

Normalização de biblioteca Heritage-BIM: Os claustros conventuais Serlianos de Lisboa através de objetos genéricos compostos

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.43>

Ana Gil¹, Ana Tomé²

¹ CERIS/IST/Universidade de Lisboa, Lisboa, 0000-0002-0700-398X

² CERIS/IST/Universidade de Lisboa, Lisboa, 0000-0002-9801-9791

Resumo

Na era digital, é importante refletir sobre a aplicabilidade de diretrizes para uma eventual normalização do modelo digital do património arquitetónico. Tais digitalizações poderiam ser desenvolvidas, utilizadas e partilhadas como património digital de modo expedito, universal e com base científica, independente de possíveis limitações físicas, monetárias ou tecnológicas.

O presente trabalho assenta na premissa de que a criação de um modelo digital de património arquitetónico, passa pelo uso de ferramentas da indústria AEC (arquitetura, engenharia e construção), nomeadamente a tecnologia BIM (building information modeling), com foco na criação de uma biblioteca H-BIM (heritage building information modeling) constituída por objetos genéricos compostos. Genéricos porque possuem o detalhe geométrico que lhes permite serem representativos do universo tipológico a que pertence o objeto e, compostos, por serem constituídos por dois ou mais objetos patrimoniais, sendo o conjunto necessário para a leitura global do objeto final (e.g., arcada como conjunto de arcos suportados por colunas). Esta abordagem considera que o detalhe geométrico final do modelo poderá vir a ser, *a posteriori*, otimizado pela automatização do processo scan-to-BIM aproximando assim o modelo digital final do gémeo digital do elemento real.

Neste sentido, com vista a contribuir para universalizar a elaboração de modelos digitais de património arquitetónico, este trabalho pretende refletir sobre a possibilidade de criar diretrizes para uma normalização de bibliotecas H-BIM. Considerando tal objetivo, é proposta uma metodologia de desenvolvimento de modelos digitais constituídos por objetos compostos genéricos. Como caso de estudo, foram utilizados os claustros renascentistas serlianos dos conventos de Lisboa.

1. Introdução

Cada objeto patrimonial é um elemento único. Porém, possui parâmetros dimensionais (e.g., comprimento, largura, espessura), não dimensionais tangíveis (e.g., cor, material) e não dimensionais intangíveis (e.g., época construtiva, tipologia) que permitem identificá-lo a tantos outros.

É possível abordar a representação digital do património arquitetónico (existente ou não) a partir de estudos tipológicos, visando a definição de regras básicas para a elaboração da geometria dos seus elementos individuais e os respetivos intervalos de valores dos seus parâmetros. Surge, assim, o conceito de objeto genérico de património arquitetónico, o qual pode ser utilizado para representar, de forma simplificada e através de manipulação paramétrica, um tipo específico de objeto patrimonial num modelo digital de património arquitetónico. Assim, através da simples reutilização de objetos genéricos passará a ser possível desenvolver modelos digitais de património arquitetónico de modo expedito, sistemático, e científico, independentemente da existência de levantamentos rigorosos dos mesmos, e apenas com base na informação existente no momento, (i.e., informação documental de fontes históricas). Tal só é possível uma vez que, paralelamente à definição paramétrica (parâmetros geométricos, parâmetros não geométricos tangíveis e parâmetros não geométricos intangíveis) e tipológica de determinado objeto, também seriam padronizados os níveis de detalhe geométrico. O nível mais baixo corresponderá apenas às geometrias características básicas com os respetivos parâmetros associados. Já num nível intermédio, ainda de manipulação direta (i.e., num nível em que as geometrias são modeladas em ambiente BIM) acresce a possibilidade de editar perfis aproximando a geometria do objecto à geometria padrão do elemento real. Por fim, um nível máximo ideal, corresponderá a um objeto obtido diretamente através do processo scan to BIM otimizado, i.e., em que as geometrias são extraídas automaticamente das nuvens de pontos [1].

Todavia, em património arquitetónico, é recorrente um elemento individual encontrar-se em relação direta com outro elemento ou conjunto de elementos, e constituírem um conjunto identificado, como o caso de colunas, galerias, claustros e até mesmo fachadas. Deste modo, não basta aos objetos serem genéricos para agilizar a representação dos modelos digitais, é necessário que sejam também compostos. Neste caso, um maior número de elementos passaria a ser colocado, de uma só vez, de forma regrada no modelo digital de património arquitetónico. Os modelos digitais de património arquitetónico deixariam, assim, de serem exaustivamente modelados e parametrizados caso a caso, elemento a elemento, para passarem a ser uma coletânea de objetos genéricos compostos elaborados a priori, com parâmetros modificados a posteriori aquando da sua aplicação em modelos digitais. Idealmente, passar-se-ia do genérico ao particular de forma ágil e expedita.

Para que se possa generalizar a utilização destes objetos, é necessário estandarizar a sua elaboração e centralizar o seu armazenamento, divulgação e disponibilização em bibliotecas H-BIM [1]. Verifica-se que desde as primeiras civilizações

urbanas até ao século XIX têm sido consecutivamente seguidos estilos e técnicas construtivas [2]. Logo, à semelhança do que atualmente acontece na indústria AEC onde cada objecto é disponibilizado pelo fabricante em biblioteca BIM, os objetos patrimoniais também necessitam de serem elaborados da mesma forma aquando se trata do mesmo tipo de elemento, com a mesma época construtiva e mesmo método construtivo. Permitindo, assim, que diferentes intervenientes, em diferentes projetos com o mesmo tipo de elemento possam interagir com o modelo digital da mesma forma, facilitando trocas, melhorando a eficiência, a implementação de diretrizes e de protocolos sobre os modelos digitais e aumentando a própria longevidade do objecto [3]. A estandardização da representação ficaria liberta das irregularidades do objecto, uma vez que o nível de detalhe último ideal seria à posterior acrescentado com scan to BIM otimizado.

