

BIM no controlo de segurança de barragens de betão: Uma ferramenta de apoio às inspeções visuais

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.12>

**Carlos Serra¹, João Conde Silva²,
José Granja³, Miguel Azenha⁴**

¹ *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Barragens de Betão, Lisboa, Portugal, 0000-0003-0656-9313*

² *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Barragens de Betão, Lisboa, Portugal, 0000-0003-4493-1483*

³ *Universidade do Minho, IRISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0000-0002-0858-4990*

⁴ *Universidade do Minho, IRISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0000-0003-1374-9427*

Resumo

As inspeções visuais constituem uma atividade importante do controlo de segurança de barragens. O registo continuado de anomalias e ocorrências permite ao dono de obra acompanhar e manter o estado da obra e do sistema de observação e planear eventuais reparações e processos de reabilitação.

Atualmente, é prática corrente recorrer a fichas de inspeção visual para o registo das ocorrências em cada elemento estrutural da obra e elaborar relatórios técnicos em que se descreve a evolução do estado de conservação desde a última inspeção.

Este trabalho apresenta uma proposta para a implementação BIM a inspeções visuais de barragens de betão com o objetivo de sistematizar e digitalizar a informação proveniente das fichas de inspeção para um modelo BIM tridimensional. Pretende-se que o modelo BIM seja utilizado para melhorar a visualização das ocorrências ao longo do tempo.

Este trabalho constitui o primeiro passo com vista à criação do sistema integrado BIM de análise de dados gerados automaticamente e de inspeções visuais.

Apresenta-se uma proposta de utilização de formulários digitais pré-definidos para o registo das ocorrências e para exportação sistematizada da informação para o modelo BIM tridimensional. Propõem-se as regras de modelação da barragem para a fase de exploração da obra e a definição e classificação de objetos BIM para a estrutura, para as ocorrências e para os instrumentos, incluindo a definição das propriedades para o registo da informação.

1. Introdução

Entre os aspetos mais relevantes para melhorar a longevidade de uma barragem de betão destacam-se a deteção precoce de anomalias por forma a evitar intervenções de reabilitação demasiado onerosas [1]. Tendo em consideração que cada vez mais obras se aproximam do término da sua vida útil, a sistematização das inspeções visuais das construções constitui uma inegável mais-valia e uma necessidade cada vez mais premente. A metodologia *Building Information Modelling* (BIM) define uma abordagem sistemática para o desenvolvimento das atividades de controlo de segurança de barragens, incluindo a componente das inspeções visuais [2].

Existem alguns exemplos de aplicação da metodologia BIM a barragens de betão, alguns dos quais em fase de projeto [3, 4] e a visualização da informação recolhida por instrumentos de observação instalados em barragens de aterro [5]. No caso particular de inspeções de pontes, Sousa et al. [6] introduziram com sucesso os resultados de inspeções num modelo BIM e Abudayyeh et al. [7] propuseram uma metodologia automatizada de inspeção de pontes, assim como uma discussão detalhada dos esforços de modelação de dados envolvidos no desenvolvimento do modelo de informações de imagem. Neste último, abordam-se técnicas automáticas de análise e interpretação de imagens que vão no sentido de explorar a inteligência artificial (IA).

O Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) [8] determina que o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) é consultor da Autoridade Nacional de Segurança de Barragens em matéria de controlo de segurança das cerca de seis dezenas de grandes barragens existentes em Portugal. Entre outras atividades, o RSB determina que o LNEC efetue visitas de especialidade periódicas. As visitas de especialidade incluem inspeções visuais detalhadas à estrutura e ao sistema de observação, para além das inspeções visuais de rotina, efetuadas regularmente pelo dono de obra. Tendo em consideração o seu papel singular no contexto do controlo de segurança de barragens e a sua atividade de inspeção regular, o LNEC tem vindo a desenvolver esforços para a digitalização destas atividades através, numa primeira fase, da definição de critérios de uniformização com vista ao desenvolvimento de modelos BIM para apoio à decisão.

