

Interoperabilidade semântica de patrimônio cultural: uma revisão sistemática

Alison Filgueiras

Universidade Estadual de Goiás, Curso de Sistemas e Gestão da Informação, Itaberaí, GO, Brasil
alisoncf@gmail.com

Feliz Alberto Ribeiro Gouveia

Universidade Fernando Pessoa, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Porto, Portugal
fribeiro@ufp.edu.pt

DOI: <https://doi.org/10.26512/rici.v16.n2.2023.43777>

Recebido/Recibido/Received: 2022-06-27

Aceitado/Aceptado/Accepted: 2023-06-30

Resumo

Os Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural, que tratam geralmente sobre domínio, guarda e exposição de objetos digitais, vivenciam em seus processos e serviços os desafios da interoperabilidade semântica, necessitando que múltiplos repositórios possam colaborar entre si em um determinado nível de contexto. O presente trabalho pretende apresentar o estado da arte de pesquisas realizadas nessa temática entre 2014 e 2021, partindo da pergunta de pesquisa: “Quais estratégias são utilizadas para enfrentar problema da interoperabilidade semântica em Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural?”. A metodologia utilizada foi a revisão sistemática da literatura, e após aplicação de critérios de inclusão/exclusão, foram selecionados 49 trabalhos para leitura completa. Como resultado, é apresentado um relatório de análise composto de uma síntese dos trabalhos selecionados de acordo com a estratégia apresentada e uma classificação dos trabalhos com base em 8 indicadores de avaliação. Como conclusão aponta que a estratégia mais utilizada para os desafios da interoperabilidade semântica é a utilização de ontologias em vários níveis, sendo que as três abordagens mais comuns são, respectivamente, utilização de ontologia de domínio comum, utilização de múltiplas ontologias, e uma abordagem mista com utilização de ontologia comum e mapeamentos ontológicos locais.

Palavras-chave: Representação da informação. Recuperação da informação. Web semântica. Ontologias.

Interoperabilidad semántica del patrimonio cultural: una revisión sistemática

Resumen

Los Sistemas de Información del Patrimonio Cultural, que generalmente se ocupan del dominio, custodia y exhibición de objetos digitales, experimentan en sus procesos y servicios los desafíos de la interoperabilidad semántica, requiriendo que múltiples repositorios puedan colaborar entre sí en un determinado nivel de contexto. El presente trabajo pretende presentar el estado del arte de las investigaciones realizadas sobre esta temática entre los años 2014 y 2021, partiendo de la pregunta de investigación: “¿Qué estrategias se emplean para enfrentar el problema de la interoperabilidad semántica en los Sistemas de Información del Patrimonio Cultural?”. La metodología utilizada fue una revisión sistemática de la literatura, y luego de aplicar los criterios de inclusión/exclusión, se seleccionaron 49 artículos para su lectura completa. Como resultado se presenta un informe de análisis que consta de un resumen de las obras seleccionadas según la estrategia presentada y una clasificación de las obras en base a 8 indicadores de evaluación. Como conclusión, señala que la estrategia más utilizada para los desafíos de la interoperabilidad semántica es el uso de ontologías en varios niveles, y los tres enfoques más comunes son, respectivamente, el uso de una ontología de dominio común, el uso de múltiples ontologías, y un enfoque mixto, usando ontología común y mapeos ontológicos locales.

Palabras clave: Representación de información. Recuperación de información; Web semántica;

Ontologías.

Semantic interoperability of cultural heritage: a systematic review

Abstract

The Cultural Heritage Information Systems, which generally deal with the domain, custody and exhibition of digital collections, experience in their processes and services the challenges of semantic interoperability, requiring that multiple repositories can collaborate with each other at a certain level of context. The present work intends to present the state of the art of research carried out on this subject between 2014 and 2021, starting from the research question: "What strategies are used to face the problem of semantic interoperability in Cultural Heritage Information Systems?". The methodology used was a systematic review of the literature, and after applying inclusion/exclusion criteria, 49 papers were selected for complete reading. As a result, an analysis report is presented, consisting of a summary of the works selected according to the presented strategy and a classification of the works based on 8 evaluation indicators. As a conclusion, it points out that the most used strategy for the challenges of semantic interoperability is the use of ontologies at several levels, and the three most common approaches are, respectively, the use of a common domain ontology, the use of multiple ontologies, and a mixed approach using common ontology and local ontological mappings.

Keywords: Information representation. Information retrieval. Semantic Web. Ontologies.

1. Introdução

A interoperabilidade entre repositórios digitais de patrimônio cultural se apresenta em um cenário que exige múltiplas conexões e a necessidade de integração (e colaboração) entre repositórios digitais de várias tecnologias, muitas vezes distintas, e que atendem a linguagens diversificadas (Candela *et al.*, 2019; Martins; Carmo; Germani, 2018; Silva; Martins; Siqueira, 2019). Este problema está epistemologicamente ancorado no campo de estudos da representação da informação e recuperação da informação (Araújo, 2014) e tem suas raízes nos primórdios da Web (Lima *et al.*, 2016).

Os Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural, dentre outras atividades, atuam sobre vocabulários, estratégias para armazenamento, recuperação de informação e outros processos específicos de digitalização, pesquisa e apresentação de objetos digitais. A miscelânea de áreas, comunidades, espaços e objetos envolvidos leva às instituições um amplo conjunto de desafios e oportunidades, sobretudo pelas capacidades dos dados abertos conectados (Carvalho Junior; Martins; Germani, 2019).

O objetivo deste trabalho é apresentar o estado da arte sobre as estratégias utilizadas para resolver o problema da interoperabilidade em Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural que abordam a interoperabilidade semântica, partindo da seguinte questão de pesquisa: "**Quais estratégias são utilizadas para enfrentar problema da interoperabilidade semântica em Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural?**". Buscou-se alcançar esse objetivo através de uma revisão bibliográfica sistematizada da literatura com vias a apontar quais principais caminhos trilhados pelos pesquisadores de patrimônio cultural, mais precisamente no que se refere às iniciativas de interoperabilidade semântica entre estes sistemas. Os textos dos

pesquisadores encontrados foram processados, separados e analisados de acordo com uma estratégia do geral para o detalhe, e os resultados da avaliação compilados em áreas de interesse conforme a seção de resultados. Além dessa Seção de introdução, este trabalho apresenta a Seção 2 com um referencial teórico sobre os Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural, seguida da Seção 3, onde são abordados os aspectos metodológicos, a Seção 4 onde é apresentado o relatório de análise composto dos resultados da busca e de uma síntese e discussão a respeito dos trabalhos analisados e, por fim, na Seção 5, encontra-se a conclusão.

2. Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural

Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural são sistemas para instituições de memória e patrimônio, como museus, arquivos, bibliotecas, galerias e centros de documentação e memória, concebidos para fins diversos e interdisciplinares. São ferramentas fundamentais para geração e qualificação da informação, e segundo Capurro e Hjørland (2003), deve-se reconhecer a natureza tecnológica e interdisciplinar destes sistemas e serviços relacionados à informação, uma vez que esta é uma força constitutiva da sociedade (Capurro; Hjørland, 2003). Para Borko (1986), através da interdisciplinaridade é possível investigar as propriedades, o comportamento e as forças que governam os fluxos e os usos da informação, bem como suas técnicas, desde aquelas mecanizadas, para processar armazenar, recuperar e disseminar as informações (Borko, 1986).