Assim, idealmente, passariam a existir mais modelos digitais representativos do nosso património arquitetónico, i.e., mais património digital de bens arquitetónicos, cumprindo-se os objetivos do programa Memory of the World [4] no sentido em que a informação relativa ao património ficaria preservada, protegida e acessível a todos. Este património digital de património arquitetónico tornar-se-ia, tendencialmente, o modelo digital central da informação para qualquer intervenção ou ação sobre o elemento real, não por ser um modelo de uso polivalente, mas por ser um modelo que reúne toda a informação existente sobre o objeto patrimonial em causa. Estes modelos digitais permitiriam, assim, representar *urbi et orbis* o passado, o presente e o futuro do caso real, onde as suas corretas identificação, classificação e representação ao longo do tempo serão a raiz de um efetivo gêmeo digital [5][6][7] de património arquitetónico [8][9].

Acresce que, apesar da indústria AEC possuir a sua própria estandardização, com sistemas de classificação próprios e normas bem definidas, estes não podem ser diretamente utilizados pelo património arquitetónico uma vez que:

- Nos sistemas de classificação existentes não há classificação para a maioria dos objetos patrimoniais, como é o caso, por exemplo, de colunas e respetivas bases, fustes e capitéis;
- As regras de modelação definidas não têm em conta as especificidades do património arquitetónico, como é o caso da composição de elementos e suas relações;
- Os parâmetros definidos não se adequam aos objetos patrimoniais, alguns não têm interesse (e.g., warranty, PointOfContact, ModelReference) sendo omissos outros de relevância (e.g., ÉpocaConstrutiva, Categoria, Tipologia, proteção, ConservaçãoGeral);
- O atual conceito de gêmeo digital [10] não comporta as especificidades de objetos de património. Falta, por exemplo, a componente histórica, i.e., dados gráficos e não gráficos correspondentes ao passado do mesmo, imprescindíveis à criação de património digital de património arquitetónico.

Com uma normalização de bibliotecas H-BIM, assente em estudos tipológicos de elementos patrimoniais, tornar-se-á possível generalizar a representação de património arquitetónico. Tal motivará, por um lado, maior agilização do processo de modelação e, por outro, constituirá um meio mais eficaz de conservação preventiva de património arquitetónico existente. Neste sentido, com vista a contribuir para o estabelecimento de diretrizes para uma futura normalização de bibliotecas H-BIM, este trabalho apresenta sete princípios essenciais para o correto desenvolvimento de biblioteca digital de objetos genéricos (simples e compostos) de património arquitetónico e aponta uma metodologia de desenvolvimento de objetos compostos genéricos H-BIM visando a criação de modelos de património digital alusivos a património arquitetónico.

Como objetivos gerais:

- Desenvolver, testar e avaliar a metodologia de elaboração de modelos digitais baseada na criação de objetos genéricos compostos;
- Contribuir para a normalização de bibliotecas H-BIM de modelos genéricos em geral e de modelos genéricos compostos em particular.

Por sua vez, como objectivos específicos:

- Criar e testar objetos genéricos compostos necessários à elaboração dos claustros conventuais lisboetas de tipologia mais complexa, claustros serlianos, com vista à sua disponibilização em biblioteca Heritage-BIM;
- Gerar e testar modelos digitais dos casos de estudo com base na informação existente, para que sirvam de base ao desenvolvimento de futuros modelos H-BIM dos conventos em questão.

2. Revisão de Literatura

Segundo [11] a salvaguarda do património só terá eficácia se forem trabalhadas, em simultâneo, diferentes áreas dessa mesma realidade tais como a inventariação, a classificação, a gestão, a intervenção e a difusão. Estas áreas, embora apresentem operativamente a sua autonomia, serão partes complementares de um encadeado lógico de ações. Várias têm sido as entidades, nacionais e internacionais, que tem perseguido o objetivo de melhor documentar, preservar e divulgar o património ao longo dos tempos através da elaboração de cartas, princípios, normas e diretrizes [12][13][14][15].

Nos últimos anos, têm sido mobilizados esforços no sentido de aplicar a tecnologia BIM ao âmbito do património arquitetónico [16]. Através dos principais documentos publicados por entidades internacionais ligadas ao património é possível observar o percurso do património arquitetónico em nível de maturidade BIM [17][18], desde a sua incursão no nível zero até à sua atual aproximação de estabilização no nível 2, a par com a indústria AEC:

- Nível 0 (pré-BIM) – documentação patrimonial efetuada com recurso a metodologia tradicional [19][20];
- Nível 1 (modelação) – representação digital incidindo em modelos 2D e 3D [21][22];
- Nível 2 (colaboração) – aplicação de metodologia BIM em ambiente colaborativo baseado em modelos parciais por especialidades [23][24][25][26];
- Nível 3 (integração) – modelo único e integrado onde o sistema é gerido através de servidor colaborativo.

