

ABORDAGEM ONTOLÓGICA PARA A VALIDAÇÃO DE PROCESSOS EM AMBIENTES COMUNS DE DADOS

João Aleixo ⁽¹⁾, João Couto ⁽²⁾, Miguel Azenha ⁽³⁾

(1) Universidade do Minho, CTAC & ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0009-0006-8560-9588

(2) Universidade do Minho, CTAC, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, 0000-0001-9607-0596

(3) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0000-0003-1374-9427

Resumo

Os Ambientes Comuns de Dados (CDE) assumem um papel cada vez mais preponderante no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). Estas plataformas de gestão de informação estabelecem repositórios, estruturados e partilhados, onde convergem elementos como a informação, intervenientes, ferramentas e processos operacionais, essenciais para a concretização de projetos colaborativos.

Apesar disto, a implementação de procedimentos CDE continua fortemente dependente de plataformas proprietárias e abordagens pragmáticas, o que evidencia a persistência de um paradigma centrado em desenvolvimento, onde os atores do setor AECO adaptam os processos de Gestão de Informação (GI) à capacidade tecnológica das ferramentas ao seu dispor.

Neste artigo, propõe-se a caracterização semântica de processos de gestão de informação em projetos colaborativos, formalizando-os através de uma ontologia, de forma a possibilitar a integração tecnológica de procedimentos padronizados.

Através da definição ontológica de entidades e relações semânticas relativas aos processos de GI, complementada pela modelação de regras inferidas a partir dos padrões existentes, apresenta-se uma prova de conceito para a validação de processos em CDEs, demonstrando o potencial de uma abordagem operacionalizável, personalizável e escalável.

1. Introdução

Estima-se que a quantidade de informação digital produzida no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) tenha aumentado exponencialmente ao longo da última década [1]. Este aumento, para o qual contribui a crescente adoção da metodologia BIM, introduziu novos desafios ao nível da Gestão da Informação (GI) [2]. Um dos principais desafios está relacionado com a estruturação, padronização e implementação dos processos

afetos à gestão da informação [3]. A complexidade da colaboração no setor AECO reforçou a necessidade de metodologias que potenciassem o tratamento e processamento de informação ao longo do ciclo de vida dos ativos [4]. Neste contexto, foi publicada, em 2018, a série ISO 19650 com o objetivo de estabelecer uma *framework* padronizada para a gestão de informação em ambientes BIM [5]. Entre a definição de requisitos administrativos e contratuais, esta série define os conceitos de Ambientes Comuns de Dados (CDE) como o repositório acordado para a salvaguarda, gestão e disseminação de informação, através de Blocos de Informação (IC), que constituem os conjuntos elementares de informação que suportam os processos de GI. Além destes, a norma ISO define o conceito de *Exchange Information Requirements* (EIR) como o conjunto de requisitos de informação num determinado projeto colaborativo. Como forma de assegurar a adequabilidade e rastreabilidade da informação, estes instrumentos definem requisitos processuais que incidem sobre a definição dos IC, nomeadamente ao nível dos metadados e nomenclatura dos mesmos. A definição de parâmetros como a convenção de nomenclatura e metadados para o estado e propósito da informação, revisão/versão e classificação são determinantes para a rastreabilidade e governação do processo colaborativo. Apesar do avanço normativo, persistem desafios relevantes na implementação consistente destes requisitos [6], particularmente ao nível da gestão dos ICs em ambientes CDE. A natureza normativa destes requisitos pressupõe esforços manuais de interpretação e implementação [7], o que pode resultar em ambiguidades, erros e incoerências nos fluxos de trabalho. Na prática, a operacionalização destes pressupostos tende a ser mediada por soluções pragmáticas que exigem a adaptação dos requisitos às capacidades e limitações das ferramentas utilizadas [8]. Estas soluções são frequentemente implementadas através de ferramentas proprietárias, nas quais os requisitos processuais são acoplados a ambientes opacos [9], comprometendo a interoperabilidade processual da gestão de informação, reforçando dependências de fornecedores e dificultando a replicabilidade dos processos normativos [10].

Em resposta a estes desafios, este trabalho propõe uma abordagem suportada por tecnologias semânticas para a operacionalização de validações derivadas de processos padronizados de GI ao nível de Blocos de Informação em ambientes CDE.

