



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

FLUXO DE TRABALHO BIM PARA PROJETO DE SISTEMAS EM SUBESTAÇÕES METROFERROVIÁRIAS

Lucas Daniel Barile

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETEPS) /
lucas.barile@polux.com.br

Fabricio Jose Piacente

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETEPS) /
fjpiacente@yahoo.com.br

Resumo

Este trabalho aborda a utilização de Building Information Modeling (BIM) na fase de concepção arquitetônica de subestações primárias metroferroviárias, área em que ainda se observam lacunas na literatura técnica nacional. O objetivo geral é analisar a produção científica relacionada a fluxos de trabalho BIM aplicados ao desenvolvimento de projetos de sistemas nessa etapa inicial. Para isso, adotou-se uma metodologia composta por estudo bibliométrico e pesquisa documental. Foram consultadas as bases Scopus e Web of Science, utilizando sintaxes específicas para identificação de publicações entre 2021 e 2024. Após filtragens, 23 trabalhos foram analisados com apoio dos softwares Zotero, Biblioshiny e VOSviewer, permitindo o mapeamento de tendências, autores, países e agrupamentos temáticos. Os resultados indicaram predominância de estudos desenvolvidos na China e a formação de quatro clusters principais, relacionados a controle de construção, tecnologias de canteiro inteligente, integração 4D-BIM com realidade virtual e frameworks de avaliação. Como produto aplicado, elaborou-se um fluxograma composto por 17 etapas, validado por empresa especializada, consolidando um fluxo de trabalho BIM para projetos de subestações primárias durante a concepção arquitetônica. O estudo demonstra que a aplicação sistematizada desse fluxo contribui para a organização e integração das disciplinas envolvidas no desenvolvimento de projetos metroferroviários.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Palavras-chave: BIM, Subestação, Gerenciamento de Projetos, Design Arquitetônico, SEP.

Abstract

This study addresses the use of Building Information Modeling (BIM) during the architectural design phase of primary metro-rail substations, a field in which significant gaps remain in national technical literature. The general objective is to analyze the scientific production related to BIM workflows applied to system design in this early project stage. A methodology based on bibliometric analysis and documentary research was adopted. The Scopus and Web of Science databases were consulted using specific search strings to identify publications from 2021 to 2024. After applying filters, 23 studies were analyzed with the support of Zotero, Biblioshiny, and VOSviewer, enabling the mapping of trends, authors, countries, and thematic clusters. The results indicated a predominance of studies developed in China and the formation of four main clusters related to construction control, smart site technologies, 4D-BIM integration with virtual reality, and evaluation frameworks. As an applied outcome, a 17-step workflow was developed and validated by a specialized engineering company, consolidating a BIM-based process for primary substation projects during the architectural design phase. The study demonstrates that the systematic application of this workflow supports the organization and integration of disciplines involved in metro-rail project development.

Keywords: BIM, Substation, Project Management, Architectural design, EPS.

Resumen

Este trabajo aborda el uso de Building Information Modeling (BIM) en la fase de concepción arquitectónica de subestaciones primarias metroferroviarias, área en la que aún existen vacíos en la literatura técnica nacional. El objetivo es analizar la producción científica relacionada con los flujos de trabajo BIM aplicados al desarrollo de proyectos



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

de sistemas en esta etapa inicial. Se adoptó metodología compuesta por estudio bibliométrico y investigación documental. Se consultaron las bases Scopus y Web of Science, utilizando sintaxis específicas para identificar publicaciones entre 2021 y 2024. Tras los filtros aplicados, 23 trabajos fueron analizados con el apoyo de los softwares Zotero, Biblioshiny, VOSviewer, lo que permitió mapear tendencias, autores, países y agrupaciones. Los resultados indicaron predominio de estudios desarrollados en China y la formación de cuatro clústeres principales relacionados con control de construcción, tecnologías de obra inteligente, integración 4D-BIM con realidad virtual y marcos de evaluación. Como producto aplicado, elaboró un diagrama de flujo compuesto por 17 etapas, validado por empresa especializada, que consolida flujo de trabajo BIM para proyectos de subestaciones primarias durante la concepción arquitectónica. El estudio muestra que la aplicación sistemática de este flujo contribuye a la organización e integración de las disciplinas involucradas en proyectos metroferroviarios.

Palabras clave: BIM, Subestación, Gestión de proyectos, Diseño arquitectónico, SEP.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Azevedo (2021), a crescente demanda global por energia exige a construção de novas subestações e a modernização das existentes, o que representa um desafio para a indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) no que tange à concepção e gestão eficientes. Além disso, experiências prévias em outros campos da engenharia têm demonstrado avanços promissores com o uso do BIM, que poderiam ser úteis para a gestão e manutenção no mercado de energia elétrica. Neste contexto, a Modelagem da Informação da Construção (BIM) surge como uma metodologia utilizada para o planejamento, projeto, construção e gestão de infraestruturas. O BIM não é meramente uma representação 3D, mas um processo inteligente baseado em modelos que fornece aos profissionais da AEC as informações e ferramentas necessárias para um planejamento mais eficiente.

