

DESENHO VIRTUAL E CONSTRUÇÃO: UMA INTERFACE ENTRE O BIM E AWP EM EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS

VIRTUAL DESIGN AND CONSTRUCTION: AN INTERFACE BETWEEN BIM AND AWP IN SUSTAINABLE BUILDINGS

Data de aceite: 01/09/2024 | Data de submissão: 30/08/2024

Cristiane do Bom Conselho Sales Alvarenga, Doutora em Engenharia de Estruturas. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil. crisbcs@gmail.com / <https://orcid.org/0000-0002-5309-2020>

Rosemary do Bom Conselho Sales, Doutora em Engenharia Mecânica. Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Belo Horizonte, Brasil. rosemary.sales@uemg.br / <http://orcid.org/0000-0002-9475-0835>

Rodrigo Barreto Caldas, Doutor em Engenharia de Estruturas. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil. caldas@dees.ufmg.br / <https://orcid.org/0000-0002-0851-7632>

Maria Teresa Paulino de Aguiar, Doutora em Engenharia Metalúrgica. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil. teresa@ufmg.br / <https://orcid.org/0000-0002-0121-0881>

RESUMO

As tecnologias digitais representam avanços para o setor da construção civil e podem promover o seu processo de transformação com edificações mais sustentáveis. Nesse sentido, estratégias como *Virtual Design and Construction* (VDC) integradas ao *Building Information Modeling* (BIM) e ao *Advanced Work Packaging* (AWP), destacam-se como potenciais caminhos para a criação de um sistema de produção limpo, colaborativo e compartilhado. Tais estratégias, buscam maior eficiência no uso de recursos naturais como água, energia e materiais, além de melhoria para a qualidade de vida das pessoas. Nesse artigo, um estudo de caso descreve os meios e os métodos utilizados na interface entre o BIM e AWP além do estado da arte dos assuntos abordados. Os resultados mostraram que mudanças no modelo de gestão tradicional permitem a integração do BIM e AWP e podem promover transformações no setor em todas as etapas de uma edificação com qualidade, produtividade, confiabilidade e segurança.

Palavras-chave: Construções Sustentáveis; BIM; AWP; VDC.

ABSTRACT

Digital technologies represent advances for the construction sector and can promote its transformation process with more sustainable buildings. In this sense, strategies such as *Virtual Design and Construction* (VDC) integrated with *Building Information Modeling* (BIM) and *Advanced Work Packaging* (AWP) stand out as potential ways to create a clean, collaborative and shared production system. These strategies seek greater efficiency in the use of natural resources such as water, energy and materials, as well as improving people's quality of life. In this article, a case study describes the means and methods used in the interface between BIM and AWP, as well as the state of the art of the subjects covered. The results show that changes in the traditional management model allow the integration of BIM and AWP and can promote transformations in the sector at all stages of a building with quality, productivity, reliability and safety.

Keywords: Sustainable Buildings; BIM; AWP; VDC.

1. INTRODUÇÃO

Desde as décadas de 1960 e 1970 o mundo tem se preocupado cada vez mais com a escassez de recursos naturais, aumento da poluição, desmatamento e os impactos sociais e ambientais decorrentes do acelerado crescimento industrial (GAO *et al.*, 2021). Em 1972 um grupo de cientistas do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) elaborou o relatório intitulado “Os Limites do Crescimento” onde foi declarado que, se a humanidade continuasse a consumir os recursos naturais de forma inconsequente, eles se esgotariam em menos de 100 anos (MEADOWS; RANDERS; MEADOWS, 1978). Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu os objetivos do desenvolvimento sustentável, os quais deveriam ser alcançados até 2030. Dentre esses objetivos destacam-se: construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização sustentável e fomentar a inovação (UNITED NATION, 2015). Tal preocupação é relevante uma vez que o mercado global de construção e infraestrutura é avaliado em US\$ 2,72 trilhões de dólares, devendo atingir US\$ 3,69 bilhões até 2029, com taxa de crescimento anual de 6,27% (INFRASTRUCTURE SECTOR MARKET SIZE & SHARE ANALYSIS, 2024). Associado a esse elevado desempenho econômico a indústria da construção civil é responsável por vários impactos ambientais.

Neste contexto, os projetos e construções da próxima geração, devem buscar minimizar os impactos ambientais negativos, com um melhor equilíbrio entre os prazos e custos de construção e operação, além de atender as necessidades dos usuários, no contexto da sua interação com o entorno (ANDERSSON *et al.*, 2022). Com isso, os princípios de sustentabilidade devem ser incorporados aos processos das construções (CHEN; SONG; GAO, 2023) e um dos caminhos para se alcançar tais metas seria a adoção da construção inteligente (LIU *et al.*, 2022). Apesar de não haver uma definição consensual sobre construção inteligente, ela envolve uma série de práticas que devem ser adotadas na análise do ciclo de vida do empreendimento, que vão desde o planejamento até a execução da obra. Tais práticas visam a sinergia entre equipes, coordenação de documentações, extrações de quantitativos e uma integração sistêmica para verificar de forma antecipada as possíveis interferências. Por ser uma abordagem inovadora a construção inteligente possibilita otimizar os processos de análises das características físicas e funcionais das edificações, como previsões de desempenho energético e comportamento térmico, buscando melhorar o conforto e o bem-estar dos usuários (DI STEFANO; RUTA; MASERA, 2023).

Dessa forma, o uso integrado de tecnologias digitais poderá auxiliar no processo de gestão promovendo a transformação do setor em todas as etapas da edificação, com qualidade, produtividade, confiabilidade e segurança (XU *et al.*, 2022). As estratégias de VDC integradas ao BIM e ao AWP se apresentam como potencial recurso às novas estruturas de gerenciamento de projetos para criar um sistema de produção colaborativo, compartilhado e sustentável.

O objetivo desse estudo é analisar a contribuição das práticas AWP integradas ao BIM para maximizar os resultados da aplicação do *Virtual Design and Construction* (VDC). Para tal foi feita uma pesquisa exploratória, descritiva e prescritiva, para a

compreensão detalhada do que está sendo estudado (GIL, 2022) (FEFERBAUM, 2022). Com base no estado da arte buscou-se identificar no mercado de construção uma aplicação prática dos meios e dos métodos utilizados, para melhorar a performance das empresas em projetos de grande complexidade com inovação e sustentabilidade (HANISCH, 2024). Desse modo, para a aplicação prática escolhida será apresentado um estudo de caso com uso das duas metodologias integradas BIM e AWP no contexto do VDC.

2. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A fim de estruturar um direcionamento para compreender a utilização do BIM, AWP e do VDC na indústria da construção, o presente estudo foi conduzido em duas etapas sendo a primeira para apresentar o estado da arte sobre os temas abordados e na segunda etapa desenvolveu-se um estudo de caso real aplicando as tecnologias propostas em um projeto de capital.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Inicialmente foi feito um levantamento da literatura em publicações e artigos existentes, buscando identificar uma base de dados para compreender o *status* atual e o entendimento geral da adoção do BIM e AWP no contexto do VDC. Isso inclui definições, aplicações, benefícios econômicos e práticos, que podem proporcionar uma maior promoção das tecnologias dentro da indústria da construção. Após a investigação, exploratória, descritiva e prescritiva, para a compreensão detalhada do que está sendo estudado, obteve-se uma lógica geral da aplicação das metodologias em um estudo de caso real de um projeto de capital.

3.1. Transformação Digital

A transformação digital permite que as empresas alcancem maior eficiência e flexibilidade, otimizem os processos produtivos, gerem propostas de valor para os ecossistemas com inovação e respondam em tempo hábil às necessidades do mercado (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019; FELICIANO-CESTERO *et al.*, 2023; QUEIROZ *et al.*, 2020). Além disso, é essencial que as empresas mantenham a sua competitividade no mercado e permaneçam no caminho da inovação tecnológica (RACHINGER; KORAJMAN; ROPPOSCH, 2019). Dessa forma, a busca por soluções digitais integradas que suportem esse processo, pode alavancar resultados sustentáveis em projetos de capital e infraestrutura. De acordo com a ONU, até 2050 a população mundial será de 9,7 bilhões de pessoas e a indústria da construção deve buscar formas mais inteligentes e eficazes de projetar e construir (ONU, 2019). Alinhado com as tendências globais as empresas devem direcionar esforços em projetos que estejam conectados aos objetivos de desenvolvimento sustentável. Para garantir um planeta vivo e uma vida de qualidade para as gerações futuras, todos devem colaborar digitalmente para

superar as barreiras culturais. A meta deve ser, criar modelos de gestão mais duradouros, além de refletir sobre diferentes formas de obter valor e recompensa nos projetos (IPA, 2021). Nesse sentido, o setor da construção se esforça para inovar e incorporar a seus processos as novas tecnologias digitais, de modo a melhorar os sistemas operacionais e de negócios (CROMPTON, 2021).

Assim, práticas que corroboram com a economia, aumento de produtividade e sustentabilidade, ganham força em todo o mundo. A integração transdisciplinar do *Building Information Modeling* (BIM), o *Advanced Work Packaging* (AWP) e a *Internet of Things* (IoT) contribuem para melhorar os resultados em projetos de grande complexidade. Essas práticas incorporadas ao ciclo de vida do empreendimento, nas fases iniciais de projeto (conceitual, básico e de detalhamento), na construção, na operação e manutenção de sistemas estruturais industriais, favorecem a comunicação e a colaboração entre as equipes. Isso reflete na melhoria de produtividade e na redução de prazos e custos. Segundo Weiking *et al.* (2020) a transição para a digitalização das indústrias é crucial para as empresas manterem a vantagem competitiva e aproveitarem novas oportunidades. Da mesma forma, Gierej (2017) analisa o impacto que a IoT tem na economia e nos modelos de negócio. Porém, em uma perspectiva de ecossistema, essas práticas devem influenciar as estratégias de tecnologias da informação, em uma sucessão de abordagens transformacionais da Indústria 4.0 (WOODHEAD; STEPHENSON; MORREY, 2018). Com esse desenvolvimento crescente a construção civil está sendo impulsionada para adotar ferramentas que sejam capazes de apoiar os processos de produção em plataformas integradas, o que está redefinindo a forma como as empresas operam.

3.2. *Building Information Modeling* (BIM)

O *Building Information Modeling* (BIM) é uma metodologia que utiliza diversas ferramentas com foco em colaboração e compartilhamento de informações que reflete um avanço digital no domínio da construção. Por ser um processo que envolve a criação e gestão de representações digitais das características físicas e funcionais de uma edificação, ele pode apoiar na gestão do ciclo de vida da construção, incluindo a avaliação, concepção, planejamento, projetos, construção, funcionamento, manutenção, modificação e demolição (IDRISSI GARTOUMI; ZAKI; ABOUSSALEH, 2023). O BIM permite análise de alternativas e acrescenta valor na gestão de dados relevantes sobre as condições atuais dos edifícios (CHEN *et al.*, 2024). Embora não exista uma única definição para a metodologia BIM, o *Handbook* conceitua como uma “tecnologia capaz de criar um ou mais modelos virtuais precisos de uma construção, oferecendo suporte ao projeto em todas as etapas do ciclo de vida, o que permite melhores análises e controles se comparado aos processos manuais, e contêm geometria e dados precisos para apoiar as atividades de construção, fabricação e aquisições de uma construção (SACKS *et al.*, 2018). Para Teulier e Bagieu (2024) o BIM também é uma representação compartilhada de ativos construídos que facilitam os processos de projeto, construção e operação. Apesar de vários estudos explorarem os benefícios e desafios do BIM (CHUANG; YANG, 2023) ainda faltam investigações sobre o seu

papel na fase de fim de vida do ativo, do impacto ambiental, e da viabilidade econômica do bem construído (LI *et al.*, 2021). Prevê-se que a dimensão do mercado mundial em BIM em 2027 irá atingir 15,06 bilhões de dólares, com uma taxa anual de crescimento de 10,7 % entre os anos de 2020 e 2027 (HUANG; NINIĆ; ZHANG, 2021). Este aumento demonstra que a indústria da construção reconhece o valor do BIM, em termos de melhoria dos procedimentos na gestão de projetos de construção e de infraestruturas (NIKOLOGIANI; MAYOUF; GULLINO, 2022). Dessa forma, os projetos que utilizaram o BIM podem alcançar diferentes benefícios como: redução nos custos geral em até 20 % (ZHANG *et al.*, 2022), redução de tempo em até 7 % devido a melhorias na cooperação e entre as partes interessadas (ZHENG; ZHANG; LIN, 2023), redução nos custos de manutenção de 30 % a 40 % e nas atividades de sustentabilidade melhoram a eficiência energética de 7 % a 10 %, além de reduzir as emissões de carbono de 20 % e 30 % (ABUHUSSAIN *et al.*, 2024).

Dessa forma, o BIM é considerado um processo colaborativo baseado em modelos digitais que contemplam informações e dados sobre um projeto de construção ao longo de seu ciclo de vida. Essa abordagem compreende não apenas a geometria tridimensional dos elementos, mas fornece informações sobre propriedades, relações e as suas características (SAKIN; KIROGLU, 2017). Esses atributos podem fornecer dados como: *tag*, dimensões, elevações, coordenadas, peso, materiais, *status*, empacotamentos, fases de instalações entre outras atividades, necessárias para a engenharia, construção e operação. No entanto, o BIM usualmente fornece dados estáticos do ambiente construído e não pode ser atualizado em tempo real sem fontes de dados adicionais (TANG *et al.*, 2019). Com a chegada da IoT, entendida como interconexões de dispositivos e sensores capazes de realizar trocas de informações em diferentes plataformas (GUBBI *et al.*, 2013), possibilitou a detecção e uma maior integração e sincronização de dados. Estudos de Aram e Eastman (2013) mostram que as ferramentas de modelagem BIM integradas a IoT podem promover um eficiente gerenciamento do ciclo de vida da construção. Assim, o BIM e a IoT podem auxiliar no monitoramento em tempo real do processo, com melhor colaboração entre as partes interessadas, eficiência dos processos, redução de erros e retrabalho (DAVE *et al.*, 2018; LEE; CHA; PARK, 2016; LI *et al.*, 2018).

