão que seria mais eficaz a sua adição a partir do *Revit*. Em alternativa poderia proceder-se à programação de *scripts* independentes para a criação dos parâmetros necessários, mas o objetivo era estar tudo integrado no mesmo *script*.

A exportação de toda a informação para o Excel ocorreu com sucesso, tendo o *Dynamo* mostrado ser uma boa ferramenta para recolher e gerir informação do modelo essencial para a fase de manutenção como a composição dos elementos, a área correspondente e os custos associados que serviram de base para o plano de manutenção proposto. O ficheiro fica também disponível a partir do modelo BIM sendo possível aceder ao selecionar o parâmetro *Excel Manutenção* do respetivo elemento e pode ser atualizado ao longo da vida útil. Para tal, o ficheiro *Excel* tem de estar no computador, ou seja, na diretoria que lhe foi destinada, para ser possível localizá-lo.

Como referido o *script* "Análise VUE", apesar da sua execução ocorrer isenta de erros e permitir ter uma ideia temporal da degradação dos elementos, apresenta algumas limitações pois foi considerada uma degradação linear tendo sido aplicada de igual forma à superfície de cada elemento em análise, não identificando zonas que são mais suscetíveis de apresentar anomalias. Adicionalmente, também não prevê ações de manutenção que vão sendo realizadas ao longo da fase de exploração que podem contribuir para um aumento da vida útil do elemento face ao previsto. No entanto, a programação deste *script* permitiu explorar mais capacidades da ferramenta *Dynamo*, mostrando ser bastante flexível.

7. Conclusões e desenvolvimentos futuros

O presente trabalho pretendeu reunir os conceitos essenciais relacionados com a metodologia *Building Information Model* (BIM), bem como o estado da adoção desta metodologia quer a nível Europeu como a nível de implementação nas diferentes fases do ciclo de vida de um empreendimento. A perspetiva do estudo foi direcionada para a fase de ocupação do edifício, que por ser a fase de maior duração e onde a atividade de manutenção acrescenta custos que por vezes superam o investimento inicial, a utilização do BIM tem potencial para reunir toda a informação de apoio a esta fase e reduzir os encargos associados. A sua implementação ainda não é recorrente a um nível empresarial, particularmente no contexto nacional embora como demonstrado no trabalho, existam as ferramentas que o permitam.

Neste sentido foram estudadas as metodologias aplicadas no BIM-FM no qual se percebeu que havia ainda falhas, principalmente ao nível de transmissão de dados do modelo BIM para o sistema FM onde a interoperabilidade e a estrutura de dados ocorre com falhas. Assim como os métodos disponíveis para tal (IFC e COBie) que embora a investigação e a utilização apresentem avanços significativos, a sua aplicação ainda ocorre com alguns problemas. Este aspeto foi o que levou a optar pela ferramenta *Dynamo* para gerir e exportar a informação do modelo BIM para o sistema *Excel* tendo sido bem-sucedida.

O recurso a esta ferramenta no âmbito do presente trabalho foi necessário para o desenvolvimento dos *scripts* apresentados tendo sido programados para incluir o desempenho funcional dum edifício ao nível da sua durabilidade no modelo BIM. Na fase de projeto são atribuídos os produtos a aplicar numa construção, e a escolha adequada de uma solução construtiva com base no conhecimento do desempenho dos componentes permite tomar consciência das decisões aplicadas. Sendo que cada vez mais é relevante, que em fase de projeto, seja analisado o futuro desempenho dos edifícios, este aspeto é procurado tanto pelos donos de obra como pelos utilizadores finais no processo construtivo, repercutindo-se ao nível da durabilidade dos elementos e dos custos associados, tanto a curto como a longo prazo. Para seleccionar alternativas ao nível da conceção dos edifícios foram estudadas as metodologias de previsão da vida útil dos componentes da construção analisados (revestimentos cerâmicos aderentes, membranas de impermeabilização e revestimento de fachadas ventiladas) no sentido de avaliar, em anos de serviço, o seu desempenho no projeto em que se inserem.

Adicionalmente, foi desenvolvido um modelo BIM de arquitetura, onde apenas foram descritos os passos essenciais para a modelação dos elementos analisados, ilustrando-se também a inserção de alguns tipos de dados e parâmetros adicionais com o intuito de enriquecer o modelo BIM com informação relevante para esta análise. É também notória uma vertente informática nas competências de um engenheiro civil que cada vez mais tende a ser necessária para explorar cenários mais complexos. O que levou à aprendizagem de programação visual em *Dynamo* tendo-se ainda recorrido a linguagem de sintaxe textual em *Python* para atingir os objetivos pretendidos através de um processo de autoaprendizagem com recurso a tutoriais disponíveis

online que permitiram explorar as capacidades desta ferramenta. Uma vez que a utilização da metodologia BIM é cada vez mais evidente e o plano curricular frequentado não garante apetências no domínio desta aplicação, este trabalho permitiu adquirir conhecimentos da sua utilização essenciais para entrar no mundo do trabalho com uma competência tendencialmente mais necessária.

Como desenvolvimentos futuros releva-se o estudo da utilização do *Dynamo* na atividade de manutenção, onde devem ser exploradas as capacidades de extração de informação do modelo BIM, por forma a colmatar as falhas na transferência de informação, que vários estudos relatam na utilização do formato *COBie*. Adicionalmente, em concordância com o que foi referido em 6.4. destaca-se o aperfeiçoamento do *script* “Análise VUE” para uma modelação fragmentada dos elementos por forma a identificar as zonas críticas de cada elemento, mais suscetíveis ao aparecimento de anomalias.

Bibliografia

Abualdenien, Jimmy; Borrmann, André. 2019. *A meta-model approach for formal specification and consistent management of multi-LOD building models.* Advanced Engineering Informatics, Vol. 40, pp. 135-153. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.04.003>.

Alves, João; Lino, José Carlos; Neves, Luís Costa. 2018. *Interoperabilidade BIM em projeto de estruturas de betão armado.* [ed.] António Aguiar Costa e Miguel Azenha. 2º congresso português de building information modelling, pp. 331-340.

Araszkiewicz, Krystyna. 2017. *Digital technologies in Facility Management – the state of practice and research challenges.* Creative Construction Conference. Procedia Engineering, Vol. 196, pp. 1034 – 1042. doi: 10.1016/j.proeng.2017.08.059.

BIFM. s.d.. The British Institute of Facilities Management (BIFM). *CIPS*. [Online] BIFM, s.d. <https://www.cips.org/knowledge/categories-and-commodities/facilities/bifm/>.

Brito, Jorge; Flores-Colen, Inês. 2002. *Manutenção da envolvente vertical - Aplicação de estratégias preventivas (Parte I).*

CBRE. 2017. *Top trends in facilities management. How society, demographics and technology are changing the world of FM.*

Cecconi, F. 2002. *Performances Lead The Way To Service Life Prediction.* DISET – Polytechnic of Milan, Italy.

Cecconi, Fulvio. 2004. *Engineering method for service life planning: the evolved factor method.* BEST - Polytechnic of Milan.

Chai, Cristina. 2011. *Previsão da vida útil de revestimentos de superfícies pintadas em paredes exteriores.* Dissertação de mestrado: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

Chen, Weiwei; Chen, Keyu; Cheng, Jack; Wang, Qian; Gan, Vincent. 2018. *BIM-based framework for automatic scheduling of facility maintenance work orders.* Automation in Construction, Vol. 91, pp. 15-30. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.007>

Costa, António Aguiar. 2020. *Visão Construção 2020 - Digitalização da Indústria da Construção.* Lisboa: ONS/IST.

Costa, António Aguiar; Matos, Bruno; Drumond, Diogo; Rodrigues, Inês. 2017. *Guia de Contratação BIM.* Instituto Superior Técnico. ISBN: 978-989-98342-9-3.

Daniotti, Bruno; Spagnolo, Sonia. 2008. *Service Life Prediction Tools for Buildings' Design and Management.* 11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components. ISTANBUL - TURKEY.

Danosa. 2014. *Recomendações de manutenção e reparação de coberturas planas impermeabilizadas com membranas de betume modificado.*

Despacho nº 15793-F/2013, Zonas Climáticas. Diário da República, 2ª série, N° 234, Lisboa, 3 de dezembro de 2013, pp. 26-31.

Decreto-Lei nº 235/83, Regulamento de segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA). Diário da República, 1ª série, Lisboa, 31 de maio.

Douteiro de Sá, José Pedro. 2016. *Facility management a componente da Manutenção de Edifícios.* Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Eadie, Robert; Rocks, John; Stoyanov, Ventsislav. 2019. *Building Information Modelling (BIM) software for facilities management (FM).*

Eastman, Charles. 1975. *The use of computers instead of drawings in building design.* AIA Journal, Vol. 63, pp. 46-50.

Eastman, Chuck; Teicholz, Paul; Sacks, Rafael; Liston, Kathleen. 2011. *BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. Second Edition.* John Wiley & Sons, Inc.

Blanco, Fernando; Chen, Haibo. 2014. *The Implementation of Building Information Modelling in the United Kingdom by the Transport Industry.* Vol. 138, pp. 510-520.

Flores, Inês; Brito, Jorge. 2002. *Estratégias de Manutenção em Fachadas de Edifícios.* Revista de Engenharia Civil, Vol. 13, pp. 47-58.

Flores-Colen, Inês. s.d. *Introdução à manutenção de edifícios.* Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa: Folhas de apoio à disciplina de manutenção de edifícios.

Frangopol, Dan; Kallen, Maarten-Jan; Noortwijk, Jan M van . 2004. *Probabilistic models for life-cycle performance of deteriorating structures: review and future directions.* Progress in Structural Engineering and Materials, Vol. 6, pp. 197-212.

Gamboa, Miguel. 2015. *Contribuição para o desenvolvimento de uma norma BIM nacional. Adaptação da COBie a Portugal.* Dissertação de mestrado: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

Gaspar, Pedro Lima. s.d. *Conceitos sobre a vida útil.* [ed.] Inês Flores-Colen. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa: Folhas de apoio à disciplina de manutenção de edifícios.

Gaspar, Pedro; Brito, Jorge. 2003. *O ciclo de vida das construções.* Arquitectura e Vida, 44, pp. 70-75.

Gaspar, Pedro; Brito, Jorge. 2009. *Tipos de Vida Útil das Construções.* 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios: PATORREB, pp. 301-306.

Gaspar, Pedro. 2002. *Metodologia para o cálculo da durabilidade de rebocos exteriores correntes*. Dissertação de mestrado: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

Grytting, Iver; Svaestuen, Fredrik; Lohne, Jardar; Sommerseth, Havard; Augdal, Siri; Laedre, Ola. 2017. *Use of LoD decision plan in BIM-projects*. Creative Construction Conference. Primosten, Croatia. Vol. 196, pp. 407-414.

Hovde, P; Moser, K. 2004. *Performance based methods for service life prediction*. In State of the art reports, CIB Report: Publication (Vol. 294).

IFMA. 2018. *Competency Guide. International Facility Management Association Certified Facility Manager (CFM)*.

ISO 15685-1. 2000. *Buildings and constructed assets: Service life planning - Part 1: General principles and framework*. Geneva: International Standard Organization.

2017. ISO 41011. *Facility management - Vocabulary*. ISO/TC 267.

Jamil, George; Ribeiro, Fernanda; Silva, Armando; Lopes, Sérgio. 2019. *Handbook of Research on Emerging Technologies for effective Project Management*. IGI Global. 9781522599937.

Kamardeen, Imriyas. 2010. *8D BIM modelling tool for accident prevention through design*. (Ed) Procs 26th Annual ARCOM Conference, Leeds, UK. Association of Researchers in Construction Management, pp. 281-289.

Kjartansdóttir, Ingibjörg; Mordue, Stefan; Nowak, Pawel; Philip, David; Snaebjornsson, Jónas. 2017. *Building Information Modelling*. Construction managers' library. Iceland, Great Britain. 978-83-947920-1-5.

Lacasse, M. A.; Sjoström, C. 2003. *Methods for service life prediction of building materials and components - recent activities of the CIB W80/RILEM 175-SLM*. NRC Publications Archive, Archives des publications du CNRC.

Lopes, Carlos. 2009. *Durabilidade na construção. Estimativa da vida útil de revestimentos cerâmicos de fachadas*. Dissertação de mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

MagiCAD. 2019. *BIM adoption in Europe. Current state, challenges and a vision of tomorrow*. White paper.