Em um contexto objetivo, parte-se da premissa que a informação pode ser produto (Floridi, 2002) e coisa (Buckland, 1991), isto é, objeto e matéria prima dos sistemas de informação que sobre ela realizam serviços variados, como organização, tratamento, armazenamento, recuperação e apresentação, e que portanto tornam estes sistemas ferramentas de preservação da memória social e coletiva (Dodebei; Gouveia, 2008).

Através dos Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural é possível atuar sobre domínio, guarda, processos de aquisição, interpretação, pesquisa e exposição de objetos digitais, bem como todas as atividades de gestão de acervos (Doerr, 2009; Liu; Lin, 2021). O patrimônio cultural “compreende um amplo espectro de funções sobre o estudo e preservação de evidências físicas do passado de todos os tipos de atividade humana” (Doerr, 2009 p. 2). Portanto, em tempos de transformação digital, esses sistemas centralizam atividades comuns e com grande importância nas instituições de memória modernas, e segundo Doerr (2009), podem ser classificados de acordo com 4 funções gerais básicas: i) Gestão de acervos; ii) Conservação; iii) Pesquisa; e iv) Apresentação.

Em consonância com essas funções básicas, as atividades principais dos Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural, segundo Belhi *et al.* (2018), são as técnicas de digitalização

de patrimônio, o enriquecimento de dados, o gerenciamento de conteúdo e a gestão da preservação (Belhiet *al.*, 2018). Isso porque estes sistemas precisam permitir a manipulação de informações com uma terminologia muito rica e em diferentes idiomas, bem como apresentar os conteúdos para usuários com uma ampla diversidade de interesses. Tais terminologias são geralmente muito específicas e apresentam, para além de questões técnicas, desafios intelectuais na aproximação e harmonização de conceitos por meio de deduções lógicas que requerem estratégias complexas de semântica e, levando-se em consideração que as informações em todos esses sistemas se sobrepõem e devem estar mutuamente acessíveis, um dos principais desafios apresentados é a interoperabilidade e a integração efetiva de informações (Boeuf *et al.*, 2018).

No contexto do patrimônio cultural, há sistemas e iniciativas mundialmente conhecidos como Europeana, DPLA, DigitalNZ, Trove e Biblioteca Digital da Índia, que coletam grande quantidade de acervos distintos e fornecem acesso a bens culturais públicos digitalizados da Europa, Estados Unidos da América, Nova Zelândia, Austrália e Índia, respectivamente (Freire *et al.*, 2018). Entre as convenções e boas práticas experimentadas nas diferentes áreas que compõem o domínio do patrimônio cultural, modelos conceituais são utilizados como referência para descrever o patrimônio material e imaterial em termos de classificação, propriedades e relacionamentos dos objetos digitais. Os modelos CIDOC-CRM e EDM são exemplos popularizados destas iniciativas e ambos buscam uma cobertura completa para objetos do patrimônio cultural em suas diversas disciplinas. Entretanto, iniciativas como a *Record in Context* (RiC) do *International Council of Archives* (Miranda, 2018), que propõe um padrão conceitual para arquivos, são exemplos que contribuem para a disseminação e padronização específicas e funcionam de arcabouço conceitual para construção e evolução de Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural.

3. Metodologia para Condução da Revisão Sistemática

Conforme Galvão e Pereira (2014), revisão sistemática (RS) é um estudo secundário que avalia fontes primárias de pesquisa a fim de identificar, selecionar, avaliar e sintetizar evidências relevantes disponíveis. Essa revisão foi realizada em uma estratégia do geral para o detalhe onde se identifica e avalia os trabalhos por título, resumo e texto completo, respectivamente nessa ordem. As fases de uma RS variam de estudo a estudo, e, para este trabalho o método foi aplicado em 5 etapas. 1) construção da *string* de busca; 2) pesquisa em bases de dados; 3) seleção e exclusão de trabalhos conforme critérios definidos; 4) análise dos trabalhos; e 5) construção do relatório de análise. Construiu-se um conjunto de palavras-chave genérico para ser aplicado nas bases de dados de periódicos com os termos “interoperabilidade”, “semântica”

e “patrimônio cultural”. Esse conjunto foi enriquecido e adaptado para cada motor de busca presente nas bases selecionadas e traduzidas para o inglês. As bases selecionadas para pesquisa foram 1) *ACM Digital Library* e 2) *IEEE Xplorer Digital Library*; 3) *Web Of Science (Web of Knowledge)*; e 4) *Scopus (Science Direct)*, cuja escolha se deu pelo fato de serem robustas e amplamente utilizadas pela comunidade científica. O quadro 1 abaixo apresenta as adaptações para as bases selecionadas.

Quadro 1 – Palavras-Chave por Base Pesquisada

Base de Dados/Mecanismo	String de Busca Aplicada	Registros
ACM Digital Library https://dl.acm.org/search/advanced	<i>ALL=(("semantic interoperability" OR "semantic integration" OR "semantic collaboration") AND "cultural heritage")</i>	18
IEEE https://ieeexplore.ieee.org/search/advanced	<i>((("All Metadata":semantic interoperability) OR "All Metadata":semantic integration) OR "All Metadata":semantic collaboration) AND "All Metadata":cultural heritage)</i>	18
Web of Science https://www.webofscience.com/wos/alldb/advanced-search	<i>ALL=(("semantic interoperability" OR "semantic integration" OR "semantic collaboration") AND "cultural heritage")</i>	27
Scopus (Science Direct) https://www.sciencedirect.com/search	<i>TITLE-ABS-KEY (("semantic interoperability" OR "semantic integration" OR "semantic collaboration") AND "cultural heritage")</i>	9

Fonte: elaborado pelo autor.

3.1 Seleção de trabalhos

No processo de seleção dos trabalhos foram levados em conta os registros que atendem ao conjunto de palavras-chave especificado, que tenham data de publicação igual ou posterior ao ano de 2014 e, conforme critérios de inclusão e exclusão, definidos em uma visão topo-base (*top-down*) em que se parte do título como elemento mais alto, passando pelo resumo como elemento intermediário, e chegando ao texto completo como elemento mais baixo.

Para serem selecionados, os artigos precisam atender 4 critérios em duas etapas: C1 - pertencer a área da ciência da informação; C2 - ser artigo científico de anais de eventos, revistas ou outro periódico; C3 - ter foco em patrimônio cultural – i) Gestão de acervos; ii) Conservação; iii) Pesquisa; iv) Apresentação (Doerr, 2009); C4 - abordar técnicas ou estratégias de integração e/ou interoperação entre repositórios ou tecnologias. Para os critérios C1, C2 e C3, a inclusão/exclusão foi realizada através de avaliação com base nos títulos e resumos dos trabalhos. Para o critério C4, foi realizada a leitura completa dos trabalhos selecionados a partir da etapa anterior.

A avaliação dos trabalhos provenientes das etapas iniciais de seleção foi construída com base em critérios para análise qualitativa a partir de oito indicadores de avaliação relacionados

diretamente à estratégia de cada investigação. Os oito indicadores, que funcionam como questões direcionadas a cada trabalho são apresentados quadro 2 abaixo.

Quadro 2: Indicadores de avaliação dos trabalhos

Indicador	Descrição/Questão
A1	o trabalho utiliza o modelo de referência CIDOC-CRM?
A2	o trabalho utiliza o modelo de referência EDM?
A3	As estratégias apresentadas no trabalho abarcam bancos de dados relacionais (BDR)?
A4	o trabalho propõe ontologia?
A5	o trabalho contribui para Dados Abertos Conectados?
A6	o trabalho propõe mapeamento ontológico?
A7	o trabalho propõe arquitetura, modelo ou sistema inovador?
A8	o trabalho propõe API integrador/agregador

Fonte: elaborado pelo autor.