Conforme Loggia (2023), esta metodologia possibilita a geração de um modelo virtual que contém todas as informações sobre a edificação, abrangendo todo o seu ciclo de vida, desde a concepção e projeto até a gestão, demolição e desativação. Ao integrar informações paramétricas, requisitos funcionais e desempenho de componentes num único modelo arquitetônico, o BIM melhora a produtividade e acelera a transformação digital na indústria da construção (RONG, 2023).

No contexto do setor elétrico brasileiro, a aplicação de BIM e Sistemas de Informação Geográfica (GIS) em projetos de construção e manutenção de subestações de energia elétrica não possui referências estabelecidas. Contudo, a integração dessas tecnologias tem o potencial de gerar resultados inovadores na engenharia, manutenção e operação de subestações (AZEVEDO, 2021).

A questão problema proposta nesse estudo é: Quais estratégias específicas de fluxo de trabalho de planejamento BIM otimizam mais efetivamente o projeto de sistemas durante a fase de concepção arquitetônica de subestações primárias de metrô e ferrovias?

Este estudo possui, como objetivo principal, analisar, a partir de um estudo bibliométrico e de pesquisa documental, a produção científica sobre fluxo de trabalho em elaboração

de projeto de sistemas durante a fase de concepção arquitetônica no setor de transporte de passageiros sobre trilhos.

Esse objetivo geral pode ser dividido em três objetivos específicos: i) determinar, a partir de um estudo exploratório, os termos mais aplicados para compor a sintaxe nas bases de busca escolhidas; ii) a partir da sintaxe de busca, realizar um estudo bibliométrico nas bases de publicação da Scopus e da Web of Science; iii) filtra os artigos científicos resultados da busca utilizando os softwares de apoio Zotero, Excel, Biblioshiny e VOSviewer e realizar uma análise descritiva dos resultados obtidos; iv) gerar um artefato de pesquisa —fluxograma - similar a um protocolo de pesquisa que poderá ser utilizado na seleção de artigos científicos voltados a estudar aplicação da ferramenta BIM em projetos de subestações primárias metroferroviárias durante a sua fase de concepção arquitetônica no Brasil.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fase de concepção arquitetônica é um momento em que as decisões tomadas impactam significativamente as etapas subsequentes do projeto. O BIM oferece estratégias de fluxo de trabalho que otimizam o projeto de sistemas desde esta fase inicial:

Segundo Azevedo (2022), em relação a colaboração multidisciplinar e detecção precoce de problemas, a metodologia BIM permite o compartilhamento de informações entre equipes multidisciplinares, criando um ambiente virtual 3D da planta. Isso facilita a identificação de fatores críticos na fase de planejamento, possibilitando uma melhor tomada de decisão no processo de design. O projeto de subestações é um processo complexo que exige análises importantes antes do início de qualquer projeto, a fim de encontrar uma solução ótima que satisfaça os padrões. A inclusão de múltiplas disciplinas no projeto, em um ambiente colaborativo, leva a melhores resultados no design e construção.

Segundo Cottes (2024), definir corretamente o Nível de Necessidade de Informação (LOIN) é importante para aplicar princípios Lean e BIM de forma eficaz, reduzindo custos e tempo. O padrão ISO 7817-1, introduzido em 2024, especifica conceitos e

princípios para estabelecer uma metodologia para LOIN, auxiliando as partes interessadas a determinar a dimensionalidade da informação (0D, 1D, 2D, 3D) e evitando a superprodução de informações que resulta em modelos volumosos e difíceis de manusear. A Enel Grids, por exemplo, possui um plano estratégico de 2025-2027 de investimentos brutos em rede de cerca de 26 bilhões de euros, com foco aos países da Itália e Espanha (78% dos recursos), e está padronizando suas soluções de rede e equipamentos utilizando uma abordagem de design de código aberto (OSD), incluindo a criação de uma plataforma colaborativa com propósito de compartilhar conhecimento, buscando harmonizar diferenças e oferecer uma estrutura padronizada, que utiliza BIM (especificação técnica MAT-E&C-NC-2021-0057-GIN, 2022).

A aplicação do BIM em projetos de subestações metroferroviárias ainda apresenta limitações no cenário nacional, sobretudo nas fases iniciais de concepção. Entretanto, sua integração com tecnologias avançadas tem se consolidado como uma estratégia essencial para a otimização contínua de processos, aumento da eficiência e mitigação de retrabalhos (Eastman et al., 2011; Succar, 2009).

