

Convergência de Universos Digitais: Oportunidades e Desafios da Integração entre USD e IFC para a Indústria AECO

Autor: José Paulo Kai, Doutor | jose.kai@uan.ao | Doutor em Mecânica das Estruturas | Departamento de Arquitetura, Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto "FEUAN" | **Orcid Id:** 0009-0006-3255-9900

Recebido: Setembro, 2025 | **Aceite:** Dezembro, 2025 | **Publicado:** Janeiro, 2026

RESUMO

A indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) enfrenta um paradigma de transformação digital impulsionado pela colisão de dois standards poderosos: o Industry Foundation Classes (IFC), que estabelece a espinha dorsal semântica para dados do edificado, e o Universal Scene Description (USD), que introduz capacidades revolucionárias de composição e desempenho para cenas 3D complexas. Este artigo analisa de forma crítica as oportunidades e os desafios inerentes a esta convergência. Através de uma metodologia qualitativa baseada em análise documental e estudo de caso, argumenta-se que a sinergia IFC-USD é

fundamental para a materialização de Gémeos Digitais de alta fidelidade, para a aceleração de fluxos de trabalho colaborativos e para a visualização de projetos de grande escala. No entanto, a realização deste potencial é condicionada por desafios técnicos profundos, como a harmonização de paradigmas de dados (semântica vs. geometria), a escalabilidade e a imaturidade do ecossistema de ferramentas. Conclui-se que a ponte IFC-USD representa a fundação para a próxima geração de interoperabilidade na AECO, exigindo colaboração setorial, desenvolvimento de standards e a evolução de competências profissionais.

Palavras-chave: USD (Universal Scene Description), IFC (Industry Foundation Classes), BIM, Interoperabilidade, Indústria AECO, Gémeo Digitais, BuildingSMART

ABSTRACT

The Architecture, Engineering, Construction, and Operation (AECO) industry is at a turning point, driven by the collision of two powerful standards: Industry Foundation Classes (IFC), which establishes the semantic backbone for built environment data, and

Universal Scene Description (USD), which introduces revolutionary capabilities for composing and managing complex 3D scenes. This paper critically analyses the opportunities and challenges inherent to this convergence. Using a qualitative methodology based on document

analysis and a case study, it argues that the IFC-USD synergy is fundamental for realizing high-fidelity Digital Twins, accelerating collaborative workflows, and visualizing large-scale projects. However, achieving this potential is constrained by profound technical challenges, such as the harmonization of data paradigms

(semantics vs. geometry), scalability, and the immaturity of the tool ecosystem. The conclusion is that the IFC-USD bridge represents the foundation for the next generation of AECO interoperability, requiring sector-wide collaboration, standards development, and the evolution of professional skills.

Keywords: USD (Universal Scene Description), IFC (Industry Foundation Classes), BIM, Interoperability, AECO Industry, Digital Twin, BuildingSMART

INTRODUÇÃO

A indústria AECO, historicamente fragmentada e com baixos índices de produtividade, tem na digitalização a sua principal alavanca de transformação. A metodologia Building Information Modeling (BIM), sustentada por standards abertos, tem sido o motor desta mudança. O formato IFC, desenvolvido e mantido pela buildingSMART International, consolidou-se como o standard aberto e neutro para a troca de dados semânticos, garantindo a interoperabilidade entre as diversas aplicações de software ao longo do ciclo de vida do ativo (Liebich et al., 2013).

Paralelamente, oriundo da indústria do entretenimento, o USD emerge como uma tecnologia disruptiva. Concebido pela Pixar, o USD não é um mero formato de ficheiro, mas um ecossistema completo para a composição, partilha e edição não destrutiva de cenas 3D complexas e hierárquicas (Pixar Animation Studios, 2021). A sua adoção por gigan-

tes tecnológicos como NVIDIA, Apple e Adobe sinaliza o seu potencial como um metaverso para dados 3D.

A interseção entre o IFC, rico em semântica, e o USD, de alto desempenho visual, cria um novo campo de possibilidades para a AECO. Este artigo tem como objetivo principal analisar as oportunidades e os desafios críticos desta convergência, procurando responder a como esta sinergia pode redefinir os fluxos de trabalho, a colaboração e a gestão do ciclo de vida de ativos construídos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. O IFC: A ESPINHA DORSAL SEMÂNTICA DO BUILT ENVIRONMENT

O IFC é um esquema de dados abrangente, formalizado como padrão ISO 16739. A sua arquitetura é construída em torno de um modelo de dados orientado a objetos, capaz de representar não apenas a geometria dos elementos de construção, mas também as suas propriedades, relações e classificações.

