

E5.5 – Relatório: “Casos de Aplicação: Pavimentos e Infraestruturas Rodoviárias”

PPS 1

E5.5 – Relatório: “Casos de Aplicação: Pavimentos e Infraestruturas Rodoviárias”

Informações do documento	
Data de entrega contratualizada	31 de março de 2023
Data de entrega atual	19 de junho de 2023
Entidade responsável	FEUP
Entidades participantes	FEUP
N.º PPS	1 – DIGI4Construction
Nível de divulgação	
Versão	v1.0

Autores

Nome	Entidade
Diogo Filipe Ramos Parracho	FEUP
João Pedro da Silva Poças Martins	FEUP

Revisores

Nome	Entidade	Data
António Morais Aguiar da Costa	IST	15-06-2023

Histórico de versões

Versão	Data	Comentários
v1.0	19-06-2023	Apresentação de IDM para monitorização de obras rodoviárias

Sumário executivo

O presente trabalho tem como finalidade identificar objetos-tipo em trabalhos de pavimentos e infraestruturas rodoviárias, além das suas respetivas propriedades. As tarefas necessárias à realização deste procedimento seguem uma abordagem-padrão, de acordo com a norma EN ISO 29481-1. Esta norma define a metodologia a utilizar para especificar processos e fluxos de informação durante o ciclo de vida da construção, denominada por *Information Delivery Manual* (IDM).

Neste relatório, é introduzida uma proposta de IDM para situações de monitorização do ciclo de vida de obras rodoviárias, utilizando para isso sensores adequados a estas tarefas (e.g., extensómetros). É apresentado um caso de aplicação seguindo esta metodologia BIM, exemplificado para pavimentos rodoviários.

Índice

Sumário executivo	3
Índice	4
Índice de figuras.....	5
Índice de tabelas.....	7
Abreviatura e acrónimos	8
1. Introdução.....	9
2. Enquadramento	10
3. IDM para a Monitorização de Infraestruturas Rodoviárias	17
3.1. Caso de Uso.....	18
3.2. Mapa de Processos.....	20
3.3. Requisitos para a Troca de Informação	23
4. Caso de Aplicação em BIM: Pavimento Rodoviário.....	26
4.1. Modelação do Pavimento	26
4.2. Modelação de Sensores (Extensómetros)	31
4.3. Ligação com Repositório de Dados	33
4.4. Compatibilização com Formato IFC.....	34
5. Conclusão.....	35
Agradecimentos	37
Referências.....	37

Índice de figuras

Figura 1 – As diferentes fases da metodologia de um IDM	11
Figura 2 – Panorama do desenvolvimento e expansão do IFC aplicado aos projetos de infraestruturas [10]	16
Figura 3 – Representação da informação dos sensores em IFC [17]. Adaptado para as enumerações do IFC 4.3.....	18
Figura 4 – Mapeamento da informação dos sensores em IFC utilizando Property Sets comuns a todos os sensores e alguns específicos a determinada enumeração [17]	18
Figura 5 – Mapa de processos do caso de uso especificado	22
Figura 6 – Nuvem de pontos (em cima) e planta (em baixo) de um troço rodoviário. Cortesia: Mota-Engil.....	26
Figura 7 – Comparação entre um troço-tipo de uma autoestrada portuguesa, em fase de projeto (corte transversal em cima) e na realidade (nuvem de pontos em baixo), num certo ponto do troço rodoviário. Cortesia: Mota-Engil.....	27
Figura 8 – Modelo topográfico no Autodesk Revit criado a partir da planta fornecida em dwg pela Mota-Engil.....	27
Figura 9 – Exemplo de troço rodoviário em ambiente BIM. Vista 3D (em cima à esquerda), corte transversal (em baixo), e exemplo das propriedades a introduzir no add-in utilizado para a modelação (em cima, à direita)	28
Figura 10 – Exemplo de estruturas de pavimentos-tipo para uma autoestrada portuguesa. Cortesia: Mota-Engil.....	29
Figura 11 – Processo de criação de um “corredor” rodoviário no Autodesk Civil 3D (em cima), originário de perfil transversal parametrizável (em baixo, e de acordo com o corte técnico fornecido pela Mota-Engil, na Figura 10).....	30
Figura 12 – Processo de criação de família paramétrica de uma valeta com dreno na ferramenta Autodesk Subassembly Composer	30
Figura 13 – Modelo BIM do troço rodoviário no Autodesk Revit, após exportação do Autodesk Civil 3D no formato IFC.....	31
Figura 14 – Exemplo de família de extensómetros em ambiente BIM com algumas das suas propriedades.....	32
Figura 15 – Exemplo de troço rodoviário em BIM pronto para dar início à monitorização. Vista 3D (em cima) e corte transversal (em baixo).....	33

Figura 16 – Ligação dos dados dos sensores reais para os virtuais [21].....	33
Figura 17 – Estrutura de dados no processo de conversão das propriedades do Autodesk Revit para IFC.....	34
Figura 18 – Exemplo de criação das propriedades do modelo IFC de extensómetros diretamente no Blender, após instalação do BlenderBIM Add-on.....	35

Índice de tabelas

Tabela 1 – Cenários de trocas de informação do IFC Road (exclui casos descartados pelo projeto logo na sua primeira fase). Adaptado de [6]	13
Tabela 2 – Descrição do processo de monitorização de infraestruturas rodoviárias com sensores	19
Tabela 3 – Requisitos IFC de sensores cuja função não pertence ao conjunto de enumerações-tipo [4]	24
Tabela 4 – Conjunto de propriedades (Property Set) do sensor de temperatura	24
Tabela 5 – Propriedades do conjunto Pset_SensorTypeTemperatureSensor	24
Tabela 6 – Proposta de conjunto de propriedades (Property Set) para extensómetros	25
Tabela 7 – Propriedades do conjunto proposto Pset_SensorTypeStrainGauge	25

Abreviatura e acrónimos

BIM – *Building Information Modelling*

IDM – *Information Delivery Manual*

IFC – *Industry Foundation Class*

MVD – *Model View Definition*

PPS – Produtos, Processos ou Serviços

Pset – *Property Set*, conjunto de propriedades

SIG – Sistema de Informação Geográfica

1. Introdução

O projeto mobilizador REV@CONSTRUCTION foi iniciado em 2020 com uma estratégia que se debruça essencialmente sobre a digitalização do setor da construção português, procurando aumentar a sua competitividade a nível internacional. Neste sentido, com a finalidade de atingir os objetivos propostos pelo projeto, foram criados cinco PPSs (Produtos, Processos ou Serviços): PPS1 – DIGI4Construction, PPS2 – Digital Twin para os intervenientes do setor AEC, PPS3 – Digital Twin para a Operação e Manutenção, PPS4 – Living Lab Pavimentação e Demonstrador BIM para Obras de Arte, e PPS5 – Gestão e Comunicação do Projeto.

O presente relatório enquadra-se no contexto do PPS1 – DIGI4Construction, cujo propósito assenta no desenvolvimento e disponibilização de uma plataforma interoperável entre as bases metodológicas necessárias à elaboração de projetos BIM, pretendendo eliminar barreiras existentes atualmente em Portugal no que toca à utilização da metodologia BIM no setor da construção.

Dentro do PPS1, existe um conjunto de atividades que se propõem a responder aos principais objetivos do mesmo, sendo estas denominadas por “A1. TECHinfo 4.0 – Tipificação de Modelos de Obra e Normalização da Informação”, “A2. COSTmanage 4.0 – Base de Dados de Custos”, “A3. Desenvolvimento de Mecanismos de Interoperabilidade, incluindo Ligação ao BIM”, “A4. PLAN4Digital: Framework para a implementação tecnológica”, “A5. idBIM4.0 – Biblioteca de objetos BIM nacional”, “A6. BIM4Bridges – Entrega digital de modelos BIM de Obras de Arte”, “A7. DIGI4Construction – Plataforma de Integração Digital para a indústria da construção” e, por fim, “A8. Gestão e coordenação do PPS1”.

Este relatório está enquadrado dentro da Atividade 5 deste PPS: “idBIM4.0 – Biblioteca de objetos BIM nacional”.

Por sua vez, cada atividade é subdividida por várias tarefas, sendo que no caso da Atividade 5, esta é constituída por oito: “5.1. Especificação Base da Biblioteca idBIM4.0”; “5.2. idBIM4.0 – *Product Data Templates*”; “5.3. Guia de Objetos BIM”; “5.4. Plugin para a Sustentabilidade”; “5.5. Casos de Aplicação: Pavimentos e Infraestruturas Rodoviárias”; “5.6. Desenvolvimento da Biblioteca idBIM4.0”; “5.7. Testes da Biblioteca idBIM4.0”; e, por fim, “5.8. Promoção e Demonstração”.

O presente trabalho insere-se no âmbito da tarefa 5.5 e tem como finalidade identificar objetos-tipo em trabalhos de pavimentos e infraestruturas rodoviárias, além das suas respetivas propriedades. As tarefas necessárias à realização deste procedimento seguem uma abordagem-padrão, de acordo com a norma EN ISO 29481-1 [1]. Esta norma define a metodologia a utilizar para especificar processos e fluxos de informação durante o ciclo de vida da construção, denominada por *Information Delivery Manual* (IDM). Assim e em suma, um IDM tem como objetivo garantir a correta leitura dos dados relevantes por parte do *software* BIM que os recebe.

No próximo capítulo (Capítulo 2) será efetuado um enquadramento sobre o que são IDMs e MVDs (*Model View Definitions*) e respetivos panoramas a nível internacional, em particular no âmbito da rodovia.

No Capítulo 3, é introduzida uma proposta de IDM para situações de monitorização com sensores de infraestruturas rodoviárias, para avaliar de forma contínua o estado das mesmas.

No Capítulo 4 é apresentado um caso de aplicação da metodologia BIM descrita no capítulo anterior, exemplificado para pavimentos rodoviários.

O Capítulo 5 corresponde à conclusão e demais trabalhos previstos no projeto de investigação que estão relacionados com este relatório.

2. Enquadramento

No contexto do panorama digital da metodologia BIM, a utilização de IDMs permite melhorar o processo da transferência de informação entre utilizadores aquando do uso desta tecnologia, tornando o procedimento mais preciso e adequado às atividades necessárias.

Um IDM define quais os requisitos necessários ao projeto, em particular qual a informação necessária ao mesmo, quando é necessária e quem é responsável por ela. Este manual serve de guia ao desenvolvimento do modelo BIM e assegura que os dados são consistentes e de acordo com os requisitos do projeto.

Um IDM é subdividido em diversas fases (Figura 1), sendo que primeiramente são identificados os processos e os intervenientes para a tarefa a realizar, fazendo uma descrição do caso de uso e interligando atividades e participantes num mapa de processos. O caso de uso

identifica e descreve em linguagem corrente o processo a ser abordado no IDM, ao passo que o mapa de processos representa visualmente um fluxo lógico das relações existentes entre as atividades, intervenientes e trocas de informação envolvidas no âmbito do que fora identificado previamente no caso de uso.