Neste estudo, o BIM é concebido não apenas como uma ferramenta de modelagem, mas como parte de um ecossistema digital integrado, que viabiliza práticas colaborativas, padronizadas e orientadas por dados. A utilização de plataformas de análise bibliométrica e ferramentas como Zotero, VOSviewer e Biblioshiny fortalece a construção de fluxos de trabalho mais estruturados, fundamentados em conhecimento técnico-científico consolidado (Van Eck e Waltman, 2010).

Adicionalmente, a integração com sistemas de gestão de ativos e com as tendências de digitalização da infraestrutura pública possibilita a criação de modelos dinâmicos, passíveis de atualização contínua ao longo do ciclo de vida dos projetos (Kassem et al., 2015). Essa abordagem contribui para maior previsibilidade, interoperabilidade entre disciplinas e aderência às diretrizes de cidades inteligentes e redes elétricas modernas (Clemente e Cachadinha, 2013; Batty et al., 2012).



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

A aplicação do Building Information Modeling (BIM) em subestações metroferroviárias no Brasil ainda é incipiente, especialmente nas etapas iniciais de concepção. No entanto, sua integração com tecnologias emergentes vem se consolidando como uma estratégia essencial para a modernização da infraestrutura elétrica, promovendo maior eficiência, redução de retrabalhos e suporte à tomada de decisão baseada em dados (Li et al., 2024).

No contexto deste estudo, o BIM é compreendido como parte de um ecossistema digital colaborativo, que incorpora não apenas a modelagem tridimensional, mas também sistemas de monitoramento, simulação e análise de desempenho. Ferramentas como bibliometria auxiliam na estruturação de fluxos de trabalho baseados em evidência técnico-científica, permitindo a identificação de tendências e lacunas na literatura especializada (Rong & Qi, 2023).

Tecnologias como realidade aumentada (AR), algoritmos de inteligência artificial (IA), gêmeos digitais (Digital Twin) e SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) vêm sendo integradas ao BIM para ampliar a rastreabilidade e controle do progresso físico das obras em tempo real, sobretudo em projetos de subestações. Essa convergência tecnológica facilita a visualização tridimensional de obras em andamento, a verificação de desvios em relação ao planejamento e a geração automática de relatórios de investimento e cronograma (Qin et al., 2024).

O uso de LiDAR e nuvem de pontos também tem sido empregado com sucesso na modelagem rápida de ambientes complexos, como subestações, permitindo maior precisão no planejamento, simulação e treinamento de equipes. Essas tecnologias, quando integradas ao BIM e plataformas como Unity 3D, oferecem um ambiente virtual imersivo para inspeção, planejamento colaborativo e pré-simulação de intervenções técnicas (Zhang et al., 2024).

Abordagens baseadas em otimização multiobjetivo, como algoritmos evolutivos e modelos híbridos, têm demonstrado eficácia na redução de custos e emissões em projetos de infraestrutura elétrica com uso de BIM, especialmente em sistemas de montagem industrializada como subestações pré-fabricadas (Li et al., 2024).

A convergência entre BIM, sensoriamento inteligente, modelagem preditiva e gestão de ativos digitais posiciona-se, portanto, como vetor de transformação contínua no setor de infraestrutura ferroviária e energética, alinhando-se aos princípios de cidades inteligentes e redes elétricas resilientes.

Azevedo (2021), estudou a aplicação de BIM e tecnologias relacionadas em subestações de energia elétrica, projetos de transmissão e transformação, subestações de alta tensão (UHV) e subestações MV-LV. Segundo esse autor, embora as fontes não se refiram especificamente a "subestações primárias metroferroviárias", os princípios e benefícios do BIM para otimização do design de sistemas na fase de concepção arquitetônica são diretamente aplicáveis. A capacidade do BIM de lidar com projetos complexos, integrar múltiplas disciplinas, realizar simulações, otimizar custos e cronogramas, e aprimorar o controle de qualidade e a segurança são cruciais para qualquer subestação, independentemente de sua finalidade específica (por exemplo, alimentação de redes gerais ou de linhas metroferroviárias).

A aplicação de BIM em subestações de energia, incluindo a automação e digitalização de processos de projeto e construção, a gestão de informações para o ciclo de vida completo do ativo e a integração com dados geoespaciais e de sensoriamento em tempo real, demonstra o potencial para otimizar significativamente a concepção e o design de sistemas em subestações primárias para o setor metroferroviário. A busca por padronização e otimização de custo e tempo, juntamente com o aumento da segurança e eficiência operacional, são objetivos comuns que o BIM ajuda a alcançar em todos os tipos de projetos de subestações