De forma prévia, há a sensação que os dois modelos de referência de patrimônio cultural mais amplamente difundidos na literatura são o EDM (Europeana, 2017) e CIDOC-CRM (Doerr *et al.*, 2020), assim, há indicadores para captar se há coerência nessa suspeita (Indicadores A1 e A2). Os Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural, em especial na gestão de acervos, utilizam bancos de dados relacionais (BDR) em várias etapas de seu ciclo de vida. Pretende-se com um indicador específico (A3) captar se essa tecnologia continua a ser abordada nas pesquisas mais recentes. Pretende-se captar ainda se as pesquisas apresentam novas ontologias para representação do conhecimento com o indicador A4. Para captar se a estratégia utiliza ou se permite ser utilizada na iniciativa de Dados Abertos Conectados (LOD), foi instituído o indicador A5. O Indicador A6, de forma complementar ao iniciador A4, pretende captar se a estratégia possui mapeamento ontológico entre duas ou mais ontologias. O indicador A7 pretende captar se a pesquisa apresenta um modelo arquitetural ou um sistema inovador. O indicador A8, por sua vez, pretende captar se a estratégia oferece um serviço que integra ou agrega outros sistemas.

Após a leitura completa e avaliação dos indicadores, os trabalhos foram classificados de acordo com sua estratégia e a respeito de contribuições e finalidades para Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural. Esse detalhamento é apresentado na Seção 5.

4. Relatório de Análise

A submissão das respectivas *strings* de busca nos quatro repositórios selecionados retornou o total de 72 trabalhos com duas duplicações. Todas as bases selecionadas possuem opção para busca avançada – por palavra-chave. Cada uma, no entanto, possui um conjunto específico de regras que precisam ser seguidas para a condução da pesquisa. Assim, de acordo com cada base, a *string* de busca adaptada (conforme Quadro 1) foi submetida e o resultado transformado em arquivos de referência bibliográfica (.bib) para manipulação. A Tabela1 que apresenta um quadro geral das bases, registros retornados, critérios de exclusão e totalização do resultado.

Tabela1: Resumo dos registros retornados

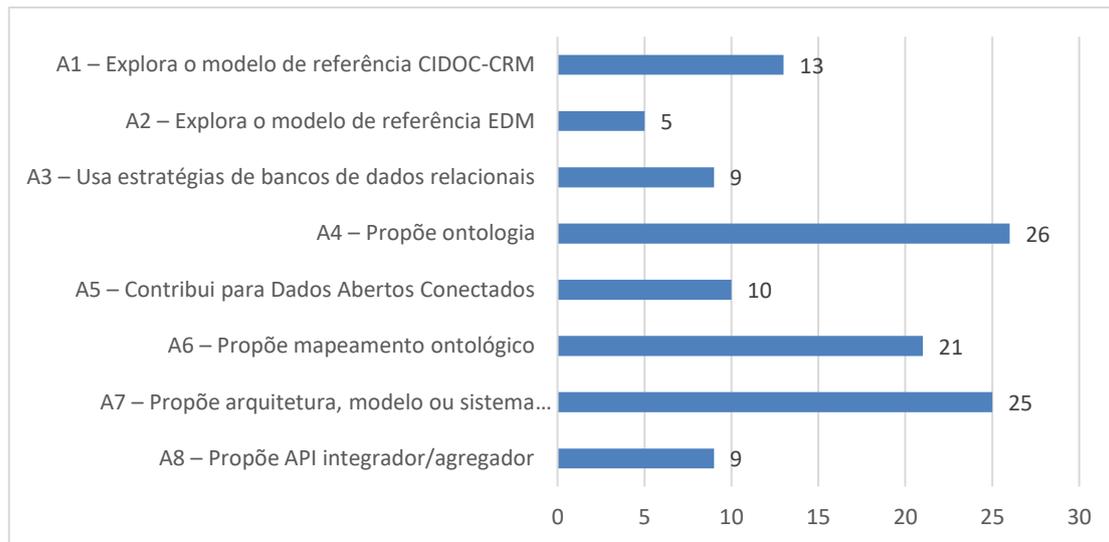
Base	Nº registros	Critério para exclusão				Excluídos	Selecionados
		C1	C2	C3	RP T		
<i>ACM Digital</i>	18	0	3	2		5	13
<i>IEEE Search</i>	18	0	0	0		0	18
<i>Science Direct</i>	27	1	9	6		16	11
<i>Web Of Science</i>	9	0	0	0	2	2	7
Total	72	1	12	8	2	23	49

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os critérios de inclusão/exclusão de C1, C2 e C3 foram aplicados para cada registro encontrado. Quanto ao primeiro critério (C1) de inclusão/exclusão, apenas um registro foi detectado e descartado por não pertencer à área de ciência da informação, *StrainInfo introduces electronic passports for microorganisms de Verslyppe et al.(2014)*, da base Science Direct.

Quanto ao Critério C2, registros referentes a artigos de periódicos e anais de eventos científicos, resultou em 12 registros excluídos. As bases ACM e Science Direct trazem na sua busca avançada livros e registros de conferência, inclusive dos índices, gerando duplicação de registros em relação aos autores de capítulos de livros. Já o critério C3, resultou em 8 exclusões. Após esse processo o universo de artigos selecionados para a próxima etapa limitou-se a 49 registros.

Figura 1 – Artigos quanto aos critérios de avaliação



Fonte: Elaborada pelo autor.

Dos 49 trabalhos selecionados para leitura final, 3 foram excluídos após a leitura. Portanto, 46 trabalhos entre 2014 e março de 2021. Quanto aos indicadores de avaliação, como é possível visualizar na Figura 1, a maior parte propõe ontologias e soluções arquiteturais. Praticamente um terço dos trabalhos (13) faz referência ao modelo CIDOC-CRM. Apenas 5 ao modelo EDM. Abordam bancos de dados relacionais 9 trabalhos e 26 trabalhos propõem ontologias, sendo que 21 utilizam mapeamento ontológico. 10 trabalhos possuem foco voltado para os Dados Abertos Conectados (LOD). 25 trabalhos apresentam arquitetura, modelo ou sistema inovador e 9 API para integrar outros sistemas.

A maior parte dos trabalhos selecionados aborda em algum momento a integração entre múltiplas fontes de dados. Há na literatura duas arquiteturas básicas para essa integração. A primeira, com uma abordagem centralizada, prevê a criação um esquema global e os dados extraídos são armazenados fisicamente em um único repositório. A segunda, por mediação, prevê que os dados se mantenham nos seus repositórios originais e a integração ocorra de forma dinâmica no momento da consulta (Niang *et al.*, 2017). Ivanović e Houssos (2014) apresentam um caso de uso de recuperação de informação, com essa abordagem, baseada no modelo conceitual CERIF - *Common European Research Information Format* e utilizam mapeamento de termos por meio de tabela de um banco de dados relacional. A recuperação é realizada por meio de uma API *Restful*. Com a mesma abordagem, Palomar *et al.* (2020) propõem uma plataforma interdisciplinar e colaborativa, denominada *BIMlegacy*, para sincronizar informações de construções históricas, monumentos e outros elementos do Patrimônio Cultural material e utilização de um vocabulário comum utilizando BDR.

Em ambas as arquiteturas de integração de dados se faz necessário um esquema global

compartilhado. As ontologias podem desempenhar esse papel e apresentam vantagens em relação a outros tipos de esquemas devido à sua capacidade de conceituação de domínios e seu poder de representar explicitamente a semântica dos dados (Calvanese *et al.*, 2015; Niang *et al.*, 2017).