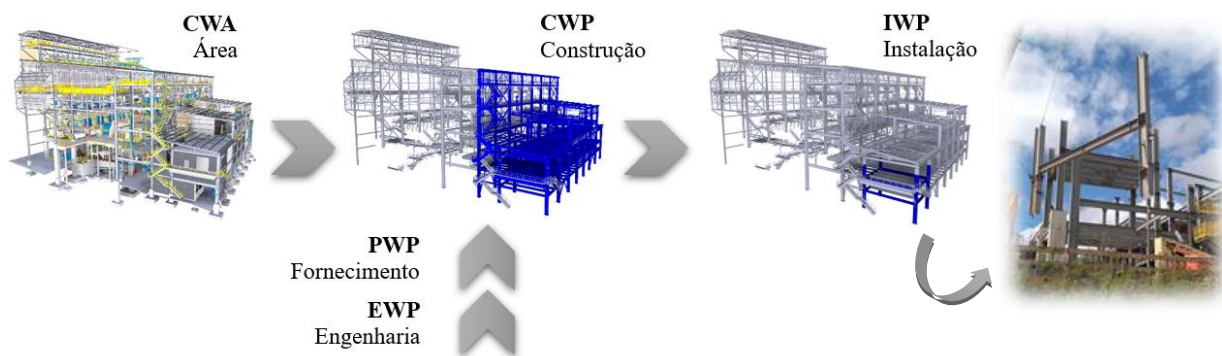
No Brasil a adoção do BIM teve um significativo crescimento nos últimos anos. O Governo Federal criou em 2017 o Comitê Estratégico de Implementação do BIM para impulsionar a utilização do BIM em nível nacional. Em 2020 o governo publicou o Decreto nº 10.306 com diretrizes para promover a transformação digital na indústria da construção e mais recente a Lei de Licitações, nº 14.133 de 2021 onde estabelece que “nas obras e serviços de engenharia e arquitetura, será adotado a tecnologia BIM ou processos similares, mais avançados que venham a substituí-lo. Contudo, o BIM no ambiente de construção ainda apresenta limitações, mas o seu uso, desde a concepção do projeto, irá facilitar o trabalho fornecendo informações qualificadas para controlar o empreendimento (SODRÉ, 2021). Com foco nos estágios iniciais, a integração transdisciplinar e a incorporação de outras práticas aos processos BIM como o *Advanced Work Packaging* (AWP) se

complementam no atendimento aos requisitos de sustentabilidade das construções (HALALA; FAYEK, 2019).

3.3. *Advanced Work Packaging (AWP)*

O *Advanced Work Packaging (AWP)* é uma abordagem sistemática para melhorar a capacidade, a produtividade e a previsibilidade das construções, por meio da integração das atividades, ao longo do ciclo de vida do projeto. Ele foi criado pelo *Construction Industry Institute (CII)* para superar os desafios de custos e prazos por meio do planejamento de engenharia, orientado pelo sequenciamento da construção (SHAMSHIRI; RYU; PARK, 2024). O AWP se consolidou como um *framework* que pode ser utilizado para dividir o escopo do projeto em pacotes gerenciáveis de trabalho com foco no planejamento e execução, a fim de alcançar maior produtividade e maior previsibilidade (HAMDI, 2013). Segundo a norma industrial RT-272-1 (CII, 2013) os benefícios da adoção do AWP são percebidos tanto no aumento da produtividade quanto na redução dos custos. Embora, o processo de divisão em pacotes seja feito de forma distinta para cada projeto, existe um consenso na formalização dos termos relevantes da metodologia. Dessa forma, o CII classificou os pacotes de trabalho em: *Construction Work Area (CWA)*; *Construction Work Package (CWP)*; *Installation Work Package (IWP)*; *Procurement Work Package (PWP)* e *Engineering Work Packages (EWP)*; conforme mostrado na imagem da **Erro! Autoreferência de indicador não válida..**

Figura 1: Classificação dos pacotes de trabalho na metodologia AWP em projeto de capital.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O *Construction Work Area (CWA)* é definido por limites físicos e lógicos estabelecidos pelo plano de execução do projeto, para se relacionar com as divisões do escopo. A CWA se divide em disciplinas (mecânica, tubulação, elétrica, dentre outras) e em atividades que formam o *Construction Work Package (CWP)*, uma divisão lógica e controlável do trabalho no âmbito da construção. O CWP corresponde as atividades listadas no cronograma *master* do projeto. O *Installation Work Package (IWP)* é subdivisão do CWP e deve ser definido na fase de construção, para determinar um fluxo de trabalho programado para um período de uma a duas semanas. Os *Engineering Work Packages (EWP)* estão diretamente relacionados a um CWP e formam o conjunto necessário e suficiente de documentos técnicos de engenharia para que o trabalho seja executado em sua totalidade. De forma semelhante, o *Procurement Work Package (PWP)* refere-se as

entregas de fornecimento para um determinado CWP, contendo todos os materiais necessários para executar as atividades na construção na quantidade correta e no momento adequado (AWP INSTITUTE, 2024).

Os pacotes de trabalho em suas diferentes fases do empreendimento, ou seja, o EWP (na engenharia), PWP (no fornecimento), CWP (na construção) e IWP (na instalação) contribuem para a redução das atividades que não agregam valor, para a redução dos desperdícios, com menores quantidades de resíduos e custos mais baixos (SCHIMANSKI *et al.*, 2019). Sob essa lógica a metodologia AWP permite que as equipes de suprimentos priorizem as aquisições e as entregas dos PWPs de acordo com o sequenciamento de execução da obra, o que contribui para melhorar a produtividade e previsibilidade em Projetos de Capital (DALLASEGA; RAUCH; LINDER, 2018; SCOTT HOOD; ISATTO; FORMOSO, 2019). Contudo, a transformação digital não depende somente das tecnologias BIM e AWP, mas também da melhoria dos processos e da capacitação das pessoas e das empresas que pode ser alcançado fazendo uso de práticas como o VDC.