O RSB não coloca entraves à utilização de ferramentas de apoio ao desenvolvimento das atividades regulamentadas pelo mesmo, viabilizando assim a implementação da metodologia BIM a este âmbito. Não obstante, perspetiva-se como desafiante a adaptação das normas BIM à realidade portuguesa do RSB e às especificidades das atividades desenvolvidas, em particular durante a fase de exploração (por exemplo, a realização e incorporação dos resultados de inspeções) [2].

O recurso à metodologia BIM para o projeto, construção e operação de barragens de betão, em particular a sua aplicação a inspeções visuais é ainda limitada. Para que se possa recorrer, de uma forma sistemática, a este tipo de metodologia propõem-se as bases para a definição e classificação de objetos BIM para a estrutura, para as ocorrências e para os instrumentos, incluindo a definição das propriedades para o registo

da informação, sendo a base para a publicação de recomendações para a definição dos requisitos de informação (à semelhança dos “*Exchange Information Requirements*” definidos na ISO19650-1 [9]). Também se propõe uma nova metodologia de registo das ocorrências in situ para otimizar o fluxo de informação entre o LNEC e os donos de obra e entre o sistema de gestão da informação e o modelo BIM. No que diz respeito ao BIM, são indicados alguns dos aspetos relevantes para a sua implementação a este tipo de atividade,

2. Metodologia proposta para inspeções visuais de barragens de betão

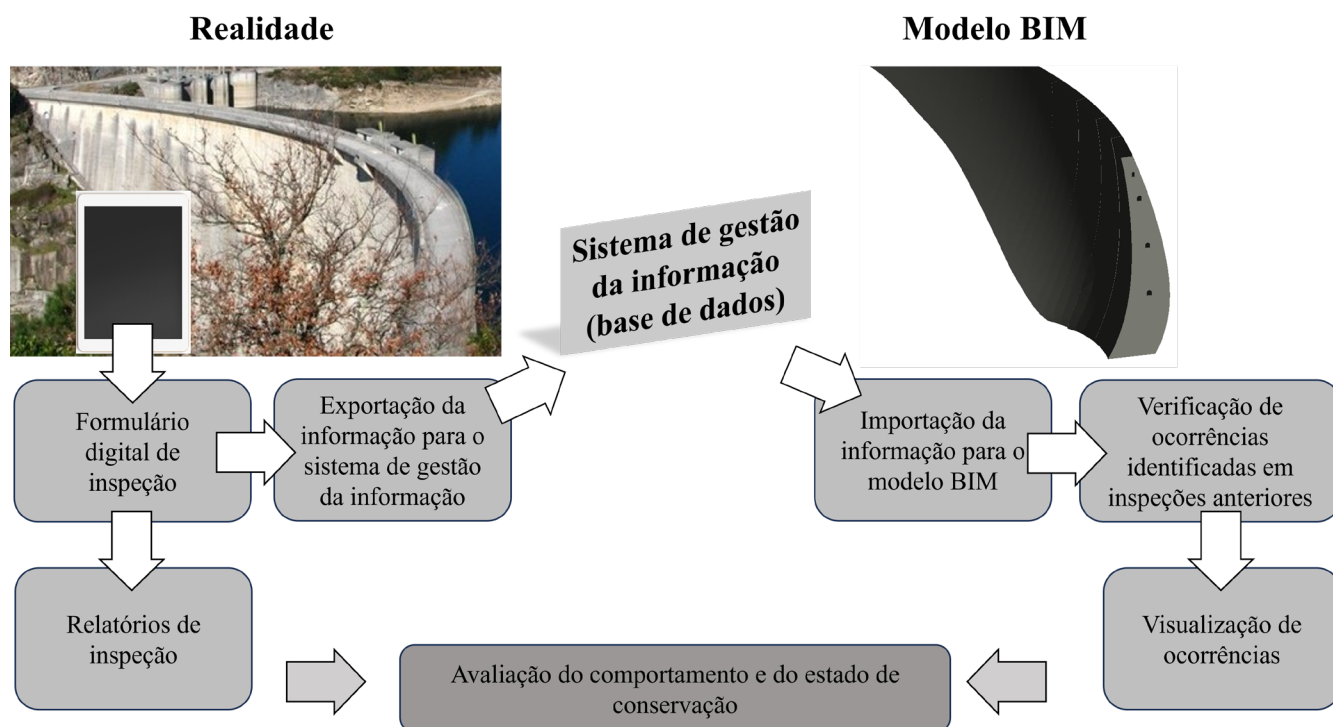
O artigo apresenta uma exemplificação da implementação da metodologia BIM aplicada às inspeções visuais de barragens de betão para a avaliação sistemática do seu comportamento e do seu estado de conservação. Atualmente, o procedimento consiste apenas na execução de inspeções de rotina por parte do Dono de Obra e inspeções de especialidade por parte do LNEC e envio dos respetivos relatórios. O procedimento proposto, para além do que já é prática corrente de envio de relatórios, consiste no armazenamento da informação recolhida no sistema de gestão da informação, partilhado pelos intervenientes, e no registo de ocorrências em modelo BIM federado e posterior envio em formato *BIM Collaboration Format* (BCF). Este artigo estabelece as bases para a definição de formulários digitais de inspeção padronizados e a definição dos objetos BIM e os requisitos de informação. Não é abordado o envio das ocorrências em formato BCF.