Verifica-se que atualmente, num nível 2, a interoperabilidade e o trabalho colaborativo baseado em modelos paramétricos [27] e associativos [28] são o caminho para a salvaguarda eficaz do património [24]. E, que, num futuro nível de maturidade 3, a base da elaboração do gémeo digital de património arquitetónico que servirá de base para todas as ações passará pelo scan-to-BIM otimizado, onde o modelo do atual estado do elemento patrimonial será automaticamente gerado com base na nuvem de pontos, ficando apenas a inserção do passado geométrico e da informação não geométrica à responsabilidade do utilizador como anteriormente referido [1][2]. Os modelos elaborados associados a nuvem de pontos poderão vir a ser utilizados como elemento central para as mais variadas áreas, tanto para conservação, gestão, manutenção e até para estudos mais específicos dos elementos, como por exemplo o caso de estudos epigráficos através de *morphological residual model* [29] e, num futuro próximo, poderão vir a incorporar de forma automática objetos granulares (i.e., subobjetos que resultam da decomposição de um objeto permitindo adicionar informação relevante gráfica e não gráfica) [30] no próprio modelo digital, passando a ser um gémeo digital do elemento real, se existir informação para tal.

O património arquitetónico ao ser caracterizado pela irregularidade geométrica e ao não seguir os estilos e tipologias estritamente *by the rule*, faz de cada caso um caso único [31]. O BIM representa assim oportunidade para a documentação e preservação do património, mas esta requer uma discussão metodológica e experimentação prática, a fim de obter modelos detalhados de objetos históricos irregulares [31]. As duas atuais principais vias de elaboração de modelos BIM de património arquitetónico, ainda não permitem a implementação do BIM de forma generalizada a grande escala tendo em conta a especificidade dos elementos patrimoniais, mas estão a desenvolver todos os esforços necessários para que se consiga atingir as bases para tal. Uma, passando pela parametrização exaustiva de elementos e tentativa de recriação da realidade com base nesses cânones [32], e outra, pretendo gerar uma representação fidedigna da realidade através de processo scan-to-BIM automatizado para determinados elementos arquitetónicos clássicos [33], chegam a aproximações de gémeos digitais, não standardizados, do elemento real.

Para a atual estabilização num nível de maturidade 2, e criação de base sólidas para a incursão num futuro nível 3, através da generalização da representação e divulgação dos modelos digitais de património arquitetónico de forma universal, tendo em conta as especificidades dos seus elementos compostos, será necessária uma solução de compromisso. À semelhança das bibliotecas BIM da indústria AEC e respetiva

regulamentação associada [1] [34][35][36][37][38][39][40], a solução passará pela definição de uma biblioteca digital de património arquitetónico – biblioteca H-BIM – baseada em objetos genéricos compostos elaborados de forma científica. Tal compromisso corresponderá a um caminho em que a normalização possível dos objetos patrimoniais permitirá representar digitalmente mais casos de estudo, na medida em que a tarefa de modelação será facilitada, mas esta será necessariamente menos detalhada o que afastará o resultado final de um gémeo digital, abrindo apenas um caminho para tal. Apesar da possibilidade de alterar os perfis dos elementos (nível de detalhe 3) estar sempre em aberto não cabe dentro desta abordagem avaliar o esforço de atualização dos modelos a partir de um processo scan-to-BIM automatizado.

Em Portugal, os “kits do património” [11] constituem um esforço de sistematização ao classificarem elementos e espaços apontando no sentido de uma eventual representação digital normalizada. Contudo, esta classificação não sendo numerada dificulta a sua aplicação ao desenvolvimento de uma metodologia de elaboração de património digital de património arquitetónico tendo por base objetos genéricos compostos de acordo com os requisitos antes enunciados. Em Inglaterra, o Midas Heritage – The UK Historic Environment Data Standard [41] define um guia da informação a ser recolhida não providenciando um sistema *standard* de classificação ou convenção de nomes. Apenas é referido que o sistema de classificação Uniclass [42], um dos sistemas de classificação da indústria da construção, tem vindo a ser corrigido no sentido de incorporar requisitos patrimoniais [26].

Assim, paralelamente à falta de classificação patrimonial abrangente e de carácter universal, semelhante às que já existem para a indústria AEC [43][42] atualmente, assiste-se ao desenvolvimento dos elementos patrimoniais maioritariamente caso a caso, sem regras de modelação bem definidas, em alguns casos apenas com regras de modelação genéricas [24] [25][26]) e muito raramente disponibilizados em bibliotecas tendo em conta a sua efetiva reutilização.

Nesse sentido, o presente trabalho propõe uma metodologia para a elaboração e disponibilização de objetos genéricos compostos característicos dos vários elementos, ou conjunto de elementos arquitetónicos, segundo princípios orientadores. Num estado ideal de nível de maturidade 2, o modelo digital de património construído será mais facilmente desenvolvido através da reutilização desses objetos genéricos compostos, através de breves edições, podendo incorporar a qualquer altura as nuvens de pontos do conjunto para melhorar a sua precisão.

3. Princípios orientadores

Para a elaboração de objetos genéricos, considerados património digital de património arquitetónico, há que ter em conta todas as cartas, recomendações e princípios correspondentes ao património cultural e ao património material móvel e imóvel em geral e ao património digital em específico.