Figura 1 – As diferentes fases da metodologia de um IDM

Numa fase posterior do IDM, são especificados quais os requisitos necessários para as trocas de informação. Estes requisitos definem quais as propriedades geométricas e não geométricas dos elementos que são necessárias no processo de trocas, de acordo com o caso de uso. É a partir destes requisitos que se passa à aplicação prática dos mesmos, com a criação de modelos (*templates*, *schemas*) informáticos que formalizam informaticamente os requisitos necessários à troca de informação, num campo de ação que se afasta do domínio tradicional da engenharia civil. A última fase deste manual é a identificação do MVD a utilizar para estes requisitos, uma vez que este serve de tradutor entre os requisitos para a troca de informação e o formato a utilizar para representar os dados [2].

Um MVD define quais as informações do modelo de dados (IFC) que devem ser utilizadas para um determinado uso específico, filtrando assim informação desnecessária do modelo original para esse determinado uso. Enquanto parte integrante dum IDM, um MVD define então quais as informações que devem permanecer, como devem ser estruturadas e em que formato. Deste modo, este assegura a possibilidade de existir trocas de dados entre intervenientes de forma padronizada independentemente das aplicações informáticas escolhidas para a modelação BIM.

Assim, um IDM estabelece um guia para o desenvolvimento do modelo BIM, identificando quais os requisitos necessários ao projeto e como as diversas fases do mesmo se devem interligar entre si. Além disso, um IDM serve de base para o desenvolvimento de um MVD, que define quais os dados essenciais que são necessários extrair do formato IFC para determinados usos específicos do modelo BIM.

Globalmente, ambos asseguram a standardização do processo de troca de dados BIM numa forma consistente, procurando evitar problemas de interoperabilidade como erros de

coordenação e de colaboração. Com isto, o processo de transferência torna-se mais preciso e eficiente.

Enquanto entidade responsável pelo openBIM a nível mundial, a buildingSMART Internacional tem vindo a lançar vários MVDs, em específico para os formatos IFC 2x3 e IFC 4, que podem ser consultados em [3]. Note-se que não existem MVDs desenvolvidos especificamente para pavimentos e infraestruturas rodoviárias. Neste relatório será dado destaque à monitorização estrutural com sensores neste tipo de construções ao longo do seu ciclo de vida, algo que atualmente não é particularizado. Esta lacuna justifica a intenção de desenvolver um IDM de raiz, como o que se apresenta no presente documento. No entanto, este IDM não apresenta a formalização de um MVD específico para este tipo de trabalhos, tendo em conta que já existem MVDs gerais úteis aos conteúdos deste relatório. Por exemplo, para o formato IFC em vigor à data deste trabalho (IFC4 Add2 TC1), é utilizado o MVD “*Reference View*” para a classe correspondente aos sensores a utilizar para a monitorização das construções (IfcSensor) [4]. Assim, este IDM segue a abordagem-padrão definida pela buildingSMART Internacional (Figura 1) até à especificação dos requisitos para a troca de informação.

A maturidade do formato IFC para projetos de infraestruturas ainda está longe da já estabelecida “construção vertical”, pelo que a última apresenta níveis de interoperabilidade também eles superiores. Em 2018, a buildingSMART Internacional avançou com a criação de projetos para a “construção horizontal” (IFC Road, IFC Rail, etc.), com a pretensão de responder à lacuna identificada no seu formato IFC para este tipo de obras [5]. Assim sendo, no que toca a MVDs para obras rodoviárias, a buildingSMART Internacional propôs aquando da primeira fase do projeto IFC Road que se seguisse as orientações definidas pelo projeto IFC Bridge e pela Overall Architecture [6]. Nessa altura foram identificados cenários em que deveria existir trocas de informação entre diferentes intervenientes e respetivos casos de uso (Tabela 1):

Tabela 1 – Cenários de trocas de informação do IFC Road (exclui casos descartados pelo projeto logo na sua primeira fase). Adaptado de [6]

Modelo		Cenário Troca Informação		IFC Road	
ID	Descrição	De	Para	Casos de Uso	MVD
1	Modelo do estado inicial	Engenheiro projetista de estudos rodoviários	Topógrafo	Entrega para análise em SIG	Não Definido
			Gestor de ativos	Visualização; Entrega para análise em SIG	Não Definido
			Engenheiro do ambiente	Utilização do modelo inicial para posterior detalhamento de projeto, na respetiva especialidade	Não Definido
			Engenheiro de transportes	Utilização do modelo inicial para posterior detalhamento de projeto, na respetiva especialidade	Não Definido
			Engenheiro geotécnico	Análise estrutural; Utilização do modelo inicial para posterior detalhamento de projeto, na respetiva especialidade; Entrega para análise em SIG; Cálculo do volume de terras (aterro e escavação); Campanhas geotécnicas; Construções geotécnicas	Não Definido
2	Modelo do levantamento	Topógrafo	Engenheiro projetista de estudos rodoviários	Modelação do estado inicial (em SIG) para inclusão em ambiente BIM	Não Definido
3	Modelo do corredor	Gestor de ativos		Coordenação e deteção de colisões; Utilização do modelo inicial para posterior detalhamento de projeto, na respetiva especialidade; Modelação do estado inicial (em SIG) para inclusão em ambiente BIM; Projeto dos trabalhos temporários	Não Definido
4	Modelo ambiental	Engenheiro do ambiente		Visualização; Coordenação e deteção de colisões; Acordo com regulamentos geométricos; Utilização do modelo inicial para posterior detalhamento de projeto, na respetiva especialidade; Modelação do estado inicial (em SIG) para inclusão em ambiente BIM	Não Definido

5	Modelo de tráfego	Engenheiro de transportes	Engenheiro projetista de estudos rodoviários	Coordenação e deteção de colisões; Acordo com regulamentos geométricos; Utilização do modelo inicial para posterior detalhamento de projeto, na respetiva especialidade; Modelação do estado inicial (em SIG) para inclusão em ambiente BIM; Simulação do caminho a percorrer pelos veículos	Não Definido
6	Modelo do projeto da rodovia	Engenheiro projetista de estudos rodoviários	Gestor de projeto / Autoridade pública	Visualização; Coordenação e deteção de colisões; Acordo com regulamentos geométricos	Não Definido
			Engenheiros de outros domínios	Coordenação e deteção de colisões; Planeamento da obra (construção 4D); Análise estrutural; Utilização do modelo inicial para posterior detalhamento de projeto, na respetiva especialidade; Projeto dos trabalhos temporários	Não Definido
			Orçamentista	Planeamento da obra (construção 4D); Determinação de quantidades; Utilização do modelo inicial para posterior detalhamento de projeto, na respetiva especialidade	Não Definido
			Construtor	Planeamento da obra (construção 4D); Determinação de quantidades; Utilização do modelo inicial para posterior detalhamento de projeto, na respetiva especialidade; Controlo da maquinaria em obra; Entrega do projeto para fase de construção; Cálculo do volume de terras (aterro e escavação); Projeto dos trabalhos temporários; Simulação do caminho a percorrer pelos veículos	Não Definido
7	Modelo geotécnico	Engenheiro geotécnico	Engenheiro projetista de estudos rodoviários	Planeamento da obra (construção 4D); Utilização do modelo inicial para posterior detalhamento de projeto, na respetiva especialidade; Cálculo do volume de terras (aterro e escavação); Campanhas geotécnicas; Construções geotécnicas	Não Definido

8	Modelo de outros domínios (drenagem, iluminação, pontes, túneis)	Engenheiros de outros domínios	Engenheiro projetista de estudos rodoviários	Coordenação e deteção de colisões; Utilização do modelo inicial para posterior detalhamento de projeto, na respetiva especialidade; Projeto dos trabalhos temporários	Não Definido
			Gestor de projeto / Autoridade pública	Visualização; Acordo com regulamentos geométricos	Não Definido
			Construtor	Utilização do modelo inicial para posterior detalhamento de projeto, na respetiva especialidade; Controlo da maquinaria em obra; Entrega do projeto para fase de construção; Projeto dos trabalhos temporários	Não Definido
9	Modelo para a construção	Empreiteiro	Gestor de projeto / Autoridade pública	Visualização; Acordo com regulamentos geométricos; Projeto dos trabalhos temporários	Não Definido
10	Modelo <i>as-built</i>	Topógrafo	Empreiteiro	Monitorização do progresso; Comparação entre modelo <i>as-built</i> e <i>as-planned</i>	Não Definido
		Empreiteiro	Gestor de projeto / Autoridade pública	Visualização; Acordo com regulamentos geométricos; Comparação entre modelo <i>as-built</i> e <i>as-planned</i>	Não Definido
			Gestor de ativos	Visualização	Não Definido
			Gestor da manutenção	Monitorização do progresso; Comparação entre modelo <i>as-built</i> e <i>as-planned</i> ; Entrega para gestão de ativos	Não Definido
11	Modelo da gestão de ativos	Gestor da manutenção	Gestor de projeto / Autoridade pública	Visualização; Acordo com regulamentos geométricos	Não Definido
			Gestor de ativos	Entrega para gestão de ativos; Operação e manutenção	Não Definido

O mesmo documento apresenta as primeiras propostas para MVD específico para o IFC Road: *Road Reference View*, *Alignment based Road Reference View*, *Road Design Transfer View* e *Road Asset Manager View* [6].

Com a expansão do IFC para cobrir obras como pontes, túneis, ferrovia, rodovia, etc., existe a necessidade de criar ou adaptar MVDs para essas extensões. Para o caso do IFC 4.x, a buildingSMART Internacional auscultou, entre outros, os projetos IFC Rail e IFC Infra (onde se inclui o IFC Road), e decidiu propor para que nestas situações fossem implementados como MVDs os seguintes [7]:

- *Reference View*
- *Alignment Based Reference View*
- *Design Transfer View*
- *Asset Management Handover* (opcional)

Com isto, os MVDs inicialmente propostos pelo projeto IFC Road deixam de ser específicos para obras rodoviárias e são expandidos para passarem a ser mais abrangentes.

Atualmente, os três MVDs exigidos anteriormente já se encontram oficialmente implementados no IFC: *Reference View* (IFC 4.x – anteriormente designado por *Coordination View* no IFC 2x3), *Alignment Based Reference View* (IFC 4.3) e *Design Transfer View* (IFC2x3, IFC4.x) [8].

Apesar do IFC 4.3 ainda não estar oficialmente em vigor, este já foi aceite e será brevemente publicado na norma EN ISO 16739. Com a implementação do IFC 4.3, passa a ser possível utilizar este modelo de dados para infraestruturas como portos, pontes, obras ferroviárias e obras rodoviárias (Figura 2). Futuramente e aquando do IFC 4.4, é esperado que passe também a incluir túneis [9].