As três abordagens mais comuns para integração baseada em ontologias são a construção de ontologia única, a construção de múltiplas ontologias e a abordagem híbrida. Na primeira, as fontes de dados estão relacionadas a uma ontologia global e, portanto, tem mesma visão de domínio. A abordagem de múltiplas ontologias requer que cada fonte de dados seja descrita com sua própria ontologia de forma local. Na abordagem híbrida cria-se um vocabulário comum de alto nível e cada ontologia local é mapeada para esta ontologia. Esta última abordagem foi a mais encontrada e parece ser mais vantajosa, no entanto, é custosa de se implementar, pois requer a construção de um vocabulário global compartilhado além de ontologias locais.

4.1. Integração baseada em ontologia central

Vários trabalhos analisados utilizam, mesmo com algumas variações, a abordagem de ontologia central. Abu Musa *et al.* (2020) apresentam um modelo de ontologia central para o patrimônio cultural do Catar. Na sua proposta, a ontologia criada é utilizada para realizar inferências sobre classificações de objetos culturais por correspondência textual (palavras-chave), através de associação direta entre o objeto e os conceitos da ontologia e por correspondência de sinônimos com um banco de dados léxico (*WordNet*). Kim *et al.* (2015), por sua vez, apresentam uma ontologia para o patrimônio da Coreia com base nos modelos de referência EDM e CIDOC-CRM. A ontologia proposta aponta para cinco classes conceituais, de forma similar à prática é comum em vocabulários de patrimônio cultural: objeto, evento, ator, lugar e tempo. Ainda em relação ao CIDOC-CRM, Frommholz *et al.* (2014) apresentam um sistema de informação para contar a história da Primeira Guerra Mundial com base nos relatos de pessoas. Utiliza classes e propriedades importadas do CIDOC-CRM para gerar um museu digital colaborativo.

A estratégia encontrada em Rubhasy *et al.* (2014) é utilização de uma ontologia central para gestão e recuperação de coleções multimídia de patrimônio cultural em contraponto aos mecanismos de busca por palavra-chave como *Google* e *Yahoo*. Propõem uma organização do patrimônio cultural em 101 classes, 7 propriedades de objetos e 11 propriedades de dados com ênfase na multimídia. Uma estratégia similar é encontrada em Cerutti *et al.* (2015), cuja abordagem ontológica é utilizada para integrar banco de dados geoespaciais e outras fontes de dados. A abordagem semântica levou em consideração à construção de um novo modelo de referência baseado em outros modelos, como o CIDOC-CRM e *CityGML*, que são importados

pela ontologia criada.

Em Cacciotti e Valach (2015) é apresentada uma ontologia denominada *Monument Damage Ontology* que é um modelo conceitual no domínio da proteção através de entidades denominadas “grupos temáticos de conceitos”. Kouis e Giannakopoulos (2014) em estratégia parecida apresenta uma proposta de vocabulário de documentação dos métodos de Teste de Avaliação Não Destrutivos (NDT) utilizando uma extensão da ontologia CIDOC-CRM para o contexto da conservação e restauração.

4.2. Integração baseada em múltiplas ontologias

A abordagem com múltiplas ontologias pode ser encontrada em Daquino e Tomasi (2014), que apresentam uma abordagem para descrição e extração de informações de documentos de texto completo com marcação através da utilização de duas ontologias (*PROles* e *HIco*). Os autores argumentam que, em geral, este problema é abordado por técnicas centradas no documento, e isso vai em caminho oposto ao da proposta da Web Semântica que prevê uma rede de dados. A riqueza dos documentos de texto seria preservada através da marcação utilizando ontologias propostas. Uma abordagem similar é encontrada em Damiano *et al.* (2015), que apresentam um estudo de caso de um sistema denominado *Labyrinth*. Nesse sistema o usuário está imerso em um labirinto 3D em que pontos de inflexão e caminhos representam um conjunto de artefatos culturais e suas relações semânticas. A estratégia apresentada neste trabalho trata da utilização de metáforas visuais em ambientes virtuais através de combinação de ontologias. A abordagem de Daquino *et al.* (2017), por outro lado, utiliza duas novas ontologias propostas para aumento de expressividade de valor semântico de dados do patrimônio cultural não cobertos por ontologias conhecidas. Já Bannour *et al.* (2018) apresentam uma ontologia no domínio da conservação e restauração do patrimônio cultural com base no CIDOC-CRM. Como estudo de caso, estes autores avaliaram o problema da interoperabilidade envolvendo dois espaços da França especializados em conservação e restauração C2RMF e LRMH, que possuem técnicas e vocabulários diferentes para os objetos culturais.

4.3. Integração baseada em abordagem híbrida

A abordagem híbrida, com algumas variações, utiliza ontologias locais mapeadas para uma ontologia central e, com isso, permite diminuir o número de mapeamentos entre as diversas ontologias locais. Essa abordagem pode ser encontrada Niang *et al.* (2016), cuja camada semântica é baseada na integração de fontes de dados heterogêneas no domínio da Conservação e Restauração do Patrimônio e associa uma ontologia central a diversas ontologias,

em especial a CIDOC-CRM. Como na maioria dos problemas de integração encontrados na literatura, esse trabalho lida com três questões clássicas: a heterogeneidade de múltiplas bases de dados, falta de poder semântico dos bancos de dados, e heterogeneidade de terminologias. Uma variação dessa abordagem pode ser encontrada em Capodiece *et al.* (2015) que propõem uma arquitetura para um para a integração de fontes de dados estruturadas e semiestruturadas heterogêneas cujo modelo de interoperação é realizado através de integração de esquemas (*schema matching*) com utilização de ontologia através de mapeamentos entre os esquemas. Outra variação pode ser encontrada em Drakopoulos *et al.* (2019) que propõem uma descrição JSON para itens culturais através de agrupamentos multiníveis de construção, anotações semânticas e *links* para objetos patrimoniais.

Quattrini *et al.* (2017) propõem uma abordagem para resolver o problema de interoperabilidade na modelagem de sistemas de informação de construções históricas. A estratégia de interoperabilidade é a reutilização de ontologias do patrimônio cultural por meio de ligações com Dados Abertos Conectados através de RDF. Em Freire *et al.* (2018) pode ser encontrada uma abordagem de agregação, técnica que consiste em centralizar os metadados de várias em fontes de dados em um espaço comum. Neste trabalho os autores apresentam resultados de um estudo de caso piloto na Europeana (Europeana, 2017) que utilizou a Biblioteca Nacional da Holanda como provedor inicial de dados e a *Dutch Digital Heritage Network* como serviço intermediário que fornece conjuntos de dados para a Europeana. Na mesma direção, Rinaldi & Russo (2018) propõem uma técnica de integração de dados em uma abordagem criação automática de uma ontologia global através do mapeamento das ontologias existentes, automatizando todo o processo de construção ontológico.

Alexiev *et al.* (2020) apresentam uma proposta de modelo de conhecimento específico para ícones búlgaros com base na WikiMedia e no modelo EDM. A estratégia principal é converter e exportar os recursos para o *Wikidata* e EDM. Em uma abordagem semelhante, Buranasing *et al.* (2016) propõem um método para descobrir relações semânticas entre entidades de artigos que usam a *Wikipedia* e vários objetos digitais de patrimônio cultural. A estratégia consiste em um dicionário de dados integrador de assuntos com mapeamento entre padrões de metadados de fontes variadas de dados de patrimônio cultural. A extração é realizada através de busca de similaridade de termos e as coletas realizadas através do protocolo OAI-PMH.