A sua principal força reside na sua neutralidade face aos fornecedores e na sua capacidade de preservar o significado dos dados (ex.: uma viga é um elemento estrutural com propriedades mecânicas específicas), sendo fundamental para análises de engenharia, planeamento e gestão de ativos (Borrmann et al., 2018). Contudo, o formato enfrenta limitações em cenários que exigem alta performance visual, representação de estados temporais dinâmicos e composição eficiente de modelos de múltiplas disciplinas.

2.2. O USD: O TECIDO DA COMPOSIÇÃO DE CENAS E DA EXPERIÊNCIA

O USD foi desenvolvido para resolver problemas de escala e colaboração na produção de animação. As suas características fundamentais incluem:

Composição Não-Destrutiva: Permite a sobreposição de dados de múltiplas fontes (geometria, materiais, animações) sem alterar os ativos originais, através de operações como referencing, payloads e sublayers.

Extensibilidade: O seu esquema pode ser estendido para domínios específicos, como a AECO, permitindo a anexação de dados semânticos aos objetos geométricos.

Desempenho e LOD: Suporte nativo para Levels of Detail (LOD), essencial para a visualização fluida de modelos de construção massivos.

Tempo e Variantes: Suporte intrínseco para animação e para a gestão de diferentes opções de design (variants), ideal para simulações e fases de estudo de alternativas.

Enquanto o IFC modela a "inteligência" do edificado, o USD modela a sua "experiência" visual e temporal.

3. METODOLOGIA

Este artigo adota uma abordagem de investigação qualitativa, baseada numa revisão crítica da literatura e análise documental. As fontes primárias incluem a documentação oficial da buildingSMART International sobre o IFC, a documentação da Pixar e NVIDIA sobre o USD, e publicações académicas recentes sobre interoperabilidade e Gémeos Digitais.

Complementarmente, é incorporada uma análise de um estudo de caso prático: o projeto "NVIDIA USD for BIM". Este projeto serve como um protótipo vivo para a análise empírica dos desafios e oportunidades da convergência.

A metodologia envolve a desconstrução do pipeline proposto pela NVIDIA, que inclui a conversão de modelos IFC para USD, a extensão do esquema USD com dados AECO e a visualização do modelo composto em ambientes de realidade virtual. Esta análise prática permite validar e contextualizar as afirmações teóricas, identificando pontos de fricção e sucesso na integração.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise da literatura e do estudo de caso permite uma discussão estruturada sobre as implicações da convergência IFC-USD.

4.1. OPORTUNIDADES SINÉRGICAS VALIDADAS

Gémeos Digitais Interativos: O caso da NVIDIA demonstra que o USD pode atuar como o "motor de rendering" para um Gémeo Digital, figura 1, onde os dados semânticos do IFC (ex.: especifica-

ções de um equipamento) são acedidos através de extensões do esquema USD, enquanto dados de sensores em tempo real são sobrepostos na cena, criando uma réplica dinâmica e interativa do ativo físico.

Coordenação Multidisciplinar em Tempo Quase Real: A análise confirma que a composição não-destrutiva do USD pode agilizar significativamente os processos de coordenação. As equipas de especialidades podem publicar os seus modelos em USD, que são agregados instantaneamente

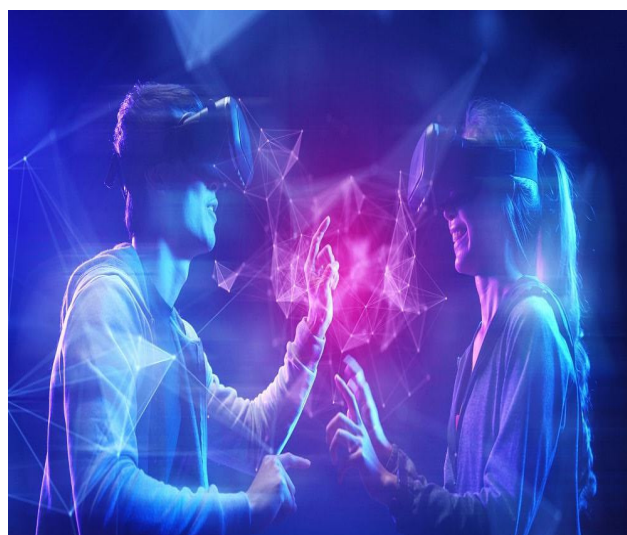
para deteção de interferências, reduzindo a dependência de ciclos de exportação/importação demorados.