A proposta para a implementação prevê que as ocorrências observadas sejam registadas em formulários digitais de inspeção de uma aplicação informática e exportadas para o sistema de gestão da informação (base de dados) e para relatórios técnicos de inspeção. De seguida, a informação é importada para o modelo BIM da barragem para obter uma visualização tridimensional das ocorrências, bem como os resultados da inspeção (Figura 1).

Numa primeira parte, recorre-se à utilização de formulários digitais para o registo de ocorrências utilizando ferramentas informáticas. A estrutura dos formulários permite que a informação recolhida seja armazenada de forma sistemática no sistema de gestão da informação e posteriormente integrada num modelo BIM para a visualização das ocorrências. A estruturação da informação no sistema de gestão de informação não será abordada neste artigo. A segunda parte da metodologia proposta implica a definição das regras de modelação e dos requisitos de informação para os objetos BIM relacionados com a estrutura, as ocorrências e a instrumentação e a sua estruturação no modelo BIM, em formato aberto utilizando o esquema IFC. São discutidos os aspetos gerais sobre as regras de modelação essenciais ao desenvolvimento do modelo BIM e definido o nível de granularidade exigido.

Dada a fase inicial dos trabalhos de implementação, ainda não estão definidos *Product Data Templates* para os vários objetos BIM em barragens de betão e para as ocorrências existentes neste tipo de estruturas. Neste artigo apresentam-se alguns

exemplos da definição de Níveis de Informação Necessária (*Level of Information Need*) para o propósito BIM de visualização de ocorrências. Esta definição constitui, neste momento, a base para a construção do modelo BIM, no que diz respeito a aspetos geométricos e de informação.



3. Implementação e desenvolvimento

3.1. Proposta para o registo digital das ocorrências

O registo das ocorrências identificadas no âmbito de uma inspeção visual de barragens de betão no LNEC não está ainda automatizado. A introdução de um método mais automatizado pode ser efetivada através da criação de formulários customizados para cada barragem, por forma a reduzir também o tempo investido durante a inspeção. Estes devem estar organizados em função da zona a inspecionar e dos percursos típicos dos técnicos ao longo da inspeção e devem contemplar as particularidades de cada barragem.

Neste contexto, utilizou-se uma das inúmeras ferramentas informáticas (*app*) de auscultação “online” disponíveis gratuitamente (*freeware*) para realizar um esboço de formulário de inspeção visual, adaptado a uma barragem protótipo [10] como prova de conceito. A utilização desta aplicação informática em particular, em detrimento de uma alternativa, deve-se à sua facilidade de utilização e permitir o preenchimento dos formulários através de dispositivos móveis “offline”. Outra vantagem desta aplicação é a opção de exportação dos dados recolhidos em formato de relatório e em

Figura 1
Ilustração da abordagem proposta para a avaliação do comportamento e do estado de conservação de barragens de betão baseada em inspeções visuais e modelo BIM.

formato de tabela, o que permite a apresentação imediata do relatório da inspeção ao dono de obra, o tratamento dos dados, a exportação dos resultados para o sistema de gestão da informação e, posteriormente, para o modelo BIM.