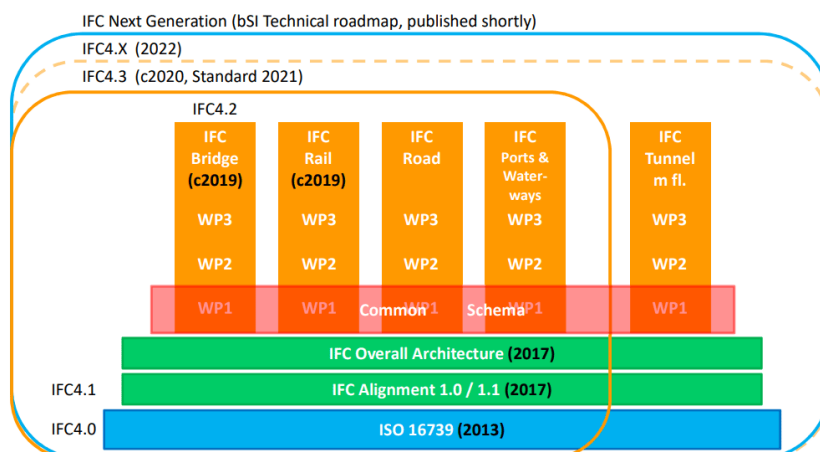


Figura 2 – Panorama do desenvolvimento e expansão do IFC aplicado aos projetos de infraestruturas [10]

Tendo em conta que se trata de um formato ainda em processo de desenvolvimento, o IFC 4.3 tem vindo a ser melhorado com recurso a “*Release Candidates*” (RC). À data da escrita deste relatório, o mais atual é o IFC 4.3 RC4. É de ressaltar, no entanto, que como se trata de um *release candidate*, pode haver programas informáticos que sejam capazes de trabalhar com os mesmos (por exemplo, utilizando uma extensão para o Autodesk Civil 3D [11]), como também pode haver outros que ainda não estejam preparados para essa situação (exemplo em [12]).

3. IDM para a Monitorização de Infraestruturas Rodoviárias

Tal como referido no Capítulo 1, serve o presente relatório para apresentar uma abordagem padrão para a identificação e definição de entidades e de propriedades necessárias para obras rodoviárias. Neste caso em particular será apresentada uma prova de conceito para a utilização de sensores com o objetivo de monitorizar o comportamento da via. É de salientar, no entanto, que este IDM surge devido ao facto de não existirem a nível internacional ou nacional trabalhos que tornem esta metodologia como padrão para Portugal. Por isso, deverá futuramente seguir a recomendação das Nações Unidas ([5]) para uniformizar protocolos, incluindo ainda a criação de bibliotecas BIM padronizadas aplicadas às infraestruturas rodoviárias. A nível europeu existe, de facto, um IDM para a monitorização das condições de infraestruturas horizontais (estradas e pontes, neste caso) [13], contudo, mesmo o documento europeu das Nações Unidas publicado posteriormente não lhe faz referência. Tal situação leva os autores a crer que o referido IDM não tem carácter obrigatório e se trata apenas de uma recomendação, o que reforça o ponto de vista das Nações Unidas em termos de uniformização de procedimentos.

Neste contexto da monitorização das infraestruturas, será útil dar uso à classe `IfcSensor`, sendo que desde o IFC 2x2 que é possível trabalhar com sensores neste formato de dados [14]. Atualmente, com o `IfcSensor` no IFC 4.3 é possível usufruir de tipos de sensores predefinidos a partir da enumeração `IfcSensorTypeEnum` do `IfcSensorType`, contudo, estes tipos não se relacionam com a monitorização estrutural, seja de edifícios seja de outras infraestruturas como pontes e rodovias [13], [15]. A alternativa é dar uso às enumerações genéricas para casos omissos, em particular como `USERDEFINED` [16], [17], enquanto não existirem

enumerações específicas para estes casos. As figuras seguintes permitem perceber a interligação das informações a atribuir aos modelos IFC dos sensores:

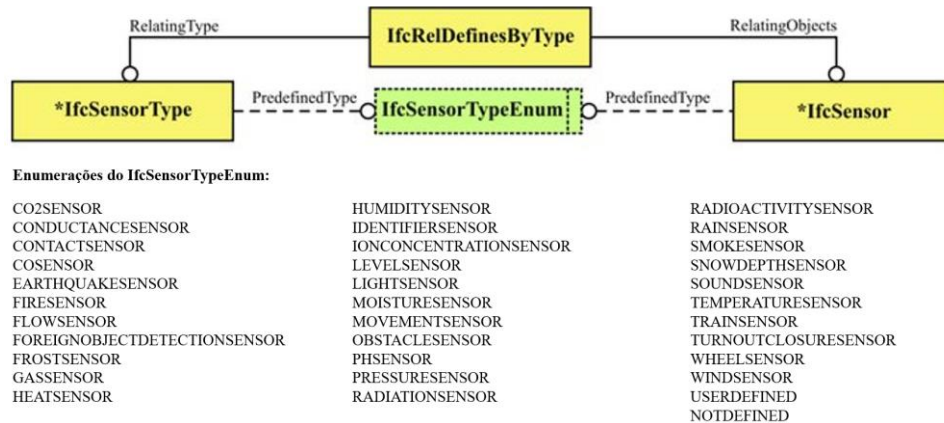


Figura 3 – Representação da informação dos sensores em IFC [17]. Adaptado para as enumerações do IFC 4.3



Figura 4 – Mapeamento da informação dos sensores em IFC utilizando Property Sets comuns a todos os sensores e alguns específicos a determinada enumeração [17]

3.1. Caso de Uso

Tendo por base o que fora definido pelo projeto IFC Road na Tabela 1, interessa para este caso de uso a operação e manutenção, onde se inclui a monitorização das infraestruturas [6]. Neste cenário de troca de informação, o modelo utilizado na gestão de ativos é enviado do gestor da manutenção para o gestor de ativos, sendo que o primeiro recebeu previamente o modelo *as-built* do empreiteiro.

Como o objetivo deste trabalho é apresentar o procedimento para uma infraestrutura já construída, serão omitidos tanto os intervenientes como as demais fases do ciclo de vida do ativo.

No entanto, para um procedimento completo da metodologia geral para obras rodoviárias, podem ser consultadas as seguintes referências [6], [18].

Na Tabela 2 é apresentado e descrito o caso de uso mencionado anteriormente. Também são especificados quais os intervenientes deste procedimento e as suas respetivas tarefas.

Tabela 2 – Descrição do processo de monitorização de infraestruturas rodoviárias com sensores

Descrição do Caso de Uso	
Título	Operação e Manutenção – Monitorização de Infraestruturas Rodoviárias
Objetivo	Monitorização do comportamento das infraestruturas rodoviárias, para análise dos dados recolhidos e avaliação das condições dos ativos para eventuais tomadas de decisão (e.g., operações de manutenção)
Descrição	A utilização de sensores em obras rodoviárias que estejam interligados a um modelo BIM permite estudar em tempo real as condições atuais da infraestrutura. Com isto, esta <i>Digital Shadow</i> ¹ permite monitorizar o ativo e, com isto, os responsáveis pelo controlo do mesmo podem tomar decisões consoante interpretação dos dados que estiverem a ser recolhidos, podendo avaliar eventuais riscos e, com isto, otimizar ações de manutenção ou reparação
Intervenientes	<p>Gestor da Manutenção – responsável por supervisionar trabalhos relacionados com a manutenção, gerindo equipas de técnicos e assegurando que todas as atividades de manutenção são realizadas de forma adequada. Tendo em conta que este caso de uso se enquadra no ciclo de vida de infraestruturas rodoviárias, idealmente este profissional deve ter experiência e/ou especialização em vias de comunicação</p> <p>Gestor de Ativos – responsável por monitorizar e manter objetos de valor para uma entidade, sejam estes ativos tangíveis (e.g., edifícios) ou intangíveis (e.g., propriedade intelectual ou capital humano). Tendo em conta que este caso de uso se enquadra no ciclo de vida de infraestruturas rodoviárias, idealmente este profissional deve ter experiência e/ou especialização em vias de comunicação</p> <p>Técnico de Manutenção – trabalhador que executa tarefas relacionadas com a manutenção, sejam elas de diagnóstico, de manutenção preventiva, de instalação ou corretiva, de acordo com as normas estabelecidas</p> <p>Autoridades – neste caso, entidades necessárias para assegurar segurança na elaboração dos trabalhos de manutenção (e.g., polícia, autoridades fiscalizadoras)</p>

¹ Diferente de *Digital Twin*, uma vez que os dados vão apenas do mundo real para o modelo virtual, e não também o inverso [27]

3.2. Mapa de Processos

De forma a proceder à monitorização de infraestruturas rodoviárias, os diversos intervenientes do processo devem seguir um fluxo de trabalho pré-determinado. Estas tarefas são apresentadas de seguida e devidamente interligadas com os seus intervenientes no mapa de processos da Figura 5:

1. Definição Estratégica – delineação das necessidades: quantos sensores comprar, onde colocar, em que infraestruturas, etc.
2. Aquisição de Sensores – processo de compra dos sensores, incluindo eventuais trâmites contratuais
3. Controlo da Qualidade – testar e calibrar os sensores antes da instalação, bem como verificar se existe a correta transmissão de dados
- 4.1. Instalação de Sensores – instalar rede de sensores na infraestrutura selecionada para o efeito, nos locais pré-definidos, à superfície ou enterrados no subsolo
- 4.2. Acompanhamento da Instalação – gestor da manutenção supervisiona os trabalhos de instalação, garantindo que os procedimentos se realizam como previsto. As autoridades estão encarregues de garantir segurança aquando dos trabalhos (e.g., no caso da polícia estão incluídos o destacamento de meios, o eventual corte da via pública à circulação e a respetiva reabertura após conclusão dos trabalhos)
5. Recolha de Dados dos Sensores – os sensores transmitem a informação que recolhem para uma base de dados central, devendo esta ser interligada com o modelo IFC dos mesmos
6. Processamento dos Dados – processar parâmetros recolhidos pelos sensores para extrair informação relevante que não seja obtida diretamente pelos sensores, devendo também ser interligada esta informação ao modelo IFC dos sensores
7. Visualização dos Dados – conversão dos dados para gráficos, tabelas ou similares, de forma a tornar a interpretação dos mesmo mais acessíveis às demais partes interessadas
8. Avaliação do Risco – analisar os dados processados, avaliando deste modo o eventual risco de falhas estruturais, desenvolvendo matriz de risco para priorizar atividades de manutenção se assim for necessário

9.1. Alertas e Notificações – no caso de a infraestrutura apresentar comportamento que não cumpre com o que está estipulado, devem ser alertadas e notificadas as autoridades responsáveis pela segurança da infraestrutura (e.g., autoridade fiscalizadora) e, com isto, deve-se proceder à inspeção da mesma juntamente com os técnicos de manutenção

9.2. Continuar Monitorização – no caso de a infraestrutura não apresentar comportamentos anómalos, não é necessário proceder à reparação da infraestrutura, pelo que irá continuar a ser monitorizada e, quando já não cumprir com os regulamentos, entrará no processo descrito em 9.1

10.1. Inspeção do Ativo – avaliação das condições da infraestrutura para confirmar diagnóstico utilizando, por exemplo, técnicas de inspeção visual ou radares