Magos, Maria. 2015. *Aplicação do método factorial à previsão da vida útil de pinturas de paredes exteriores*. Dissertação de mestrado: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

Marques, Cristina. 2016. *Aplicação do método factorial à previsão da vida útil de ETICS*. Dissertação de mestrado: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

Matos, Maria. 2007. *Durabilidade como critério de projecto. O Método Factorial no contexto português.* Dissertação de mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Mckinsey. 2017. *Reinventing Construction: a route to higher productivity.* Mckinsey Global Institute.

Mohamed, Ahmed Gouda; Abdallah, Mohamed Reda; Marzouk, Mohamed. 2020. *BIM and semantic web-based maintenance information for existing buildings.* Automation in Construction, Vol. 116, pp. 103-209. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103209>.

Moser, K.; Edvardsen, C. 2002. *Engineering Design Methods for Service Life Prediction.* COWI Consulting Engineers and Planners Denmark, Paper 222.

Nawi, Mohd Nasrun; Baluch, Nazim; Bahauddin, Ahmad Yusni. 2014. *Impact of Fragmentation Issue in Construction Industry: An Overview.* MATEC Web of Conferences 15.

NBS. 2019. *National BIM Report 2019. The definitive industry update.*

Nor, Noor Azman; Mohammed, Abdul Hakim; Alias, Buang. 2014. *Facility Management History and Evolution.* International journal of facility management, Vol. 5, No. 1.

Oliveira, Pedro. 2011. *Metodologia de manutenção de edifícios - Fachadas Ventiladas.* Dissertação de mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Ozturk, Gozde Basak. 2020. *Interoperability in building information modeling for AECO/FM industry.* Automation in Construction, Vol. 113, pp. 103-122.

PAS1192-2. 2013. *Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling.* British Standard Institute.

Pishdad-Bozorgia, Pardis; Gao, Xinghua; Eastman, Charles; Self, Alonzo. 2018. *Planning and developing facility management-enabled building information model (FM-enabled BIM).* Automation in Construction, Vol. 87, pp. 22-38. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.004>.

Potkany, Marek; Vetrakova, Milota; Babiakova, Martina. 2015. *Facility Management and Its Importance in the Analysis of Building Life Cycle.* Procedia Economics and Finance, Vol. 26, pp. 202-208.

Ramos, Rui. 2016. *Previsão da vida útil de revestimentos exteriores de coberturas inclinadas.* Dissertação de mestrado: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

Raposo, Tadeu Faria. 2009. *Durabilidade da Construção. Estimativa da vida útil de revestimentos de coberturas planas.* Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Riley, Mike; Cotgrave, Alison. 2005. *Construction Technology 3 - The technology of refurbishment and maintenance.* New York : Palgrave Macmillan.

Santos, Marisa. 2010. *Metodologias de previsão de vida útil de materiais, sistemas ou componentes da construção.* Dissertação de mestrado: Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.

Sattler, Léa; Lamouri, Samir; Pellerin, Robert; Maigne, Thomas. 2019. *Interoperability aims in Building Information Modeling exchanges: a literature review.* IFAC PapersOnLine 52-13, pp. 271-276. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.180>.

Saunders, Compton Colin. 2016. *Development of an ISO 55000 Compliant Central Management Framework for Asset Care Plans within a Multi-Technology Portfolio of Renewable Energy Power Plants in the South African Energy Sector.* Department of Industrial Engineering, University of Stellenbosch, South Africa.

Schley, Michael; Haines, Brian; Roper, Kathy; Williams, Brandi. 2016. *BIM for facility management.* Version 2.1. BIM-FM Consortium, International Facility Management Association.

Silva, Ana; Silvestre, José Dinis; Brito, Jorge. 2013. *Abordagem determinística e estocástica à previsão da vida útil dos revestimentos exteriores de fachada.* Revista Técnica, Nº1, pp. 14-20.

Silva, José Mendes; Falorca, Jorge. 2009. *A model plan for buildings maintenance with application in the performance analysis of a composite facade cover.* Construction and Building Materials, Vol. 23, pp. 3248–3257.

Smith, Peter. 2015. *Project cost management with 5D BIM.* Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 226, pp. 193-200.

Souza, Jéssica; Silva, Ana; Brito, Jorge; Bauer, Elton. 2018. *Service life prediction of ceramic tiling systems in Brasília-Brazil using the factor method.* Construction and Building Materials, Vol. 192, pp. 38-49. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.084>.

Steenhuizen, Dore; Flores-Colen, Inês; Reitsma, A.; Ló, Pedro. 2014. *The road to facility management.* Facilities, Vol. 32, Nº 1/2, pp. 46-57.

Talon, Aurélie; Chevalier, Jean; Hans, Julien. 2005. *Temporal quantification method of degradation scenarios based on FMEA.* International Conference on the durability of building materials and components, Lyon, pp. 554-561.

Tavares, Agnelo. 2009. *Gestão de edifícios. Informação comportamental.* Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.

Teixeira, João. 2019. *Economia Circular no Setor da Construção Civil I - Ciclo dos materiais.* Lisboa: Comissão de Coordenação e desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo. 978-972-8872-42-7.

Vilhena, António. s.d. *Avaliação das necessidades de manutenção.* [ed.] Inês Flores-Colen. Folhas de apoio à disciplina de manutenção de edifícios.

Yalcinkaya, M.; Singh, V. 2015. *Examining the Evolution of COBie Standards in Building Information Modelling for Facilities Management*. Proceedings of the 32nd CIB W78 Conference 2015, 27–29 October, Eindhoven, the Netherlands.

Yalcinkaya, Mehmet; Singh, Vishal. 2014. *Building Information Modeling (BIM) for Facilities Management – Literature Review and Future Needs*.

Referências bibliográficas *online*

Capítulo 1

[W1] – **Antunes, Cláudia. 2019.** *BIM: o ponto de viragem no sector da construção.* Disponível em: <https://pontosdevista.pt/2019/05/26/bim-ponto-viragem-no-setor-da-construcao/>, consultado em junho 2020.

Capítulo 2

[W2] – **CICCOPN. 2006.** *Breve Descrição do Sector da Construção Civil.* Disponível em: http://negocios.maiadigital.pt/hst/sector_actividade/construcao_civil/caracterizacao/descricao, consultado em janeiro 2020.

[W3] – **Dharma Sistemas. 2010.** Disponível em: <https://dharماسistemas.wordpress.com/2010/11/01/voce-sabe-o-que-e-bim-2/>, consultado em novembro 2019

[W4] – **Tekla. BIM maturity levels.** Disponível em: <https://campus.tekla.com/bim-maturity-levels>, consultado em dezembro 2019.

[W5] – **United BIM. 2019.** *BIM Maturity Levels Explained- Level 0, Level 1, Level 2, Level3.* Disponível em: <https://www.united-bim.com/bim-maturity-levels-explained-level-0-1-2-3/>, consultado em dezembro 2019.

[W6] – **Scottish Future's Trust. 2017.** *BIM Level 2.* Disponível em: <https://bimportal.scottishfuturestrust.org.uk/page/standards-level-1>, consultado em janeiro 2020.

[W7] – **STROMA. Building for BIM Level 3.** Disponível em: <https://www.stroma.com/news/bim-level-3#:~:text=BIM%20Level%20is%20about,the%20asset%20throughout%20its%20lifecycle>, consultado em janeiro 2020.

[W8] – **Biblus. BIM worldwide: How building Information modeling is revolutionizing the AEC Sector.** Disponível em: <http://biblus.accasoftware.com/en/bim-worldwide-how-building-information-modeling-is-revolutionizing-the-aec-sector/>, consultado em fevereiro 2020.

[W9] – **CT197BIM. O que é o BIM?** Disponível em: <http://www.ct197.pt/index.php/homepage/o-que-e-o-bim>, consultado em fevereiro 2020.

[W10] – **Aero. (2016). Level of Development - LOD - as a Lifecycle BIM tool.** Disponível em: <https://blog.areo.io/level-of-development/>, consultado em janeiro 2020.

[W11] – **BIM Model. 2016. What Interoperability really means in a BIM context?** Disponível em: <https://www.bimmodel.co/single-post/2016/09/05/What-Interoperability-really-means-in-a-BIM-context>, consultado em fevereiro 2020.

[W12] – **Zigurat. 2019. IFC and BIM Interoperability.** Disponível em: <https://www.e-zigurat.com/blog/en/ifc-and-bim-interoperability/>, consultado em fevereiro 2020.

[W13] – **buildingSmart. 2020. Certified Software.** Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/compliance/software-certification/certified-software/>, consultado em fevereiro 2020.

[W14] – **BIM Corner. 2019. Everything worth knowing about the IFC format.** Disponível em: <https://bimcorner.com/everything-worth-knowing-about-the-ifc-format/>, consultado em fevereiro 2020.

[W15] – **The B1M. 2016.** *What is 4D BIM?* Disponível em: <https://www.theb1m.com/video/what-is-4d-bim>, consultado em janeiro 2020.

[W16] – **NBS. 2017.** *BIM dimensions - 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained.* Disponível em: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained>, consultado em fevereiro 2020.

[W17] – **INDBIM.** *All About 6D Sustainability BIM.* Disponível em: <https://indbim.com/6d-bim.html>, consultado em março 2020.

[W18] – **The B1M. 2015.** *What is 6D BIM?* Disponível em: <https://www.theb1m.com/video/what-is-6d-bim>, consultado em dezembro 2020.

Capítulo 3

[W19] – **FM: systems. 2018.** *What is Space Management?* Disponível em: <https://fmsystems.com/blog/what-is-space-management/>, consultado a março 2020.

[W20] – **Planon.** *How you can benefit from BIM as a Facility Manager.* Disponível em: <https://planon.showpad.com/share/Hj5l1NIUgMmKfYRYqg5SO>, consultado em março 2020.

[W21] – **Autodesk. 2016.** *Integration of BIM and Facility Maintenance: What Does the FM Crew Really Need?* Disponível em: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Integration-BIM-and-Facility-Maintenance-What-Does-FM-Crew-Really-Need-2016#presentation>, consultado em março 2020.

[W22] – **2016.** *LEAN Construction Project Delivery Methods – Job Order Contracting, IPD, 5D BIM.* Disponível em <https://buildinginformationmanagement.wordpress.com/tag/cobie/>, consultado em março 2020.

[W23] – **The CAD Room. 2017.** *What is COBie and how does it relate to BIM?* Disponível em <https://www.thecadroom.com/cobie-relate-bim/>, consultado em abril 2020.

[W24] – **EcoDomus. 2015.** *Doing COBie the easy way and getting real benefits of BIM for FM.* Disponível em: <https://bimrec.com/wp-content/uploads/2015/05/Igor-Starkov-BIM-REC-EcoDomus-Presentation.pdf>, consultado em abril 2020.

[W25] – **Graphisoft.** Disponível em: <https://graphisoft.com/partner-solutions/archifm>, consultado em abril 2020.

[W26] – **FM: systems.** *Workplace Management Solutions.* Disponível em: <https://fmsystems.com/our-solutions/workplace-management/>, consultado em maio 2020.

[W27] – **FM: systems.** *BIM Software for the Building Lifecycle. Stay Connected with Cloud-based Systems.* Disponível em: <https://fmsystems.com/facility-management-software/bim-for-the-building-lifecycle/>, consultado em maio 2020.

Capítulo 5

[W28] – **Dynamo Primer.** Disponível em <https://primer.dynamobim.org/>, consultado em abril 2020.

[W29] – **DATA|SHAPES.** Disponível em: <https://data-shapes.io/category/user-interface/>, consultado em abril 2020.

[W30] – **Dynamo. 2013.** *Slingshot! for Dynamo.* Disponível em: <https://dynamobim.org/slingshot-for-dynamo/>, consultado em maio 2020.