Nesse sentido, são apontados de seguida sete princípios essenciais para o correto desenvolvimento de biblioteca digital de objetos genéricos (simples e compostos) de património arquitectónico:

1.º Preservação de um Bem Comum – É essencial universalizar as ações sobre o património, proporcionando as mesmas oportunidades independentemente do nível de classificação deste. A elaboração e disponibilização de uma biblioteca digital nacional de objetos genéricos de elementos patrimoniais, com toda a informação que lhe serviu de fonte devidamente documentada, contribuíram de modo universal e expedito, para a geração padronizada de património digital de património arquitectónico e consequente preservação eficiente do mesmo.

2.º Fontes – As fontes são o elemento chave de todo o processo, para tal é necessário que sejam fidedignas e representativas do universo do objecto real em causa. As mesmas têm de ser devidamente documentadas, processadas e armazenadas.

3.º Interdisciplinaridade – Os objetos deverão ser elaborados por uma equipa de profissionais de diferentes áreas do conhecimento, em particular por especialistas BIM em articulação com diferentes especialistas da área do património.

4.º Responsabilidade – A elaboração, armazenamento, preservação, acessibilidade e partilha de cada objecto genérico, representativo de um elemento patrimonial, real deve ser da alçada de cada nação, em específico da respectiva entidade nacional responsável pelo património arquitectónico.

5.º Cooperação – A entidade nacional responsável deve fomentar a cooperação nacional e internacional com outras entidades, tanto patrimoniais como digitais, por forma a salvaguardar a universalidade dos conteúdos e das técnicas aplicadas.

6.º Normalização – A elaboração universal de objetos apoia-se sobre:

- Sistema de nomenclatura – O sistema terá de incluir a classificação tipológica e subtipológica de cada elemento, quando existente, e respectivo código único de identificação. Contudo, é necessário que de alguma forma o sistema adoptado seja único e se consiga fazer paralelismo hierárquico com um sistema de classificação patrimonial internacional eleito e com um sistema de classificação AEC internacional;
- Parametrização base – lista de parâmetros necessários por cada tipo de objecto e respectivas características padrão. À semelhança do que ocorre na indústria AEC;
- *Standard* – conjunto de regras essenciais a seguir para a elaboração do objecto genérico patrimonial através de ferramenta BIM tendo em conta a especificidade do património arquitectónico;
- Programa – é necessário que o programa existente, de elaboração de objetos digitais, esteja adaptado às realidades patrimoniais, assim com o próprio formato IFC;

- Metodologia H-BIM – metodologia BIM devidamente adaptada à realidade do património arquitectónico, cujos objetos gerados consigam coabitar em modelos digitais com objetos da indústria AEC;
- Meio de divulgação global – bibliotecas H-BIM nacionais capazes de armazenar e partilhar todos os objetos de forma segura;

7.º Pesquisa, formação e avaliação – A especificidade da aplicação do BIM ao património, e em especial ao Património Arquitectónico, deve ser uma área a explorar através de programas de investigação, formação e avaliação, tanto nacional como através de cooperação internacional.

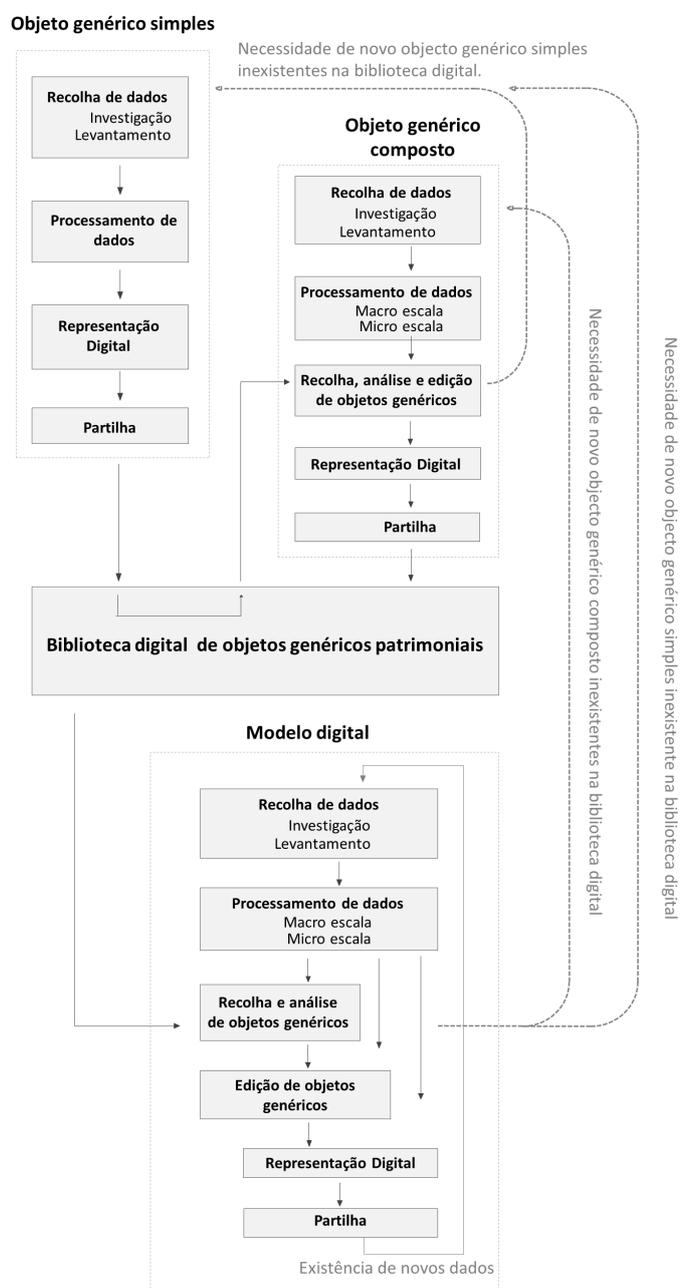


Figura 1
Esquema representativo da metodologia geral (Fonte: imagem do autor).