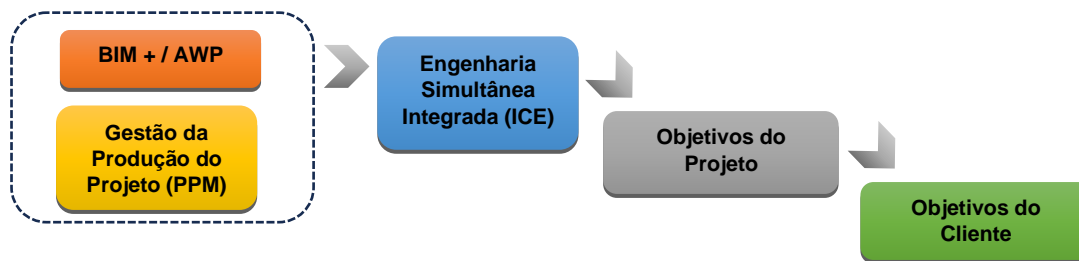
3.4. *Virtual Design and Construction* (VDC)

O *Virtual Design and Construction* (VDC) é uma estrutura para gerenciamento de projetos desenvolvida no Centro de Engenharia de Instalações Integradas (CIFE) da *Stanford University* que é um instituto de pesquisa situado na Califórnia, Estados Unidos da América. O VDC tem como objetivo melhorar o planejamento, concepção, construção e operação de projetos de construção por meio da gestão combinada e por meio métodos de colaboração, regime de produção e tecnologias digitais. Ele favorece estratégias de pesquisa e desenvolvimento para melhorar a confiabilidade, produtividade, inovação e sustentabilidade na construção (CIFE, 2024). Essa abordagem é especialmente importante em projetos de grande complexidade, visto que ele integra tecnologias digitais e práticas, juntamente com conceitos de *Lean Construction* (Construção Enxuta), para otimizar o ciclo de vida de um projeto, desde a concepção até a entrega (RAFSANJANI; NABIZADEH, 2023).

Assim, o VDC utiliza ferramentas para melhorar o design, o planejamento, a construção, a gestão de recursos, bem como a visualização, quantificação e gestão de dados, principalmente em projetos de maior escala (ASLAM; GAO; SMITH, 2021). No projeto, a adoção da modelagem BIM permite uma melhor compatibilização entre disciplinas, detecção de interferências (*clash detection*), quantificação de materiais, planejamento da obra 4D, previsão de custos 5D, entre outros. Na construção é possível melhorar a gestão de materiais, tanto no recebimento, diligenciamento, armazenamento e entrega de materiais em campo, com melhora nos índices de produtividade KPI's (*Key Performance Indicators*). Ele ainda pode auxiliar na operação e manutenção das plantas industriais (XU; XU; LI, 2018). De acordo com Rischmoller *et al.*, (2018) no VDC o gerenciamento da produção do projeto é utilizado para organizar e controlar as atividades de trabalho. Quando comparado aos métodos convencionais, ele aplica ferramentas e técnicas normalmente empregadas na gestão industrial e de produção (incluindo materiais, informações, equipamentos e mão de obra) e busca-se com isso, otimizar o

desempenho para alcançar avanços na qualidade, reduzindo custos e prazo, eliminando o desperdício, melhorando a produtividade nas atividades realizadas. Autores como Fosse, Ballard e Fischer (2017) afirmam que esta abordagem utiliza novas tecnologias colaborativas e equipes multidisciplinares, para melhorar a comunicação entre as diferentes partes interessadas do projeto nas fases de pré-planejamento, design, construção e os modelos VDC favorecem o acesso aos dados compartilhados aos envolvidos (proprietários, arquitetos, engenheiros, empreiteiros, dentre outros). A **Erro! Autoreferência de indicador não válida.** apresenta uma estrutura do VDC proposta pela *Stanford University* com a integração de ferramentas, processos e equipes alinhadas a um objetivo comum, que atenda aos interesses do projeto e do cliente.

Figura 2: Estrutura VDC seguindo conceito da *Stanford University*.



Fonte: Adaptado de Rafsanjani e Nabizadeh (2023).

O *Project Production Management (PPM)* refere-se aos processos utilizados para desenvolver as atividades suportadas por ferramentas de modelagem BIM. O termo "BIM+" na estrutura VDC é atribuído a aplicativos BIM avançados que permitem compreender, controlar e aprimorar a entrega do projeto definindo a sua variabilidade, planejamento do fluxo de trabalho e recursos necessários.

O *Integrated Concurrent Engineering (ICE)* tem o intuito de organizar as equipes multidisciplinares em reuniões para avaliarem as atividades de forma rápida e com isso reduzir o tempo de tomada de decisões. Busca-se com isso, aprimorar a qualidade dos resultados e uma melhor integração entre as diferentes disciplinas. Além disso, modelos virtuais permitem estimar o desempenho e comparar o que foi previsto versus o que foi realizado, para alcançar os objetivos do projeto (KUNZ; FISCHER, 2020). A metodologia BIM é um processo essencial nas sessões de ICE, pois permite apresentar os desafios do projeto para as equipe e clientes por meio da aquisição de dados e visualizações 3D e com isso apoiar as tomadas de decisões. O VDC alinha principalmente novas tecnologias baseadas em BIM para repensar os processos de trabalho e para alcançar a maior eficiência na concepção e construção de projetos (FOSSE; BALLARD; FISCHER, 2017). Isso exige a aplicação de ferramentas adequadas aos processos otimizados, coordenados por pessoas treinadas, capacitadas e engajadas em um propósito comum.

Para garantir o cumprimento dos objetivos torna-se necessário monitorar métricas específicas. Devem ser escolhidos indicadores chaves, *Key Performance Indicators (KPI)* com base nos objetivos do cliente (desempenho, operação, sustentabilidade e

segurança) nos objetivos de projeto (tempo, custos, número de questões resolvidas) e nos fatores gerenciáveis (qualidade e satisfação). Essas métricas são importantes para identificar as correções necessárias visando uma melhoria contínua do processo.

As metodologias BIM e VDC possuem muitos pontos em comum e, portanto, costumam ser confundidas. Ambas se baseiam na colaboração e na comunicação inteligente, contudo, o VDC é mais abrangente, pois utiliza modelos BIM para planejar os processos de construção, englobando elementos como orçamento, estimativa de custos e planejamento (4D, 5D, dentre outros). Permite também que às equipes interajam para atingir de forma mais eficiente os objetivos esperados. Rafsanjani e Nabizadeh (2023) afirmam que a indústria da construção está passando por mudanças tecnológicas significativas e que elas estão moldando o seu futuro. Neste sentido é necessário explorar os caminhos para alcançar maior produtividade, com uso de ferramentas integradas ao VDC, da mesma forma a modelagem BIM associada ao AWP podem promover maior eficácia na execução das atividades, orientado pelo sequenciamento da construção, nos custos e nos prazos planejados. Após a investigação, exploratória, descritiva e prescritiva, sobre os assuntos abordados, obteve-se uma lógica geral da aplicação das metodologias BIM e AWP integradas ao VDC necessárias para desenvolver o estudo de caso real de um projeto de capital.