A plataforma permite a formulação de questões cuja resposta pode ser inserida em formatos de caixa de texto, data, número, caixas de seleção e escolha múltipla, permitindo também o *upload* de documentos e fotografias. O software possibilita também a criação de grupos com campos repetíveis, o que permite acrescentar, durante a inspeção, várias ocorrências do mesmo tipo, todas elas com as mesmas questões.

A proposta deste trabalho para estrutura de dados é baseada na organização da informação existente no atual sistema de gestão de informação, o “GestBarragens”. Para o propósito BIM tratado neste trabalho, propõe-se a introdução de mais duas categorias para ter maior refinamento, nomeadamente através da introdução da categoria “SubSubElementos”, e para definir a base de dados do registo das inspeções visuais, nomeadamente através da categoria “Ocorrências” (Tabela 1). A estrutura apresentada constitui a base para a definição de formulários digitais para o registo das ocorrências durante uma visita de inspeção e para a definição e relação entre os objetos BIM no modelo tridimensional.

As ocorrências compreendem aspetos genéricos, tais como qualidade da iluminação ou aspeto geral do betão, e aspetos mais específicos como a fendilhação/fissuração (onde se descreve cada uma das fendas e fissuras identificadas – Figura 2), singularidades no betão, água e humidades, exsudação / depósitos ou encaminhamento da água drenada e infiltrada. As ocorrências existentes nos instrumentos de observação (por exemplo: em piezómetros, bases tridimensionais ou de alongâmetro, fios de prumo) também serão registadas durante a inspeção, no mesmo formulário, à semelhança das restantes ocorrências. Propõe-se que a informação estruturada recolhida durante as inspeções seja armazenada no sistema de gestão da informação e visualizada em modelo BIM, em objetos BIM padronizados segundo os critérios propostos nas subseções seguintes. Note-se que neste tipo de soluções, coloca-se o problema da segurança dos dados envolvidos, dada a sensibilidade e relevância dos mesmos. No futuro, a viabilidade deste tipo de formulários será apenas possível através de uma ferramenta informática alojada nos servidores do LNEC, que garanta uma proteção total de toda a informação.

Tabela 1: Estrutura das entidades existentes no sistema de gestão da informação e proposta de integração de entidades relacionadas com as ocorrências na estrutura

Elementos	SubElementos	SubSubElementos (*)	Ocorrências (*)	
	Blocos	Camada	Fendas/fissuras, Repasse/infiltrações/escorrências	
	Juntas de contração	-	Junta anormalmente aberta, Repasse/infiltrações/escorrências Depósitos/exsudação	
	Paramentos	-	Fendas/fissuras, Lascagem/Delaminação, Depósitos/exsudação	
Superestrutura	Galerias	Teto	Fendas/fissuras,	
		Piso	Lascagem/Delaminação,	
		Hasteal	Depósitos/exsudação Defeitos na captação de infiltrações	
			Caleira	Defeitos de limpeza nas caleiras
			Nichos	Fendas/fissuras
	Junta de betonagem (*)	-	Repasse/infiltrações/escorrências, Depósitos/exsudação, defeitos na captação de infiltrações	
			Piso	Acumulação de água
	Coroamento	Guardas	Fendas/fissuras, Lascagem/Delaminação, Corrosão	
			Passeios	Degradação do betão
	Inserção na fundação (*)	-	Ressurgência	

(*) Entidades não existentes no sistema de gestão de informação existente

Figura 2

Formulário criado na aplicação DataScope: alguns dos campos criados para inserção e descrição de fenda / fissura durante a vista de inspeção, através da opção grupos com campos repetíveis.