Metodologia H-BIM

A metodologia H-BIM proposta visa constituir-se como um processo cíclico [44] de desenvolvimento de um modelo digital de património arquitetónico enquanto património digital, permitindo através da produção de objetos genéricos compostos facilitar a elaboração de modelos digitais através de simples manipulação paramétrica com base na informação disponível no momento (Figura 1).

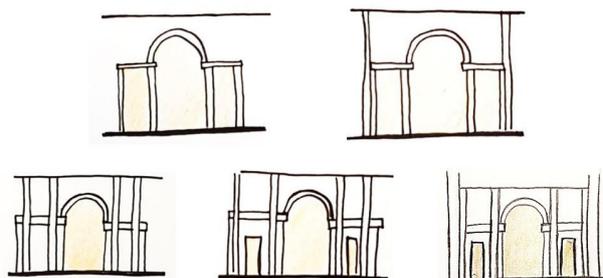
4. Caso de estudo

Os conventos são uma realidade urbana na Europa e no mundo. Fazem parte da nossa história, são património a inventariar, documentar, preservar e divulgar. Em Lisboa, até à data de extinção (1833) foram edificadas em toda a cidade 115 casas religiosas (mosteiros, conventos, colégios, hospícios e recolhimentos) 88 das quais eram conventos. Em 2015 constatava-se que 39 das 88 ainda existiam praticamente na íntegra [45].

Com base na classificação tipológica de claustros existente [46], foi possível fazer a distribuição e classificação dos 35 claustros conventuais lisboetas de informação conhecida. Das três tipologias mais representativas, destacam-se os claustros serlianos pela complexidade geométrica. Os claustros serlianos caracterizam-se pela repetição do motivo serliano nas suas 4 alas. O motivo serliano constitui-se por vão tripartido simétrico, com abertura central em lintel semicircular (arco) e as duas aberturas laterais compostas por duas colunas, ou pilares, suportando um lintel reto. Os conventos lisboetas com claustros de tipologia serliana são: Convento de Nossa Senhora da Graça, Mosteiro de São Bento da Saúde, Convento de São Domingos de Benfica e Convento do Santíssimo Sacramento [47][48].

Com base na análise das 27 serlianas de Sérlio [49] definiram-se dois tipos principais de serlianas: as estruturais e as estéticas. Dentro de cada tipo é ainda possível identificar duas subcategorias. As estruturais podem ser puras ou embebidas e as estéticas, por sua vez, podem ser puras ou de vão aberto (Figura 2). Os claustros serlianos de conventos lisboetas, classificam-se, assim, do seguinte modo: Mosteiro de São Bento da Saúde e Convento de Nossa Senhora da Graça com claustro serliano estrutural puro e, o Convento de São Domingos de Benfica e o Convento do Santíssimo Sacramento com claustro serliano estético de vão aberto.

Figura 2
Serliana estrutural pura (cima esq.) e Serliana estrutural embebida (cima dir.). Serliana estética pura (baixo esq.), serliana estética de vão aberto (baixo centro) e Serliana estética embebida (baixo dir.) (Fonte: imagem do autor).



Seguidamente, desenvolveram-se os dois objetos genéricos compostos correspondentes à unidade mínima de cada uma dessas subtipologias: ala de claustro serliano estrutural puro e ala de claustro serliano estético de vão aberto (Figura 3). Posteriormente, aplicaram-se os dois objetos genérico compostos desenvolvidos à modelação dos claustros dos conventos específicos através da modificação dos seus parâmetros no sentido de adequar o objecto criado à representação digital de cada convento (Figura 4 e 5).

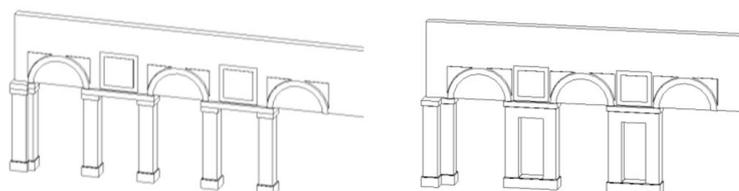


Figura 3

Objetos compostos genéricos: HBIM_ClaustroAla_Pedra_SerlianoEstrutural_Puro.rfa (esq.) e HBIM_ClaustroAla_Pedra_SerlianoEstetico_VaoAberto.rfa. (dir.). (Fonte: imagem do autor).