Na abordagem de Calvanese *et al.* (2015) e Calvanese *et al.* (2016) diferentes conjuntos de dados são virtualmente integrados por uma camada conceitual ontológica que funciona como uma visão unificada de dados históricos. No modelo proposto, há uma ontologia que funciona como um modelo de referência para o sistema, e é baseado em CIDOC-CRM e no modelo de metadados EAGLE17. Estratégia semelhante pode ser encontrada em Agosti *et al.* (2015) que

abordam dois modelos de referência de bibliotecas digitais, o DELOS e o 5S em que os autores entendem como uma estratégia externa e *bottom-up*, composta de uma ontologia denominada “*DL Foundational Models Ontology* que representa cada conceito central no domínio das bibliotecas digitais (DL).

Uma abordagem híbrida com Processamento de Linguagem Natural (PLN) pode ser encontrada em Dessìet *et al.* (2020), que propõem uma arquitetura com base em PLN e Aprendizado de Máquina para extração automática de entidades e relacionamentos de publicações de pesquisa para geração de grafos de conhecimento. Assim como Vlachidis e Tudhope (2015), que apresentam um método para indexação semântica automática de relatórios arqueológicos de “literatura cinzenta”, isto é, literatura que não foi publicada ou foi publicada de forma não convencional, por exemplo, relatórios governamentais. Esta metodologia usa técnicas baseadas em regras de Extração de Informação em combinação com sistemas de organização de conhecimento específicos de domínio através da aplicação PLN e mapeamento com a ontologia CIDOC-CRM. Em direção paralela, Briola *et al.* (2017) apresentam um sistema multiagente para classificar e gerenciar automaticamente imagens, esboços e documentos multilíngues em um domínio do patrimônio cultural. Esse sistema se utiliza de agentes, ontologias e bibliotecas digitais com comunicação através de uma API *Restful*.

Uma variação da abordagem híbrida direcionada a bancos de dados relacionais (BDR) pode ser encontrada em Owais *et al.* (2017), que realizaram um mapeamento semântico de diferentes conjuntos de dados pertencentes aos museus egípcios, e propõem uma arquitetura de ligação com dados abertos conectados para enriquecimento destes dados. A proposta é baseada na integração de dois principais modelos, o CIDOC-CRM e o R2RML, sendo esse segundo, aplicado a BDR.

Uma abordagem híbrida específica para sistemas de recomendação pode ser encontrada em Smirnov *et al.* (2017), onde se propõe um sistema baseado em ontologias para recomendação de lugares turísticos. Abordagem similar é encontrada em Varfolomeyev *et al.* (2015) que propõem um serviço inteligente de recomendação com base na abordagem *smart spaces*. A estratégia integra múltiplas fontes de serviços disponíveis na Web e informações dos próprios usuários. Korzun *et al.* (2017) apresentam uma variação para concepção de museus inteligentes cuja estratégia é a criação de uma infraestrutura semântica para transformar um determinado museu em sua variante inteligente. Benouaret e Lenne (2015), por sua vez, abordam os sistemas de recomendação como possibilidade de apresentar melhores soluções de acesso a coleções em museus. A proposta prevê a criação de uma estrutura de recomendação que consiste de uma abordagem semântica para a representação do domínio do museu, utilizando ontologias e tesouros com um método de filtragem colaborativa. Já Su *et al.* (2019)

apresentam uma arquitetura de *Big Data* para aplicações no domínio patrimônio cultural. Essa proposta atua no campo dos sistemas de recomendação utilizando inteligência artificial para realizar descobertas utilizando uma estratégia de *ranking* em um arranjo que leva em conta pontos de interesse, dados abertos conectados e comentários de usuários em mídias sociais.

Uma proposta de arquitetura genérica para concepção de espaços de aprendizagem virtuais a partir de documentos patrimoniais pode ser encontrada em Martini *et al.* (2016). A proposta consiste em criar automaticamente ambientes virtuais de aprendizagem baseados em ontologias, onde estas são usadas para representar os conceitos-chave e as relações semânticas em um formato compreensível pelo usuário e pela máquina.

Bertola e Patti (2015) propõem um método com base na análise de sentimento para a exploração e sugestão de conteúdos através de comentários textuais deixados por visitantes em acervos digitais de patrimônio cultural. A estratégia proposta utiliza ontologias de domínio para a construção de uma estrutura conceitual do espaço emocional dos usuários com base em um modelo psicológico das emoções humanas

Nafis *et al.* (2020) apresentam um estudo comparativo de Sistemas de Recomendação (RS) semânticos existentes no campo do patrimônio cultural com base em uma ontologia estendida do CIDOC-CRM especificamente para o caso em estudo.

4.4. Outras abordagens

Em Aalberg *et al.* (2015) encontra-se uma proposta relacionada à modelagem e concepção e desenvolvimento de Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural com base no CIDOC-CRM e FRBR cuja abordagem é inspirada na Engenharia de Software. A estratégia para criação do catálogo de padrões foi utilizar um *wiki* semântico, usando a extensão *Media Wiki Semantic* (SMW) e, para o aspecto gráfico, uma extensão de uma API denominada *PlantUML* que transforma descrições textuais em diagramas UML. Na mesma direção Nishanbaev (2020) propõe uma nova metodologia para construção de repositórios Web de objetos do patrimônio cultural em 3D, assim como Demetrescu (2015) que propõe o uso de uma linguagem formal para acompanhar todo o processo de reconstrução virtual de objetos de patrimônio cultural em 3D. A proposta é baseada em uma abordagem de leitura estratigráfica e visa criar uma taxonomia comum para documentação arqueológica e a reconstrução virtual de objetos arqueológicos. O trabalho não fornece uma abordagem que pode ser usada diretamente na integração com outros repositórios, apresenta, porém, uma abordagem taxonômica interessante do que diz respeito à construção de vocabulário comum. Na mesma direção, Bordalo *et al.* (2021) propõem uma arquitetura de Sistema de Informação para Laboratórios (LIMS) específico par laboratórios de Ciências do Patrimônio, apontando um estudo de caso do

laboratório Hercules, da Universidade de Évora, Portugal. O modelo não aborda uma ontologia em específico, prevê, porém, que a gestão dos bancos de dados será realizada a partir da utilização de vocabulário controlado.

Dos trabalhos analisados, uma quantidade significativa abordava outras nuances da integração e reuso de informações do patrimônio cultural, como Veninata (2020) que discute sobre as diversas iniciativas realizadas na última década no campo do patrimônio cultural e afirma a falta de uma estrutura epistemológica consolidada na modelagem conceitual dos recursos de informação, apesar das inúmeras ontologias criadas e a partir dos múltiplos projetos de publicação de dados abertos conectados. A autora reitera a dificuldade de compreensão completa de todas as ontologias em um domínio de interesse e a ausência de processos que permitam avaliar, de forma e sistemática, sua capacidade representativa e seu grau de interoperabilidade semântica. Em MountantonakiseTzitzikas (2019) são analisados diversos trabalhos realizados na área de integração de dados abertos conectados em que os autores reforçam as dificuldades de integração entre as diversas fontes e defendem que a integração não é uma tarefa única já que, com o passar tempo, esquemas, ontologias e convenções de nomenclatura podem sofrer mudanças. Meghini *et al.* (2017) traz discussão semelhante e afirmam que arquivos digitais e serviços de dados tornaram-se pilares importantes para a ciência moderna. Neste artigo, os autores discutem os processos de avaliação contínua da integração de dados e apresentam um conjunto de perspectivas da comunidade de pesquisa arqueológica.