Além da aplicação do paradigma semântico na representação e validação dos modelos, a literatura recente apresenta contributos na conceptualização de tecnologias semânticas para a gestão e governação da informação em ambientes BIM/CDE [11], contudo, a sua implementação em ambientes operacionais permanece limitada, sendo usualmente reportada sob a forma de demonstrações controladas com limitações de integração. A abordagem proposta neste artigo incide sobre a implementação de requisitos processuais, alavancados por um modelo semântico e conjuntos de regras de conformidade, através de um auditor implementável em plataformas digitais, capaz de verificar a conformidade dos metadados dos IC.

Este artigo está dividido em quatro secções principais que têm por objetivo apresentar o processo de investigação levado a cabo. Após a introdução, a secção 2 descreve a metodologia empregue para a orientação dos trabalhos. De seguida, na secção 3 é apresentada a abordagem de integração para o trabalho proposto, evidenciando as decisões tomadas e os procedimentos empregues para o desenvolvimento da metodologia proposta. Esta secção culmina com a demonstração da prova de conceito da *framework* desenvolvida, demonstrando os principais resultados e capacidades alcançados até ao momento atual da investigação. Por fim, na secção 4 serão elencadas as principais conclusões que derivam deste trabalho assim como abordados potenciais caminhos futuros para investigação.

2. Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho desenvolve-se em três fases principais, iniciando-se com a modelação ontológica do domínio para assegurar a sua representação formal, prosseguindo com a formulação e modelação de regras de conformidade computacionalmente verificáveis, e culminando na operacionalização da abordagem através da sua integração numa plataforma CDE, de modo a demonstrar a sua aplicabilidade em contexto operacional controlado. Estas fases são conduzidas de forma interligada, contribuindo para um fluxo de desenvolvimento estruturado e coerente entre conceptualização, formalização e implementação.

A primeira fase consistiu na definição ontológica do domínio da gestão de informação em CDE, associado à governação de Blocos de Informação, de acordo com a lógica ISO 19650. Este processo visa formalizar os conceitos-chave, as entidades, as suas propriedades e relações, de forma a criar uma representação do conhecimento explícita e passível de ser processada computacionalmente. Foi utilizado como referência o documento Exchange Information Requirements para a fase de projeto em obras privadas, versão 1.1.3, publicado pela buildingSMART Portugal, em particular a sua componente orientada aos Blocos de Informação em CDE. A especificação deste domínio de aplicação serve de referência para a concretização dos processos de gestão de informação.

Uma vez estabelecida a ontologia do domínio, a segunda fase da metodologia consistiu na inferência e formalização das regras de conformidade utilizando a *Shapes Constraint Language* (SHACL). O objetivo desta fase consiste em traduzir os requisitos normativos e processuais da gestão de informação em CDEs em restrições lógicas explícitas e computacionalmente verificáveis. Esta análise permitiu identificar os critérios de validação para a partilha de Blocos de Informação em contexto CDE, abrangendo aspetos fundamentais como a nomenclatura e metadados impostos, tanto ao nível da sua especificação como do seu formato.

A última etapa da metodologia integra a modelação ontológica e as regras SHACL numa arquitetura funcional capaz de implementar a validação autónoma da informação. Neste sentido, foi desenvolvido um protótipo de motor de governação ontológica, que atua sobre um ambiente CDE, definido numa plataforma de CDE *open-source*. A arquitetura deste motor segue um ciclo processual de monitorização, validação e ação. A implementação procura operacionalizar regras normativas e requisitos processuais, reduzindo a necessidade de intervenção e interpretação manual. Assim, torna-se possível avaliar, num ambiente controlado, a hipótese de que é possível automatizar a validação de dados, bem como os procedimentos associados à governação da informação.

3. Implementação

3.1. Modelação ontológica para o domínio de Blocos de Informação em CDE

Nesta fase procedeu-se à modelação ontológica do domínio associado aos Blocos de Informação em ambientes CDE, com o objetivo de formalizar, de forma explícita e processável por máquina, o conhecimento necessário à representação e validação dos requisitos processuais do Bloco de Informação. De forma geral, a ontologia organiza-se em torno de uma entidade central, *Bloco de Informação*, e um conjunto de entidades que agregam diferentes atributos do IC, como *Metadado* e *Convenção de Nomenclatura*. Além disso, são definidas relações semânticas e valores normalizados para os parâmetros modelados, assegurando uma base

coerente para validação e automatização. O desenvolvimento do modelo ontológico foi orientado para a sua implementação, procurando garantir que os conceitos e relações modeladas são capazes de suportar a validação subsequente, bem como a operacionalização integrada no contexto do caso de estudo considerado. Futuramente, este modelo poderá ser expandido e revisto de forma a aumentar a abrangência sobre o domínio da Gestão de Informação. A Figura 1 representa graficamente as classes e as principais relações do modelo ontológico.