The figure displays four sequential screenshots of the 'Fenda / Fissura #1' form in the DataScope application. Each screenshot shows a different part of the form being interacted with:

- Screenshot 1:** Shows the main form with a search bar and a list of locations (Teto, Hasteal de jusante, Piso, Hasteal de montante). A button '+ ADICIONAR DADOS' is visible.
- Screenshot 2:** Shows the 'Localização' field with a search bar and a list of locations. The 'Hasteal de jusante' option is selected.
- Screenshot 3:** Shows the 'Distância da fissura / fenda...' field with a search bar and a list of distances. The distance '5' is entered in the field.
- Screenshot 4:** Shows the 'Abertura (mm)' field with a search bar and a list of opening sizes. The opening size '0,2 mm' is selected.

3.2. Definição das regras de modelação BIM de barragens de betão e de ocorrências

As definições de regras de modelação proporcionam a padronização dos modelos e objetos BIM por forma a facilitar a organização, pesquisa, extração, quantificação e visualização da informação.

A estrutura da barragem deverá ser constituída por elementos de volume que representem a volumetria real da estrutura. Deverão ser definidos elementos individuais de volume correspondentes aos blocos da barragem, separados por juntas de contração. Para o propósito BIM de visualização de ocorrências é essencial a existência de galerias através da criação de vazios no interior dos volumes da barragem. Uma vez que existem várias ocorrências associadas ao processo construtivo das juntas de betonagem, os elementos individuais de volume deverão corresponder às camadas de betão de cada bloco por forma a que as juntas de betonagem estejam explicitamente representadas.

As ocorrências poderão ser representadas geometricamente como elementos *Patch* [6] colocados junto ao local da ocorrência e que contêm a informação obtida durante a inspeção visual. A forma e cor dos elementos *Patch* poderá estar relacionada com o tipo de ocorrência utilizando uma codificação predefinida, em termos de forma e cor. Por exemplo: *Patch* correspondentes a ocorrências visualizadas em superfícies (fendas, repasses ou depósitos) deverão ser objetos BIM planos e posicionados junto à superfície em que foram observados (tetos, paramentos, pisos, hasteais); *Patch* de fendas deverão ser elementos alongados com o comprimento da fenda; Defeitos de limpeza nas caleiras poderão ser representados por objetos BIM cúbicos com a dimensão da caleira. Idealmente, as dimensões dos *Patch* deverão ter algum grau de parametrização para representar a dimensão da ocorrência, como o desenvolvimento de uma fenda ou a área de um depósito (Tabela 2). Em relação à instrumentação, poderão ser utilizados objetos BIM com uma forma tridimensional correspondente à simbologia usualmente utilizada em desenhos técnicos de barragens, como ilustrado na Tabela 2.

Em geral, deverá seguir-se o disposto na proposta de regras de modelação de objetos BIM definida na especificação técnica da comissão nacional de redação CT197 [11]. A nomenclatura de objetos BIM deverá seguir a seguinte estrutura: <Fonte>_<Tipo>_<Subtipo>_<Diferenciador_n> (Tabela 3) e as propriedades deverão ser organizadas em conjuntos de propriedades (*Property Sets – Pset*). Deverá adotar-se a estrutura do esquema *Industry Foundation Classes* (IFC) [12] para cada objeto BIM e, sempre que possível, os objetos BIM deverão utilizar elementos já existentes no esquema IFC (por exemplo, *IfcSensorType* para a instrumentação na Tabela 3). Quando não existem *IfcElementType* correspondentes aos objetos pretendidos deverá recorrer-se ao *IfcElementType* genérico “*IfcBuildingElementProxy*” e ao *Predefined Type* “*USERDEFINED*”. No caso particular de barragens de betão, não existem muitas opções adequadas na versão IFC4, pelo que se propõe uma estrutura IFC para os principais elementos estruturais, instrumentação e ocorrências (Tabela 3).

De acordo com a EN 17412-1:2020 [13], os pré-requisitos associados às razões pelas quais se define a informação, o momento de produção e entrega da informação, de quem e para quem é a informação e sobre que objeto se trata a informação constitui a base para a definição do nível de informação necessário e de como essa informação é definida, em termos de Informação Geométrica, Informação Alfanumérica e Documentação. A Tabela 4 apresenta um exemplo de uma das principais ocorrências, “Fenda”.