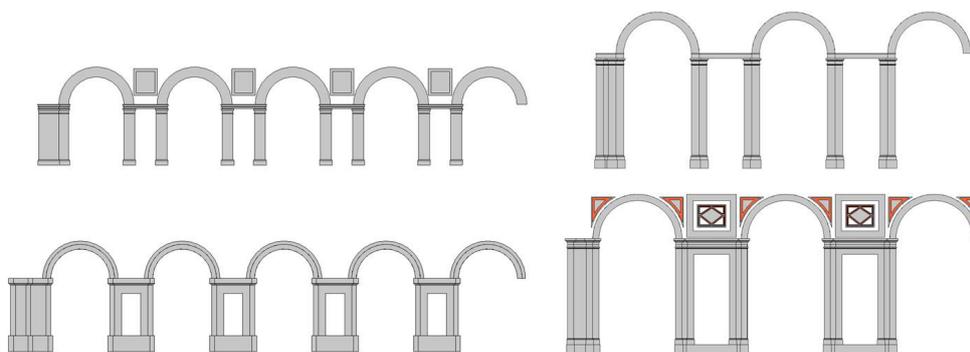


Figura 4

Objetos compostos: ala de claustro do Convento de Nossa Senhora da Graça, ala de claustro do mosteiro de São Bento da Saúde, ala de claustro do convento do Santíssimo Sacramento de Lisboa e ala de claustro do mosteiro de São Domingos de Benfica. (Fonte: imagem do autor).

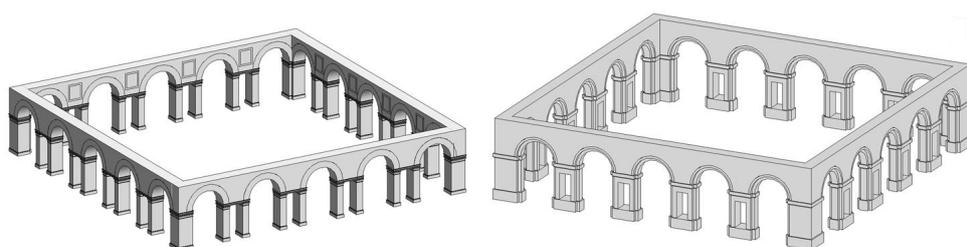


Figura 5

Modelos digitais: claustro do Convento de Nossa Senhora da Graça (esq.) e claustro do convento do Santíssimo Sacramento de Lisboa (dir.). (Fonte: imagem do autor).

Para os dois objetos genéricos compostos em causa:

- Foi possível encontrar, simultaneamente, uma classificação de conjunto e classificações individuais para cada componente;
- Foi desenvolvido um estudo tipológico prévio. O qual permitiu identificar: 1) os elementos constituintes e as suas relações geométricas; 2) os parâmetros de base característicos (gráficos, não gráficos e imateriais) e os respetivos intervalos de variação (valores e/ou proporções). Deste modo, a parametrização permitiu ao objeto genérico composto ser reutilizado na modelação de

- elementos da mesma tipologia e, também, ser editado para gerar um objeto de um tipo análogo;
- Foi tido em conta um ambiente BIM, no qual foram elaborados e definidos os respetivos parâmetros geométricos e não geométricos (materiais e imateriais) de modo a associar ou hiperligar valores, permitindo futuras correções sem refazer todo o modelo;
 - Foram tidos em conta três níveis de detalhe geométrico: 1) um básico onde o objeto é representado esquematicamente, 2) outro, intermédio, onde o objeto é mais detalhado e de fácil edição e, 3) um terceiro que permita a posterior inclusão de informação diretamente proveniente de um processo otimizado scan-to-BIM;
 - Foram tidos em conta critérios cientificamente fundamentados e foram elaborados os manuais do objeto, visando facilitar a partilha, utilização e sua posterior modificação. O manual do objeto corresponde, de grosso modo, à descrição do elemento de construção, à apresentação dos parâmetros que o caracterizam e respetivos valores padrão, e fontes de referência.

5. Conclusões

Com o presente trabalho, foi possível testar a solução de compromisso no que respeita à elaboração de objetos patrimoniais complexos de amostra significativa, quatro claustros serlianos, constatando-se que um modelo devidamente elaborado em *assembly* num programa proprietário transmite corretamente os dados gráficos e não gráficos dos seus componentes via IFC. A prova de conceito foi conseguida abrindo caminho para a elaboração de sistemas mais complexos e com amostras numerosas.

A metodologia desenvolvida permitiu:

- Promover a criação de biblioteca H-BIM, com vista a elaborar modelos de património, classificado ou não, de forma expedita, a baixo custo e de modo científico, onde todas as suas características ficam documentadas no manual do objeto, potencializando de forma generalizada a representação, a documentação e consequente a conservação preventiva do nosso património;
- Destacar o papel interdisciplinar e colaborativos de todo o processo. Foi possível identificar claramente cada etapa e distinguir as funções que cada interveniente deveria executar forma eficiente e colaborativa. A metodologia pode ser executada por intervenientes diferentes em fases diferentes, e ser usado o resultado de cada fase aquando da sua necessidade.
- Destacar a importância do carácter cíclico numa metodologia de elaboração dos modelos digitais de património arquitectónico. Uma vez que permite, por um lado, posteriores correções expeditas ao modelo base aquando do aparecimento de nova informação, como acrescento de dados associados ao modelo correspondentes a dados provenientes dos vários técnicos intervenientes a qualquer altura;

- Universalizar e aumentar o rigor da representação e documentação de património arquitectónico, através da normalização de designações e de procedimentos, sendo os modelos elaborados com base em regras bem definidas permitindo a sua reutilização expedita. Os elementos deixam assim de ser elaborados caso a caso e começam a ser elaborados de forma universal, tanto que respeita às suas tipologias como à geração das suas formas;
- Desenvolver modelos estáveis a um nível dois de maturidade BIM abrindo o caminho a posterior incorporação de nível de detalhe ótimo por simples adição de um último nível de detalhe oriundo do scan-to-BIM otimizado. Tal será possível, uma vez que os modelos digitais elaborados permitem a incorporação de nuvens de pontos aquando da sua existência, as quais poderão facilmente ser reutilizadas *a posteriori* aquando da otimização do processo scan to BIM.
- Em suma, gerar património digital de património arquitectónico através de modelos normalizados.