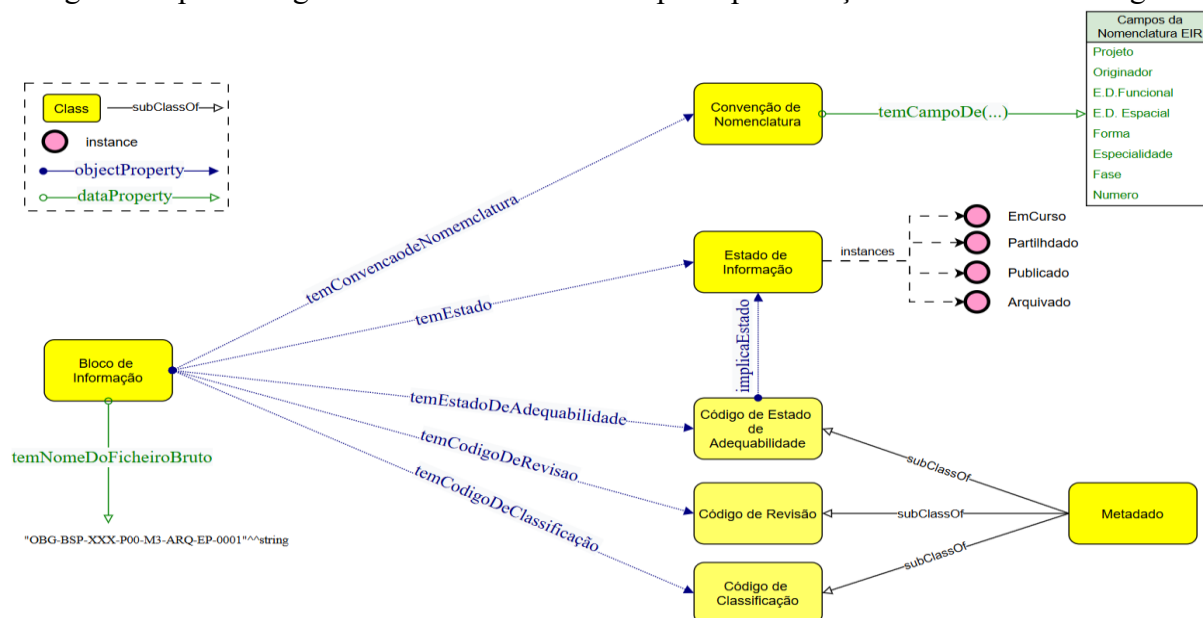


Figura 1 - Representação do modelo ontológico

Como forma de exemplificar o modelo e ilustrar a sua utilização, apresenta-se a componente de nomenclatura como exemplo representativo das relações definidas. Neste contexto, o *BlocoDeInformacao* é associado a uma *ConvencaoDeNomenclatura* por meio da relação *temConvencaoDeNomenclatura*, estabelecendo a ligação entre o contendor e a regra aplicável para composição do nome do ficheiro. A classe *ConvencaoDeNomenclatura* define a convenção de nomenclatura dos ICs apresentada no EIR, através da parametrização do valor do nome de um IC segundo os campos que compõem essa convenção, conforme o apresentado na Figura 1.

Este exemplo permite evidenciar tanto a relação entre o IC e a convenção de nomenclatura, como a relação interna entre a convenção e os seus campos, estabelecendo um modelo ontológico essencial para a validação SHACL apresentada na secção seguinte. Em paralelo, são igualmente modelados conceitos para representar os metadados, especificados na proposta de EIR, assim como as suas relações e propriedades. O modelo ontológico desenvolvido para este caso de estudo encontra-se disponível para consulta através desta [ligação](#).

Deste modo, o modelo ontológico define a estrutura conceptual necessária para traduzir os requisitos do EIR em restrições formais verificáveis, assegurando que as relações e propriedades relevantes do Bloco de Informação podem ser avaliadas de forma objetiva. Na secção seguinte, estes requisitos são operacionalizados através da modelação SHACL, com enfoque na validação da convenção de nomenclatura e dos respetivos campos, produzindo resultados de conformidade integráveis no fluxo de validação e automatização do caso de estudo.