Complementarmente, por forma a estabelecer as bases para a interoperabilidade, em formato aberto utilizando o esquema IFC a Tabela 5 estrutura a proposta dos conjuntos de propriedades da classe de IFC (*Property Sets – Pset*) para o exemplo de um objeto BIM do tipo Fenda, incluindo o tipo de dados a inserir em cada propriedade e o tipo de escolha possível: *P_SINGLE-VALUE* permite apenas a atribuição de um valor; *P_ENUMERATED-VALUE* permite a enumeração de várias opções, à semelhança do que é definido nos formulários digitais (§3.1).

Tabela 2: Proposta para definição de *Patch* em objetos BIM de ocorrências e simbologia de instrumentação







Tipo	Subtipo/Diferenciador	Patch		
		Forma	Cor	Exemplo
Ocorrência	Fenda	Forma alongada com o comprimento igual ao desenvolvimento da fenda	Vermelho	
	Repasse	Forma alongada com o comprimento igual ao desenvolvimento do repasse	Azul	
	Depósito	Superfície retangular com altura e comprimento correspondente à área do depósito	Branco	
	Ressurgência	Superfície circular	Azul	
Instrumentação	Base de coordenómetro	Simbologia específica de barragens	Vermelho	
	Dreno	Simbologia específica de barragens	Azul	

Tabela 3: Proposta para a nomenclatura de objetos BIM e estrutura do esquema IFC

Tipo	Subtipo	Diferenciador	Exemplo nomenclatura de objetos BIM	Proposta estrutura IFC		
				IfcElementType	Predefined Type	Object type
Bloco	Camada	ComGaleria/ SemGaleria	Generico_Bloco_ Camada_SemGaleria	<i>IfcSlabType</i>	<i>USERDEFI- NED</i>	<i>Block_ Layer</i>
Ocorrência	Fenda	NA	Generico_Ocorrencia_ Fenda_NA			<i>Crack</i>
Ocorrência	Repasse	NA	Generico_Ocorrencia_ Repasse_NA	<i>IfcBuildingElement Proxy</i>	<i>USERDEFI- NED</i>	<i>Leakage</i>
Ocorrência	Depósito	NA	Generico_Ocorrencia_ Deposito_NA			<i>Deposit</i>
Ocorrência	Ressurgência	NA	Generico_Ocorrencia_ Ressurgencia_NA			<i>Seepage</i>
Instrumentação	FioPrumo	BaseCoordi- nometro	Generico_Instrumen- tacao_FioPrumo_Base- Coordinometro	<i>IfcSensor- Type (IFC 4)</i>	<i>USERDEFI- NED</i>	<i>Plumbline_ Base</i>
Instrumentação	Dreno	Galeria/Ex- terior	Generico_Instrumenta- cao_Dreno_Galeria			<i>Drainage_ Gallery</i>

Tabela 4: Exemplo da especificação do nível de informação necessário para o objeto BIM “Fenda/Fissura” na fase de inspeção visual e para o propósito BIM de representação visual de ocorrências, segundo a EN 17412-1:2020

Marco de entrega de informação:	Inspeção visual de especialidade
Uso BIM:	Representação visual de ocorrências de inspeções visuais em modelo BIM
Interveniente:	LNEC
- Objeto:	Fenda / Fissura
- Informação geométrica:	
- Detalhe:	Não aplicável
- Dimensionalidade:	2D ou 3D
- Localização:	Relativa à junta da M.D. e relativa ao piso
- Aparência:	Simbólico
- Comportamento paramétrico:	Parcial
- Informação alfanumérica:	
- Identificação	Nome
- Informação:	(ver Tabela 5)
- Documentação:	Desenhos técnicos (alçados)

Tabela 5: Proposta para os conjuntos de propriedades da classe de IFC (*Pset*) para uma fenda