3. MÉTODO

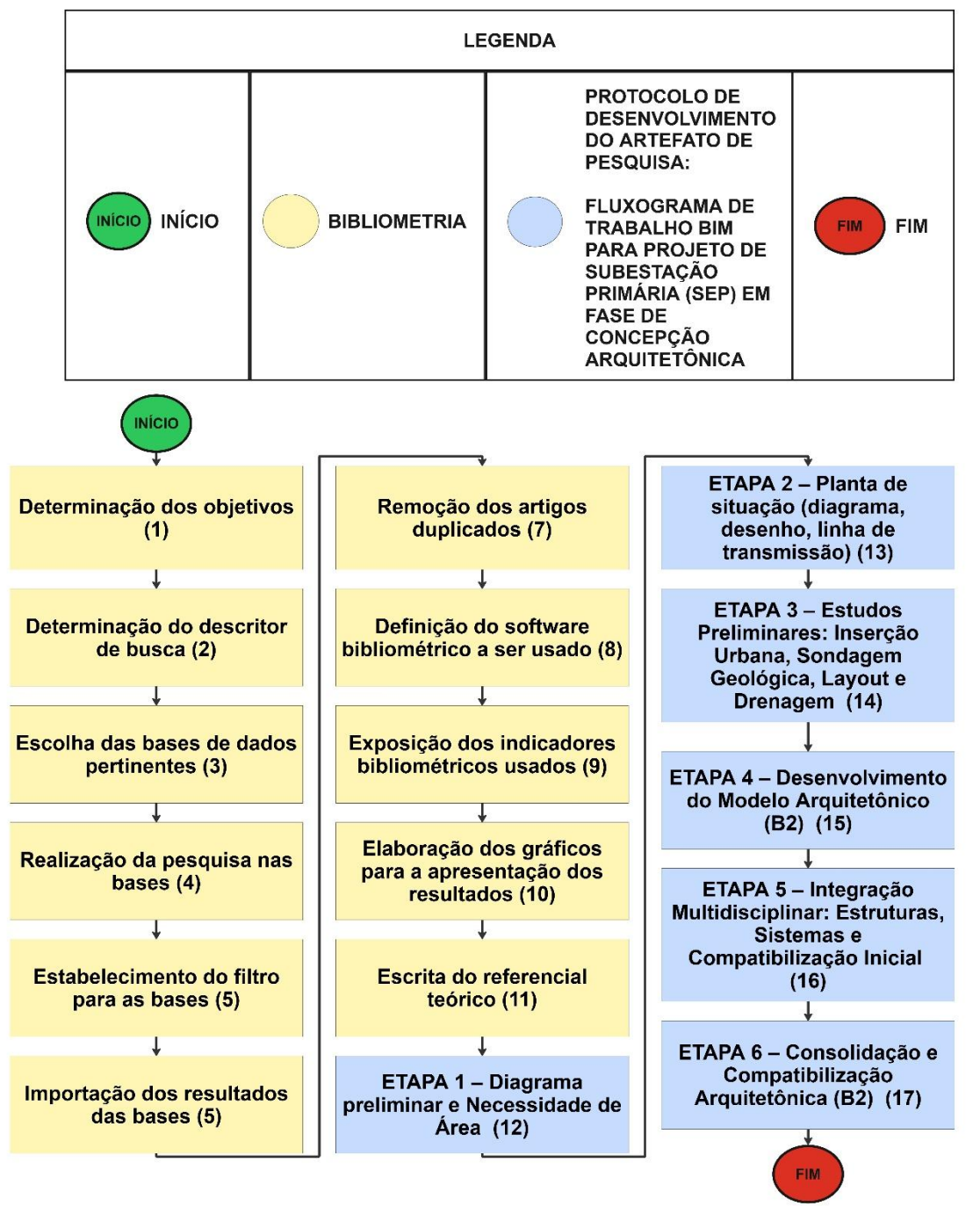
O método de pesquisa aplicado neste estudo é o de abordagem mista, ou seja, quantitativa e qualitativa, exploratória e descritiva, realizada a partir de um estudo bibliométrico e pesquisa documental. A bibliometria é uma metodologia de pesquisa que utiliza técnicas quantitativas para avaliar a produção científica, por meio da análise de dados como número de publicações, citações e impacto de revistas.

A pesquisa documental avalia também documentos oriundos de conferências de trabalho, ou de documentos contratuais. Segundo Spinak (1998), a bibliometria permite o estudo quantitativo das unidades de informação, possibilitando uma visão ampla sobre a evolução de temas científicos e a produtividade de autores e instituições. A Figura 1 apresenta o fluxograma da metodologia usada para a construção de um artefato de pesquisa, especificamente voltado para o projeto de uma Subestação Primária (SEP) em fase de concepção arquitetônica, utilizando um fluxo de trabalho BIM.

A bibliometria e a pesquisa documental permite o pesquisador a mensurar objetivamente a relevância e o alcance das publicações científicas, auxiliando gestores e pesquisadores a tomarem decisões baseadas em evidências. Além disso, é uma ferramenta utilizada para identificar tendências emergentes e lacunas no conhecimento. Entre as suas vantagens estão a eficiência na análise de grandes volumes de dados e a capacidade de fornecer indicadores claros sobre a influência de determinadas áreas de estudo.