3.2. Modelação SHACL de regras de conformidade

Após a definição ontológica das classes e relações afetas ao domínio em estudo, procedeu-se à modelação de regras de validação destinadas a verificar a conformidade dos ICs com os requisitos processuais. Na fase atual da pesquisa, as regras modeladas incidem sobre a validação da presença e formato da nomenclatura de Blocos de Informação e dos metadados obrigatórios para as trocas de informação em ambientes CDE, como o Estado de Conformidade, a Revisão/Versão e Classificação da Informação, entre outros. Importa salientar que o conjunto de regras considerado não pretende cobrir integralmente todos os requisitos definidos no EIR, mas demonstrar a possibilidade de transformar requisitos processuais selecionados em restrições computacionalmente verificáveis. A seleção incidiu sobre requisitos diretamente observáveis ao nível do Bloco de Informação, nomeadamente nomenclatura e metadados obrigatórios, por constituírem uma primeira camada objetiva de validação da conformidade processual.

Estas regras de validação estão alinhadas com os requisitos definidos na proposta de EIR considerada e servem como prova de conceito para a validação de processos padronizados de gestão de informação em CDEs. A Tabela 1 sintetiza algumas das regras inferidas e consideradas para o presente caso de estudo, em linguagem natural.

Tabela 1 – Excerto das regras a considerar para validação de IC

<i>Domínio</i>	<i>Descrição da Regra</i>	<i>Referência</i>
A) <i>Nomenclatura</i>	1) Os blocos de informação devem estar nomeados de acordo com a convenção definida no EIR: <Projeto> – <Originador> – <E.D. Funcional> – <E.D. Espacial> – <Forma> – <Especialidade> – <Fase> - <Número>	EIR - 3.1.2
	2) O valor do campo “Projeto” deve ser exatamente “OBG”	EIR - 3.1.2 a)
	3) O campo "Originador" deve ter exatamente 3 caracteres.	EIR - 3.1.2 b)
	4) O campo “Número”, deve ser composto por exatamente 4 dígitos numéricos.	EIR - 3.1.2 h)
	5) Os campos "Forma", "Especialidade" e "Fase" devem usar um dos códigos predefinidos nas tabelas do EIR.	EIR - Tabelas A.1, A.2 e A.3
B) <i>Metadados</i>	1) O IC deve ter um metadado obrigatório relativo ao “Estado”, pertencente à lista dos códigos de projeto	EIR - Tabela B.1
	2) O IC deve ter um metadado obrigatório relativo à “Revisão”, de acordo com o formato estipulado	EIR - 3.1.3 b)
	3) O IC deve ter um metadado obrigatório relativo à “Classificação”	EIR - 3.1.3 c)

Com base nesta análise, procedeu-se à modelação SHACL das regras apresentadas com o propósito de as tornar interpretáveis por máquina e implementáveis sobre ambientes tecnológicos existentes. Esta recomendação do *World Wide Web Consortium* (W3C) constitui uma ferramenta para formalizar as regras de validação sobre grafos de conhecimento, nomeadamente em ambientes que utilizam o *Resource Description Framework* (RDF) e ontologias OWL.