10.2. Acompanhamento da Inspeção – gestor da manutenção supervisiona os trabalhos de inspeção do ativo, garantindo que os procedimentos se realizam como previsto. Autoridades policiais têm comportamento similar ao descrito em 4.2, sendo que podem existir nesta fase autoridades fiscalizadoras que também auxiliam na inspeção do ativo em análise

11. Tomada de Decisão – com base na análise de risco e na inspeção realizada, é tomada a decisão se é ou não necessário mobilizar meios para substituir ou reparar secções danificadas da infraestrutura

12.1. Reparação do Ativo – tomada a decisão de reparar a secção danificada, dá-se início a este procedimento para melhorar as condições da infraestrutura

12.2. Acompanhamento da Reparação – gestor da manutenção supervisiona os trabalhos de reparação, garantindo que os procedimentos se realizam como previsto. Autoridades policiais têm comportamento similar ao descrito em 4.2, sendo que podem existir nesta fase autoridades fiscalizadoras que também supervisionam os trabalhos

13.1. Gestão da Manutenção do Ativo – a infraestrutura deve continuar a ser monitorizada, num ponto de vista das ações de manutenção e melhoria da mesma

13.2. Gestão do Ativo – em coordenação com o ponto anterior (13.1), a infraestrutura deve continuar a ser monitorizada, dum ponto de vista da gestão do ativo

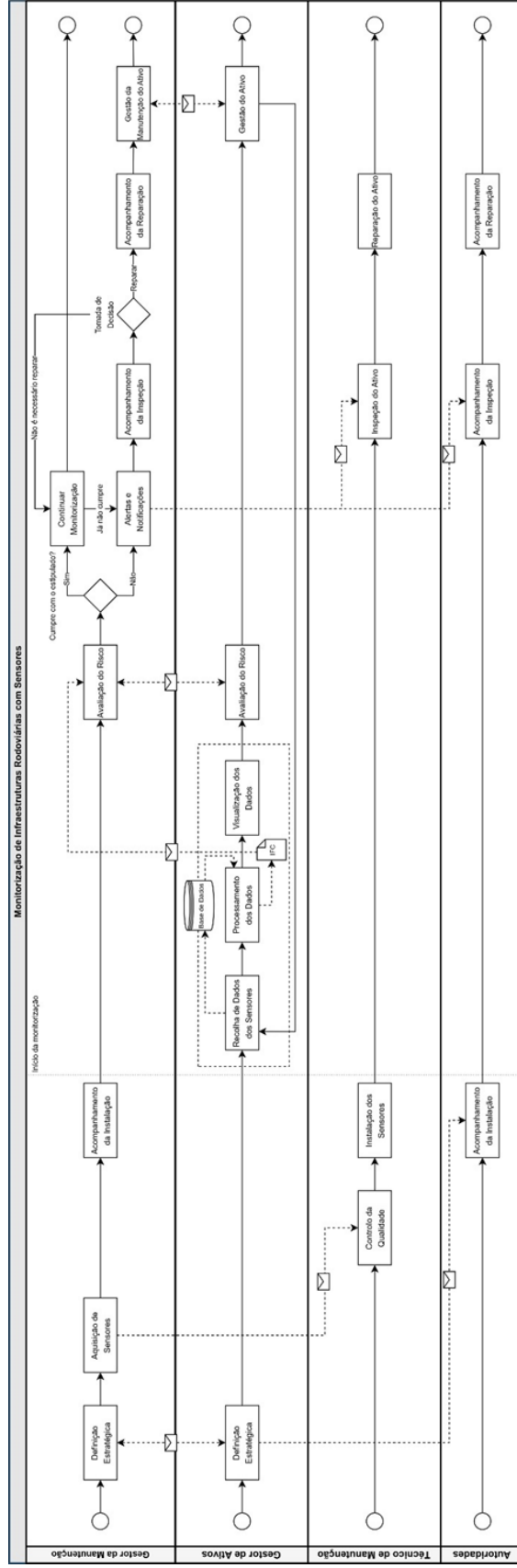


Figura 5 – Mapa de processos do caso de uso especificado

3.3. Requisitos para a Troca de Informação

Uma vez que já existem propriedades definidas pela buildingSMART Internacional para sensores no contexto do IFC 4.3, o modelo dos mesmos deve então obedecer a essas exigências. Isto é, o modelo dos sensores deve ter as propriedades que o `IfcSensor` e `IfcSensorType` exigem, devendo ser possível inserir propriedades definidas pelo utilizador caso necessário. Tendo em conta que o `IfcSensor` e `IfcSensorType` são subtipos do `IfcElement`, estes devem ainda incluir a localização dos sensores pelo `IfcObjectPlacement`, seja uma coordenada relativa ou absoluta [19].

Tal como referido no prefácio deste capítulo, existem limitações quanto às enumerações existentes atualmente no formato IFC no que toca a sensores para a monitorização de infraestruturas. Assim, os tipos de sensores necessários para o caso de uso em questão (como um extensómetro) devem ser definidos pelo utilizador e não por meio de propriedades pré-definidas. No entanto, as propriedades comuns a todos os tipos de sensores devem ser utilizadas (`Pset_SensorTypeCommon` e `Pset_SensorPHistory`), além das que lhes precedem hierarquicamente como o `IfcElement`.

Caso aplicável, tanto a modelo da família do objeto como as respetivas propriedades devem estar de acordo com as regras da biblioteca BIM nacional. No caso português, devem estar de acordo com as estipuladas pelo projeto de investigação SECCLasS [20]. Este documento nacional recomenda a versão oficial mais recente do IFC, pelo que como o IFC 4.3 ainda não foi oficialmente implementado à data da escrita deste relatório, a versão a considerar para os requisitos do modelo dos sensores será de acordo com o IFC4 Add2 TC1. Como tal, as propriedades oficialmente em vigor dos sensores podem ser consultadas em [4].

O projeto IFC Road requer ainda que para a gestão de ativos seja possível interligar dados dos sensores com bases de dados externas [6], algo que poderá ser conseguido, por exemplo, programando um código capaz de interligar o `IfcGUID` de cada sensor do modelo BIM com um servidor que esteja a guardar os dados em tempo real dos sensores (e.g., MySQL ou InfluxDB, sendo ambas soluções abertas, e esta última particularmente interessante para séries temporais). Em [21], tal tarefa foi realizada com o Dynamo, mas é possível concretizar este objetivo recorrendo a formatos abertos e proprietários, dependendo das ferramentas de modelação e de gestão de modelos BIM que se pretende utilizar.

Na Tabela 3 estão apresentados os requisitos para a troca de informação relativamente aos sensores no formato IFC. Tendo em conta que estes devem ser utilizados para casos de monitorização de infraestruturas rodoviárias, devem ser utilizados sensores próprios para esse efeito, como por exemplo, extensómetros. Tal como é possível observar na Figura 3, não existem de momento sensores desse género nas enumerações-tipo do `IfcSensorType`, pelo que para este caso de uso deve-se utilizar a enumeração `USERDEFINED`. Na eventualidade de também ser feita a medição da temperatura, poder-se-á utilizar também o conjunto de propriedades da enumeração `TEMPERATURESENSOR` (`Pset_SensorTypeTemperatureSensor`) (Tabelas 4 e 5):

Tabela 3 – Requisitos IFC de sensores cuja função não pertence ao conjunto de enumerações-tipo [4]

Requisitos	Gerais	IfcGUID
		IfcObjectPlacement (ou IfcLocalPlacement ou IfcGridPlacement)
		Pset_Condition
		Pset_ElectricalDeviceCommon
		Pset_EnvironmentalImpactIndicators
		Pset_EnvironmentalImpactValues
		Pset_ManufacturerOccurrence
		Pset_ManufacturerTypeInfo
		Pset_ServiceLife
		Pset_Warranty
	Específicos	IfcSensorType > IfcSensorTypeEnum > USERDEFINED
		Interligação com bases de dados externas (MySQL, json, InfluxDB, etc.)
		Material
		Pset_SensorPHistory
		Pset_SensorTypeCommon
		Qto_SensorBaseQuantities

Tabela 4 – Conjunto de propriedades (Property Set) do sensor de temperatura

Nome do Property Set	Pset_SensorTypeTemperatureSensor
Entidade Aplicável	IfcSensorType
Enumeração	IfcSensorType/TEMPERATURESENSOR
Definição	Dispositivo que sente ou deteta a temperatura.

Tabela 5 – Propriedades do conjunto Pset_SensorTypeTemperatureSensor

Nome	Property Type	Data Type	Definição
TemperatureSensorType	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_TemperatureSensorType	Enumeração que especifica qual o tipo de sensor de temperatura a ser utilizado
SetPointTemperature	IfcPropertyBoundedValue	IfcThermodynamicTemperatureMeasure (valor numérico, real)	O valor da temperatura medido pelo sensor. Deve-se utilizar a propriedade <code>IfcPropertyBoundedValue.SetPointValue</code> para esse efeito

Uma vez que não existe ainda uma enumeração-tipo para extensómetros, deve ser criada uma enumeração para esse efeito. Como tal, introduz-se nas Tabelas 6 e 7 uma proposta de conjunto de propriedades necessárias para a monitorização de infraestruturas rodoviárias com este tipo de sensores, denominado por Pset_SensorTypeStrainGauge. Este conjunto pretende então medir a extensão dos elementos da rodovia, atribuindo a cada medição uma data e hora correspondente ao instante temporal da extensão.

Vale a pena lembrar que estes dados devem estar interligados com uma base de dados externa e que a família de sensores no modelo BIM deve incluir, além deste conjunto, os requisitos assinalados na Tabela 3. Naturalmente, poderão ser incluídas no modelo BIM outras propriedades omissas a este documento se o utilizador considerar necessário. Um destes exemplos será a geometria do modelo BIM dos sensores, que pode até ser algo simples [21] uma vez que estas características são habitualmente irrelevantes em aplicações práticas.

Tabela 6 – Proposta de conjunto de propriedades (Property Set) para extensómetros

Nome do <i>Property Set</i>	Pset_SensorTypeStrainGauge
Entidade Aplicável	IfcSensorType
Enumeração	IfcSensorType/STRAINGAUGE
Definição	Dispositivo que mede as extensões dos elementos.

Tabela 7 – Propriedades do conjunto proposto Pset_SensorTypeStrainGauge

Nome	Property Type	Data Type	Definição
SetPointStrain (Extensão)	IfcPropertyBoundedValue	IfcStrainMeasure (valor numérico, real)	O valor da extensão medido pelo sensor. Deve-se utilizar a propriedade IfcPropertyBoundedValue.SetPointValue para esse efeito
SetDateTime (Data)	IfcLabel	IfcDateTime	A data e a hora em que foi feita a medição por parte do sensor

As propriedades IFC definidas como necessárias para a correta caracterização dos sensores utilizados para a monitorização de infraestruturas rodoviárias devem fazer-se corresponder às propriedades da plataforma de modelação BIM onde será efetuada a modelação da família de objetos dos sensores [21]. Com isto, é possível que as trocas de informação possam ser interoperáveis independentemente do *software* utilizado para a modelação BIM, no contexto do openBIM. É, no entanto, importante ressaltar que este documento não exclui a possibilidade destas trocas ocorrerem utilizando formatos de ficheiro próprios destas plataformas (e.g., rvt), desde que as propriedades em causa para este caso de uso sejam salvaguardadas.