Em relação a *BigData* e mineração de dados, Bücheler *et al.* (2020) apresentam um *framework* denominado *Resilience*, que serve como infraestrutura para pesquisa na área da ciência da religião com uma série de estratégias voltadas para *Big Data* no campo dos estudos religiosos. Em teor semelhante, a proposta de Benedusi *et al* (2015) consiste em um sistema integrado que pretende dar suporte em fornecimento, promoção, publicação, gerenciamento e uso de bens do patrimônio cultural. O sistema em questão (CHIS-BI) combina técnicas de BI, internet das coisas e computação em nuvem. É aplicado para a integração, processamento analítico e descoberta de dados de diferentes tipos de usuários em exposições, museus, e eventos culturais, e também em espaços territoriais, como centros históricos, áreas turísticas, e explorações virtuais baseadas em dados dispostos na nuvem.

4.5. Artigos excluídos após a leitura

Após a leitura completa dos artigos conforme critério de inclusão/exclusão definido, três artigos foram excluídos por não abordarem técnicas ou estratégias de integração ou interoperação entre repositórios e tecnologias. O artigo *Ontologies for the Real Property Domain*, (Shi; Roman, 2018), voltado para o domínio das propriedades imobiliárias. O artigo *Object-mediated innovation: Case study of adventures in the National Palace Museum in Taiwan*,

(Chen; Chen; Wang, 2014), em que os autores apresentam a experiência da produção do filme *Aventuras no Museu do Palácio Nacional em Taiwan*. E de Buttò (2014), o artigo *The ICCU'S Contribution to the Development of a Digital Infrastructure for Cultural Heritage*, que apresenta os principais projetos e atividades desenvolvidas pelo ICCU com foco em questões políticas na Itália.

5. Conclusão

O presente trabalho teve o intuito de apresentar o estado da arte na temática de interoperabilidade semântica no patrimônio cultural, e discutiu as práticas metodológicas e resultados de artigos publicados de 2014 a 2021 em quatro grandes bases de pesquisa. Faz-se necessário destacar que muitos trabalhos não recuperados pela busca desta revisão sistematizada podem apresentar contribuições importantes nas áreas interdisciplinares relacionadas à investigação. O enfoque, no entanto, se deu em torno das bases selecionadas.

O total de registros recuperados (72), que atendem ao conjunto de palavras-chave estabelecido, evidencia que há uma quantidade significativa de pesquisas a investigarem o problema da interoperabilidade semântica e o patrimônio cultural. Quanto à questão de pesquisa, “Quais estratégias são utilizadas para enfrentar problema da interoperabilidade semântica em Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural?” foi possível identificar variações técnicas e abordagens para enfrentá-lo. A abordagem mais comum para processos semânticos integradores é a utilização de ontologias, em que três técnicas se destacam. A primeira, a utilização de uma ontologia única que exige que os diversos repositórios atendam a um só domínio. A segunda, mais flexível, prevê a utilização de múltiplas ontologias mapeadas entre si. E há, por fim a terceira, que é uma abordagem híbrida que mistura elementos das duas primeiras, criando-se um vocabulário compartilhado com uma ontologia central e mapeamentos locais para esta ontologia.

Quanto aos indicadores de avaliação, cuja finalidade foi capturar determinadas nuances dos trabalhos, o indicador A1 confirma a suspeita que o modelo CIDOC-CRM é amplamente difundido, sendo abordado em quase um terço dos trabalhos avaliados (13). O mesmo não pode se afirmar para o modelo EDM (indicador A2), uma vez que apenas 5 trabalhos fazem referência a este modelo. Quanto aos bancos de dados relacionais (indicador A3) conclui-se, que apesar da tecnologia ser abordada, o número é relativamente baixo (apenas 9), o que pode indicar uma tendência de diminuição de interesse. Foi possível captar através do indicador A4 que a maioria dos trabalhos apresentava em sua estratégia uma proposta de ontologia (26). Entretanto, apenas 10 utilizam Dados Abertos Conectados (indicador A5), e 21 (conforme indicador A6) possuem mapeamento ontológico entre duas ou mais ontologias, o que indica uma

preocupação em integração através do aproveitamento de ontologias já existentes. Através do indicador A7 foi possível captar que a maioria dos trabalhos (25) apresentaram propostas de arquitetura, modelo ou sistema, o que indica grande interesse na construção de Sistemas de Informação do Patrimônio Cultural. Apenas 9 deles, entretanto (indicador A8), oferecem serviços que integram efetivamente outros sistemas, o que sugere uma possível contradição ou dificuldade para que outros sistemas e serviços possam realizar interoperabilidade.

Referências

Aalberg, T.; Vennesland, A.; Farrokhnia, M. A pattern-based framework for best practice implementation of CRM/FRBROO. **Communications in Computer and Information Science**, v. 539, p. 438–447, 2015. DOI 10.1007/978-3-319-23201-0_44.

Abu Musa, T. H.; Bouras, A.; Belhi, A.; Gasmi, H. OntoM: An Ontological Approach for Automatic Classification. 2020. **2020 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATICS, IOT, AND ENABLING TECHNOLOGIES (ICIOT)**, 2020. p. 329–334. <https://doi.org/10.1109/ICIOT48696.2020.9089449>

Agosti, M.; Ferro, N.; Silvello, G. Digital library interoperability at high level of abstraction. **Future Generation Computer Systems**, v. 55, p. 129–146, 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.future.2015.09.020>

Alexiev, V.; Tarkalanov, P.; Georgiev, N.; Pavlova, L. Bulgarian Icons in Wikidata and EDM. **DIGITAL PRESENTATION AND PRESERVATION OF CULTURAL AND SCIENTIFIC HERITAGE**, 8, ACAD G BONCHEV STR, RM 271, SOFIA, 1113, BULGARIA, v. 10, p. 45–63, 2020.

Araújo, C. A. Á. Fundamentos Da Ciência Da Informação: Correntes Teóricas E O Conceito De Informação. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, v. 4, p. 57–79, 2014.

Bannour, I.; Marinica, C.; Bouiller, L.; Pillay, R.; Darrieumerlou, C.; Malavergne, O.; Kotzinos, D.; Niang, C. CRMCR - a CIDOC-CRM extension for supporting semantic interoperability in the conservation and restoration domain. **2018 3RD DIGITAL HERITAGE INTERNATIONAL CONGRESS2018**. p. 1–8. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2018.8810098>

Benedusl, P.; Chianese, A.; Marulli, F.; Piccialli, F. An Associative Engines Based Approach Supporting Collaborative Analytics in the Internet of Cultural Things. **2015 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON P2P, PARALLEL, GRID, CLOUD AND INTERNET COMPUTING (3PGCIC)**, 2015. p. 533–538. <https://doi.org/10.1109/3PGCIC.2015.56>.

Benouaret, I.; Lenne, D. Personalizing the Museum Experience through Context-Aware Recommendations. **2015 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS**, 2015. p. 743–748. <https://doi.org/10.1109/SMC.2015.139>.

Bertola, F.; Patti, V. Ontology-based affective models to organize artworks in the social semantic web. **Information Processing & Management**, v. 52, n. 1, p. 139–162, 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2015.10.003>.

Borko, H. What Is Information Science? **Soviet Education**, v. 28, no. 10–11, p. 51–54, 1986.

Bordalo, R.; Bottaini, C.; Candeias, A. A Framework Design for Information Management in Heritage Science Laboratories. **Journal on Computing Cultural Heritage**, New York, NY, v. 14, n. 1, p. 1-14, 2021. DOI 10.1145/3417304.