Em vez de codificar a lógica de validação diretamente no software, o SHACL permite que as restrições sejam expressas através de *shapes*, que permitem descrever a estrutura e o conteúdo esperado dos dados. Desta forma, o SHACL facilita a verificação da consistência e qualidade dos dados em relação a um modelo conceptual subjacente, promovendo a interoperabilidade e a validação automatizada de requisitos complexos, como os extraídos de um EIR, em qualquer sistema que suporte este padrão. A Figura 2 apresenta a modelação SHACL da regra A1, relativa à estrutura da nomenclatura dos Blocos de Informação, identificando os termos do domínio ontológico e as componentes SHACL.

```
cde:ConvencaoDeNomenclaturaShape
a sh:NodeShape ;
sh:targetClass cde:ConvencaoDeNomenclatura ;

# Regra A1: A nomenclatura dos Blocos de Informação deve ter exatamente um de cada campo obrigatório.
sh:property [ sh:path cde:temCampoProjeto; sh:minCount 1; sh:maxCount 1; sh:message "O campo 'Projeto' é obrigatório." ] ;
sh:property [ sh:path cde:temCampoOriginador; sh:minCount 1; sh:maxCount 1; sh:message "O campo 'Originador' é obrigatório." ] ;
sh:property [ sh:path cde:temCampoEDFuncional; sh:minCount 1; sh:maxCount 1; sh:message "O campo 'Estrutura de Desagregação Funcional' é obrigatório." ] ;
sh:property [ sh:path cde:temCampoEDEspacial; sh:minCount 1; sh:maxCount 1; sh:message "O campo 'Estrutura de Desagregação Espacial' é obrigatório." ] ;
sh:property [ sh:path cde:temCampoForma; sh:minCount 1; sh:maxCount 1; sh:message "O campo 'Forma' é obrigatório." ] ;
sh:property [ sh:path cde:temCampoEspecialidade; sh:minCount 1; sh:maxCount 1; sh:message "O campo 'Especialidade' é obrigatório." ] ;
sh:property [ sh:path cde:temCampoFase; sh:minCount 1; sh:maxCount 1; sh:message "O campo 'Fase' é obrigatório." ] ;
```

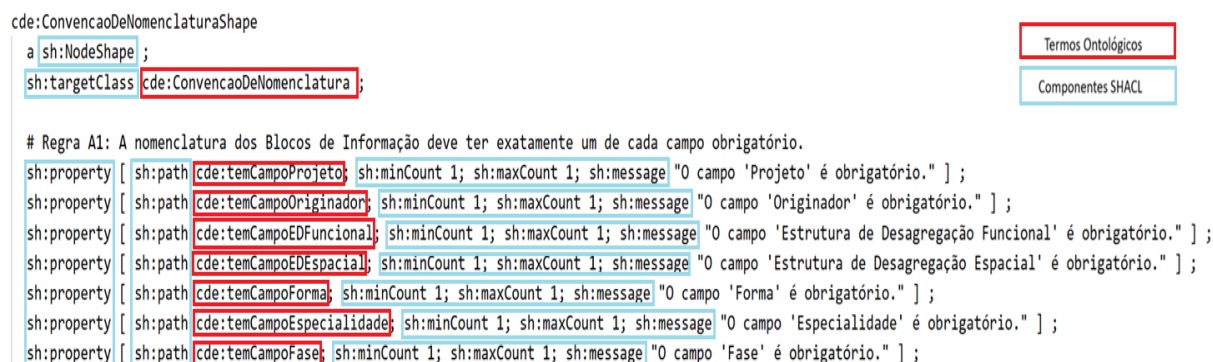


Figura 2 - Modelação SHACL da regra A1

Este passo possibilita uma mudança de paradigma ao nível da implementação de processos normativos, uma vez que permite a validação baseada no conhecimento inferido em vez de uma abordagem pragmática, baseada no desenvolvimento e métodos implícitos de uma determinada plataforma ou *software*. Este processo constitui um passo fundamental para a implementação digital de requisitos formais de trocas de informação, como os definidos no EIR, sob um paradigma orientado pelo conhecimento, contribuindo para a interoperabilidade processual dos pressupostos normativos.

3.3. Arquitetura de integração operacional

O protótipo de integração estabelece uma ponte funcional entre o modelo de conhecimento formalizado e uma implementação de CDE. Para este caso de estudo foi considerada a ferramenta *Nextcloud*, como implementação de CDE, uma vez que se trata de uma plataforma *open-source* que, apesar de não ser nativamente alinhada com os processos ISO, é programável e extensível para possibilitar a integração de mecanismos alinhados com esses requisitos normativos. Neste caso de estudo procedeu-se à implementação de capacidades de validação dos metadados dos Blocos de Informação.

A arquitetura do sistema implementado resulta da combinação de dois domínios principais, o domínio do *Nextcloud* e o domínio ontológico, para o desenvolvimento, em linguagem *Python*, de um auditor para o CDE. O *Nextcloud* assume o papel de repositório de informação, organizando os IC numa estrutura de pastas que reflete o ciclo de vida ISO 19650 e utilizando *tags* colaborativas para a definição de metadados. Com recurso ao *Nextcloud Flow*, o motor de automação nativo da plataforma, foi configurado um gatilho que dispara um *webhook* em casos de partilha de informação. Os dados do IC promovido são enviados, via API, para o auditor, de forma a dar início ao processo de validação. Esta API, desenvolvida com a framework *FastAPI*, estabelece a comunicação do CDE com o auditor semântico. Este artefacto é responsável por receber os dados do CDE, realizar o mapeamento semântico da informação e gerar um grafo