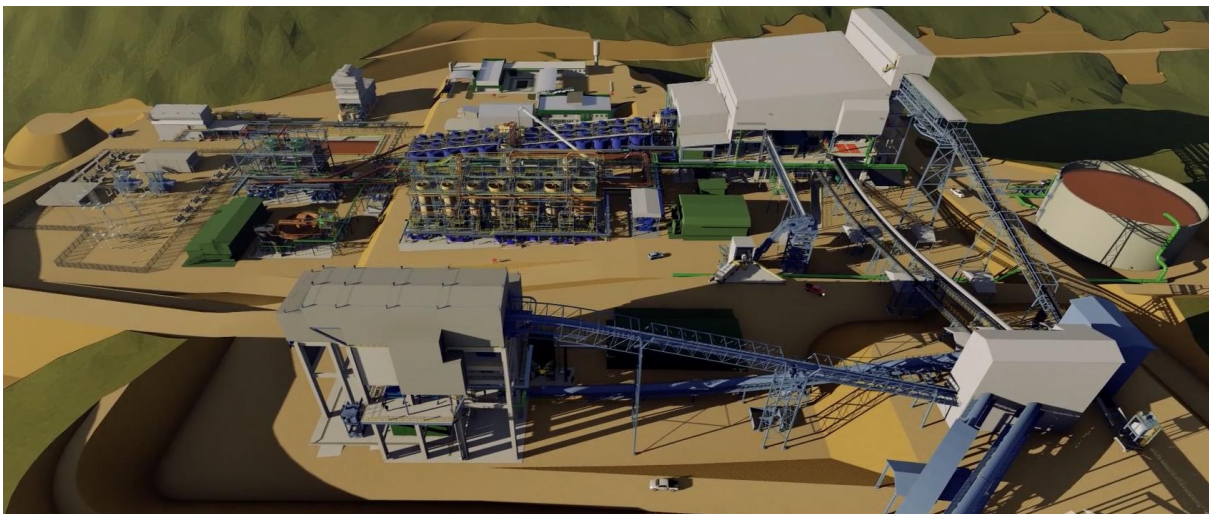
4. DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O projeto selecionado para o estudo de caso foi uma planta industrial - Salobo III da Vale, onde a autora correspondente desse artigo participou como integrante da equipe de engenharia e construção. Ressalta-se que esse projeto foi eleito como destaque no *InovaInfra 2022* (VERUM PARTNERS; VALE, 2022). O presente estudo centrou-se na compreensão da adoção das metodologias BIM e AWP integradas ao VDC. A estratégia adotada no estudo de caso, facilitou o acesso às informações provenientes das equipes de engenharia mostrando o papel que elas desempenham em casos reais de construção. Os principais participantes que estruturaram as diretrizes para integrar BIM e AWP foram profissionais capacitados que lideraram a implementação da construção digital ao longo do projeto Salobo III. Os nomes dos participantes foram excluídos deste estudo conforme normas de éticas de pesquisa.

O Projeto consiste em uma planta de beneficiamento localizada no estado do Pará no Brasil. A planta possui capacidade de produção de 12Mtpa utilizando a infraestrutura existente em Salobo é composta por unidades como britagens (primária e secundária), transportadores de correia de longa distância, moagem, flotações, filtragem, subestações entre outras instalações necessárias (VERUM PARTNERS; VALE, 2022). A construção da planta teve início em 2019 com investimento de US\$ 1,1 bilhão e na conclusão da primeira fase do empreendimento obteve-se a capacidade de processamento, somada às plantas I e II, ultrapassando 32Mtpa (VALE, 2024).

A Figura 3 mostra parte do modelo BIM federado do projeto do estudo de caso. Ressalta-se que este estudo de caso visa capturar o nível de adoção das tecnologias BIM e AWP na planta de beneficiamento, e os resultados podem ser limitados até certo ponto, principalmente devido ao tamanho do projeto e aos impactos sofridos pela Pandemia de Covid 2019, que ocorreu logo no início do processo. Tal fato trouxe mudanças significativas para a indústria da construção, além da necessidade de adoção acelerada de tecnologia para colaboração remota. Contudo, as diretrizes aqui apresentadas podem ser utilizadas para estabelecer uma referência de compreensão geral para adoção das práticas de BIM, AWP e VDC em outros projetos em diferentes regiões do Brasil.

Figura 3: Modelo BIM federado do complexo Salobo III da Vale.



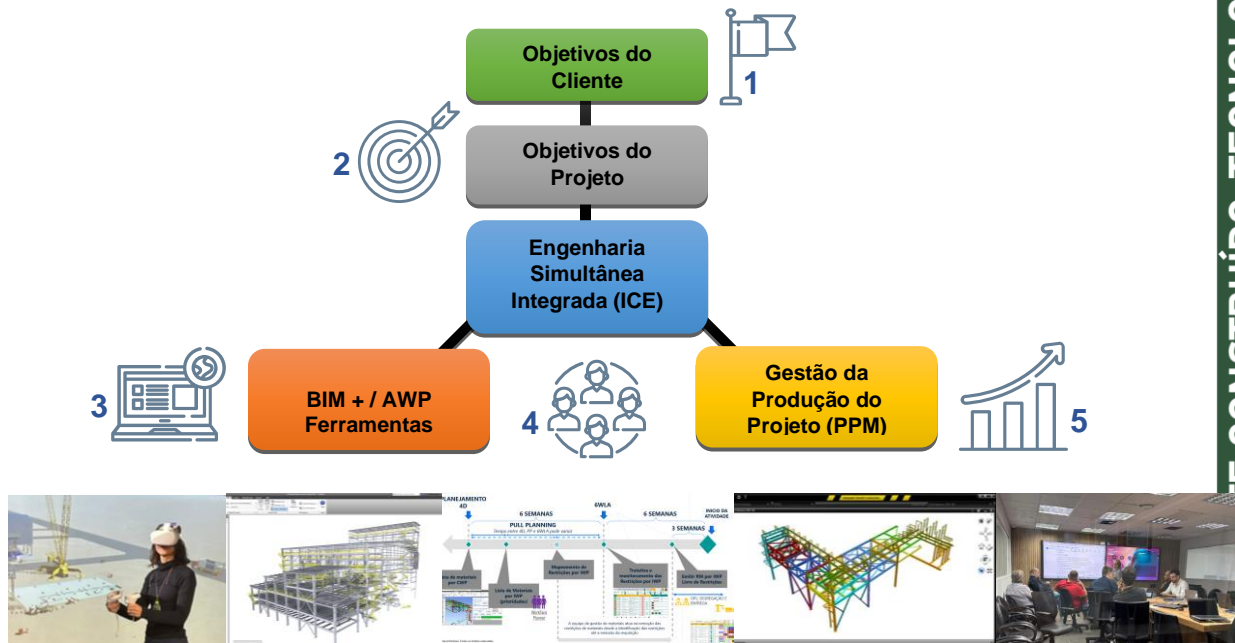
Fonte: Elaborado pelos autores.