[W31] – **Gerador de preços.** Disponível em: <http://www.geradordeprecos.info/>

8. Anexos

Anexo 1 – Programação visual em *Dynamo* do script “Estimar Vida útil” e respetivos nós

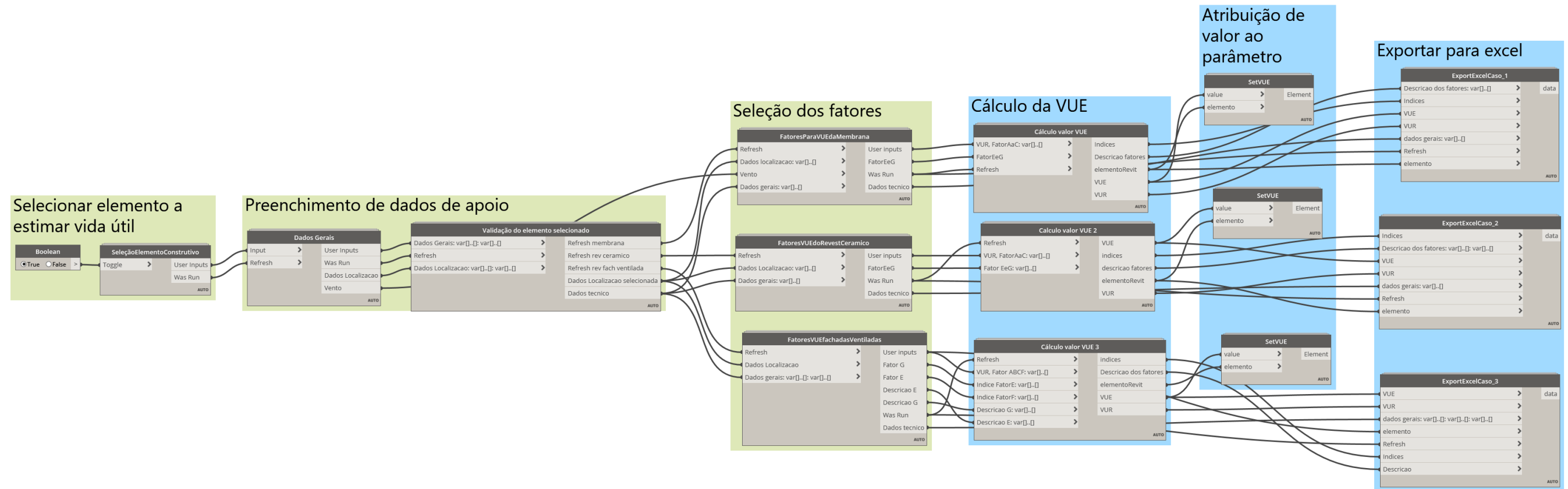


Figura 8.1 – Script “Estimar vida útil”.

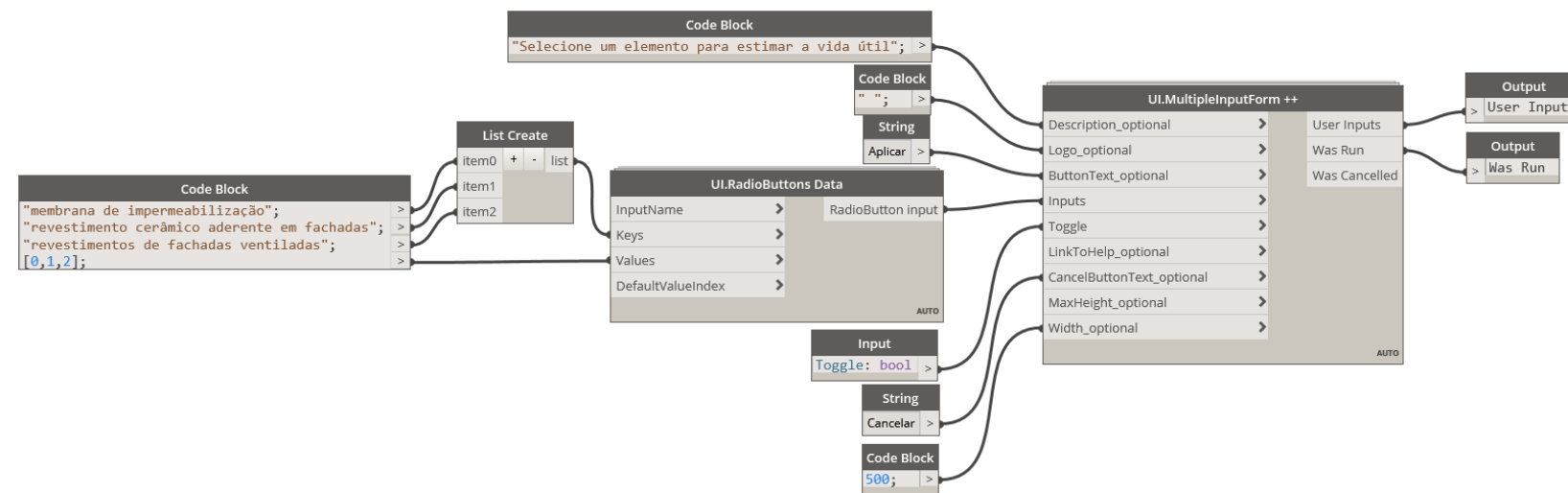


Figura 8.2 – Programação do nó “SeleçãoElementoConstrutivo”.

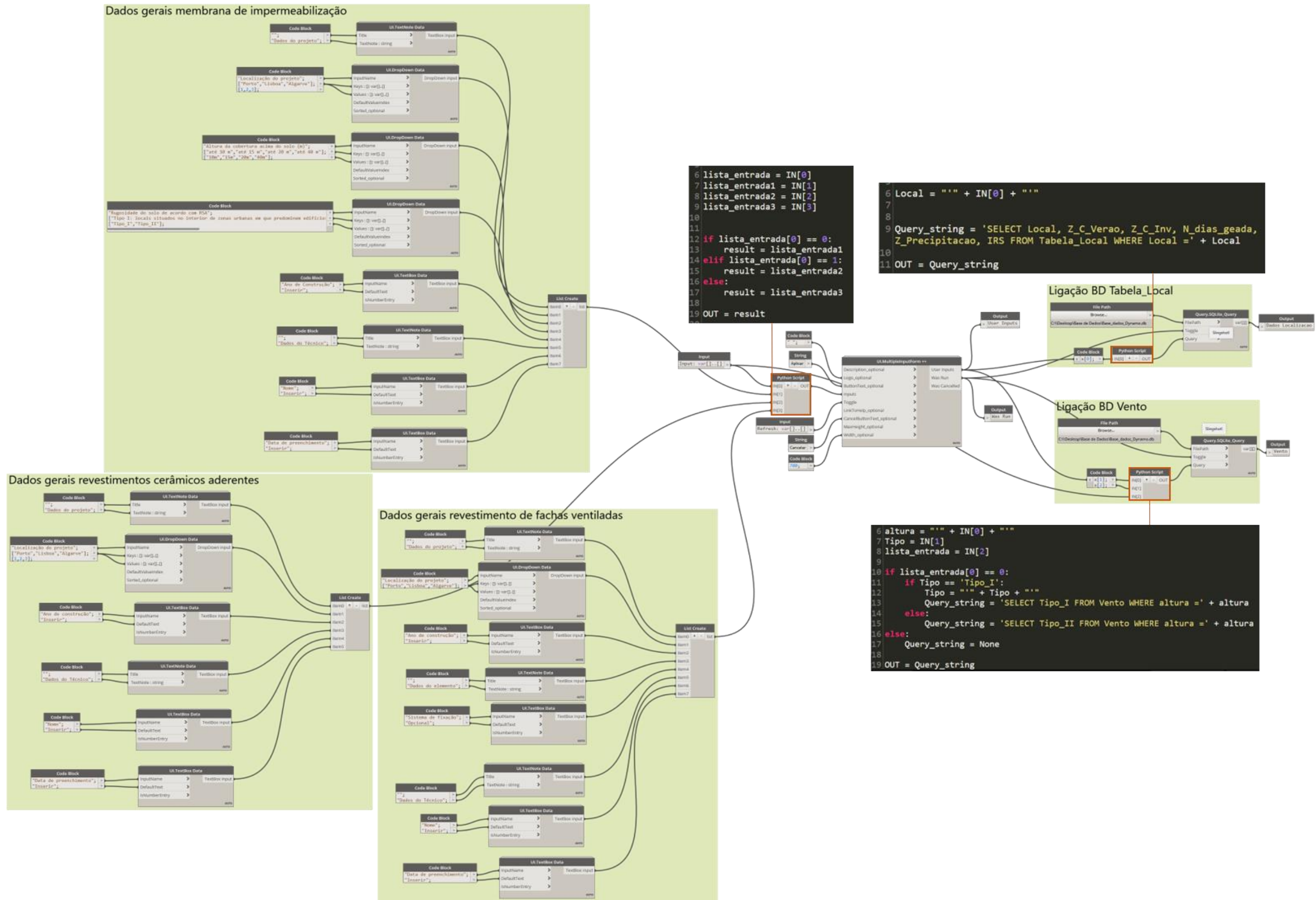


Figura 8.3 – Programação do nó “Dados Gerais” com ilustração dos Python Scripts.

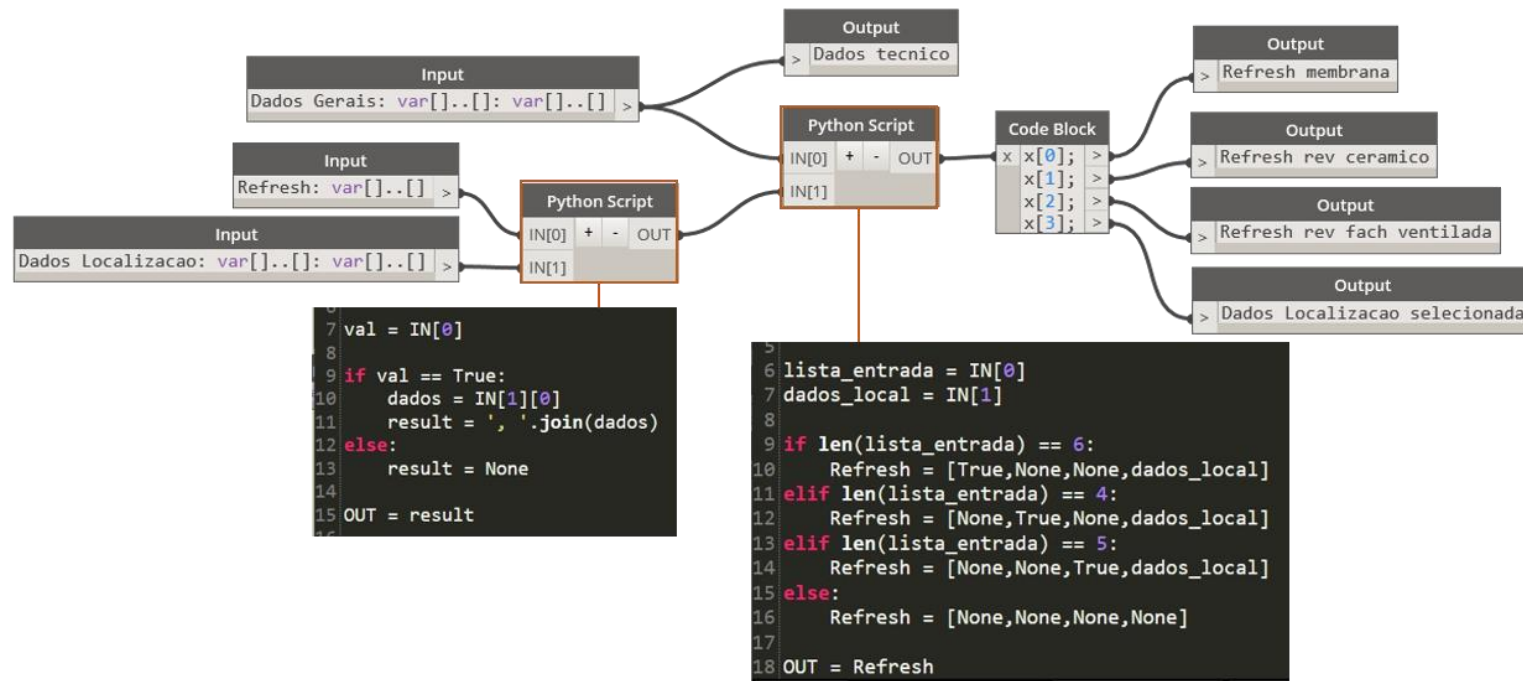


Figura 8.4 – Programação do nó “Validação do elemento selecionado” com ilustração dos *Python Scripts*.