RDF representativo do IC. Para isto, são utilizadas as bibliotecas *requests*, para interagir programaticamente com as APIs do Nextcloud, e *rdflib*, para o mapeamento semântico da informação e geração de grafos RDF. Este grafo é então validado através do motor *pySHACL* contra as regras de conformidade pré-carregadas no ambiente de validação. Com base nos resultados da validação, o orquestrador executa ações na plataforma, como movimentação dos ficheiros para as diretorias correspondentes aos estados definidos e a adição de comentários detalhados de validação, completando assim o ciclo de auditoria e orquestração autónoma. A Figura 3 representa, de forma geral, a arquitetura do sistema desenvolvido.

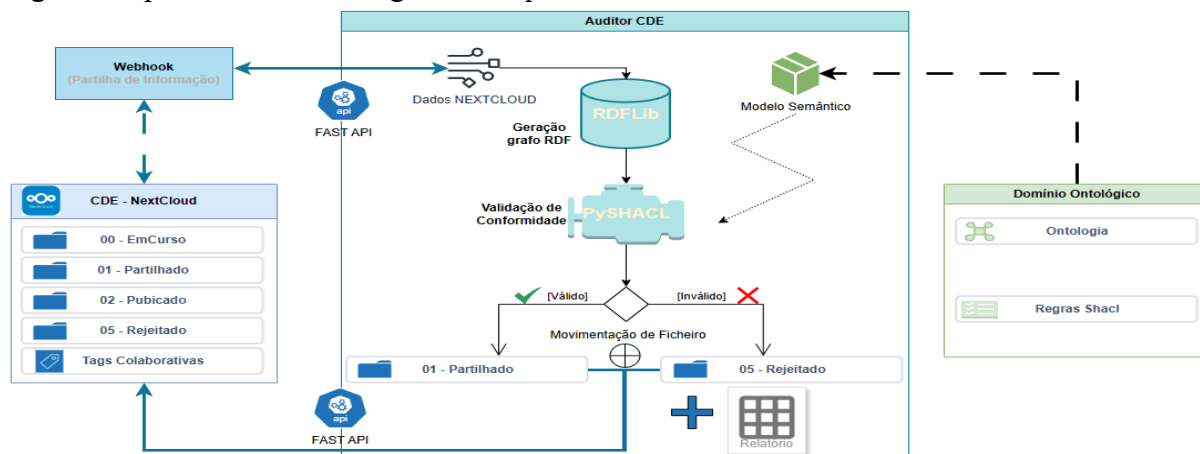


Figura 3 - Arquitetura geral do protótipo de integração

3.4. Demonstração da implementação

Tendo em conta o exposto anteriormente, a implementação proposta visa validar requisitos associados à definição de Blocos de Informação, alinhados com as orientações EIR e com o processo ISO 19650, na plataforma *Nextcloud*. A Figura 4 ilustra o processo de validação de um IC conforme com os requisitos EIR considerados.