Visualização de Mega-Projetos e Storytelling: Verificou-se que o USD é superior no manuseamento de cenas de escala urbana e infraestrutural, permitindo a navegação fluida e a criação de narrativas de projeto (ex.: sequências de construção animadas) que são incomparáveis com as ferramentas de visualização tradicionais da AECO.

Figura 1: Apresentação de USD como oportunidades



Gémeo Digital



Metaverso

Fonte: Imagens retiradas da Internet

4.2. DESAFIOS CRÍTICOS IDENTIFICADOS

O Abismo Semântico-Geométrico: O estudo de caso da NVIDIA revela que a conversão IFC-to-USD é um processo não trivial. Enquanto a geometria é geralmente traduzida com sucesso, as relações hierárquicas complexas (ex.: a agregação de espaços) e os dados de propriedade podem sofrer perdas ou achatamento, exigindo o desenvol-

vimento de mapeamentos inteligentes e a extensão do esquema USD para preservar a semântica. A viagem de volta (USD-to-IFC) é identificada como um desafio ainda maior.

Escalabilidade para a Complexidade da Construção: Embora o USD seja performante, os modelos de construção com milhões de objetos únicos e geometria de alta resolução (ex.: modelos de esca-

neamento a laser) pressionam os pipelines atuais. São necessárias estratégias avançadas de organização de cenas, payloads e LOD para garantir a usabilidade.

Imaturidade do Ecossistema e Dependência de Fornecedores: A análise confirma que o suporte ao USD nas aplicações BIM mainstream (Revit, ArchiCAD) é incipiente ou dependente de plugins desenvolvidos por terceiros. Isto cria uma dependência de soluções de fornecedores específicos (como a NVIDIA), podendo comprometer a neutralidade que o IFC procurava garantir. A indústria carece de fluxos de trabalhos padronizados e de uma massa crítica de profissionais qualificados.

5. CONCLUSÃO

A convergência entre o IFC e o USD não é uma moda passageira, mas uma evolução tecnológica estratégica com o potencial de redefinir a interoperabilidade na indústria AECO. Conclui-se que a sinergia é viável e extremamente benéfica, particularmente para o desenvolvimento de Gêmeos Digitais e para a melhoria radical da colaboração visual. No entanto, o caminho para a sua adoção generalizada está repleto de desafios técnicos e processuais que não podem ser subestimados.

Com base na análise realizada, apresentam-se as seguintes recomendações:

1. Para a buildingSMART International e Órgãos de Padronização: Desenvolver e ratificar formalmente um schema de extensão USD para a AECO, garantindo o alinhamento perfeito com o IFC. Esta ação é fundamental para evitar a fragmentação e garantir a fidelidade semântica.
2. Para os Fornecedores de Software: Acelerar a integração nativa de capacidades de importação e exportação USD nas suas plataformas BIM, garantindo a preservação dos dados semânticos do IFC durante a conversão.

3. Para a Academia e Centros de Investigação: Investir no desenvolvimento de pipelines de conversão open-source robustos e na investigação de técnicas de compressão e organização de dados USD otimizadas para modelos de construção.

4. Para as Empresas e Profissionais da AECO: Iniciar a formação e o desenvolvimento de competências em USD e nos novos fluxos de trabalho que ele possibilita. A participação em projetos-piloto é crucial para compreender na prática o impacto na organização e nos processos.

A ponte entre o IFC e o USD é, em última análise, a construção de um ecossistema de dados mais rico, interligado e performante. A sua concretização bem-sucedida exigirá uma colaboração sem precedentes entre todos os atores da indústria, mas promete inaugurar uma nova era de eficiência, transparência e inovação para o setor da construção.

BIBLIOGRAFIA

Borrmann, A., König, M., Koch, C., & Beetz, J. (Eds.). (2018). Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice. Springer International Publishing.

Fuchs, S., Forster, B., & Borrmann, A. (2023). Towards Digital Twins in Construction: A Review of the Role of USD and IFC. In Proceedings of the 2023 European Conference on Computing in Construction.

Liebich, T., Wix, J., & See, R. (2013). Information Delivery Manual: Guide to Components and Development Methods. buildingSMART International.

NVIDIA. (2023). NVIDIA USD for BIM: Developing Open Standards for AEC. NVIDIA Developer Tech Brief. Disponível em: <https://developer.nvidia.com/usd/bim>

Pixar Animation Studios. (2021). Universal Scene Description: Overview. [Documentação Oficial USD]. Disponível em: <https://openusd.org/release/index.html>