O Protocolo de Desenvolvimento do Artefato de Pesquisa, tem a finalidade de descrever os passos para o desenvolvimento de um artefato de pesquisa, especificamente voltado para o projeto de uma Subestação Primária (SEP) em fase de concepção arquitetônica, utilizando um fluxo de trabalho BIM. A seguir, são apresentados os 17 passos do protocolo desta pesquisa que foi elaborado neste estudo.

Figura 1. Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

A Figura 1 abrange 17 passos metodológicos, detalhados a seguir:

Passo 1. Determinação dos Objetivos: Definir claramente os objetivos da pesquisa para guiar todo o processo de desenvolvimento do artefato.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Passo 2. Determinação do Descritor de Busca: Estabelecer os termos e descritores que serão utilizados para realizar buscas nas bases de dados.

Passo 3. Escolha das Bases de Dados Pertinentes: Selecionar as bases de dados que serão consultadas para a coleta de informações relevantes para a pesquisa.

Passo 4. Realização da Pesquisa nas Bases: Executar as buscas nas bases de dados escolhidas utilizando os descritores definidos.

Passo 5. Estabelecimento do Filtro para as Bases: Aplicar filtros nas bases de dados para refinar os resultados obtidos, garantindo a relevância e qualidade das informações.

Passo 6. Importação dos Resultados das Bases: Importar os resultados das buscas para um ambiente de análise, facilitando o processamento e interpretação dos dados.

Passo 7. Remoção dos Artigos Duplicados: Eliminar artigos duplicados dos resultados importados para evitar redundâncias e garantir a precisão dos dados.

Passo 8. Definição do Software Bibliométrico a Ser Usado: Escolher o software bibliométrico que será utilizado para a análise dos dados coletados.

Passo 9. Exposição dos Indicadores Bibliométricos Usados: Definir e apresentar os indicadores bibliométricos que serão utilizados para avaliar os dados coletados.

Passo 10. Elaboração dos Gráficos para a Apresentação dos Resultados: Criar gráficos que representem visualmente os resultados da pesquisa, facilitando a compreensão e análise dos dados.

Passo 11. Escrita do Referencial Teórico: Desenvolver o referencial teórico que sustentará a pesquisa, integrando as informações coletadas e analisadas.

Passo 12. Mapeamento da Etapa 1 – Definição do Terreno da SEP pelo Metrô: Realizar o mapeamento inicial para definir o terreno da Subestação Primária, considerando as diretrizes do Metrô.

Passo 13. Mapeamento da Etapa 2 – Elaboração da Planta de Situação do Terreno: Elaborar a planta de situação do terreno, detalhando a localização e características do espaço destinado à SEP.

Passo 14. Mapeamento da Etapa 3 – Estudos Preliminares: Inserção Urbana, Sondagem Geológica, Layout e Drenagem: Conduzir estudos preliminares que incluem a inserção urbana, sondagem geológica, layout e planejamento de drenagem.

Passo 15. Mapeamento da Etapa 4 – Desenvolvimento do Modelo Arquitetônico (B2): Desenvolver o modelo arquitetônico da SEP, utilizando ferramentas BIM para detalhar o projeto.

Passo 16. Mapeamento da Etapa 5 – Integração Multidisciplinar: Estruturas, Sistemas e Compatibilização Inicial: Integrar diferentes disciplinas como estruturas e sistemas, garantindo a compatibilização inicial do projeto.

Passo 17. Mapeamento da Etapa 6 – Consolidação e Compatibilização Arquitetônica (B2): Consolidar e compatibilizar o modelo arquitetônico final, assegurando que todos os elementos do projeto estejam integrados e funcionais.

Este protocolo fornece um guia estruturado para o desenvolvimento de um artefato de pesquisa, desde a concepção até a finalização do projeto de uma Subestação Primária. Seguir estes passos garante uma abordagem sistemática e eficiente, utilizando ferramentas BIM para otimizar o processo de design e integração multidisciplinar.

4. RESULTADOS

Os resultados deste trabalho foram subdivididos em duas partes (seção 4.1 e seção 4.2), apresentados da seguinte forma:

A seção 4.1 descreve as análises dos resultados do Estudo Bibliométrico e Análise Documental. A seção 4.2 descreve as análises dos resultados do protocolo de desenvolvimento do artefato de pesquisa Fluxograma de trabalho BIM para projeto de subestação primária (SEP) em fase de concepção de concepção arquitetônica.

Sendo que o protocolo utilizado é ilustrado por meio da Figura 1, onde os dezessete passos são divididos nos seguintes assuntos: Passos 1 a 11: Estudo Bibliométrico e Análise Documental; Passos 12 a 17: Protocolo de Desenvolvimento do artefato de pesquisa, Fluxograma de trabalho BIM para projeto de subestação primária (SEP) em fase de concepção arquitetônica.