4. Caso de Aplicação em BIM: Pavimento Rodoviário

O presente capítulo serve para exemplificar com um caso prático – um pavimento rodoviário – o que até ao momento fora descrito neste documento, em termos do que se refere à aplicação do BIM. Deste modo, não é aqui apresentada a parte dos trabalhos que decorrem na via para instalação dos sensores e consequente início da monitorização.

4.1. Modelação do Pavimento

Para dar início à modelação BIM da infraestrutura tal como ela é na realidade (“*as-is*”) deverão ser utilizados como base os dados adquiridos pelo topógrafo aquando do levantamento no local numa fase posterior ao término da obra. Para este procedimento poderão ser utilizadas, por exemplo, plantas ou nuvens de pontos (por fotogrametria e/ou por *laser scanning*). A Figura 6 apresenta exemplos concretos deste tipo de abordagens.

É de salientar que estes elementos devem estar devidamente georreferenciados, sendo que se sugere estarem de acordo com o sistema de coordenadas geográficas nacional, neste caso, o PT-TM06/ETRS89, no entanto, se se considerar adequado, poderão ser utilizados outros sistemas de coordenadas (como por exemplo o WGS84 ou o Datum 73).

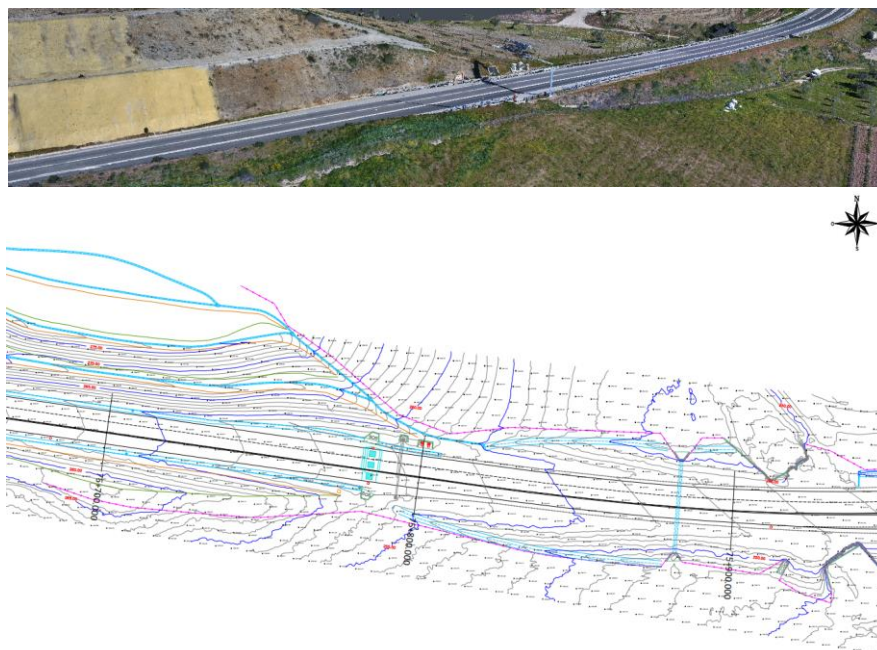


Figura 6 – Nuvem de pontos (em cima) e planta (em baixo) de um troço rodoviário. Cortesia: Mota-Engil

As nuvens de pontos – enquanto resultado de técnicas de digitalização de ativos “as-is” – podem ser utilizadas para averiguar e avaliar as diferenças entre o que fora projetado e o que está realmente implementado no local. A Figura 7 apresenta um exemplo comparativo entre um troço-tipo do projeto rodoviário e o que efetivamente foi construído num determinado local correspondente a esse troço, ilustrado pela nuvem de pontos:

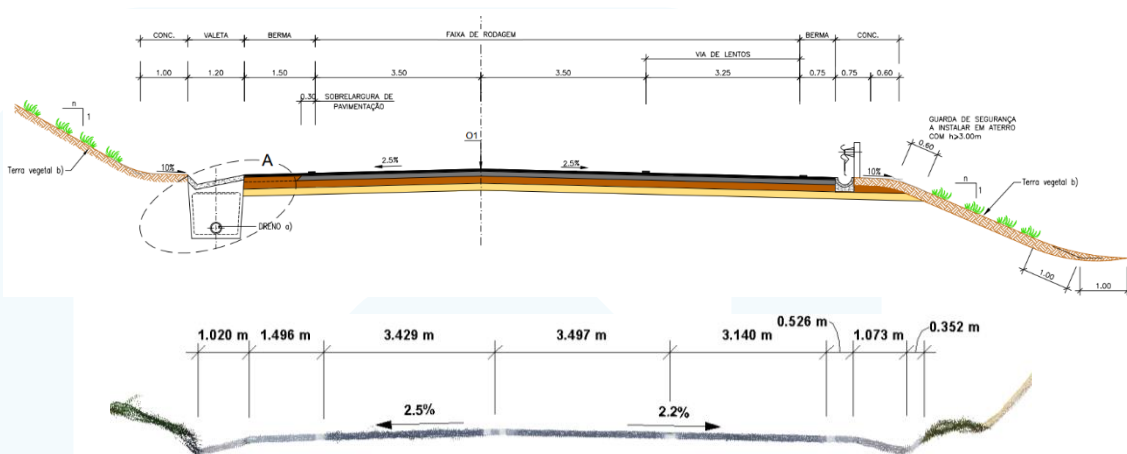


Figura 7 – Comparação entre um troço-tipo de uma autoestrada portuguesa, em fase de projeto (corte transversal em cima) e na realidade (nuvem de pontos em baixo), num certo ponto do troço rodoviário. Cortesia: Mota-Engil

Caso se tenha informação topográfica (seja sob a forma de planta ou em ficheiros como um csv), esses dados devem ser utilizados para criar o terreno onde o modelo irá estar inserido. A Figura 8 apresenta um exemplo de como é possível criar a topografia num programa BIM através, neste caso, de um ficheiro dwg:

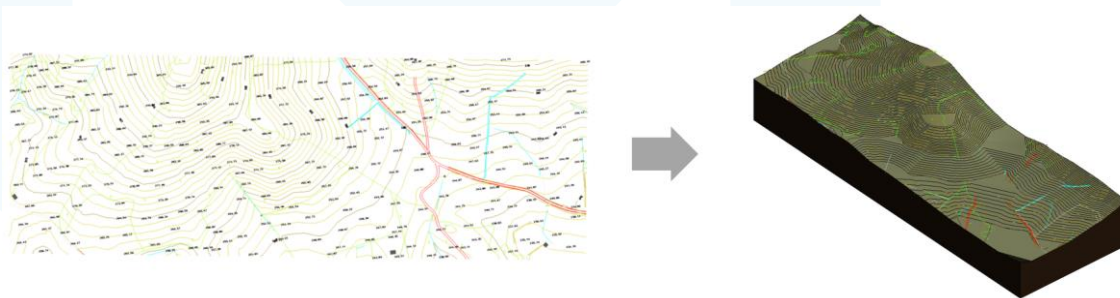


Figura 8 – Modelo topográfico no Autodesk Revit criado a partir da planta fornecida em dwg pela Mota-Engil

Com isto, pode-se iniciar o processo de modelação BIM da infraestrutura com base nos elementos anteriores. Naturalmente, é fundamental que o programa BIM escolhido para este procedimento tenha a capacidade de modelar corretamente troços rodoviários. A Figura 9 mostra um exemplo da modelação BIM de um pavimento rodoviário para o uso BIM previsto de monitorização. Neste caso, os dados topográficos são aleatórios. Caso o *software* BIM escolhido o permita, deve ser feita a modelação das camadas da estrutura do pavimento. O tipo de camada e as espessuras devem estar de acordo com o que fora definido previamente em projeto e, no caso português, segundo os critérios estabelecidos no “Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional” (MACOPAV) [22]. Na Figura 10 é possível observar exemplos de estruturas de pavimentos rodoviários para uma autoestrada em território nacional.

Se se pretender proceder a uma modelação conceitual, de LOD reduzido, poderá ser utilizado o add-in Site Designer para o Autodesk Revit até à versão de 2020 (Figura 9). Contudo, deve ser notado que outras alternativas de *software* BIM poderiam ser utilizadas, desde que permitam modelar infraestruturas horizontais, e não apenas verticais (como edifícios). Há alguma carência de soluções comerciais BIM para este fim, especialmente se se pretender parametrizar detalhadamente a via e os seus componentes. Isto pode ser uma limitação significativa caso se pretenda desenvolver modelos para outros usos BIM com maiores exigências ao nível do detalhe geométrico, por exemplo.

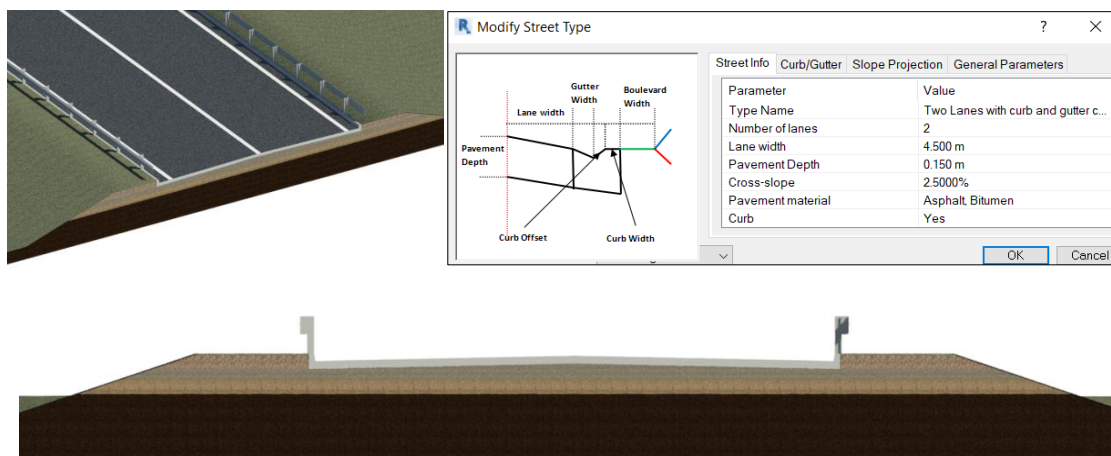


Figura 9 – Exemplo de troço rodoviário em ambiente BIM. Vista 3D (em cima à esquerda), corte transversal (em baixo), e exemplo das propriedades a introduzir no add-in utilizado para a modelação (em cima, à direita)

NOTA: Para trabalhar com o Site Designer, é fundamental alterar as configurações do computador para a localização e formatos dos Estados Unidos da América (ver [23])