Briola, D.; Deufemia, V.; Mascardi, V.; Paolino, L. Agent-oriented and ontology-driven digital libraries: the IndianaMAS experience. **Software Practice and Experience**, v. 47, n. 11, p. 1773–1799, 2017. DOI 10.1002/spe.2494.

Büchler, M.; Riegert, S.; Alpi, F.; Cadeddu, F. Towards Big Religious Data: RESILIENCE Research Infrastructure for Data on Religion in the Digital Age. 2020. **Proceedings of the 2nd Int Conference on Digital Tools & Uses Congress**. New York: Association for Computing Machinery, 2020. DOI 10.1145/3423603.3424007.

Buckland, M. Information as Thing. **Journal of the American Society for Information Science**, v. 42, n. 5, p. 351, 1991.

Buranasing, W.; Phoomvuthisarn, S.; Buranarach, M. Information extraction and integration for enriching cultural heritage collections. **2016 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE, INFORMATION AND CREATIVITY SUPPORT SYSTEMS (KICSS)**, 2016. p. 1–6. <https://doi.org/10.1109/KICSS.2016.7951425>.

Cacciotti, R.; Valach, J. The MONDIS project Semantic Web and the protection of historic buildings. 2., 2015. **2015 Digital Heritage**, 2015. v. 2, p. 307–313. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2015.7419512>.

Calvanese, D.; Liuzzo, P.; Mosca, A.; Remesal, J.; Rezk, M.; Rull, G. Ontology-based data integration in EPNet: Production and distribution of food during the Roman Empire. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 51, p. 212–229, 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2016.01.005>.

Calvanese, D.; Mosca, A.; RemesaL, J.; Rezk, M.; Rull, G. A ‘historical case’ of Ontology-Based Data Access. 2. **2015 Digital Heritage**, v. 2, p. 291–298, 2015. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2015.7419510>.

Candela, G.; Escobar, P.; Carrasco, R. C.; Marco-Such, M. A linked open data framework to enhance the discoverability and impact of culture heritage. **Journal of Information Science**, v. 45, n. 6, p. 756–766, 2019. <https://doi.org/10.1177/0165551518812658>.

Capodiecì, A.; Mainetti, L.; Carrozzo, S. Semantic enterprise service bus for cultural heritage. **2016 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIONS IN INFORMATION TECHNOLOGY (IIT)**, 2016. p. 1–8. <https://doi.org/10.1109/INNOVATIONS.2016.7880044>.

Carvalho Junior, J. M. C.; Martins, D. L.; Germani, L. B. GLAM e Instituições de Memória em Rede: uma ‘Infosfera’ de Floridi? **PragMATIZES, Revista Latino-Americana De Estudos Em Cultura**, v. 16, p. 11-30, 2019. <https://doi.org/10.22409/pragmatizes.v0i16.27529>

Cerutti, E.; Noardo, F.; Spanò, A. Architectural Heritage semantic data managing and sharing in GIS. **2015 1st INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS THEORY, APPLICATIONS AND MANAGEMENT (GISTAM)**, 2015. p. 1–8.

Chen, H.; Chen, S.; Wang, C. Y. Object-mediated innovation: Case study of adventures in the National Palace Museum in Taiwan. **PICMET '14 CONFERENCE: PORTLAND INTERNATIONAL**

CENTER FOR MANAGEMENT OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY; INFRASTRUCTURE AND SERVICE INTEGRATION. **Proceedings**. 2014. p. 2214–2225.

Damiano, R.; Lombardo, V.; Lieto, A. Visual metaphors for semantic cultural heritage. 2015. INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TECHNOLOGIES FOR INTERACTIVE ENTERTAINMENT (INTETAIN), 7th, 2015. p. 100–109.

Daquino, M.; Mambelli, F.; Peroni, S.; Tomasi, F.; Vitali, F. Enhancing Semantic Expressivity in the Cultural Heritage Domain: Exposing the Zeri Photo Archive as Linked Open Data. **Journal of Computing Cultural Heritage**, New York, v. 10, n. 4, 2017. DOI 10.1145/3051487.

Daquino, M.; Tomasi, F. Ontological Approaches to Information Description and Extraction in the Cultural Heritage Domain. THIRD AIUCD ANNUAL CONFERENCE ON HUMANITIES AND THEIR METHODS IN THE DIGITAL ECOSYSTEM. **Proceedings**. New York: Association for Computing Machinery, 2014. DOI 10.1145/2802612.2802633.

Demetrescu, E. Archaeological stratigraphy as a formal language for virtual reconstruction Theory and practice. **Journal of Archaeological Science**, v. 57, p. 42–55, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.02.004>.

Dessi, D.; Osborne, F.; Reforgiato Recupero, D.; Buscaldi, D.; Motta, E. Generating knowledge graphs by employing Natural Language Processing and Machine Learning techniques within the scholarly domain. **Future Generation Computer Systems**, v. 116, p. 253–264, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.10.026>.

Dodebei, V. Cultura Digital: novo sentido e significado de documento para a memória social? **DataGramZero**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, 2011.

Doerr, M. Ontologies for Cultural Heritage. In: STAAF, S.; STUDER, R. (eds.). **Handbook on Ontologies**. 2nd ed. New York: Springer, 2009. p. 463–486. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3>.

Doerr, M.; Bruseker, G.; Bekiari, C.; Ore, C. E.; Velios, T.; Stead, S. **Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model Produced by the ICOM / CIDOC Documentation Standards Group , continued by the CIDOC CRM Special Interest Group**. [S. l.: s. n.], 2020.

Drakopoulos, G.; Spyrou, E.; Voutos, Y.; Mylonas, P. A Semantically Annotated JSON Metadata Structure for Open Linked Cultural Data in Neo4j. 2019.PAN-HELLENIC CONFERENCE ON INFORMATICS, 23RD, 2019.**Proceedings**.New York: ACM, 2019. p. 81–88. DOI 10.1145/3368640.3368659.

Europeana. **Definition of the Europeana Data Model**. 2017. Disponível em: <https://pro.europeana.eu/resources/standardization-tools/edm-documentation> Acessado em: 24 Jul. 2018.

Floridi, L. On defining library and information science as applied philosophy of information. **Social Epistemology**, v. 16, n. 1, p. 37–49, 2002. <https://doi.org/10.1080/02691720210132789>.

Freire, N.; Meijers, E.; Valk, S. de; Voorburg, R.; Isaac, A.; Cornelissen, R. Aggregation of Linked Data : A case study in the cultural heritage domain. **IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIG DATA (Big Data)** , 2018. p. 522–527. <https://doi.org/10.1109/BigData.2018.8622348>.

Frommholz, I.; Graves, D.; Liu, H.; Kumar, A.; Brady, G. Great War Stories Told by the People: Crowdsourced Cultural Heritage in Digital Museums. 2014. ACM/IEEE-CS JOINT CONFERENCE ON DIGITAL LIBRARIES, 14TH, 2014. **Proceedings** IEEE Press, 2014. p. 419–420.

Galvão, T. F.; Pereira, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, n. 1, p. 183–184, 2014. <https://doi.org/10.5123/s1679-49742014000100018>.

Ivanović, D.; Houssos, N. Providing an Application-specific Interface over a CERIF Back-end: Challenges and Solutions. **Procedia Computer Science**, v. 33, p. 11–17, 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.06.003>.

Kim, S.; Ahn, J.; Suh, J.; Kim, H.; Kim, J. Towards a semantic data infrastructure for heterogeneous Cultural Heritage data - challenges of Korean Cultural Heritage Data Model. 2., 2015. **Digital Heritage**, v. 2, p. 275–282, 2015. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2015.7419508>.