4.1 Estudo Bibliométrico e Análise Documental

Nesta seção foram relatados os resultados dos passos 1 a 11. Determinação dos Objetivos: OG: Analisar, a partir de um estudo bibliométrico e de pesquisa documental, a produção científica sobre fluxo de trabalho em elaboração de projeto de sistemas durante a fase de concepção arquitetônica no setor de transporte de passageiros sobre trilhos. OE1: Determinar, a partir de um estudo exploratório, quais são os termos de busca que mais se identificam com o objetivo proposto nesse estudo. OE2: Realizar um estudo bibliométrico e pesquisa documental, a partir da definição de uma sintaxe de busca, em duas bases de publicação científicas (Scopus e Web of Science); e, com o apoio dos softwares Zotero, Excel, Biblioshiny e VOSviewer, filtrar e realizar uma análise descritiva dos resultados obtidos. OE3: Gerar um artefato de pesquisa que, neste caso, será um fluxograma que pode servir como protocolo de elaboração de projetos de sistemas durante a fase de concepção arquitetônica de uma subestação primária que servirá de alimentação elétrica para uma linha metroferroviária, para contribuir com outros estudos científicos.

No Passo 2 foi realizado a determinação do descritor (sintaxe) de busca: STRING SCOPUS: TITLE-ABS-KEY ("BIM" AND ("SUBSTATION" OR "SUBSTATION DESIGN") AND ("PROJECT" OR "PLAN" OR "PLANNING" OR "FRAMEWORK")) AND PUBYEAR > 2020 AND PUBYEAR < 2025

STRING WEB OF SCIENCE (WoS): TS=("BIM" AND ("SUBSTATION" OR "SUBSTATION DESIGN") AND ("PROJECT" OR "PLAN" OR "PLANNING" OR "FRAMEWORK")) AND PY=(2021-2024)

No Passo 3, foi escolhida as bases de dados pertinentes para a pesquisa bibliográfica: bases Scopus (Elsevier) e Web of Science (Clarivate). Ambas são adotadas em avaliações

acadêmicas. WoS possui critérios mais rígidos para indexação (exigindo impacto e internacionalização), enquanto Scopus adota abordagem mais inclusiva, mas ainda seletiva. Isso as torna complementares para garantir visibilidade e credibilidade no estudo bibliométrico.

No Passo 4, foi realizada a pesquisa nas bases selecionadas, Scopus (Elsevier) e na Web of Science (WoS, Clarivate), seguindo a string do passo 2, ambas no dia 08/junho/2025.

No Passo 5, estabeleceu-se o primeiro filtro para as bases, diretamente na própria sintaxe descrita no Passo 2. O Passo 6 foi realizada a importação dos Resultados das Bases, em formato de arquivo Bibtex e RIS, resultando em 38 trabalhos encontrados. Sendo 31 (81,58%) extraídos da Scopus (Elsevier) e 07 (18,42%) da WoS (Clarivate).

No Passo 7 foi realizado a remoção dos artigos duplicados, para isso foi mesclado os resultados de ambas as bases, utilizando o software Biblioshiny, culminando em um arquivo único em formatos R, RIS e xmls. Dos 38 trabalhos encontrados, 07 (18,42%) eram duplicados, e 31 (81,58%) eram únicos.

O Passo 8 definiu-se o software bibliométrico a ser utilizado para apoiar a análise dos resultados. Os 31 (81,58%) documentos únicos foram tiveram seus respectivos títulos, palavras-chave e resumo lidos, e, caso estivessem fora do assunto pertinente à questão problema deste estudo, foram excluídos. Como resultado dessa etapa (passo 8), existiram 08 (21,05%) trabalhos excluídos, e 23 (60,53%) considerados aprovados. Toda organização ocorreu por meio do software Zotero, onde foi criada uma biblioteca, com subpastas indicando a aprovação ou a reprovação. Os artigos reprovados tiveram suas respectivas linhas excluídas do arquivo bibliométrico no formato xlms e este arquivo atualizado foi submetido ao software Biblioshiny para análise dos dados.

No Passo 9 realizou-se a exposição dos indicadores bibliométricos usados. Os 23 (60,53%) trabalhos considerados aprovados para análise foram submetidos aos softwares Biblioshiny e VOSviewer. Na sequência metodológica, os 23 (60,53%) artigos selecionados foram submetidos, com o auxílio do software Biblioshiny à análise bibliométrica. Na Tabela 1 pode-se observar que foram processados os 38 (100,00%)

artigos obtidos a partir da busca realizada com a sintaxe estabelecida inicialmente. O total de fontes, ou seja, de periódicos em que os artigos selecionados foram publicados foi de 23, assim, observa-se que nenhum trabalho foi publicado em revista repetida dessa lista determinada de 23. A idade média dos artigos científicos obtidos a partir da bibliometria foi de 2,22 anos, indicando que os trabalhos realizados se concentram substancialmente nos últimos 3 anos, evidenciando a importância recente do tema escolhido. Por fim, cada artigo selecionado apresentou em média 0,913 citações de outras publicações científicas nas suas bases de referências bibliográficas.