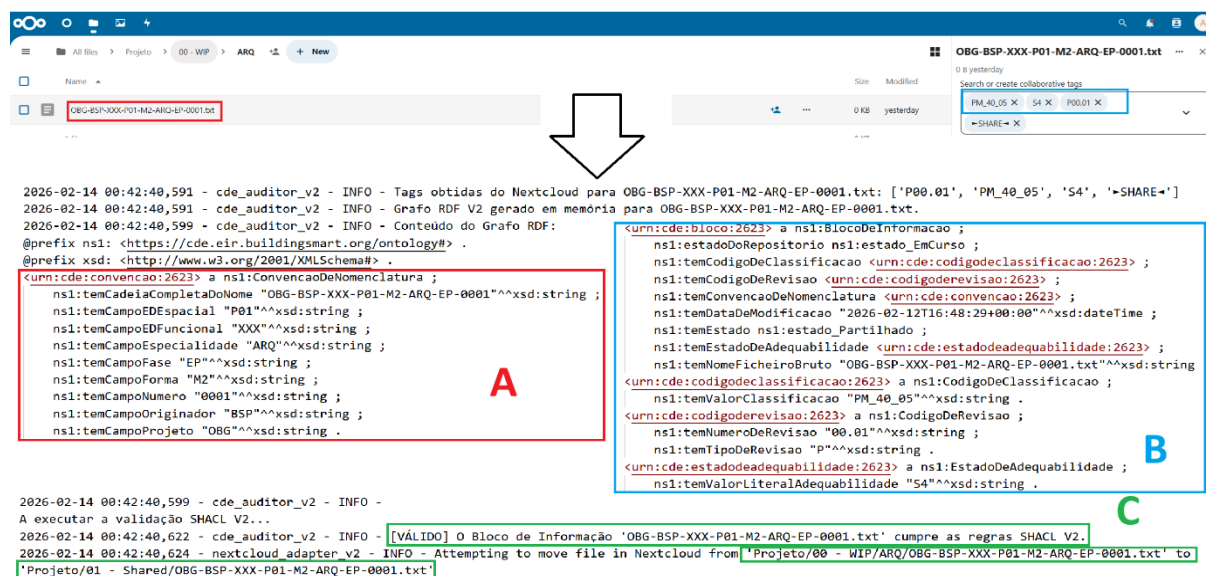


Figura 4 - Resultado da validação de um IC em conformidade com os requisitos EIR

Na Figura 4, os realces A, B e C evidenciam, respetivamente, a validação da nomenclatura, o mapeamento dos dados Nextcloud para RDF e o reporte de conformidade do IC, seguido da transição de estado em função da sua adequabilidade. Este passo demonstra a aplicabilidade da abordagem ontológica proposta para aferir e validar o cumprimento dos pressupostos definidos no EIR, contribuindo assim para a operacionalização destes requisitos através de um paradigma baseado no conhecimento.

Como complemento à demonstração, a Figura 5 apresenta o processo de validação para um caso de falha de conformidade, análogo ao exemplo anterior. Para esta demonstração, foi selecionado um exemplo de IC com erros de nomenclatura e omissão de metadados obrigatórios.

The image displays a Nextcloud interface with a file viewer and a validation report. The file 'XXX-BSP-XXX-P01-18-ARQ-SD-00001.txt' is highlighted. The validation report shows four errors (Falha 1 to Falha 4) related to SHACL rules. The errors are: Falha 1: Item: Bloco de Informação <2630> - Propriedade: 'ItemCodigoDeClassificacao' - Mensagem: 'O IC deve ter o metadado Classificação de acordo com a calusula 3.1.3(c) do EIR.'; Falha 2: Item: Convenção de Nomenclatura <2630> - Propriedade: 'Campo de Forma' - Mensagem: 'O valor do campo 'Forma' não é válido. Verifique a Tabela A.1 do EIR.'; Falha 3: Item: Convenção de Nomenclatura <2630> - Propriedade: 'Campo de Projeto' - Mensagem: 'O valor do campo 'Projeto' deve ser '000'.'; Falha 4: Item: Convenção de Nomenclatura <2630> - Propriedade: 'Campo de Fase' - Mensagem: 'O valor do campo 'Fase' não é válido. Verifique a Tabela A.3 do EIR.' The report also shows the total number of violations and the file's status.

Figura 5 - Resultado da validação de um IC em não conformidade com os requisitos EIR

A Figura 5 evidencia, no realce C, as falhas de conformidade identificadas pela validação com recurso às regras SHACL. Como consequência deste resultado, o IC é movido para a diretoria especificada e são registadas, na plataforma CDE, as indicações de correção a realizar, conforme evidenciado pelo realce D.

A demonstração recorreu a ficheiros simulados, representativos de situações conformes e não conformes, permitindo isolar o ciclo funcional da abordagem: deteção do evento no CDE, mapeamento semântico, validação SHACL e execução de ações de governação. Embora este cenário não substitua a validação com dados reais de projeto, evidencia a aplicabilidade inicial de uma camada semântica para reduzir validações manuais e desacoplar requisitos normativos de lógicas internas de uma plataforma específica.

4. Conclusões

O trabalho apresentado demonstra a viabilidade de implementar uma abordagem suportada por modelos ontológicos para a validação de Blocos de Informação em ambientes CDE. Esta evidência demonstra que a definição e implementação ontológica, para validação e automatização de processos normativos, pode contribuir para aumentar a interoperabilidade processual e reduzir a dependência de lógicas pragmáticas específicas de desenvolvimento. Através desta abordagem, sustenta-se a premissa de que é possível modelar o conhecimento e reutilizá-lo em diferentes plataformas e etapas do ciclo de vida da informação de projeto. Ao adotar um paradigma baseado no conhecimento, passível de integração com plataformas tecnológicas existentes, a definição e validação de requisitos operacionais torna-se desacoplada da lógica de implementação interna de uma plataforma, permitindo maior transparência, portabilidade e consistência na governação dos fluxos de trabalho.