Proposta conjuntos de propriedades da classe de IFC (<i>Pset</i>)						
Tipo	Subtipo	Object Property Sets	Property	Primary Measure Type	Template Type	
Ocorrência	Fenda	LocalizacaoFenda	DistanciaMD	<i>IfcReal</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>	
			DistanciaPiso	<i>IfcReal</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>	
			Localizacao	<i>IfcLabel</i>	<i>P_ENUMERATEDVALUE</i>	
		PropriedadesFenda	Abertura	<i>IfcReal</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>	
			Desenvolvimento	<i>IfcReal</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>	
			Orientacao	<i>IfcLabel</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>	
		LinkFotografia	Tipo	<i>IfcLabel</i>	<i>P_ENUMERATEDVALUE</i>	
			LinkFotografia	<i>IfcLabel</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>	
			Classificação	<i>IfcClassification-Reference</i>	<i>IfcLabel</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>
				<i>IfcClassification</i>	<i>IfcLabel</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>

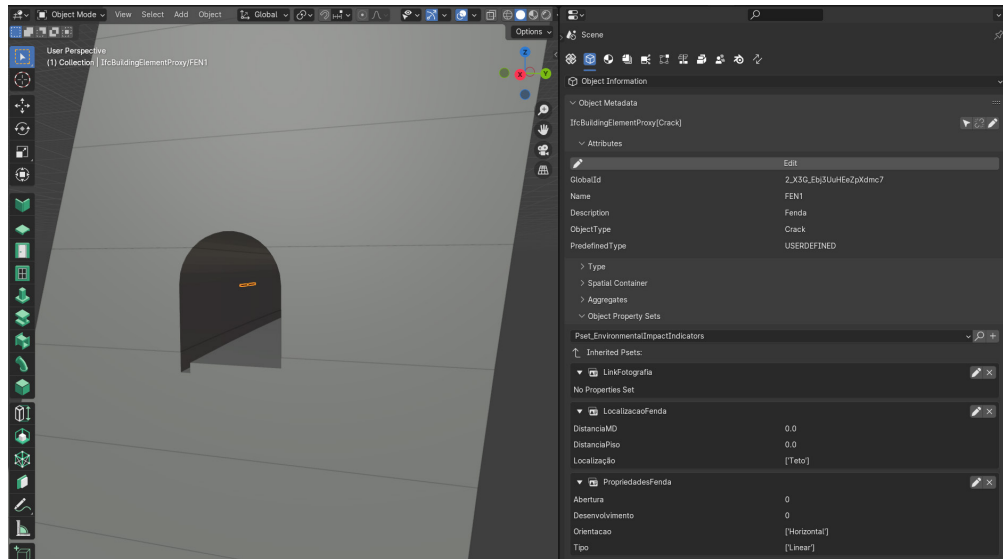
4. Aplicação prática a uma barragem protótipo

Nesta seção apresenta-se uma aplicação da estrutura anteriormente apresentada para o caso de uma das ocorrências a um modelo BIM de barragem protótipo do tipo abóbada. A barragem foi modelada num trabalho prévio cujo objetivo era a simulação do faseamento construtivo de barragens [14]. Neste caso a modelação da barragem foi efetuada recorrendo a programação visual no plugin *Dynamo* do REVIT, permitindo o estabelecimento de modelação paramétrica. Foram modeladas as camadas de betão de cada bloco como elementos individualizados e as galerias de visita foram obtidas através da criação de vazios no interior das camadas. O modelo BIM da barragem serviu de base para exemplificar a proposta de implementação BIM das inspeções visuais, com a estrutura de dados semelhante à utilizada nos formulários da aplicação DataScope.

A manipulação da informação seguindo o esquema IFC foi feita diretamente através do *software* Blender e do *Add-on* BlenderBIM, que é nativo em IFC. Uma vez que este tipo de estrutura e ocorrências não estão incluídas no esquema IFC é necessário utilizar a proposta de estrutura IFC para os objetos BIM, apresentada na Tabela 4 e a proposta de conjuntos de propriedades da classe de IFC (*PropertySet-Pset*), apresentada na Tabela 5. A Figura 3 apresenta a representação da ocorrência “Fenda” com as respetivas propriedades alfanuméricas identificadas anteriormente (organizadas em *Property Sets*). Neste caso, optou-se por uma forma geométrica simbólica (*Patch*) alongada para a ocorrência “Fenda”, com o desenvolvimento real da fenda e colocado na proximidade do local (Elementos/SubElementos/SubSubElementos) em que foi observado (Tabela 3).