Tabela 1: Resultados gerais da bibliometria.

Descrição	Resultados
Período de busca	2021:2024
Fontes (revistas e conferências)	23
Documentos (artigos)	7
Documentos (conferências)	16
Taxa de Crescimento Anual %	16,96%
Idade Média do Documento	2,22
Média de citações por documento	0,913

Fonte: Resultado da pesquisa.

A Tabela 2 aponta os resultados descritivos dos artigos obtidos a partir da busca realizada em função das palavras chaves e autores. Nota-se que, o número de “*Key-words Plus (ID)*” (palavras-chaves plus) foi de 166, essa descrição indica os termos “palavras-chaves” que foram geradas automaticamente pela base de artigos científicos (Scopus e Web of Science), a partir do momento em que o artigo foi publicado na base. Quanto a descrição palavras-chave do autor (DE), total de 113 diferentes, foram as palavras chaves indicadas pelos autores no momento da submissão de seus artigos nos diferentes periódico alocados na base de pesquisa (Scopus e Web of Science).

Tabela 2: Resultado da bibliometria quanto a autores e palavras chaves.

Descrição	Resultados
Palavras-chave Plus (ID)	166
Palavras-chave do autor (DE)	113
Autores	101
Autores de documentos de autoria única	0
Grau de internacionalização de autores	4,348%
Média de co-autores por documento	5

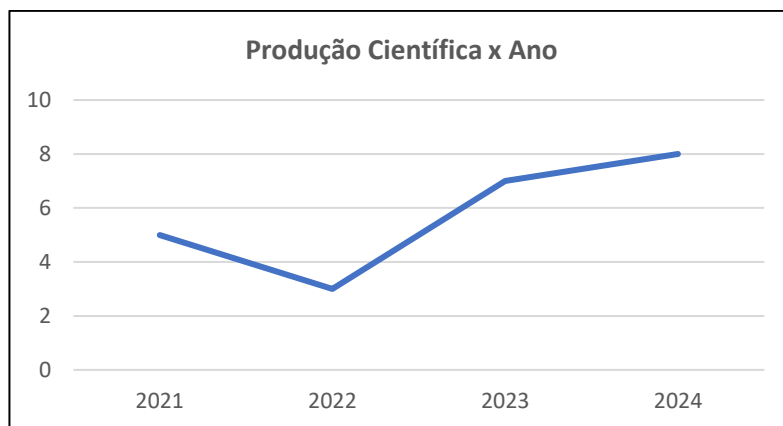
Fonte: Resultado da pesquisa.

Quanto aos autores, nos artigos científicos selecionados como resultados da busca destacam-se 101 autores distribuídos nas 23 diferentes publicações selecionadas. Nenhum autor publicou artigo com autoria única nessa listagem.

O software Biblioshiny analisa a origem de cada um dos autores e computa um índice de internacionalização da amostra de artigos obtidas a partir da busca, segundo os resultados encontrados, 4,348% dos artigos apresentam autores de origem de diferentes países. E, na média, cada artigo da amostra resultante da pesquisa apresenta 5 autores.

No Passo 10 foi elaborado os gráficos para a apresentação da estatística descritiva dos dados analisados na pesquisa. A Figura 2 indica, a estratificação do resultado da pesquisa para cada ano analisado. Nota-se que a produção científica dos artigos seccionados a partir da sintaxe de busca nas bases analisadas diminuiu entre os anos de 2021 e 2022, de 5 para 3 publicações; e aumentou entre os anos de 2022 e 2024, de 3 para 8 publicações. A queda de 2021 a 2022 pode ter sido ocasionada devido aos impactos da COVID-19, ao passo que o aumento da produção científica entre os anos de 2022 a 2024 pode justificar, em partes, porque os pesquisadores científicos estão buscando otimização de projetos de subestações elétricas, atrelando metodologia BIM em “*design* arquitetônico”, pois, segundo Cotes (2024), Xin e Zhang (2024), Heuser (2022) e Qin (2024) estudos de BIM aplicados em subestações apresentam uma melhora no controle de qualidade, atrelada a diminuição de quantidade de horas empreendidas na elaboração do projeto.