Korzun, D.; Varfolomeyev, A.; Yalovitsyna, S.; Volokhova, V. Semantic Infrastructure of a Smart Museum: Toward Making Cultural Heritage Knowledge Usable and Creatable by Visitors and Professionals. **Personal Ubiquitous Computing**, Berlin, v. 21, n. 2, p. 345–354, 2017. DOI [10.1007/s00779-016-0996-7](https://doi.org/10.1007/s00779-016-0996-7).

Kouis, D.; Giannakopoulos, G. Incorporate Cultural Artifacts Conservation Documentation to Information Exchange Standards – The DOC-CULTURE Case. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 147, p. 495–504, 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.07.144>.

Lima, F. R. B.; Santos, P. L. V. A. C.; Santarém Segundo, J. E. Padrão de metadados no domínio museológico. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Belo Horizonte, v. 21, n. 3, p. 50–69, 2016. <https://doi.org/10.1590/1981-5344/2639>.

Liu, Y.; Lin, H. W. Construction of interpretation and presentation system of cultural heritage site: An analysis of the old city, Zuoying. **Heritage**, v. 4, n. 1, p. 316–332, 2021. <https://doi.org/10.3390/heritage4010020>.

Martini, R.; Librelotto, G.; Henriques, P. R. Formal Description and Automatic Generation of Learning Spaces Based on Ontologies. **Procedia Computer Science**, v. 96, p. 235–244, 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.136>.

Martins, D. L.; Carmo, D. do; Germani, L. B. MUSEU DO ÍNDIO : Estudo de caso do processo de migração e abertura dos dados ligados semânticos do acervo museológico com o software livre tainacan. 2018. **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO**, n. XIX ENANCIB, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.11959/brapci/102201>. Acesso em: 28 jun. 2023.

Meghini, C.; Scopigno, R.; Richards, J.; Wright, H.; Geser, G.; Cuy, S.; Fihn, J.; Fanini, B.; Hollander, H.; Niccolucci, F.; Felicetti, A.; Ronzino, P.; Nurra, F.; papatheodorou, C.; Gavrilis, D.; Theodoridou, M.; Doerr, M.; Tudhope, D.; Binding, C.; Vlachidis, A. ARIADNE: A Research Infrastructure for Archaeology. **ACM JOURNAL ON COMPUTING AND CULTURAL HERITAGE**, v. 10, n. 3, SI, 2017. <https://doi.org/10.1145/3064527>.

Miranda, J. M. de. Records in Contexts (RiC): Análise da sua aplicação em arquivos, à luz das tecnologias Linked Open Data (LOD). **Acervo**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 3, p. 1-26, set./dez. 2021.

Mountantonakis, M.; Tzitzikas, Y. Large-Scale Semantic Integration of Linked Data: A Survey. **ACM Computing Surveys**, New York, v. 52, n. 5, Article 103, Sept. 2019. DOI 10.1145/3345551

Nafis, F.; Fararni, K. A.; Yahyaouy, A.; Aghoutane, B. Towards a semantic recommender system for cultural objects: Case study Draa-Tafilalet region. **INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT SYSTEMS AND COMPUTER VISION (ISCV)**, 2020. p. 1–4. <https://doi.org/10.1109/ISCV49265.2020.9204187>.

Niang, C.; Marinica, C.; Leboucher, É.; Bouiller, L.; Capderou, C.; Bouchou, B. Ontology-Based Data Integration System for Conservation-Restoration Data (OBDIS-CR). 2016. **INTERNATIONAL DATABASE ENGINEERING & APPLICATIONS SYMPOSIUM, 20TH, 2016.Proceedings**. New York: ACM, 2016. p. 218–223. DOI 10.1145/2938503.2938545.

Niang, C.; Marinica, C.; Markhoff, B.; Leboucher, E.; Malavergne, O.; Bouiller, L.; Darrieumerlou, C.; Laissus, F. Supporting semantic interoperability in conservation-restoration domain: The PARCOURS project. **Journal on Computing and Cultural Heritage**, vol. 10, no. 3, 2017. DOI 10.1145/3097571.

Nishanbaev, I. A web repository for geo-located 3D digital cultural heritage models. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 16, p. e00139, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.daach.2020.e00139>.

Owais, N. N.; Al-feel, H. T.; Hassanein, E. E. A step towards the linking of the Culture Heritage in the Egyptian museums. **IEEE 7TH ANNUAL COMPUTING AND COMMUNICATION WORKSHOP AND CONFERENCE (CCWC)**, 7th, 2017. p. 1–7. <https://doi.org/10.1109/CCWC.2017.7868440>.

Palomar, I. J.; García Valldecabres, J. L.; Tzortzopoulos, P.; Pellicer, E. An online platform to unify and synchronise heritage architecture information. **Automation in Construction**, v. 110, p. 103008, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103008>.

Quattrini, R.; Pierdicca, R.; Morbidoni, C. Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high-quality models using the semantic-web. **Journal of Cultural Heritage**, v. 28, p. 129–139, 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.05.004>.

Rinaldi, A. M.; Russo, C. A Matching Framework for Multimedia Data Integration Using Semantics and Ontologies. 2018. **IEEE 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SEMANTIC COMPUTING (ICSC)**, 12th, 2018. p. 363–368. <https://doi.org/10.1109/ICSC.2018.00074>.

Rubhasy, A.; Paramartha, A. A. G. Y.; Budi, I.; Hasibuan, Z. A. Management and retrieval of cultural heritage multimedia collection using ontology. **INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY, COMPUTER, AND ELECTRICAL ENGINEERING, 1st, 2014**. p. 255–259. <https://doi.org/10.1109/ICITACEE.2014.7065752>.

Shi, L.; Roman, D. Ontologies for the Real Property Domain. **INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEB INTELLIGENCE, MINING AND SEMANTICS**, 8th, 2018. **Proceedings**. New York: Association for Computing Machinery, 2018. DOI 10.1145/3227609.3227661.

Silva, M.; Martins, D. L.; Siqueira, J. Web semântica em repositórios: ontologia para representação de bibliotecas digitais. **Ciência da Informação em Revista**, v. 6, n. 1, p. 99–113, 2019. DOI 10.28998/cirev.2019v6n1f.

Su, X.; Sperli, G.; Moscato, V.; Picariello, A.; Esposito, C.; Choi, C. An Edge Intelligence Empowered Recommender System Enabling Cultural Heritage Applications. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 15, n. 7, p. 4266–4275, 2019.
<https://doi.org/10.1109/TII.2019.2908056>.

Varfolomeyev, A.; Korzun, D.; Ivanovs, A.; Soms, H.; Petrina, O. Smart Space based Recommendation Service for Historical Tourism. **Procedia Computer Science**, vol. 77, p. 85–91, 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.363>.

Veninata, C. Inside the Meanings. The Usefulness of a Register of Ontologies in the cultural Heritage Sector. **DIGITAL PRESENTATION AND PRESERVATION OF CULTURAL AND SCIENTIFIC HERITAGE**, PIAZZA BRUNELLESCHI 3-4, FLORENCE, 50121, ITALY, v. 11, n. 2, p. 45–58, 2020.
<https://doi.org/10.4403/jlis.it-12624>.

Vlachidis, A.; TudhopE, D. A knowledge-based approach to Information Extraction for semantic interoperability in the archaeology domain. **Journal of the Association for Information Science and Technology**, v. 67, n. 5, p. 1138–1152, 2015.