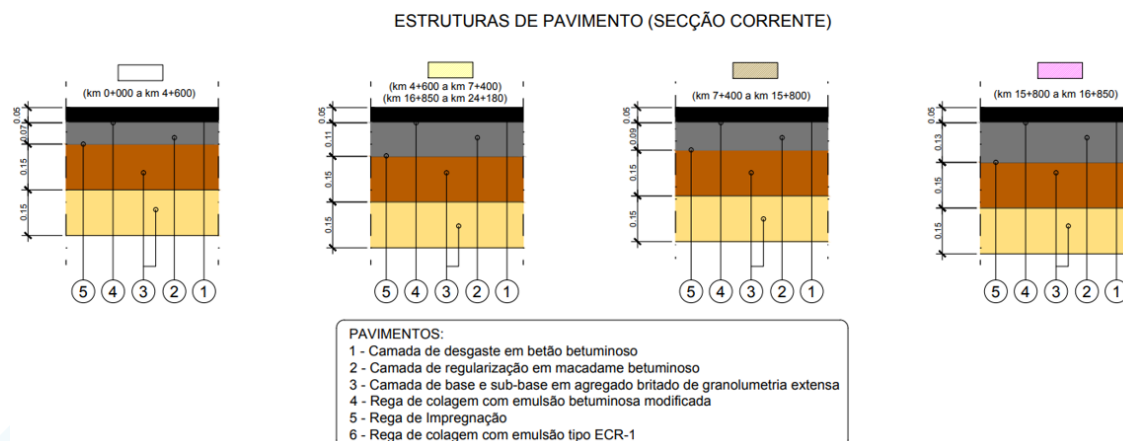


Figura 10 – Exemplo de estruturas de pavimentos-tipo para uma autoestrada portuguesa. Cortesia: Mota-Engil

Como tal, para a criação de um modelo mais detalhado, foi utilizada uma ferramenta baseada no AutoCAD tida como uma das soluções mais comuns na criação de infraestruturas rodoviárias: o Autodesk Civil 3D [5].

Assim, de forma a dar início ao fluxo de trabalhos para proceder à modelação de um troço rodoviário no Autodesk Civil 3D, deve-se em primeiro lugar importar a planta que servirá de guia para a modelação (ou a nuvem de pontos, pese embora que desta forma irá exigir uma maior capacidade computacional). Idealmente deverá ser fornecido um ficheiro em formato TIN proveniente da topografia para criar a malha poligonal do terreno, obtida pelo método de triangulação de Delaunay, em que são conectados os pontos de superfície próximos entre si [24]. Após a importação destes elementos, cria-se o alinhamento da rodovia (i.e., o eixo) e os perfis longitudinal e transversal da mesma. No processo de criação do perfil transversal, é possível parametrizar os diversos elementos constituintes do perfil, sendo inclusivamente possível criar elementos novos a partir da ferramenta Subassembly Composer. Terminado esse processo, cria-se o “corredor” da estrada.

Nas Figuras 11 e 12, é possível observar o processo de criação de um pavimento rodoviário no programa utilizado para este efeito:

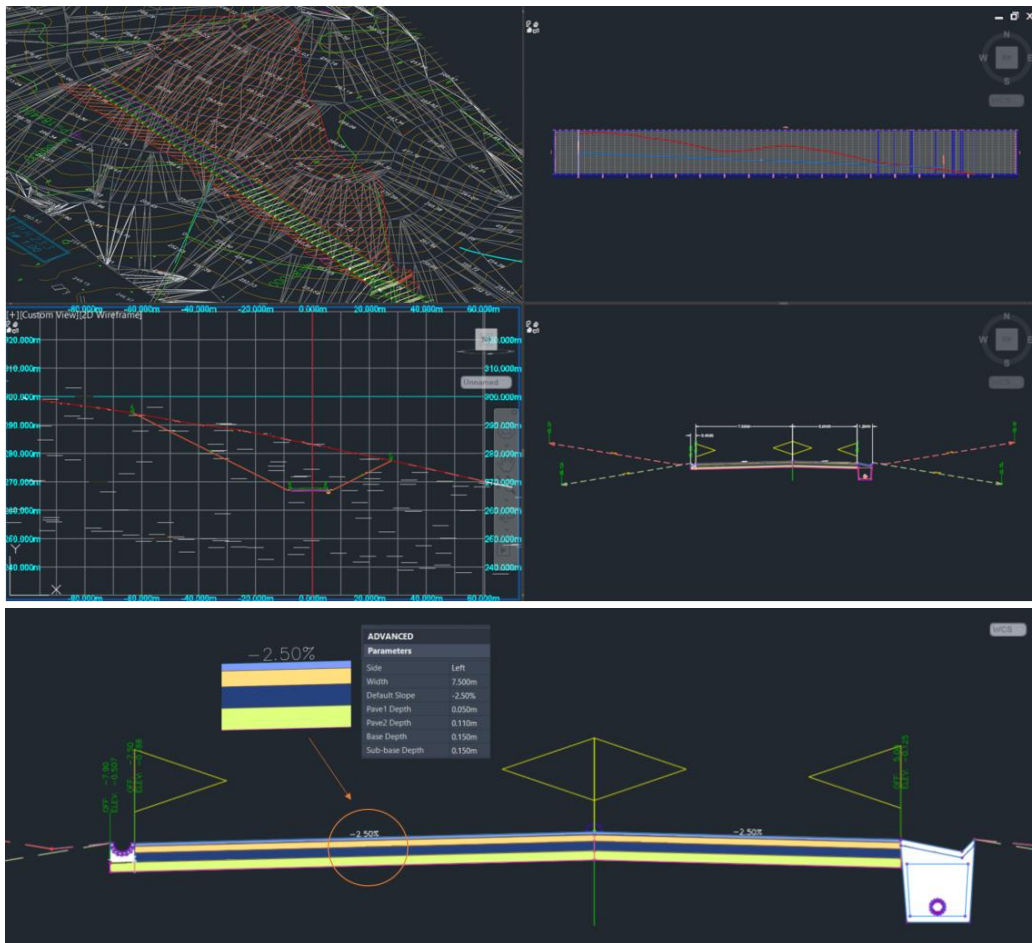


Figura 11 – Processo de criação de um “corredor” rodoviário no Autodesk Civil 3D (em cima), originário de perfil transversal parametrizável (em baixo, e de acordo com o corte técnico fornecido pela Mota-Engil, na Figura 10)

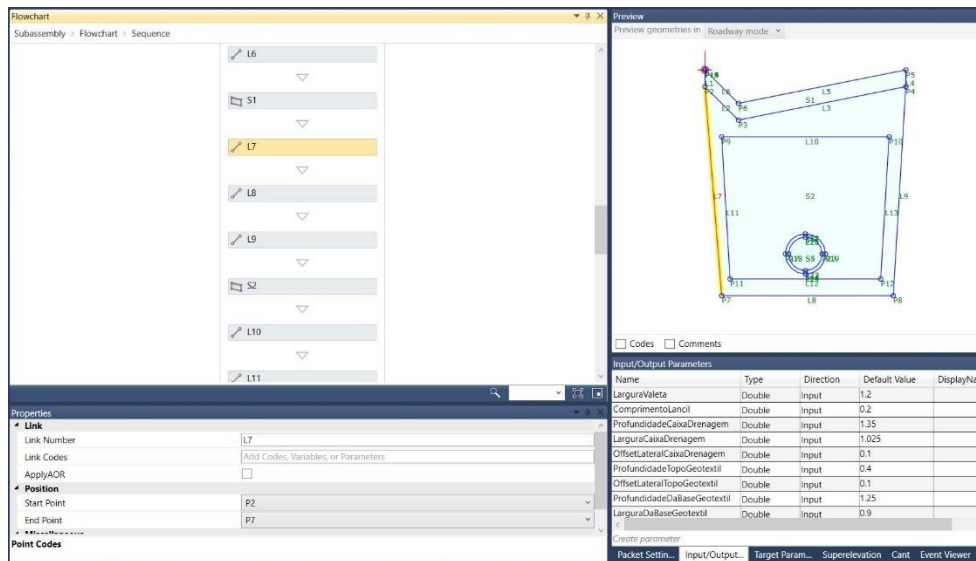


Figura 12 – Processo de criação de família paramétrica de uma valeta com dreno na ferramenta Autodesk Subassembly Composer

O Autodesk Civil 3D, aliado de uma extensão, é capaz de proceder diretamente à conversão do modelo criado neste programa para o formato IFC, permitindo assim uma correta integração com aplicações BIM. A Figura 13 mostra o modelo BIM do pavimento no Autodesk Revit, cujas marcações foram modeladas diretamente neste *software*:

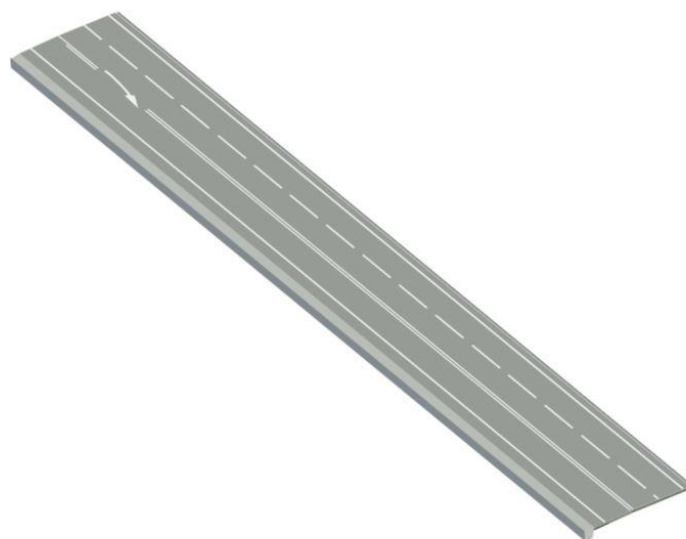


Figura 13 – Modelo BIM do troço rodoviário no Autodesk Revit, após exportação do Autodesk Civil 3D no formato IFC

É de salientar ainda que as propriedades da via devem estar de acordo com as definidas no IfcRoad [25] e no IfcRoadPart [26], além das regras gerais de modelação da respetiva biblioteca nacional de objetos BIM, sendo no caso português definidas pelo projeto de investigação SECCLasS.