Como limitação principal, a prova de conceito apresentada cobre apenas um subconjunto dos requisitos EIR, centrando-se na nomenclatura e nos metadados obrigatórios dos Blocos de Informação. A validação foi realizada em ambiente simulado e numa única plataforma CDE, pelo que os resultados devem ser interpretados como uma verificação funcional da arquitetura, e não como uma avaliação sistemática de desempenho, escalabilidade ou portabilidade. Como desenvolvimento futuro, prevê-se a expansão das regras de conformidade para requisitos contextuais, incluindo a pertinência do IC face à etapa do projeto e aos requisitos de informação estabelecidos, bem como a realização de ensaios com dados reais, maior volume de ICs, métricas de desempenho e integração numa segunda plataforma CDE.

Agradecimentos

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, ao abrigo do contrato da bolsa 2024.02327.BDANA atribuída ao 1º autor. Este trabalho foi também apoiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais no âmbito da Unidade de I&D Centro de Território, Ambiente e Construção (CTAC), com a referência UID/4047/2025 (<https://doi.org/10.54499/UID/04047/2025>); no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia (ISISE), com as referências UID/4029/2025 e UID/PRR/04029/2025, e no âmbito do Laboratório Associado Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020. Este trabalho contou também com o apoio do pacto de inovação R2U Technologies | Modular Systems, através do Sistema de Incentivos Agência para a Competitividade e Inovação – IAPMEI, I.P., financiado pelo Plano de Recuperação e Resiliência (PRR); e da empresa Amais – Soluções de Engenharia, pelo acolhimento empresarial do 1º autor.

Referências

- [1] A. Boiko, *Data-Driven Construction: Navigating the Data Age in the Construction Industry*, 2nd edn. 2025.
- [2] A. Sompolgrunk, S. Banihashemi, H. Golzad, and K. Le Nguyen, ‘Strategic alignment of BIM and big data through systematic analysis and model development’, *Autom. Constr.*, vol. 168, p. 105801, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.autcon.2024.105801.

- [3] A. Yousfi *et al.*, ‘A case-study investigating the integration of ISO 19650 and OpenBIM principles’, presented at the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE), Montréal, Québec, Canada, 2024.
- [4] J. Hetherington, and M. West, ‘The pathway towards an Information Management Framework A “Commons” for Digital Built Britain’, Centre for Digital Built Britain, 2020.
- [5] International Organization for Standardization, *ISO 19650-1:2018 – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles*, ISO 19650-1:2018, 2018.
- [6] P. Adekunle, C. Aigabvboa, W. Thwala, O. Akinradewo, and A. Oke, ‘Challenges confronting construction information management’, *Front. Built Environ.*, vol. 8, p. 1075674, Dec. 2022, doi: 10.3389/fbuil.2022.1075674.
- [7] F. H. Abanda, B. Balu, S. E. Adukpo, and A. Akintola, ‘Decoding ISO 19650 Through Process Modelling for Information Management and Stakeholder Communication in BIM’, *Buildings*, vol. 15, no. 3, p. 431, Jan. 2025, doi: 10.3390/buildings15030431.
- [8] D. Churcher, S. Davidson, M. Shana’a, and N. Pearson, ‘Smart Standards - An approach to implementing ISO 19650-2 using tasks in a digital process’, Construction Innovation Hub, 2021.
- [9] R. Doe, K. Kaur, M. Selway, and M. Stumptner, ‘Ecosystem interoperability for the architecture, engineering, construction & operations (AECO) sector’, *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 29, pp. 347–376, Apr. 2024, doi: 10.36680/j.itcon.2024.017.
- [10] Ž. Turk, ‘Interoperability in construction – Mission impossible?’, *Dev. Built Environ.*, vol. 4, p. 100018, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.dibe.2020.100018.
- [11] F. H. Abanda, A. Akintola, V. V. Tuhaise, and J. Tah, ‘Bim Ontology for Information Management (Bim-Oim)’, 2024, *SSRN*. doi: 10.2139/ssrn.4903340.