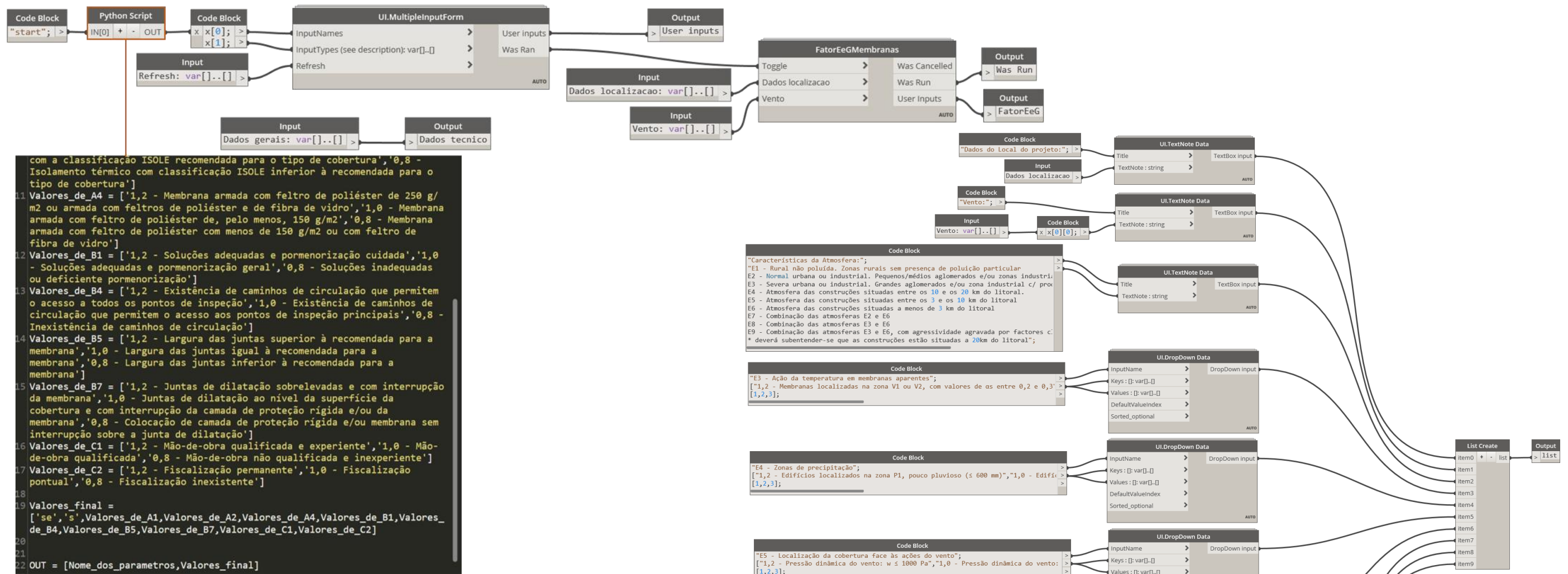


Figura 8.5 – Programação do nó “FatoresParaVUEdaMembrana”.

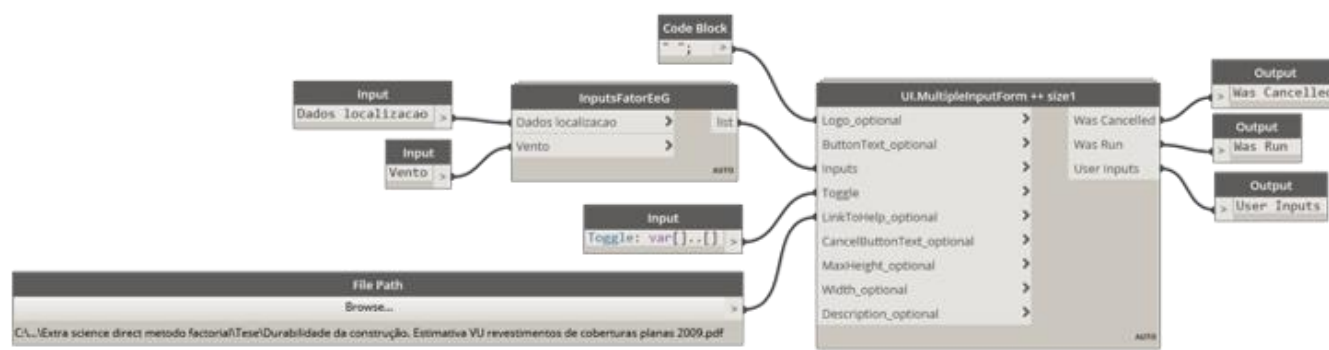


Figura 8.6 – Programação do nó “FatorEeGMembranas” da Figura 8.5.

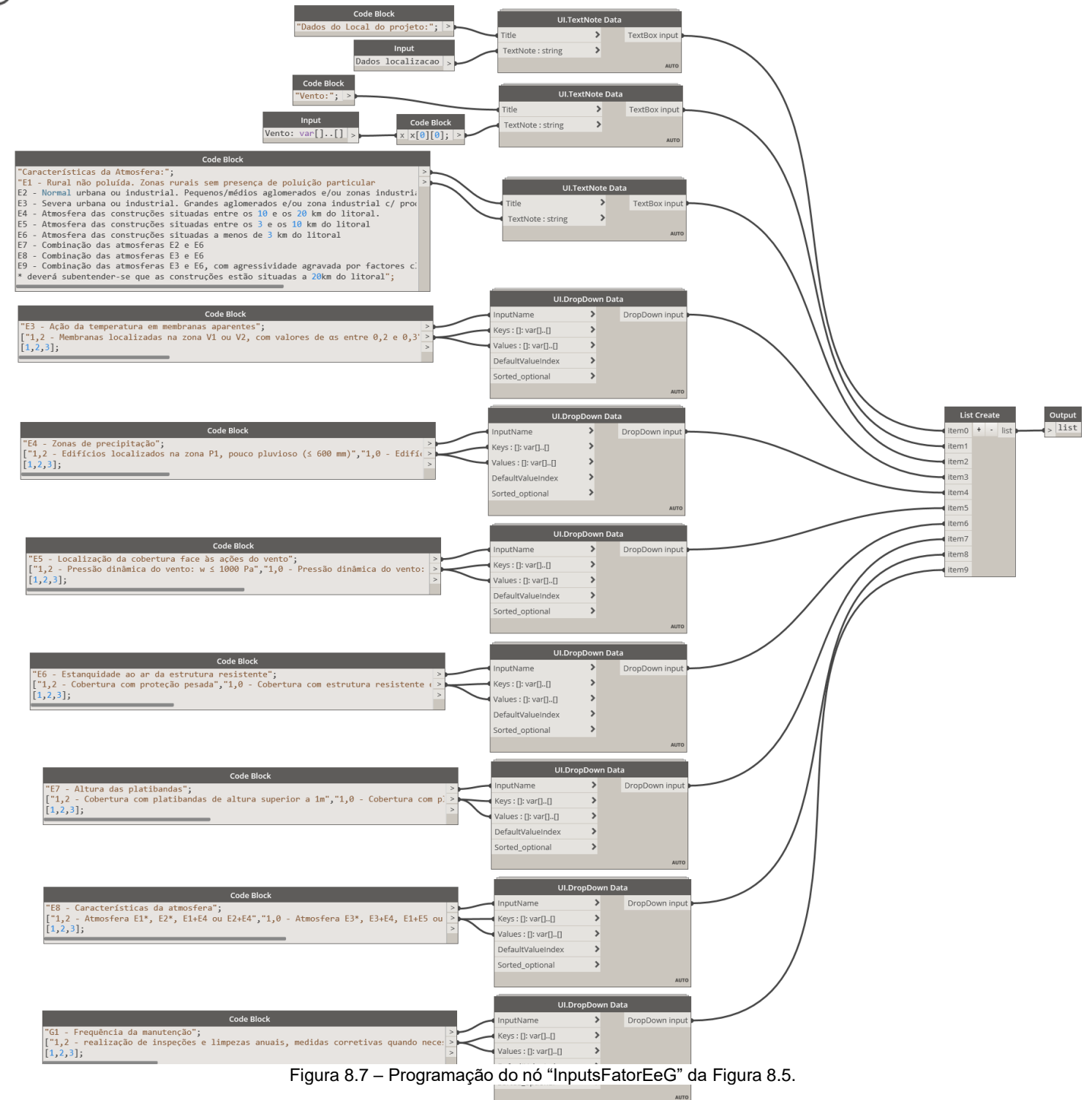


Figura 8.7 – Programação do nó “InputsFatorEeG” da Figura 8.5.

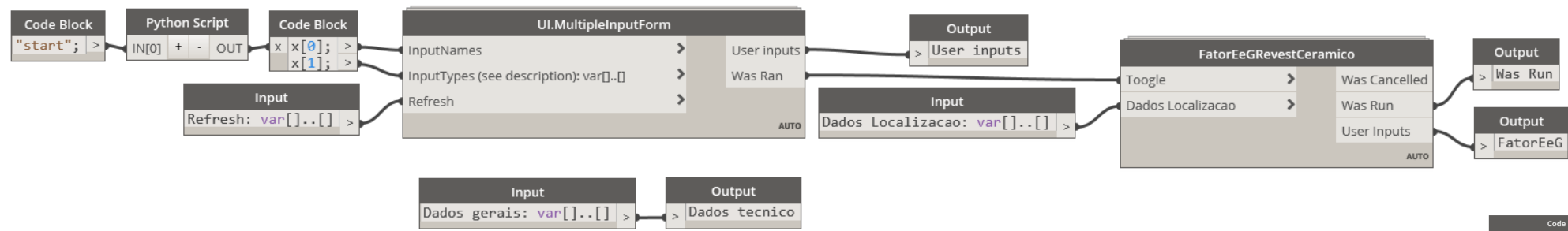


Figura 8.9 – Programação do nó “FatoresVUEdoRevestCeramico”.

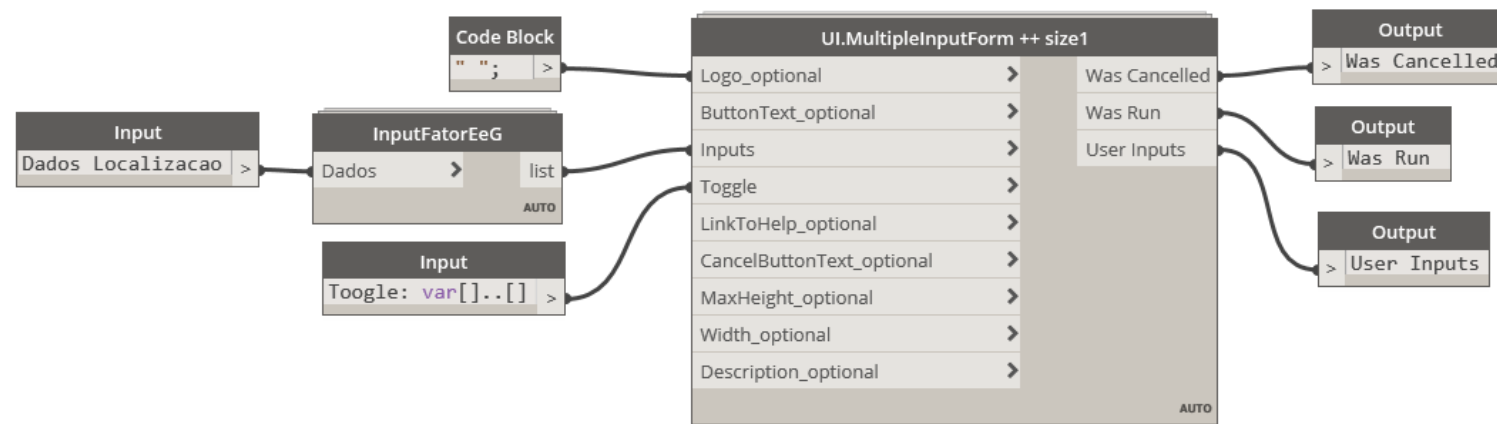


Figura 8.10 – Programação do nó “FatorEeGRevestCeramico” da Figura 8.9.