4.1. Desenvolvimento do Estudo de Caso

Durante a fase de planejamento, foi feito um diagnóstico junto as lideranças do projeto e das contratadas para avaliar e conhecer as rotinas de gestão, maturidade do projeto, dimensionamento de equipes e os principais desafios a serem vencidos. Logo de início, detectou-se a necessidade de promover um trabalho colaborativo que direcionasse a estratégia do projeto com um planejamento estruturado e reconhecido por todos. Para que o modelo pudesse funcionar adequadamente, foi necessário consolidar alguns pilares entre os membros das equipes e da liderança, como por exemplo o uso das metodologias BIM e AWP integradas aos processos e soluções tecnológicas ao conceito de VDC que proporcionam rápidas decisões e otimizam os processos de gestão. Para tanto o planejamento foi fundamentado na metodologia AWP, nos conceitos de padronização, codificação e no nível de detalhamento dos pacotes de trabalho. Dessa forma, o modelo de gestão fortaleceu os conceitos integrando e direcionando o fluxo de trabalho entre engenharia, fornecimento e construção. Onde as decisões são tomadas com base na facilidade de construção, custo, disponibilidade de materiais, técnicas construtivas, entre outros fatores relacionados à construção.

A partir do engajamento das equipes foi montada a estrutura com cinco diretrizes para aplicação prática conforme mostrado de forma esquemática na Figura 4: (01) os objetivos do cliente; (02) os objetivos do projeto; (03) metodologias BIM e AWP e ferramentas; (04) equipe de engenharia integrada *Integrated Concurrent Engineering* (ICE); (05) os processos de gestão da produção, *Project Production Management* buscando obter maior eficiência na construção de projetos de capital.

Figura 4: Aplicação do VDC em projeto de capital.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A equipe responsável pela engenharia digital desenvolveu aplicativos para fornecer informações detalhadas e atualizadas dos pacotes de trabalho e de instalação para a gestão de restrições, área de trabalho de programação de campo integrada e sistema de digitalização das rotinas de campo.

Com intuito de gerar a colaboração de todas as partes envolvidas, foram definidas rotinas de liderança e operacionais para aumentar a produtividade e proporcionar decisões baseadas em dados atualizados, os quais foram utilizados nas rotinas de gestão de prontidão (*Look Ahead Planning*), *Pull Planning*, Programação Semanal, *Check-in/Check-out*, retrospectiva e *Gemba Walk*. O uso dos aplicativos, com base nos modelos BIM, fornecem informações precisas o que favoreceu os gestores nas tomadas de decisões.

5. RESULTADOS

Como resultado do estudo de caso, percebe-se que a transformação do modelo de gestão tradicional viabilizou a integração das metodologias BIM e AWP no contexto do VDC e favoreceu a mudança de *mindset* da liderança. As três instâncias de tecnologia, processo e cultura foram articuladas durante a sua implementação. Na

instância tecnológica, os *softwares* atualmente em uso na indústria foram resumidos e categorizados por tipo, função, fase e proprietário/usuário.

Na instância do processo, os procedimentos de utilização e funcionamento destas tecnologias ao longo de todo o projeto foram definidos pelos gestores. O papel dos clientes e partes interessadas também foram considerados nos procedimentos adotados.

A instância cultura, tratou das mudanças trazidas pela adoção do VDC para a indústria da construção industrial, juntamente com os meios para promover a sua adoção. Menciona-se ainda a necessidade de apoio das instituições e das camadas da alta liderança.

As decisões multidisciplinares baseadas em fatos e soluções integradas aumentou o nível de aderência do planejado em relação ao executado o que possibilitou desenvolver as cinco diretrizes conforme apresentado anteriormente na Figura 4 e que são apresentadas.

Diretriz 01: objetivos do cliente - foram estabelecidos inicialmente de forma clara, específica e mensurável, para serem alcançados na fase de operação e manutenção - aumento das vendas e das receitas, redução de custos de operação *OpEx*, aumento no número de clientes, redução das emissões de carbono *Co₂* ou *Net Zero*;

Diretriz 02: objetivos do projeto - foram definidos para serem alcançados ao final da construção: gastos dentro do previsto no *CapEx*, nos prazos estabelecidos no cronograma, com qualidade nas entregas e segurança na execução;

Diretriz 03: metodologias *Building Information Modeling (BIM)* e o *Advanced Work Packaging (AWP)* - o BIM foi adotado na fase inicial de projeto e permitiu estruturar o modelo e toda a documentação técnica necessária, considerando os atributos do AWP estabelecidos em reuniões de definição do caminho da construção (*PoC – Path of Construction*).

Com base nessas informações, deu-se início a modelagem das edificações apoiada na estratégia a ser adotada na construção. As divisões em CWP's no desenvolvimento do projeto de estruturas metálicas, facilitaram a previsão de intertravamentos provisórios na fase de montagem eletromecânica. As colunas foram listadas considerando a ordem de montagem e as ligações foram indicadas nas vigas que chegavam nas colunas.

Para garantir a exequibilidade da divisão por CWP foram previstas juntas de dilatação, além de outros artifícios, quando aplicáveis. As memórias de cálculo e as planilhas de quantitativos de materiais foram elaboradas por CWP (e não por edificações ou códigos de ativos) o que permitiu a gestão integrada e melhores controles nas etapas de suprimentos, fabricação, diligenciamento e inspeção junto aos fornecedores, montadoras e demais empreiteiros;

Diretriz 04: *Integrated Concurrent Engineering (ICE)* - foram elaboradas sessões colaborativas para tomada de decisões que viabilizaram uma engenharia simultânea integrada, direcionada por contexto com foco na construção. As equipes

multidisciplinares se reuniram para avaliar as atividades buscando uma melhor integração, reduzindo o tempo de tomada de decisões e aprimorando a qualidade dos resultados. Nelas foram definidos os papéis e as responsabilidades dos participantes, as pautas técnicas específicas, o planejamento detalhado. As rotinas de lideranças e operacionais contribuíram para a colaboração das partes envolvidas e o comprometimento das equipes. Os dados utilizados nas rotinas de gestão de prontidão foram atualizados em tempo real com acompanhamento de métricas e planos de ações;

Diretriz 05: Processos de Gestão - para mapeamento e detecção de oportunidades nos processos de trabalho, foi utilizado o conceito de ciências de operações no PPM. O planejamento foi fundamentado na metodologia AWP e os conceitos de padronização codificação e nível de detalhamento dos pacotes de trabalho, foram disseminados desde os fornecedores até as frentes de serviço.

Aplicativos desenvolvidos por uma equipe de engenharia digital integrados ao BIM/IoT, permitiram o acompanhamento em tempo real dos pacotes de instalação (IWP's). O *Look Ahead Planning* (*Pull Planning*, Programação semanal, *Check-in/Check out*, retrospectivas, visitas no campo) otimizou as rotinas de campo com a digitalização e o acompanhamento online das restrições.