Relativamente à tecnologia BIM atual, é possível apontar os seguintes desenvolvimentos futuros:

- Dotar os programas de sistemas de classificação patrimonial;
- Capacitar os programas de implementação não restritiva do uso, reconhecimento e identificação de objetos compostos, isto é, identificação de todos os elementos constantes em cada camada, regras existentes entre eles, hierarquias e parâmetros individuais de cada um;
- Continuar o esforço de automatização da elaboração de objetos através do reconhecimento automático dos respectivos elementos numa nuvem de pontos;
- Definir meios expeditos de referência cruzadas entre os dados dos objetos gerados e os respectivos modelos genéricos base, por forma a facilitar o reconhecimento e identificação de correções futuras.
- Adaptar as bases de dados nacionais para que possam albergar e assim centralizar o armazenamento e distribuição do património digital correspondente aos modelos digitais de património arquitectónico.

Assim, como diretrizes para a normalização dos modelos digitais de património arquitectónico enquanto património digital deste, é possível apontar a necessidade de:

- Definição de um sistema de classificação tendo em conta as especificidades do património arquitectónico que abranja todos os elementos, sejam eles individuais ou compostos. De preferência, caso possível, adaptação e enriquecimento de um sistema existente, para que elementos patrimoniais e nova construção possam coexistir num mesmo projeto de forma integrada;
- A par com o ponto anterior, definir os parâmetros genéricos a associar a cada elemento classificado (geométricos, não geométricos tangíveis e intangíveis), dando primazia a parâmetros IFC, por forma a universalizar o seu uso e partilha;

- Efetuar, armazenar e partilhar estudos tipológicos de elementos individuais e de conjuntos, de forma sistemática, universal e científica, com base num conjunto de regras gerais comuns. Para tal, manter como base a elaboração de desenhos técnicos a par das respectivas descrições e regras relacionais;
- Efetuar estudos dos comportamentos dos vários tipos de estruturas e respectivas técnicas construtivas, de forma sistemática, universal e científica, com base num conjunto de regras gerais comuns por forma a auxiliar o ponto anterior;
- Realizar estudos por especialidade, com o intuito de apontar as características necessárias tanto geométricas como paramétricas do modelo digital para que o contributo de cada especialidade possa efetivamente vir a ser acrescentado a este;
- Definição de norma de elaboração de modelos digitais tendo em conta os pontos anteriores, por forma a poder generalizar o seu uso à escala global. A norma passará pela definição da atribuição de nomes aos objetos, pelas regras de geração dos mesmos e pela definição e caracterização dos níveis de detalhe padrão;
- Definição e criação de uma biblioteca Heritage-BIM internacional, possivelmente continentais, que funcionará, por um lado como reguladora dos objetos genéricos compostos gerados e por outro, como polo centralizador de arquivo, distribuição e partilha de tais objecto e respetivos estudos tipológicos;
- Adaptação das atuais bases de dados digitais nacionais por forma a serem capazes de albergar os modelos digitais de todos os seus elementos arquitectónicos.

Este trabalho foi financiado pela FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia) no âmbito da bolsa de doutoramento SFRH/BD/100181/2014.

Referências

- [1] F. J. López, P. M. Leronés, J. Llamas, J. Gómez-García-Bermejo, and E. Zalama, “A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM)”. *Multimodal Technol. Interact.*, nº 2, 21, 2018. <https://doi.org/10.3390/mti2020021>
- [2] E. D’Alfonso, and D. Samsa, *Guia de História da Arquitetura. Estilos Arquitetónicos*. Lisboa: Editorial Presença, 2006.
- [3] V. Fassina, “European Technical Committee – CEN. TC 346 – Conservation of Cultural Heritage”, in *European Heritage Heads Forum (2012)*, Berlin, Germany, 2012.
- [4] International Advisory Committee, “Memory of the World”, UNESCO, 2019.
- [5] M. Grieves and J. Vickers, “Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems”. *Transdisciplinary Perspectives on*

- Complex Systems*, pp. 85-113. Springer, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4
- [6] Centre for Digital Built Britain, "The Gemini Principles", 2018.
- [7] A. Walker, "Principles to guide development of national digital twin released", in *Infrastructure Intelligence*, December 2018.
- [8] P. Jouan and P. Hallot, "Digital twin: a hbim-based methodology to support preventive conservation of historic assets through heritage significance awareness", in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (2019)*, Volume XLII-2/W15, Ávila, Spain, 2019, pp. 609-615. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-609-2019
- [9] L. De Luca, "Towards the Semantic-aware 3D Digitisation of Architectural Heritage: The "Notre-Dame de Paris" Digital Twin Project" in *SUMAC'20*, 2020, pp. 3-4. <https://doi.org/10.1145/3423323.3423415>
- [10] BuildingSMART International, "Property Sets for Objects", 2020.
- [11] IHRU, "Kits património. Kit 01 – Património Arquitectónico – Geral", 2010.
- [12] F. Lopes and M. Correia, *Património Arquitectónico e Arqueológico. Cartas, Recomendações e Convenções Internacionais*. Lisboa: Livros Horizonte, 2004.
- [13] F. Lopes, *Património Arquitectónico e Arqueológico. Noção e normas de proteção*. Casal de Cambra: Caleidoscópio, 2012.
- [14] F. Lopes, *Zonas de Proteção ao Património Arquitectónico*. Casal de Cambra: Caleidoscópio, 2013.
- [15] F. Lopes and M. Correia, *Património Cultural. Critérios e Normas Internacionais de Proteção*. Casal de Cambra: Caleidoscópio, 2014.
- [16] D. P. Pocobelli, J. Boehm, P. Bryan, J. Still and J. "Grau-Bové BIM for heritage science: a review", *Heritage Science*, 6 (30), 2018. <https://doi.org/10.1186/s40494-018-0191-4>
- [17] B. Succar, "Building Information Modeling Framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders". *Automation in Construction*, 18, 357-375, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
- [18] Azenha, M., Lino, J., Granja, J. "Introdução. Modelação paramétrica e interoperabilidade", in *Curso Objetos BIM*, 2020.
- [19] ICOMOS, "Principles for the recording of monuments, groups of buildings and sites", 1996.