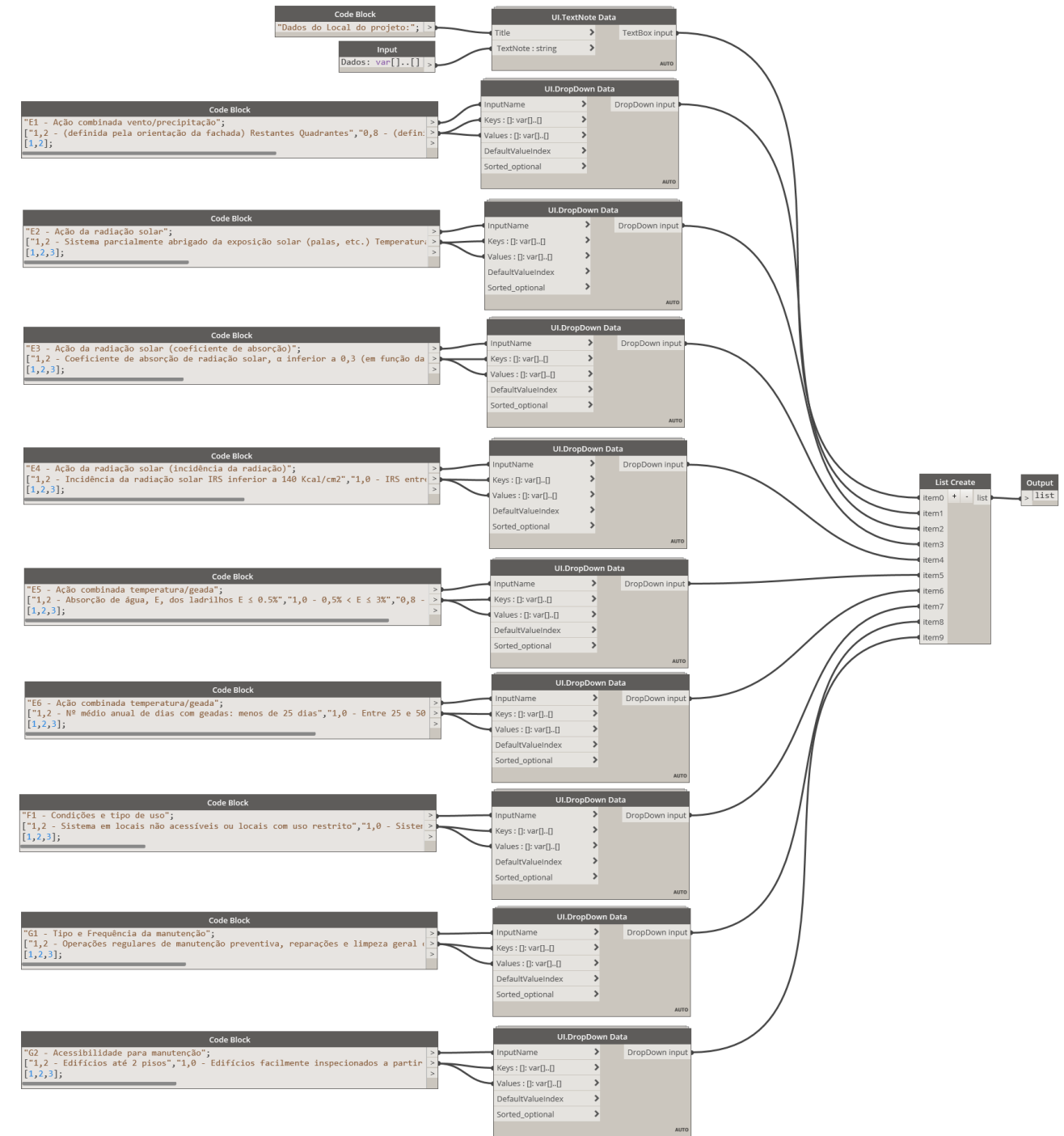


Figura 8.8 – Programação do nó “InputFatorEeG” da Figura 8.10.

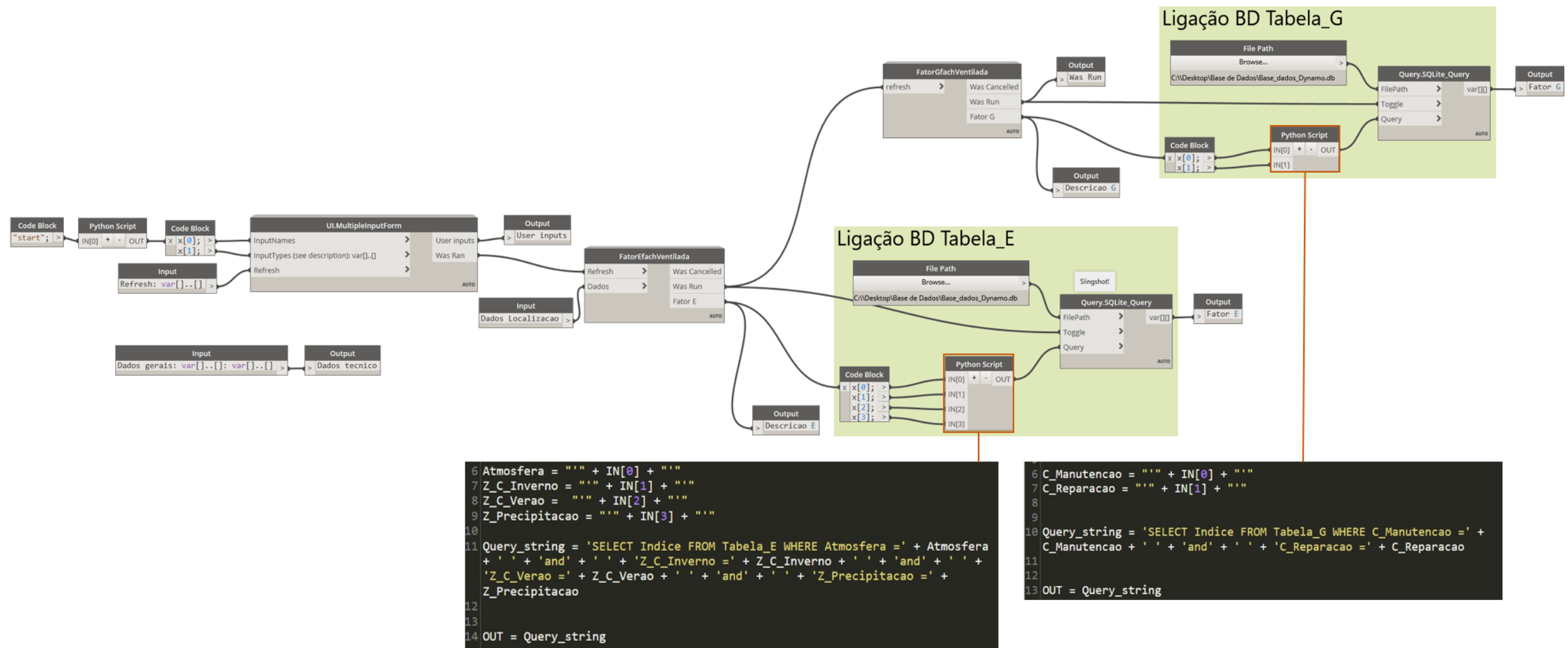


Figura 8.11 – Programação do nó “FatoresVUEfachadasVentiladas” e ilustração dos *Python Scripts*.

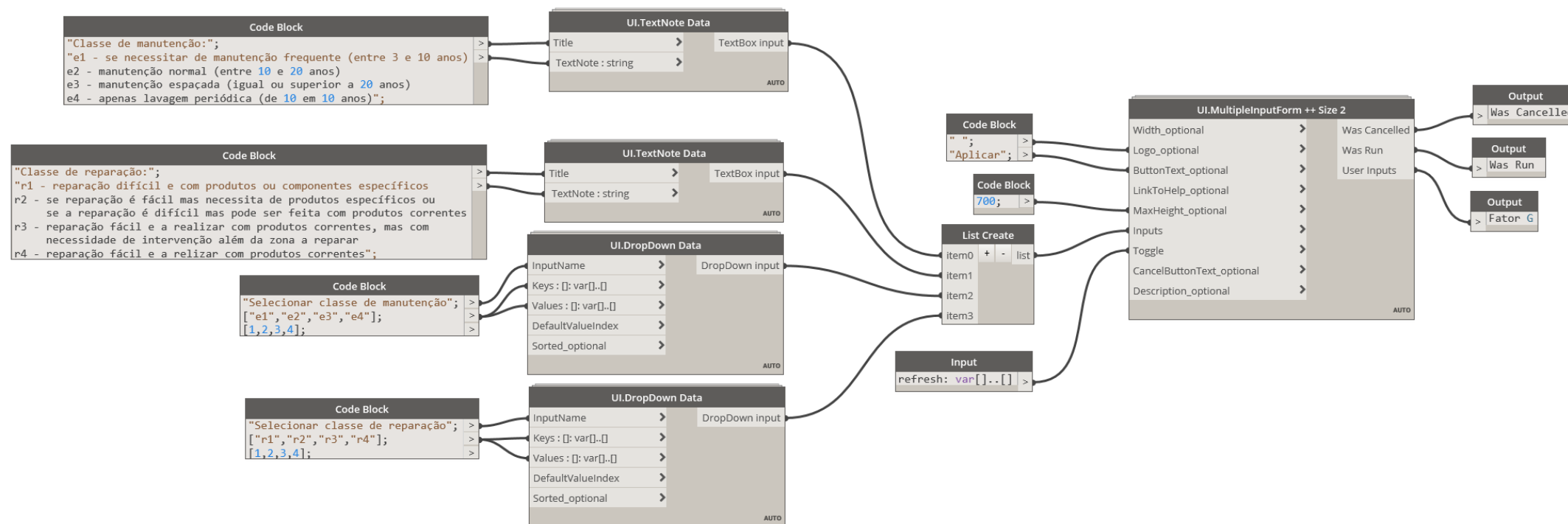


Figura 8.12 – Programação do nó “FatorGfachVentilada” da Figura 8.11.

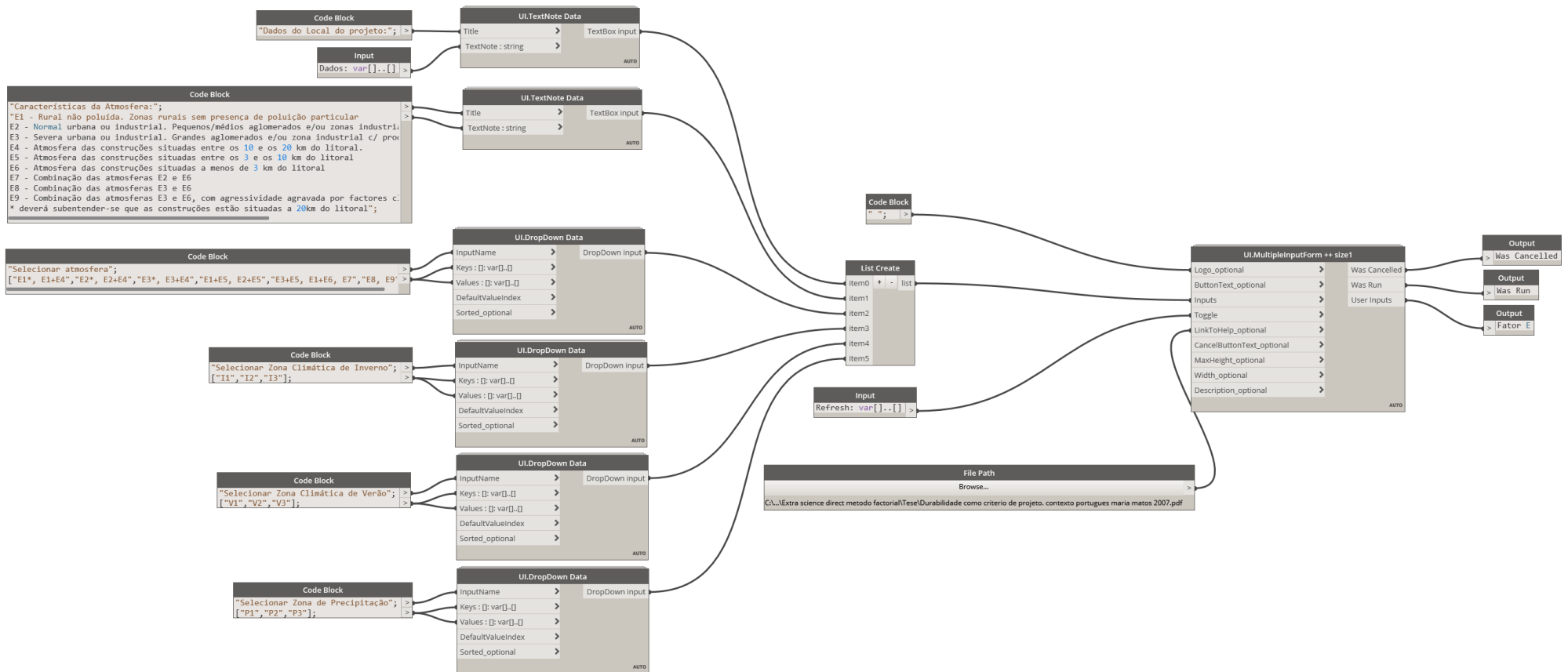


Figura 8.13 – Programação do nó “FatorEfachVentilada” da Figura 8.11.