Ao final, as diretrizes foram discutidas em uma sessão de fechamento da prática, direcionada aos membros das equipes. Nessas sessões foram obtidos *feedbacks*, opiniões e pontos de vistas abrangentes sobre a implementação das metodologias, além de identificar pontos de melhoria e necessidades de treinamentos e/ou habilidades relacionadas ao trabalho.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do levantamento do estado da arte e do *status* de entendimento geral da adoção do BIM e AWP no contexto do VDC e do estudo de caso, pode-se traçar algumas considerações finais. A adoção de tecnologias digitais na indústria da construção se apresenta como uma oportunidade para promover inovações no ambiente construído, sendo necessário a adequação das empresas ao cenário atual. A gestão de projetos complexos, a partir de estratégias e tecnologias digitais, podem trazer mais transparência, previsibilidade, melhorar a qualidade e a segurança cumprindo o cronograma e as estimativas de custos, além de reduzir desperdícios e retrabalhos.

O *Virtual Design and Construction* (VDC) transcende a utilização das tecnologias digitais ao incorporar o propósito, trazido à luz pelos objetivos do cliente e do projeto. No contexto das construções sustentáveis os esforços empreendidos pelas organizações precisam ir além da lucratividade e necessitam superar as barreiras culturais. Novos modelos de gestão, mais duradouros e com maior colaboração devem ser criados para se obter valor e recompensa nos projetos sobre diferentes formas e olhares.

A engenharia de projetos tem um papel importante na elaboração das informações e da documentação técnica para o uso e aplicação das metodologias BIM e AWP. Elas permitem que as equipes priorizem as entregas de projetos e as aquisições de

materiais de forma sequencial. Tais práticas favorecem a coordenação e o alinhamento entre os fornecedores e as equipes de campo o que permite reduzir áreas de estocagem de materiais, e conseqüentemente menores áreas de supressão vegetal.

Ao incorporar conceitos de *Lean Construction*, como em uma “linha de produção” (materiais certos na hora certa) são reduzidos os desperdícios e o volume de materiais que se deteriorariam com o tempo se estocados e não utilizados. Percebe-se, contudo, que ainda existe uma lacuna entre as empresas projetistas e os fornecedores, que possuem, muitas vezes, uma baixa maturidade digital o que dificulta a interoperabilidade das informações.

As rotinas de lideranças e operacionais (ICE) contribuem para a colaboração das partes e o comprometimento das equipes. A adoção de aplicativos conectados por IoT permitiu a troca de informações em tempo real e um melhor acompanhamento dos pacotes de instalação.

Os modelos de gestão em VDC podem proporcionar uma mudança de mentalidade das lideranças, com o aumento do engajamento e da colaboração entre as partes envolvidas o que favorece um maior nível de aderência do planejado em relação ao executado.

Torna-se importante definir e monitorar o progresso do projeto ao longo dos objetivos de produção por métricas e planos de ação. A disponibilidade de recursos e as restrições, juntamente com a gestão ambiental, são práticas estratégicas (PPM), pois buscam a redução do desperdício, a eficiência organizacional e a sustentabilidade das construções.

Dessa forma a transformação digital não depende apenas da adoção das tecnologias digitais como o BIM, IoT e o AWP, o VDC é uma estrutura viva que deve evoluir enquanto mantém seus princípios e conceitos fundamentais. As aplicações tecnológicas precisam acompanhar as novas tendências sobretudo na busca por melhoria dos processos de gerenciamento de produção (PPM) e capacitação das pessoas, isso permite a condução de uma engenharia simultânea integrada (ICE) onde todos estejam engajados, inclusive às comunidades locais em um objetivo comum rumo ao crescimento sustentável.

Agradecimentos

Os autores agradecem a AtkinsRéalis e a Verum Partners pelo suporte técnico na construção deste artigo.

Referências

- ABUHUSSAIN, M. A. et al. Integrating Building Information Modeling (BIM) for optimal lifecycle management of complex structures. **Structures**, v. 60, p. 105831, fev. 2024.
- ALCÁCER, V.; CRUZ-MACHADO, V. Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, v. 22, n. 3, p. 899–919, jun. 2019.

ANDERSSON, S. et al. Sustainable development—Direct and indirect effects between economic, social, and environmental dimensions in business practices. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 6 mar. 2022.

ARAM, S.; EASTMAN, C. **Integration of PLM Solutions and BIM Systems for the AEC Industry**. 11 ago. 2013.

ASLAM, M.; GAO, Z.; SMITH, G. Integrated implementation of Virtual Design and Construction (VDC) and lean project delivery system (LPDS). **Journal of Building Engineering**, v. 39, p. 102252, jul. 2021.

AWP INSTITUTE. **Advanced Work Packaging Open Knowledge Base**. Disponível em: <<https://www.workpackaging.org/single-post/advanced-work-packaging>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

CHEN, S.; SONG, Y.; GAO, P. Environmental, social, and governance (ESG) performance and financial outcomes: Analyzing the impact of ESG on financial performance. **Journal of Environmental Management**, v. 345, p. 118829, nov. 2023.

CHEN, Z.-S. et al. Optimization-based probabilistic decision support for assessing building information modelling (BIM) maturity considering multiple objectives. **Information Fusion**, v. 102, p. 102026, fev. 2024.

CHUANG, T.-Y.; YANG, M.-J. Change component identification of BIM models for facility management based on time-variant BIMs or point clouds. **Automation in Construction**, v. 147, p. 104731, mar. 2023.

CIFE. **Center for Integrated Facility Engineering**. Disponível em: <<https://cife.stanford.edu/>>. Acesso em: 28 jan. 2024.

CII. Construction Industry Institute and Construction Owners Association (COAA) Joint Venture A Summary of the Construction Industry Institute - RS-272 Studies on Work Packaging Increased Safety, Productivity, and Predictability. 2013.

CROMPTON, J. Data management from the DCS to the historian and HMI. **Machine Learning and Data Science in the Power Generation Industry: Best Practices, Tools, and Case Studies**, p. 93–122, 1 jan. 2021.

DALLASEGA, P.; RAUCH, E.; LINDER, C. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. **Computers in Industry**, v. 99, p. 205–225, ago. 2018.

DAVE, B. et al. A framework for integrating BIM and IoT through open standards. **Automation in Construction**, v. 95, p. 35–45, nov. 2018.

DI STEFANO, A. G.; RUTA, M.; MASERA, G. Advanced Digital Tools for Data-Informed and Performance-Driven Design: A Review of Building Energy Consumption Forecasting Models Based on Machine Learning. **Applied Sciences**, v. 13, n. 24, p. 12981, 5 dez. 2023.

FEFERBAUM, M. **Metodologia da Pesquisa em Direito: técnicas e abordagens para elaboração de monografias, dissertações e teses**. 3ª Edição ed. [s.l.] Saraiva Jur, 2022.

FELICIANO-CESTERO, M. M. et al. Is digital transformation threatened? A systematic literature review of the factors influencing firms' digital transformation and internationalization. **Journal of Business Research**, v. 157, p. 113546, mar. 2023.

FOSSE, R.; BALLARD, G.; FISCHER, M. **Virtual Design and Construction: Aligning BIM and Lean in Practice**. 9 jul. 2017.