- [20] ICOMOS, “Charther for the Interpretation and presentation of Cultural Heritage Sites”, 2007.
- [21] King’s College London, “The London Charther”, 2009.
- [22] SEAV, “Principles of Sevillhe”, 2012.
- [23] UNESCO, “Charter on the preservation of digital heritage”, 2003.
- [24] Historic England, “Bim for Heritage. Developing a Historic Building Information Model”, 2017.
- [25] Building SMART Spain, “Guia de Usuários BIM. BIM Aplicado ao património Cultural. Documento 14”, 2018.
- [26] Historic England, “BIM for Heritage. Developing the Asset Information Model”, 2019.
- [27] B. Kolarevic, *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. New York: Spon press, 2003.
- [28] A. Gil, “Modelos Digitais – Geometria Associativa: particularidade da musealização monumentos em extensão”. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2011.
- [29] H. Pires, “Epigrafia 3D: possibilidaeds de umadigitalizacion de inscripciones romanas en el marco de la epigrafía digital”. *Ex Baetica Roman*, pp. 975-1011, 2020.
- [30] F. Banfi, “HBIM, 3D drawing and virtual reality for archaeological sites and ancient ruins”, *Virtual Archaeology Review*, 11 (23), pp.16-33, 2020. <https://doi.org/10.4995/var.2020.12416>.
- [31] D. Oreni, R. Brumana, A. Georgopoulos, and B. Cuca, “HBIM Library Objects for Conservation and Management of Built Heritage”, *International Journal of Heritage in the Digital Era*. 3(2), pp. 321-334, 2014. <https://doi.org/10.1260/2047-4970.3.2.321>
- [32] S. Fai, M. Filippi, and S. Paliaga. “Parametric modelling (bim) for the documentation of vernacular Construction methods: a bim model for the commissariat building, Ottawa, Canada”. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* II-5/W1, pp. 115-120, 2013. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W1-115-2013>.
- [33] M. Murphy, “Historical Building Information Modeling (HBIM)”, in *Handbook of research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling and Representation*, pp. 233-273. USA: IGI Global, 2015.
- [34] Autodesk “Revit IFC manual. Detailed instructions for handling IFC files”, 2018.

- [35] Bimobject, “Revit Style Guide v2018”, 2018.
- [36] Bimobject, “Content Style Guide”, 2019.
- [37] Bimstore, “The bilstore Bible”, 2019.
- [38] CEN, “Organization and digitalization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles (ISO19650-1:2018)”, 2018.
- [39] CEN, “Organization and digitalization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 2: delivery phase of the assets (ISO19650-2:2018)”, 2018.
- [40] NATSPEC, “OBOS. Open BIM Object standard. An international standard for object developers”, 2018.
- [41] English Heritage and FISH, “Midas Heritage – The UK Historic Environment Data Standard”, 2012.
- [42] NBS, “Uniclass 2015”, 2015.
- [43] CSI, “OmniClass”, 2020.
- [44] H. Rua, and A. Gil, “Automation in heritage – Parametric and associative design strategies to model inaccessible monuments: The case-study of eighteenth-century Lisbon Águas Livres Aqueduct Digital”, *Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 1, pp. 82-91, 2014. Doi: 10.1016/j.daach.2014.06.002
- [45] R.Mégre, H. Silva and T. Lourenço, “As cassas Religiosas de Lisboa”, LxConventos, 2018. <http://lxconventos.cm-lisboa.pt/wp-content/uploads/2015/06/CasasReligiosasLisboa.pdf>
- [46] N. Silva, “Clautros Serlianos em Portugal. 1558-1635”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012.
- [47] LxConventos, *LxConventos: da Cidade Sacra à Cidade Laica. A extinção das ordens religiosas e as dinâmicas de transformação urbana na Lisboa do século XIX* (PTDC/CPC-HAT/4703/2012, 2013-2015. <http://lxconventos.cm-lisboa.pt/>
- [48] R. Lobo, V. Murtinho, and N. Silva, “O Claustro Grande do Convento de Cristo em Tomar e os claustrros serlianos portugueses”, *Claustros no mundo mediterrânico*, pp. 117-131. Coimbra: Almedina, 2016.
- [49] S. Serlio, “Tutte L’opere d’architettura et prospetiva”, 1475-1554, by P. Hicks and V. Hart. London: Yale, University Press, 1996.