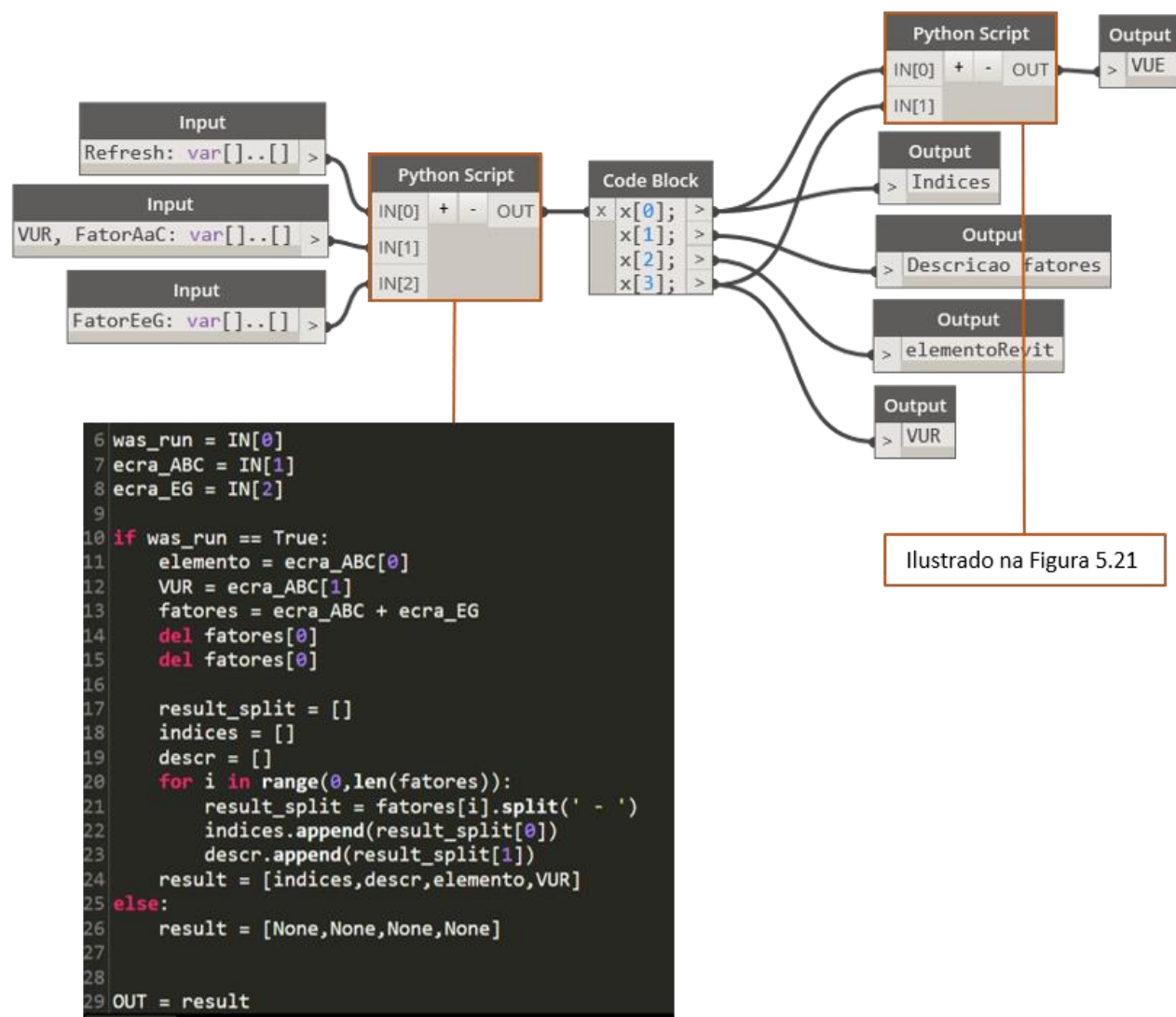


Figura 8.15 – Programação dos nós “Cálculo valor VUE” e “Cálculo valor VUE 2”.

Ilustrado na Figura 5.21

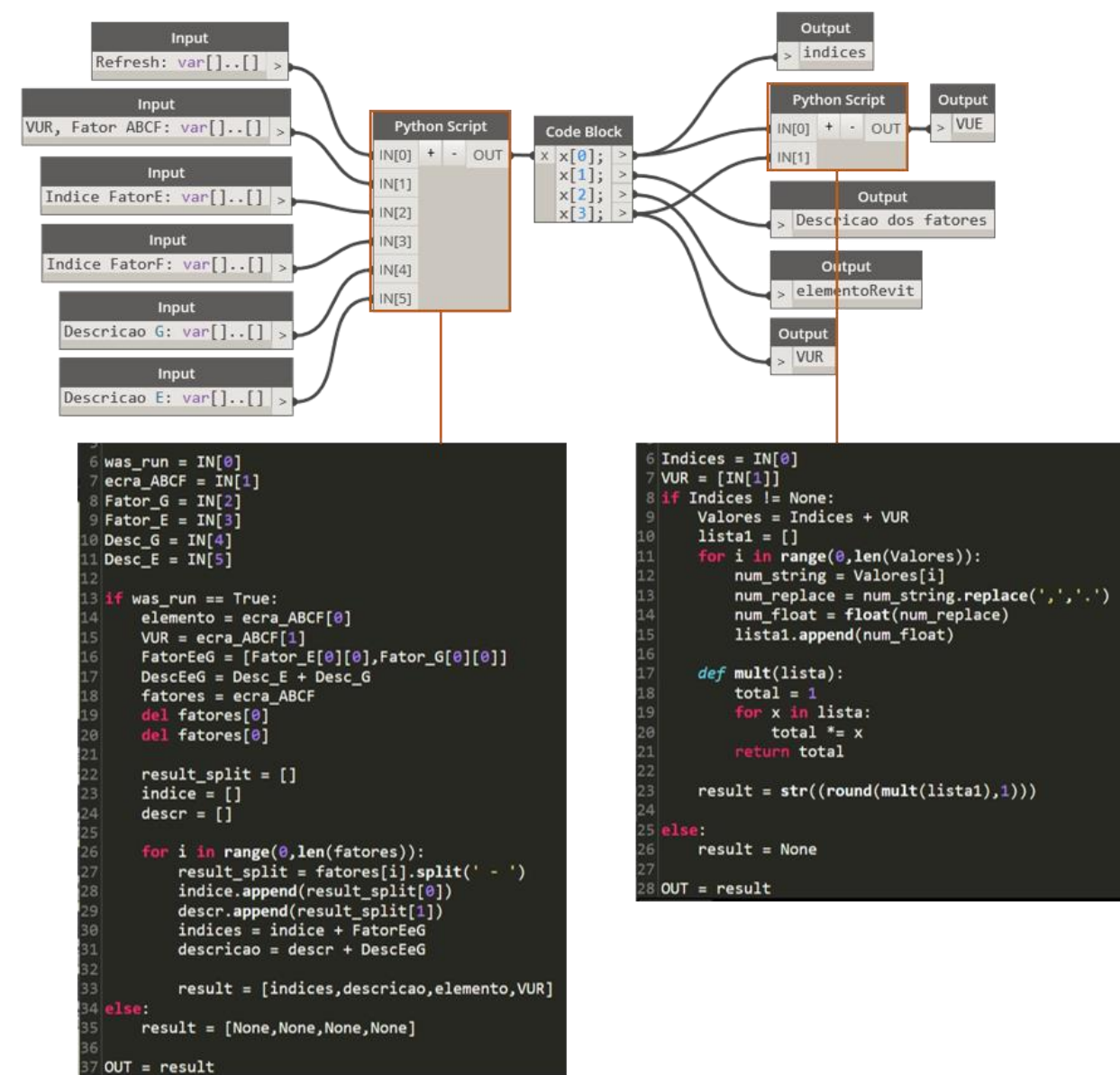


Figura 8.14 – Programação do nó “Cálculo valor VUE 3”.

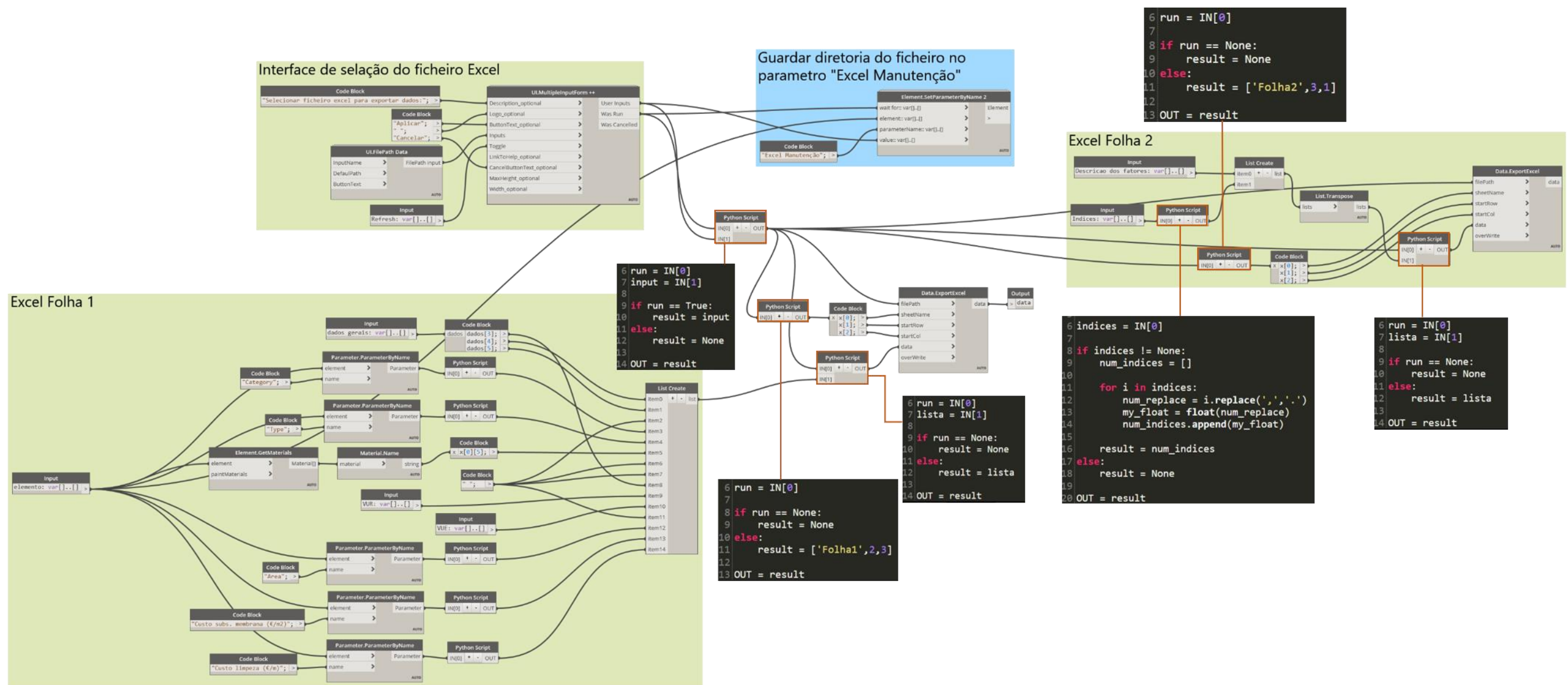


Figura 8.16 – Programação do nó "ExportExcelCaso_1" com ilustração dos *Python Scripts* utilizados.