- GAO, S. et al. Mapping and Clustering Analysis on Environmental, Social and Governance Field a Bibliometric Analysis Using Scopus. **Sustainability**, v. 13, n. 13, p. 7304, 29 jun. 2021.
- GIEREJ, S. The Framework of Business Model in the Context of Industrial Internet of Things. **Procedia Engineering**, v. 182, p. 206–212, 2017.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 7ª Ed ed. [s.l.] Atlas Exatas, Humanas, Soc (Grupo Gen), 2022.
- GUBBI, J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, set. 2013.
- HALALA, Y. S.; FAYEK, A. R. A framework to assess the costs and benefits of advanced work packaging in industrial construction. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 46, n. 3, p. 216–229, 2019.
- HAMDI, O. **Advanced Work Packaging from project definition through site execution: driving successful implementation of WorkFace Planning**. Master of Science in Engineering—[s.l.] University of Texas, 2013.
- HANISCH, M. Prescriptive Theorizing in Management Research: A New Impetus for Addressing Grand Challenges. **Journal of Management Studies**, 15 jan. 2024.
- HUANG, M. Q.; NINIĆ, J.; ZHANG, Q. B. BIM, machine learning and computer vision techniques in underground construction: Current status and future perspectives. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 108, p. 103677, fev. 2021.
- IDRISSI GARTOUMI, K.; ZAKI, S.; ABOUSSALEH, M. Building information modelling (BIM) interoperability for architecture and engineering (AE) of the structural project: A case study. **Materials Today: Proceedings**, maio 2023.
- INFRASTRUCTURE SECTOR MARKET SIZE & SHARE ANALYSIS. Growth Trends & Forecasts (2024 - 2029). Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/infrastructure-sector/market-size>> Acesso em ago. 2024.
- IPA. **Transforming Infrastructure Performance Roadmap to 2030**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1016726/IPA_TIP_Roadmap_to_2030_v6__1_.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- KUNZ, J.; FISCHER, M. Virtual design and construction. **Construction Management and Economics**, v. 38, n. 4, p. 355–363, 2 abr. 2020.
- LEE, D.; CHA, G.; PARK, S. A study on data visualization of embedded sensors for building energy monitoring using BIM. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, v. 17, n. 6, p. 807–814, 8 jun. 2016.
- LI, C. Z. et al. An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction. **Automation in Construction**, v. 89, p. 146–161, maio 2018.
- LI, L. et al. Developing a BIM-enabled building lifecycle management system for owners: Architecture and case scenario. **Automation in Construction**, v. 129, p. 103814, set. 2021.
- LIU, K. et al. Review on the Developments of Structure, Construction Automation, and Monitoring of Intelligent Construction. **Buildings**, v. 12, n. 11, p. 1890, 4 nov. 2022.

MEADOWS, D. H.; RANDERS, J.; MEADOWS, D. **Limites do crescimento: um relatório para o Projeto do Clube de Roma sobre o Dilema da Humanidade**. 2 ed ed. São Paulo: Perspectiva, 1978.

NIKOLOGIANNI, A.; MAYOUF, M.; GULLINO, S. Building Information Modelling (BIM) and the impact on landscape: A systematic review of evolvments, shortfalls and future opportunities. **Cleaner Production Letters**, v. 3, p. 100016, dez. 2022.

ONU. Organização das Nações Unidas. ONU News, Perspectiva Global Reportagens Humanas. **Desenvolvimento Econômico**, 2019.

QUEIROZ, M. M. et al. Smart production systems drivers for business process management improvement. **Business Process Management Journal**, v. 26, n. 5, p. 1075–1092, 20 fev. 2020.

RACHINGER, M.; KORAJMAN, I.; ROPPOSCH, C. **Systematic literature review of business model innovation in business ecosystems**. [s.l: s.n.].

RAFSANJANI, H. N.; NABIZADEH, A. H. Towards digital architecture, engineering, and construction (AEC) industry through virtual design and construction (VDC) and digital twin. **Energy and Built Environment**, v. 4, n. 2, p. 169–178, abr. 2023.

RISCHMOLLER, L. et al. **Integration Enabled by Virtual Design & Construction as a Lean Implementation Strategy**. 18 jul. 2018.

SACKS, R. et al. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility, Managers**. 3rd ed. ed. [s.l: s.n.].

SAKIN, M.; KIROGLU, Y. C. 3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the future by BIM. **Energy Procedia**, v. 134, p. 702–711, out. 2017.

SCHIMANSKI, C. P. et al. Conceptual foundations for a new lean BIM-based production system in construction. **27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2019**, n. July, p. 877–888, 2019.

SCOTT HOOD, E. S.; ISATTO, E. L.; FORMOSO, C. T. Sistema Last Planner X Advanced Work Packaging. **XI Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção**, v. 11, n. 3, p. 1–7, 2019.

SHAMSHIRI, A.; RYU, K. R.; PARK, J. Y. Text mining and natural language processing in construction. **Automation in Construction**, v. 158, p. 105200, fev. 2024.

SODRÉ, W. W. B. Tecnologia BIM: A importância do decreto 10306 na democratização da metodologia no país. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, p. 66–85, 16 dez. 2021.

TANG, S. et al. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. **Automation in Construction**, v. 101, p. 127–139, maio 2019.

TEULIER, R.; BAGIEU, M. **Building Information Modeling: Shared Modeling, Mutual Data, the New Art of Building**. [s.l.] Wiley, 2024.

UNITED NATION. **The 17 Goals: Sustainable Development**. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/goals>>. Acesso em: 26 jan. 2024.

VALE. **Vale informa capacidade de processamento de 32 Mtpa em Salobo.** Disponível em: <<https://vale.com/pt/w/vale-informa-capacidade-de-processamento-de-32-mtpa-em-salobo>>. Acesso em: 3 mai. 2024.

VERUM PARTNERS; VALE. Salobo III: O papel da gestão integrada na transformação cultural e digital. **O Empreiteiro**, mar. 2022.

WEKING, J. et al. Leveraging industry 4.0 – A business model pattern framework. **International Journal of Production Economics**, v. 225, p. 107588, jul. 2020.

WOODHEAD, R.; STEPHENSON, P.; MORREY, D. Digital construction: From point solutions to IoT ecosystem. **Automation in Construction**, v. 93, p. 35–46, set. 2018.

XU, L. DA; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941–2962, 18 abr. 2018.

XU, G. et al. The pioneer of intelligent construction—An overview of the development of intelligent compaction. **Journal of Road Engineering**, v. 2, n. 4, p. 348–356, dez. 2022.

ZHANG, Y. et al. BIM-based approach for the integrated assessment of life cycle carbon emission intensity and life cycle costs. **Building and Environment**, v. 226, p. 109691, dez. 2022.

ZHENG, Y.; ZHANG, Y.; LIN, J. BIM-based time-varying system reliability analysis for buildings and infrastructures. **Journal of Building Engineering**, v. 76, p. 106958, out. 2023.