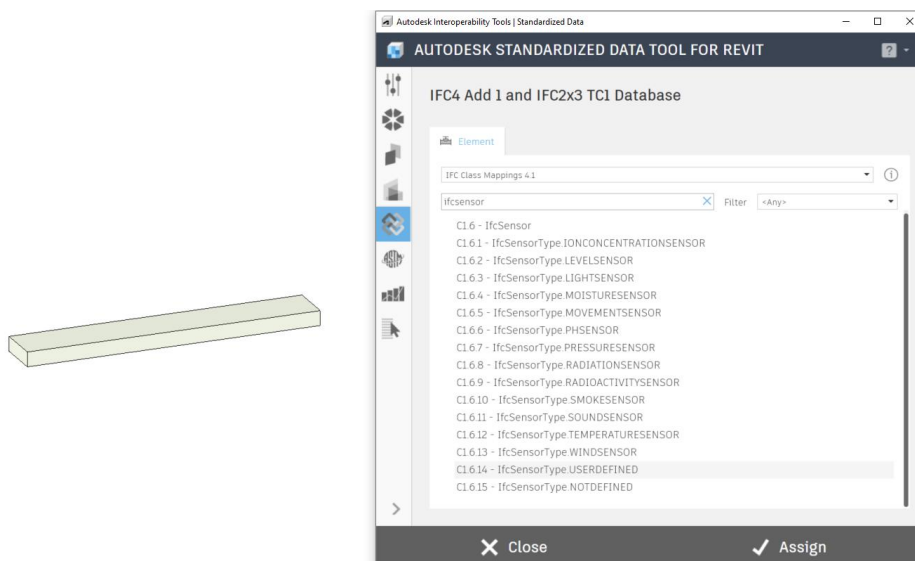
4.2. Modelação de Sensores (Extensómetros)

Além da via, também é necessário modelar a família de sensores para a monitorização do comportamento da mesma ao longo do seu ciclo de vida. Note-se que a geometria destes sensores pode ser simplificada.

No caso da modelação BIM dos extensómetros, as propriedades não geométricas devem corresponder às estipuladas pelos requisitos para as trocas de informação, além de

idealmente deverem estar alinhadas com as regras gerais estipuladas pelo projeto SEC-CLasS para a modelação de objetos BIM em Portugal.

A Figura 14 mostra um exemplo de família de extensómetros modelados com um nível de detalhe geométrico reduzido, mas de acordo com as propriedades estipuladas em 3.3, além de outras propriedades extra. Além disso, nesta imagem é possível visualizar o processo de atribuição da classe IFC destes equipamentos, por meio de um plugin para o Autodesk Revit.



<Monitorização de Pavimentos Rodoviários - Extensómetros>

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
IfcGUID	Fabricante	TipoDeSensor	Modelo	Estado	CotaDoSensor	Profundidade	km	Extensao	Data
214_PrvTv5cuUmg0Hkvo2	N/A	Extensometro	Generico_Sensor_Extensometro_130x20x6.5mm	Existente	257.33 m	0.10 m	75.78714	0.00 mm	1900-12-31T23:59:59
214_PrvTv5cuUmg0Hkvo8	N/A	Extensometro	Generico_Sensor_Extensometro_130x20x6.5mm	Existente	257.51 m	0.10 m	75.78268	0.00 mm	1900-12-31T23:59:59
214_PrvTv5cuUmg0Hkvo2	N/A	Extensometro	Generico_Sensor_Extensometro_130x20x6.5mm	Existente	257.59 m	0.10 m	75.78265	0.00 mm	1900-12-31T23:59:59
214_PrvTv5cuUmg0HkvoE3	N/A	Extensometro	Generico_Sensor_Extensometro_130x20x6.5mm	Existente	257.41 m	0.10 m	75.78718	0.00 mm	1900-12-31T23:59:59

Figura 14 – Exemplo de família de extensómetros em ambiente BIM com algumas das suas propriedades

Após a criação dos modelos BIM, deve-se proceder à instalação dos sensores no modelo do pavimento rodoviário. A localização dos sensores do modelo BIM deverá corresponder exatamente à realidade, incluindo a profundidade, pelo que é recomendável que se proceda à georreferenciação do modelo BIM para facilitar o processo. A Figura 15 representa um exemplo de aplicação:

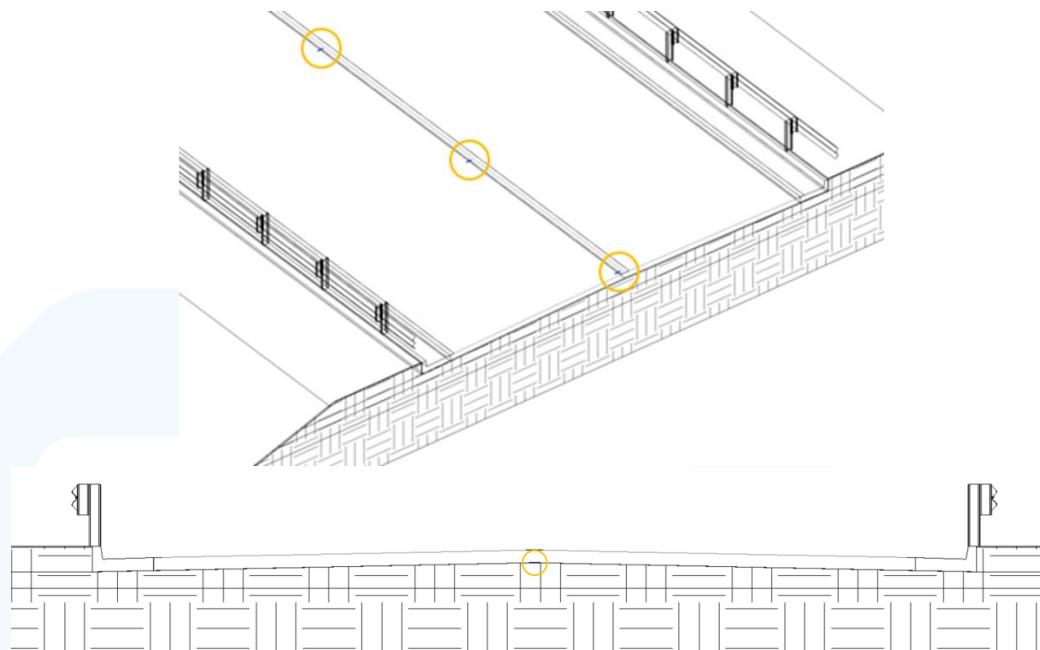


Figura 15 – Exemplo de troço rodoviário em BIM pronto para dar início à monitorização. Vista 3D (em cima) e corte transversal (em baixo)

4.3. Ligação com Repositório de Dados

De forma a monitorizar continuamente o comportamento de uma infraestrutura, deve ser feita a interligação dos sensores reais com uma base de dados para posterior ligação da informação recolhida aos sensores virtuais. A Figura 16 apresenta um exemplo para o cenário da utilização do Dynamo. Neste exemplo, o Dynamo permite fazer a ligação dos dados em MySQL para o Autodesk Revit, através da propriedade IfcGUID:

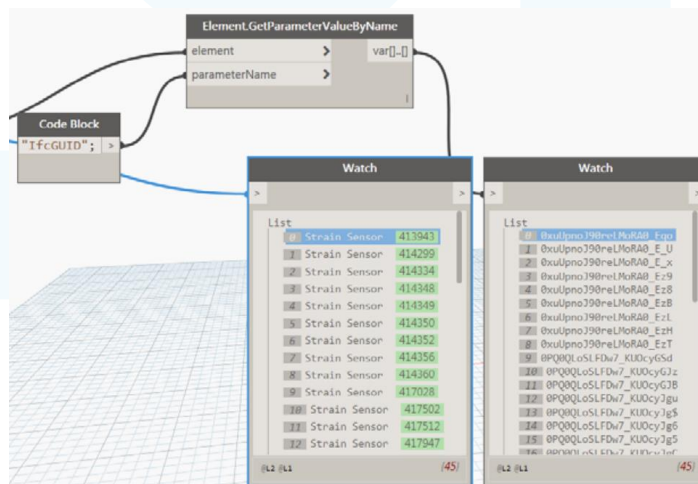


Figura 16 – Ligação dos dados dos sensores reais para os virtuais [21]

4.4. Compatibilização com Formato IFC

Se se pretender proceder às trocas de informação num formato próprio de um determinado programa informático, o processo de modelação poderia terminar no passo anterior. Contudo, e na ótica do openBIM, é recomendável que se proceda à compatibilização das informações para um formato interoperável com qualquer plataforma de modelação BIM: o IFC.

Sublinha-se aqui a relevância de garantir que toda a informação indicada neste IDM possa ser registada em formato aberto, ainda que em coexistência com outros formatos proprietários. Por um lado, as questões relacionadas com a neutralidade de formatos devem ser atendidas para incentivar a concorrência entre soluções técnicas distintas. Por outro, a maior longevidade das edificações relativamente à generalidade das soluções informáticas recomenda que sejam adotados formatos de dados que possam ser acedidos por uma variedade de aplicações, de modo a mitigar os riscos de obsolescência tecnológica durante a vida útil das infraestruturas.

Uma vez que o formato IFC se trata de um documento de texto, é possível fazer a compatibilização da informação das propriedades originais do *software* de modelação BIM. Isto pode ser alcançado traduzindo esses dados para a nomenclatura deste formato não proprietário. Deste modo, o modelo BIM em IFC poderá ser aberto em qualquer programa capaz de ler este ficheiro, cumprindo deste modo com a visão do openBIM, ao permitir a interoperabilidade e multidisciplinaridade da informação, independentemente de qual tenha sido o programa de modelação BIM utilizado originalmente. Na Figura 17 é apresentada a nomenclatura de conversão utilizada no caso do Autodesk Revit:

```
User Defined PropertySet Definition File

Format:
PropertySet:      <Pset Name>      I[instance]/T[type]      <element list separated by ', '>
  <Property Name 1>      <Data type>      <[opt] Revit parameter name, if different from IFC>
  <Property Name 2>      <Data type>      <[opt] Revit parameter name, if different from IFC>
```

Figura 17 – Estrutura de dados no processo de conversão das propriedades do Autodesk Revit para IFC

Alternativamente, pode-se até incluir diretamente os conjuntos de dados no modelo em IFC, sem sequer ser necessário criar as propriedades no programa BIM do qual o modelo é originário. Na Figura 18 está exemplificada essa metodologia no Blender:

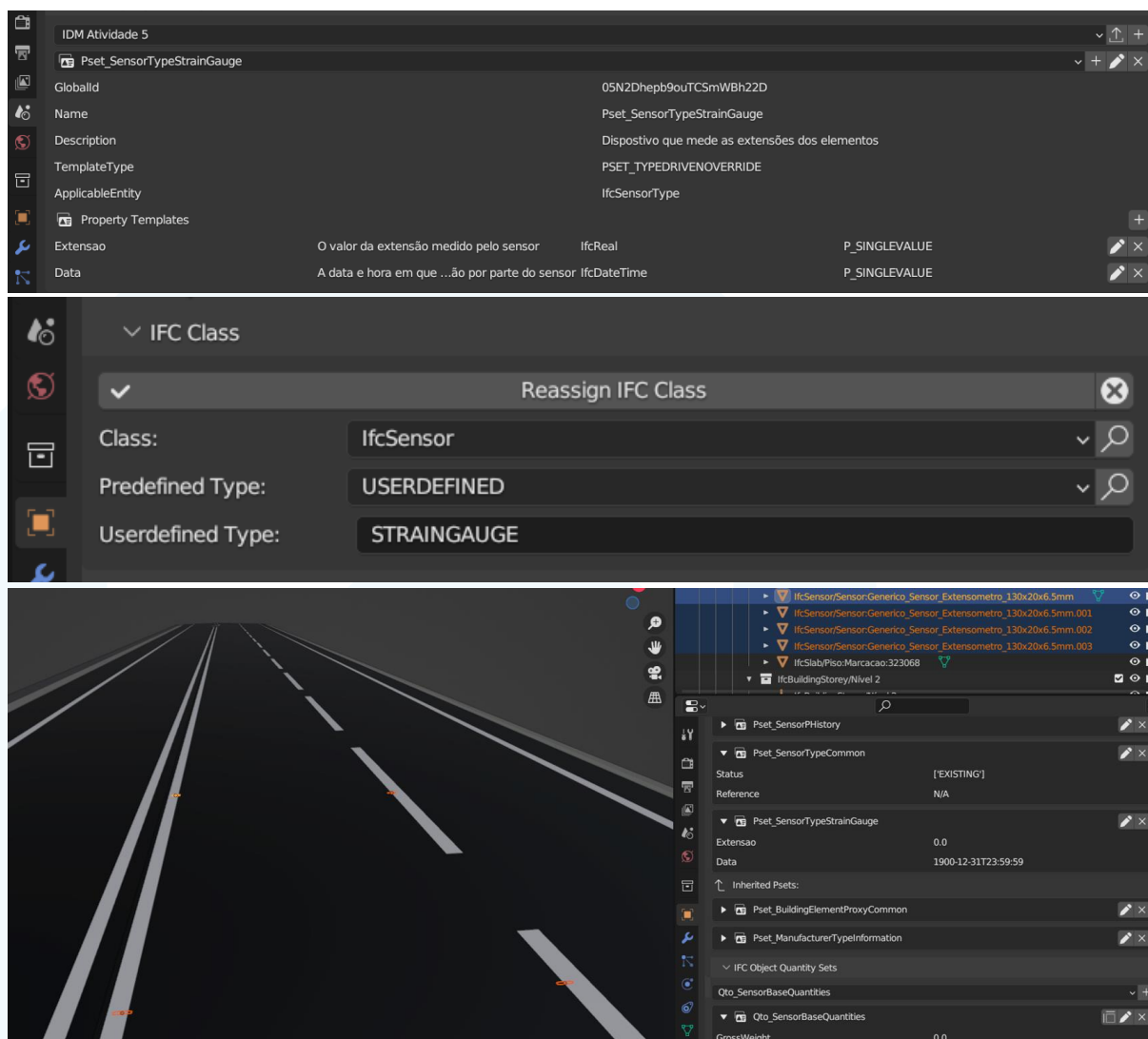


Figura 18 – Exemplo de criação das propriedades do modelo IFC de extensómetros diretamente no Blender, após instalação do BlenderBIM Add-on

5. Conclusão

A utilização de sensores para a monitorização de infraestruturas rodoviárias é uma técnica que permite avaliar a condição das mesmas em tempo real e, se assim for entendido, atuar em conformidade com os dados fornecidos pelos sensores, como por exemplo, procedendo à manutenção do ativo em caso de valores anómalos.

Este IDM surge com o objetivo de definir a primeira prova de conceito para este tipo de utilização em Portugal aliado a modelos BIM. Estes modelos devem conter a informação

necessária à correta caracterização dos sensores de acordo com as normas em vigor, sendo que para o caso português devem idealmente corresponder às regras gerais estipuladas pelo projeto SECCLasS [20]. Como tal, as propriedades necessárias para a troca de informação entre intervenientes dos processos deste IDM devem estar de acordo com a classe IfcSensor oficialmente em vigor, aliando ainda a possibilidade de haver ligação com bases de dados para guardar os dados dos sensores em tempo real.

Tendo em conta que atualmente a buildingSMART Internacional ainda não definiu conjuntos de propriedades para situações de monitorização estrutural com sensores, como este caso, foram propostas neste relatório formas de contornar essa situação. Naturalmente que se no futuro forem publicados conjuntos de propriedades para enumerações-tipo do género dos sensores mencionados, este trabalho deverá ser atualizado de forma a passar a incluir esses dados.

Futuramente e ainda a propósito do projeto de investigação REV@CONSTRUCTION, será desenvolvido um caso de estudo real de monitorização do comportamento de um pavimento rodoviário, de forma a avaliar o comportamento do mesmo ao longo do seu ciclo de vida. Com estes dados, é expectável que seja possível aprimorar modelos de comportamento do pavimento e, assim, melhorar procedimentos de gestão deste género de infraestruturas. Esta tarefa será desenvolvida no âmbito da Atividade 23 do PPS4: Validação da APP PAV 4.0 LC num Living Lab.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a colaboração da empresa Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A., pelo fornecimento de elementos úteis à realização deste relatório técnico, permitindo deste modo uma melhor representação de cenários reais de obras rodoviárias.

Este trabalho é financiado pelo projeto “REV@CONSTRUCTION”, referência POCI-01-0247-FEDER-046123, cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (ERDF) do Programa Operacional de Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020), no âmbito do acordo de parceria Portugal 2020; e Financiamento Base – UIDB/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC). Além disso, também é cofinanciado pelo Fundo Social Europeu (FSE), através do Programa Operacional Regional do Norte (Norte 2020) [Referência de Financiamento: NORTE-06-3559-FSE-000176].

O autor Diogo Filipe Ramos Parracho dedica este trabalho de investigação à memória do seu avô Manuel Santana Parracho.

Referências

- [1] REV@CONSTRUCTION, “Proposta de Candidatura – Parte B: Anexo Técnico – Aviso nº14/SI/2019.” p. 110, Apr. 2019.
- [2] J. Poças Martins, “Standards BIM.” Disponível nos conteúdos da unidade curricular de BIM na Engenharia Civil, FEUP, 2019.
- [3] buildingSMART International Ltd., “MVD Database - buildingSMART Technical,” 2023. <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/mvd-database/> (accessed Mar. 14, 2023).
- [4] buildingSMART International Ltd., “IfcSensor,” 2017. https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/schema/ifc

- buildingcontrolsdomain/lexical/ifcsensor.htm (accessed Apr. 04, 2023).
- [5] D. Šimenić, "Building Information Modelling (BIM) for road infrastructure: TEM requirements and recommendations." United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), Geneva, Suíça, May 2021.
- [6] buildingSMART International Ltd., "Requirement Analysis Report," Mar. 2019. Accessed: Mar. 15, 2023. [Online]. Available: https://standards.buildingsmart.org/documents/IR-Road-WP2_RequirementAnalysisReport.pdf
- [7] buildingSMART International Ltd., "MVD policy for IFC 4.x," Apr. 2021. Accessed: Mar. 14, 2023. [Online]. Available: https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2021/05/20210425_MVD-policy_IFC4.x.pdf
- [8] buildingSMART International Ltd., "Model View Definitions (MVD) - An Introduction," 2022. <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/> (accessed Mar. 16, 2023).
- [9] R. Kelly and buildingSMART International Ltd., "The status of IFC 4.3 and the benefit of further extensions as IFC 4.4," 2022. <https://www.buildingsmart.org/the-status-of-ifc-4-3-and-the-benefit-of-further-extensions-as-ifc-4-4/> (accessed Mar. 16, 2023).
- [10] buildingSMART International Ltd., "IFC Road," 2022. <https://www.buildingsmart.org/standards/calls-for-participation/ifcroad/> (accessed Mar. 16, 2023).
- [11] A. Taray, "Systematic Evaluation of the IFC Data Model for Infrastructural Assets and BIM Use Cases," Dissertação de Mestrado, TUM School of Engineering and Design, Technical University of Munich, Munique, Alemanha, 2022.
- [12] R. L. Oliveira, "Modelos Digitais de Pontes Ferroviárias - Tecnologias de Reality Capture e Modelação BIM," Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Instituto Politécnico do Porto, Porto, Portugal, 2022.
- [13] CEDR - Conference of European Directors of Roads, "AMSfree - Exchange and exploitation of data from Asset Management Systems using vendor free format - CEDR Transnational Road Research Programme - D3.2 Information Delivery Manual (IDM) for condition assessment," Nov. 2020. Accessed: Mar. 21, 2023. [Online]. Available: <https://www.cedr.eu/docs/view/6262a97f03a1b-en>

- [14] buildingSMART International Ltd., “IfcSensorType,” 2022. <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/IfcSensorType.htm> (accessed Mar. 20, 2023).
- [15] buildingSMART International Ltd., “IfcSensor,” 2022. <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/IfcSensor.htm> (accessed Mar. 20, 2023).
- [16] J. Rio, B. Ferreira, and J. Poças Martins, “Expansion of IFC model with structural sensors,” *Informes de la Construcción*, vol. 65, no. 530, pp. 219–228, Jun. 2013, doi: 10.3989/ic.12.043.
- [17] K. Smarsly and E. Tauscher, “Monitoring information modeling for semantic mapping of structural health monitoring systems,” in *16th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE)*, N. Yabuki and K. Makanae, Eds., Osaka, Japão, 2016, pp. 11–18.
- [18] buildingSMART International Ltd., “IFC Road Process Map Diagram,” 2018. <https://app.box.com/s/jyim7tatszs78xd9eyme4s8o5h5so1d8> (accessed Mar. 22, 2023).
- [19] buildingSMART International Ltd., “IfcElement,” 2022. <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/IfcElement.htm> (accessed Apr. 03, 2023).
- [20] M. El Sibaii, L. Miranda, J. Granja, and M. Azenha, “Regras de modelação de objetos BIM,” Lisboa, Portugal, 2021.
- [21] M. Valinejadshoubi, A. Bagchi, O. Moselhi, and A. Shakibabarough, “Investigation on the Potential of Building Information Modeling in Structural Health Monitoring of Buildings,” in *Canadian Society for Civil Engineering Annual Conference (CSCE 2018)*, Fredericton, Canadá, Jun. 2018, pp. GC136-1 - GC136-10.
- [22] Estradas de Portugal, “Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional,” Lisboa, Portugal, Jul. 1995.
- [23] Autodesk Support, “Unexpectedly large values for parameters in new or modified curb family type in Site designer for Revit,” 2021. <https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/SITE>

-designer-Curb-family-manager-abnormally-high-values-used-for-each-parameters.html (accessed Apr. 21, 2023).

- [24] Autodesk, "About Creating a TIN Surface," 2023. <https://help.autodesk.com/view/CIV3D/2024/ENG/?guid=GUID-D0FCED34-D68F-42D2-A6FB-14C454CA57FA> (accessed May 12, 2023).
- [25] buildingSMART International Ltd., "IfcRoad," 2022. <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/IfcRoad.htm> (accessed Apr. 19, 2023).
- [26] buildingSMART International Ltd., "IfcRoadPart," 2022. <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/IfcRoadPart.htm> (accessed Apr. 19, 2023).
- [27] S. M. E. Sepasgozar, "Differentiating Digital Twin from Digital Shadow: Elucidating a Paradigm Shift to Expedite a Smart, Sustainable Built Environment," *Buildings*, vol. 11, no. 4, p. 151, Apr. 2021, doi: 10.3390/buildings11040151.