Anexo 2 – Utilização do script “Estimar Vida útil” nos elementos do caso de estudo

2.1. Utilização do script para estimar a vida útil da membrana de impermeabilização

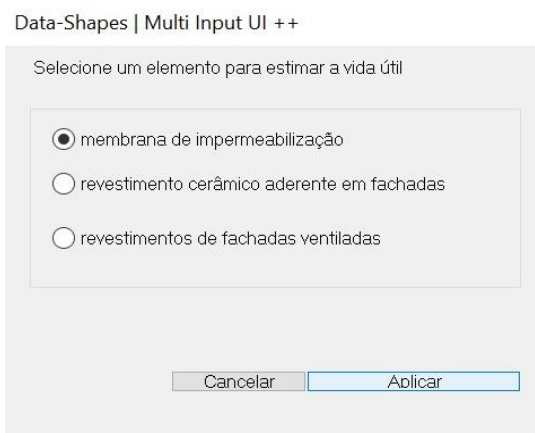


Figura 8.17 – Interface de seleção do elemento a analisar.

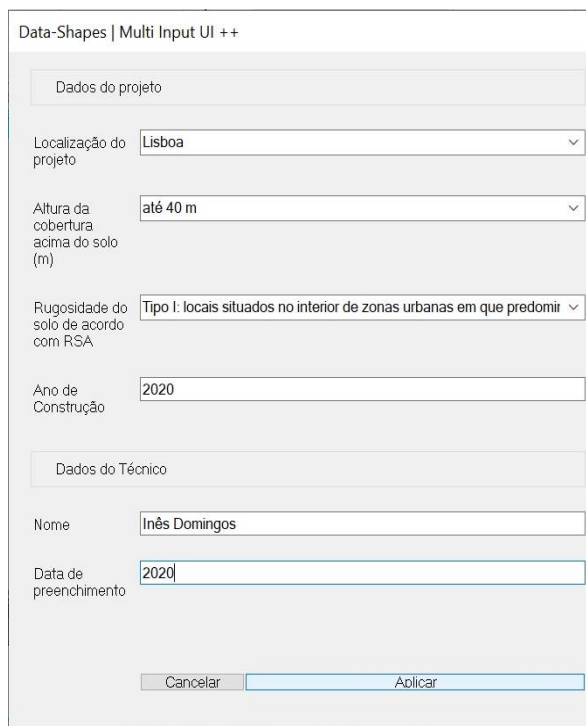


Figura 8.18 – Interface de preenchimento dos dados

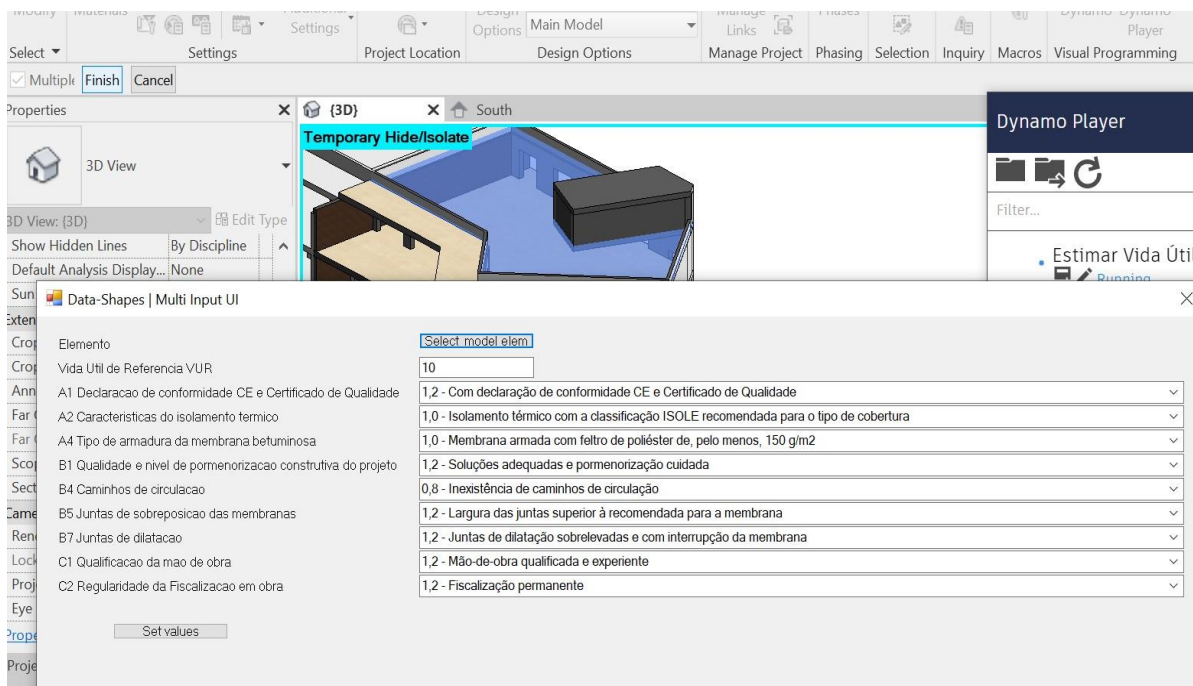


Figura 8.19 – Preenchimento dos fatores e seleção do respetivo elemento no Revit.

Data-Shapes | Multi Input UI ++

Dados do Local do projeto:
Lisboa, V2, I1, menos 25 dias com geada/ano, P2, 140<IRS<150

Vento:
1309Pa

Características da Atmosfera:
 E1 - Rural não poluída. Zonas rurais sem presença de poluição particular
 E2 - Normal urbana ou industrial. Pequenos/médios aglomerados e/ou zonas industriais com produção de gases e fumos
 E3 - Severa urbana ou industrial. Grandes aglomerados e/ou zona industrial c/ produção gases e fumos c/ compostos químicos
 E4 - Atmosfera das construções situadas entre os 10 e os 20 km do litoral
 E5 - Atmosfera das construções situadas entre os 3 e os 10 km do litoral
 E6 - Atmosfera das construções situadas a menos de 3 km do litoral
 E7 - Combinação das atmosferas E2 e E6
 E8 - Combinação das atmosferas E3 e E6
 E9 - Combinação das atmosferas E3 e E6, com agressividade agravada por factores climáticos
 * deverá subentender-se que as construções estão situadas a 20km do litoral

E3 - Ação da temperatura em membranas aparentes: 0,8 - Membranas localizadas na zona V2 ou V3, com valores de as superiores a 0,7

E4 - Zonas de precipitação: 1,0 - Edifícios localizados na zona P2, moderadamente pluvioso (600 a 1200 mm)

E5 - Localização da cobertura face às ações do vento: 0,8 - Pressão dinâmica do vento: w > 1300 Pa

E6 - Estanquidade ao ar da estrutura resistente: 1,0 - Cobertura com estrutura resistente em betão armado, sem proteção pesada

E7 - Altura das platibandas: 1,0 - Cobertura com platibandas de altura entre 0,5 e 1m

E8 - Características da atmosfera: 1,0 - Atmosfera E3*, E3+E4, E1+E5 ou E2+E5

G1 - Frequência da manutenção: 1,2 - realização de inspeções e limpezas anuais, medidas corretivas quando necessário

Aplicar

Help

Figura 8.20 – Preenchimento dos restantes fatores.

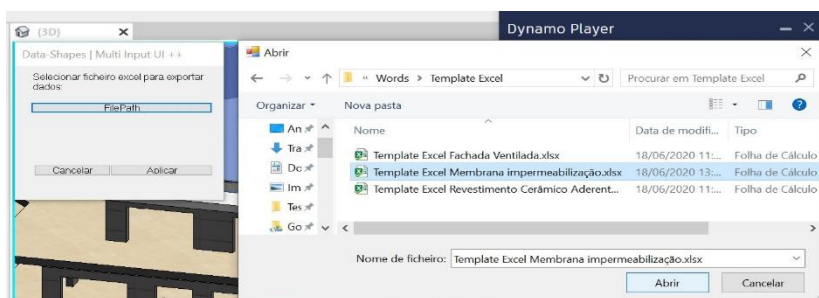


Figura 8.21 – Seleção do ficheiro Excel.

Tabela 8.1 – Dados exportados do Revit para o Excel selecionado.

Nome do técnico:	Inês Domingos
Data:	2020
Categoria do elemento:	Roofs
Tipo do elemento:	Cobertura Plana
Elemento fonte de manutenção (EFM):	membrana de betume polimero APP auto protegida com granulado mineral
Ano de construção:	2020
Vida útil de referência (VUR) do EFM:	10
Vida útil estimada (VUE) do EFM:	15,8
Área cobertura [m ²]:	284
Custo substituição [€/m ²]:	23,53
Custo de limpeza (caleiras) [€/m]:	4,86
Custo de inspeção [€]:	40

Tabela 8.2 – Descrição e índices atribuídos a cada fator exportados para Excel.

Fator	Descrição	Índice
A1	Com declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	1,2
A2	Isolamento térmico com a classificação ISOLE recomendada para o tipo de cobertura	1
A4	Membrana armada com feltro de poliéster de, pelo menos, 150 g/m ²	1
B1	Soluções adequadas e pormenorização cuidada	1,2
B4	Inexistência de caminhos de circulação	0,8
B5	Largura das juntas superior à recomendada para a membrana	1,2
B7	Juntas de dilatação sobrelevadas e com interrupção da membrana	1,2
C1	Mão-de-obra qualificada e experiente	1,2
C2	Fiscalização permanente	1,2
E3	Membranas localizadas na zona V2 ou V3, com valores de α_s superiores a 0,7	0,8
E4	Edifícios localizados na zona P2, moderadamente pluvioso (600 a 1200 mm)	1
E5	Pressão dinâmica do vento: $w > 1300$ Pa	0,8
E6	Cobertura com estrutura resistente em betão armado, sem proteção pesada	1
E7	Cobertura com platibandas de altura entre 0,5 e 1m	1
E8	Atmosfera E3*, E3+E4, E1+E5 ou E2+E5	1
G1	realização de inspeções e limpezas anuais, medidas corretivas quando necessário	1,2

Tabela 8.3 – Identificação de ações de manutenção genéricas para membranas de impermeabilização, (danosa, 2014).

Identificação de ações preventivas (danosa, 2014)						
Ação de manutenção	Tipo	Descrição	Recursos humanos	Recursos materiais	Meios de acesso	
1	inspeção visual	inspeção	Existência de bolhas; Aderência do sistema de impermeabilização; Perda de grânulos; Retenção de água; Existência de rugas, fissuras, rasgões ou perfuração do sistema de impermeabilização; Verificar remate da impermeabilização com platibanda ou paredes emergentes; Sistema de evacuação de águas	técnico	-	pelo interior do edifício
2	limpeza de higienização	limpeza	Limpeza de poeiras, folhas, fungos e objetos cortantes ou pontiagudos sobre a cobertura	utente	serviço de limpeza do edifício (*)	pelo interior do edifício
3	limpeza técnica	limpeza	Limpeza caleiras e tubos de queda	empresa especializada	-	pelo interior do edifício
4	substituição pontual/ reparação da membrana	reparação	Substituir parcialmente ou colar remendo com maçarico à zona previamente tratada*	oficial de aplicador	material cortante para remover a membrana, maçarico	pelo interior do edifício
5	substituição total da membrana	substituição	Remoção da camada de impermeabilização com meios manuais, tratamento da superfície e substituir com nova aplicação*	oficial de aplicador e auxiliar	material cortante para remover a membrana, maçarico	pelo interior do edifício

Tabela 8.4 – Custos de manutenção preventiva [W31].