Figura 3

Visualização da representação de uma fenda com os respetivos atributos e propriedades, definidos em *Property Sets*.



5. Considerações finais

Neste artigo discutiram-se os aspetos relevantes para a implementação BIM em inspeções visuais de barragens de betão. Foram propostos alguns pontos essenciais para a implementação, tais como a granularidade do modelo, a informação a introduzir em cada tipo de objeto BIM, as regras de modelação e a estruturação da informação segundo o esquema IFC. O trabalho encontra-se em fase de desenvolvimento, sendo necessária a generalização da normalização para os restantes elementos estruturais, ocorrência e instrumentação, com a interação entre os vários intervenientes neste tipo de atividades.

Ao nível dos desenvolvimentos futuros, pretende-se melhorar e automatizar os procedimentos apresentados no presente documento, desde o registo das ocorrências das inspeções visuais até a sua visualização em modelo BIM. Adicionalmente, pretende-se complementar esta investigação com estudos que visam a implementação BIM a outras atividades do controlo e segurança de barragens de betão, no contexto nacional.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Engenharia de Estruturas (ISISE), sob a referência UIDB/04029/2020 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020), e sob o Laboratório Associado de Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE sob a referência LA/P/0112/2020. Os autores agradecem a disponibilização do modelo BIM desenvolvido por Luís Fernandes [14].

Referências

- [1] J. C. Silva and C. Serra, "Injection of discontinuities in concrete dams with cement-based grouts", *J. Struct. Integr. Maint.* 7(4), pp. 252-264, Taylor&Francis, 2022b. <https://doi.org/10.1080/24705314.2022.2088070>.
- [2] C. Serra, "As potencialidades e desafios da implementação BIM adaptada ao controlo de segurança estrutural de barragens de betão", in *ptBIM 2022 – 4.º Congresso Português de Building Information Modelling*, Braga, Portugal, 2022.
- [3] A. Marques, "Implementação de metodologias BIM na Direção de Engenharia de Barragens da EDP: Casos de estudo de projeto de estruturas em obras Hidroelétricas", Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2015.
- [4] A. Marques, M. Azenha, and A. Ferreira, "BIM no projeto de estruturas de obras hidroelétricas", in *ptBIM 2016 – 1.º Congresso Português de Building Information Modelling*, Guimarães, Portugal, 2016, pp. 163-172.
- [5] A. Heleno, "BIM for information management in structural safety control of embankment dams", Dissertação de mestrado em European Master in Building Information Modelling, Universidade do Minho, 2021.
- [6] G. Sousa, M. Azenha, J. Matos and V. Brito, "Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de obras de arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto", *ptBIM 2018 – 2.º Congresso Português de Building Information Modelling*, Lisboa, Portugal, 2018, pp. 519-528.
- [7] O. Abudayyeh, M. Al Bataineh and I. Abdel-Qader, "An imaging data model for concrete bridge inspection", *Advances in Engineering Software*, Volume 35, Issues 8-9, 2004, Pages 473-480, ISSN 0965-9978. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2004.06.010>.
- [8] RSB, "Regulamento de Segurança de Barragens", Portugal, 2018.
- [9] CEN, "EN ISO 19650-1:2018 – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles." CEN, Brussels, p. 34, 2018.
- [10] Sítio da internet <https://datascope.io/en/>, dezembro de 2023
- [11] CT-197, "Regras de modelação de objetos BIM," Lisboa, 2021 (<https://secclass.pt/relatorios/regras-de-modelacao-de-objetos-bim/>).
- [12] ISO, "ISO 16739-1:2018 - Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema." Geneva, Switzerland, p. 1474, 2018.
- [13] CEN, "EN 17412-1:2020 – Building Information Modelling – Level of Information Need – Part 1: Concepts and principles." CEN, p. 28, 2020.
- [14] L. Fernandes, "An integrated model for simulation of construction phasing of arch concrete dams", Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, 2015.