Determinação de custos de manutenção preventiva (15 anos) [W31]																			
	Qty [m2]	Custo		Period.	Ano														
		Unit.	Total		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	284	-		anual	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
2	56,8	(*)		bi anual															
3	72	4,86	349,92	2 anos		350		350		350		350		350		350		350	
4	28,4	23,53	668,25	q.n.					668					668					
5	284	23,53	6682,5	q.n.														6683	
Valores a preços correntes					40	390	40	390	708	390	40	390	40	1058	40	390	40	390	-
Valores atualizados					38	347	34	308	528	274	27	244	24	589	21	193	19	172	-
VA LCC					2815,71														
VAE LCC					290,67														
Taxa de inflação		1,50%		Tx atualização		6,04%													
A taxa de inflação considerada foi 1.5%. A taxa de rentabilidade Obrigações do Tesouro (OT), a taxa fixa a 10 anos, em Portugal apresenta um valor de 1.92%. Para a taxa de juro sem risco considerada foi 2.5%. Por fim, para calcular a taxa de atualização utilizou-se a seguinte expressão: $TA=(1+T1)(1+T2)(1+T3)-1$ em que, T1 é a taxa de inflação, T2 é a taxa de rentabilidade OT e T3 a taxa de juro sem risco.																			
Período de estudo		15		Anuidade		290													
O plano de manutenção previsto para este caso de estudo ao longo de 30 anos apresenta um custo total de 2.815,71€. Distribuindo este valor de forma equivalente pelos 15 anos analisados obter-se-ia um valor de anuidade de 290,67€.																			

2.2. Utilização do script para estimar a vida útil dos ladrilhos aderentes em grés porcelânico

Data-Shapes | Multi Input UI ++

Selecione um elemento para estimar a vida útil

membrana de impermeabilização
 revestimento cerâmico aderente em fachadas
 revestimentos de fachadas ventiladas

Figura 8.23 – Interface de seleção do elemento a analisar.

Data-Shapes | Multi Input UI ++

Dados do projeto

Localização do projeto:

Ano de construção:

Dados do Técnico

Nome:

Data de preenchimento:

Figura 8.22 – Interface de preenchimento dos dados gerais.

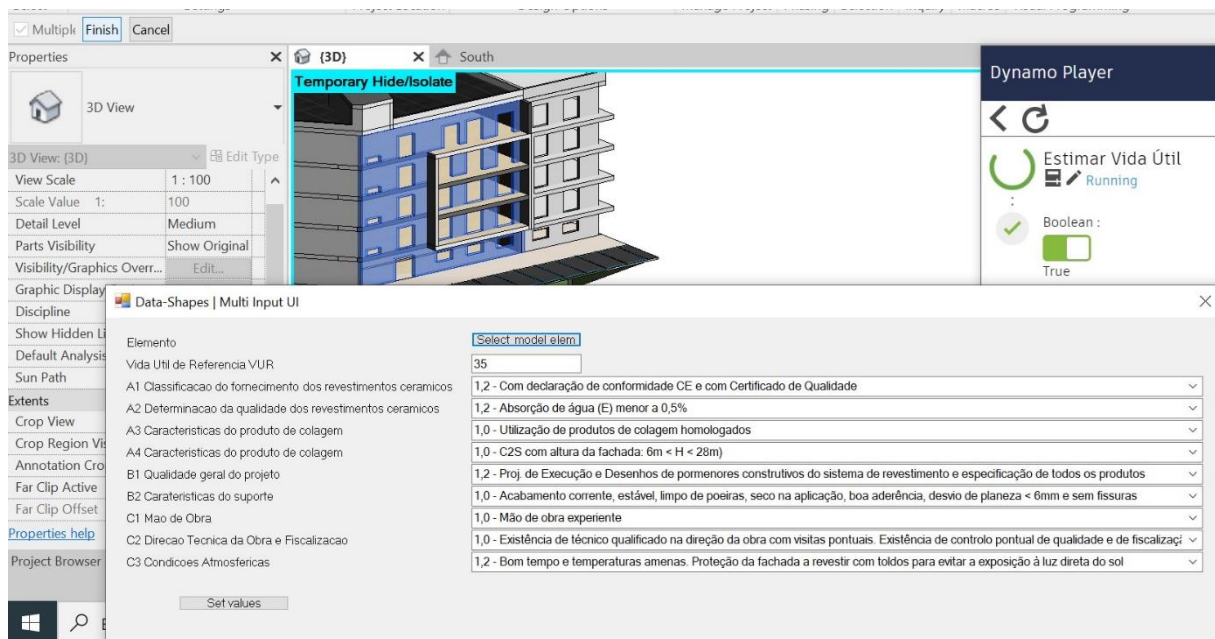


Figura 8.24 – Preenchimento dos fatores e seleção do respetivo elemento no Revit.

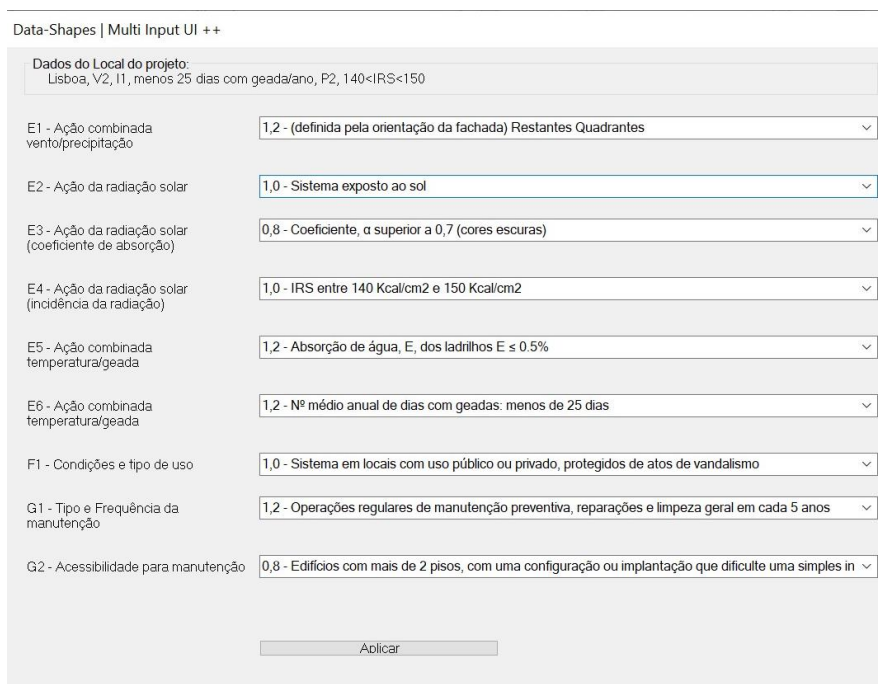


Figura 8.25 – Preenchimento dos restantes fatores.

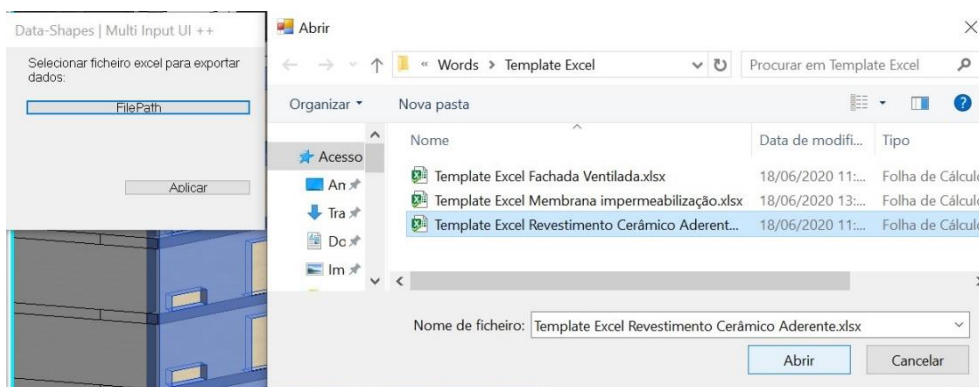


Figura 8.26 – Seleção do ficheiro *Excel*.

Tabela 8.5 – Dados exportados do *Revit* para o *Excel*.

Nome do técnico:	Inês Domingos
Data:	2020
Categoria do elemento:	Wall
Tipo do elemento:	Parede dupla em alvenaria de tijolo (11+15cm)
Elemento fonte de manutenção (EFM):	Grés porcelânico cinzento 40x40cm
Ano de construção:	2020
Vida útil de referência (VUR) do EFM:	35
Vida útil estimada (VUE) do EFM:	48,5
Área total da(s) fachada(s) [m ²]:	199
Custo de substituição [€/m ²]:	72,88
Custo de limpeza [€/m ²]:	17,69
Custo de inspeção [€]:	70

Tabela 8.6 – Descrição e índices atribuídos a cada fator exportados para o *Excel*.

Fator	Descrição	Índice
A1	Com declaração de conformidade CE e com Certificado de Qualidade	1,2
A2	Absorção de água (E) menor a 0,5%	1,2
A3	Utilização de produtos de colagem homologados	1
A4	C2 (com altura da fachada: H < 6m)	1
B1	Proj. de Execução e Desenhos de pormenores construtivos do sistema de revestimento e especificação de todos os produtos	1,2
B2	Acabamento corrente, estável, limpo de poeiras, seco na aplicação, boa aderência, desvio de planeza < 6mm e sem fissuras	1
C1	Mão de obra experiente	1
C2	Existência de técnico qualificado na direção da obra com visitas pontuais. Existência de controlo pontual de qualidade e de fiscalização	1
C3	Bom tempo e temperaturas amenas. Proteção da fachada a revestir com toldos para evitar a exposição à luz direta do sol	1,2
E1	(definida pela orientação da fachada) Restantes Quadrantes	1,2
E2	Sistema exposto ao sol	1
E3	Coefficiente, α superior a 0,7 (cores escuras)	0,8
E4	IRS entre 140 Kcal/cm ² e 150 Kcal/cm ²	1
E5	Absorção de água, E, dos ladrilhos $E \leq 0.5\%$	1,2
E6	Nº médio anual de dias com geadas: menos de 25 dias	1,2

F1	Sistema em locais com uso público ou privado, protegidos de atos de vandalismo	1
G1	Operações regulares de manutenção preventiva, reparações e limpeza geral em cada 5 anos	1,2
G2	Edifícios com mais de 2 pisos, com uma configuração ou implantação que dificulte uma simples inspeção visual	0,8

Tabela 8.7 – Identificação de ações de manutenção genéricas para revestimentos cerâmicos aderentes, adaptado de (Lopes, 2009).

Identificação de ações preventivas (Lopes, 2009)						
Ação de manutenção	Tipo	Descrição	Recursos humanos	Recursos materiais	Meios de acesso	
1	inspeção visual	inspeção	Alteração de cor dos revestimentos; Existência de manchas de sujidade e escorrência; Presença de organismos biológicos; Quebra ou fissuração de elemento de revestimentos	técnico	máquina fotográfica; Régua; Lupa	pelo interior do edifício ou andaime [q.n.]
2	inspeção métrica	inspeção	Medição de teores de humidade no elemento; Verificação da planimetria	técnico	humidímetro	pelo interior do edifício ou andaime [q.n.]
3	limpeza técnica e remoção de manchas	limpeza	Limpeza generalizada com água em pressão e detergente neutro, adicionado de hidro-repelente e/ou produto fungicida/algicida	empresa especializada	jato de água, produtos de limpeza	plataforma elevatória
4	substituição pontual do revestimento	reparação	Picagem do material de fixação e substituição pontual do elemento de revestimento* e preenchimento de juntas	pedreiro	ladrilho cerâmico, cimento cola, espátula e martelo	plataforma elevatória/ andaime [q.n.]
5	substituição total do revestimento	substituição	Picagem do material de fixação, Substituição integral do revestimento*, preparação da camada de suporte e preenchimento de juntas	pedreiro e auxiliar	ladrilho cerâmico, cimento-cola, espátula e martelo	plataforma elevatória/ andaime [q.n.]

Tabela 8.8 – Custos de manutenção preventiva [W31].

Determinação de custos de manutenção preventiva (30 anos) [W31]											
	Qtdd [m ²]	Custo		Período	Ano						
		Unitário	Total		5	10	15	20	25	30	35
1	199	-	70	5 anos	70	70		70		70	-
2	39,8	-		5 anos							
3	199	17,69	3520	10 anos		3520		3520		3520	-
4	19,9	72,88	1450	q.n.			1450		1450		-
5	199	72,88	14503	q.n.							-
Valores a preços correntes					70	3590	1450	3590	1450	3590	-
Valores atualizados					52,21	1997	601	1111	334	618	-
VA LCC					4715						
VAE LCC					344						
Taxa de inflação		1,5%	Tx de atualização		6,04%						
Período de estudo		30	Anuidade	344							
O plano de manutenção previsto para este caso de estudo ao longo de 30 anos apresenta um custo total de 4715€. Distribuindo este valor de forma equivalente pelos 30 anos analisados obter-se-ia um valor de anuidade de 344€.											