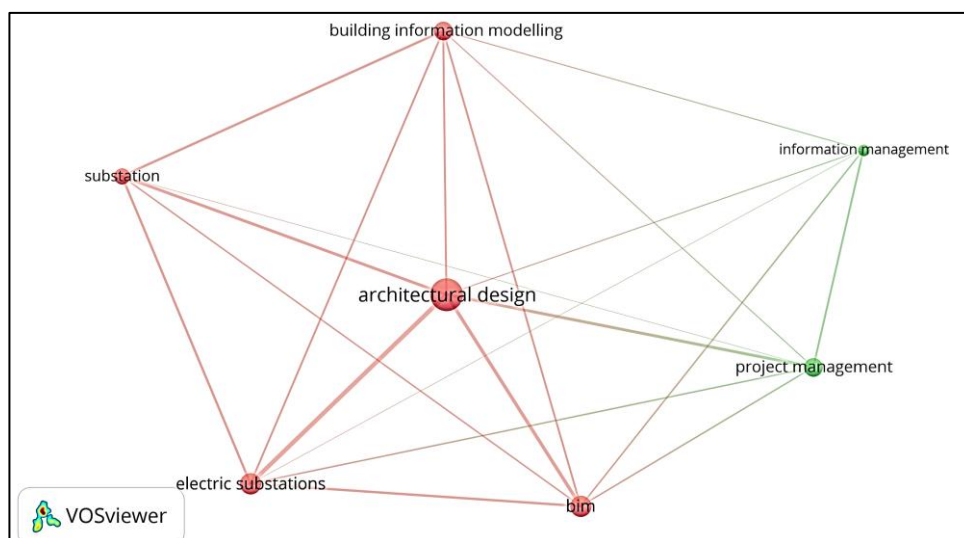
Figura 2. Distribuição anual da produção científica resultado da bibliometria.



Fonte: Resultado da pesquisa.

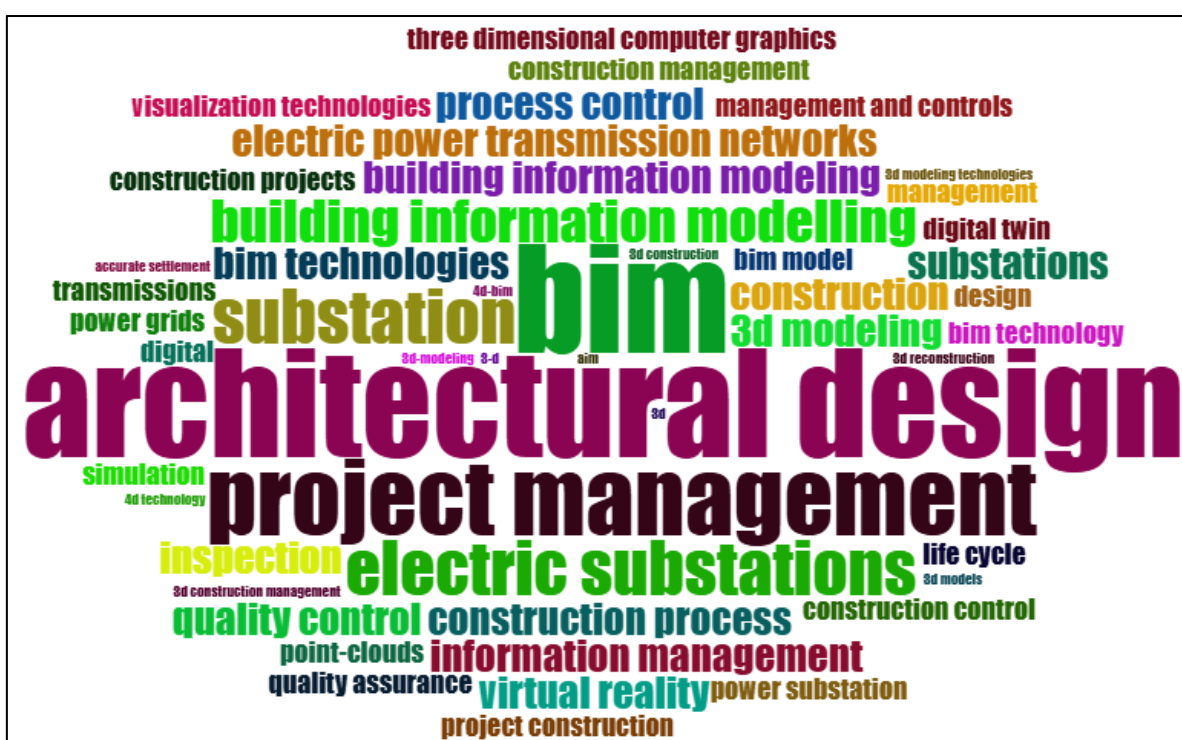
A Figura 3 representa uma correlação entre os termos chaves obtidos, sendo que “*architectural design*” se relaciona de maneira significativa com “*electric substations*”, “*bim*” e “*project management*”, o que indica potenciais projetos ou estudos no modelo de projetos de subestações elétricas que atrele organização de informações de sistemas elétricos ainda na fase de conceito arquitetônico, com propósito de otimizar tempo e qualidade de um projeto de uma subestação usando metodologia BIM.

Figura 3. Relação entre os principais termos chaves obtidos.



Fonte: Resultado da pesquisa.

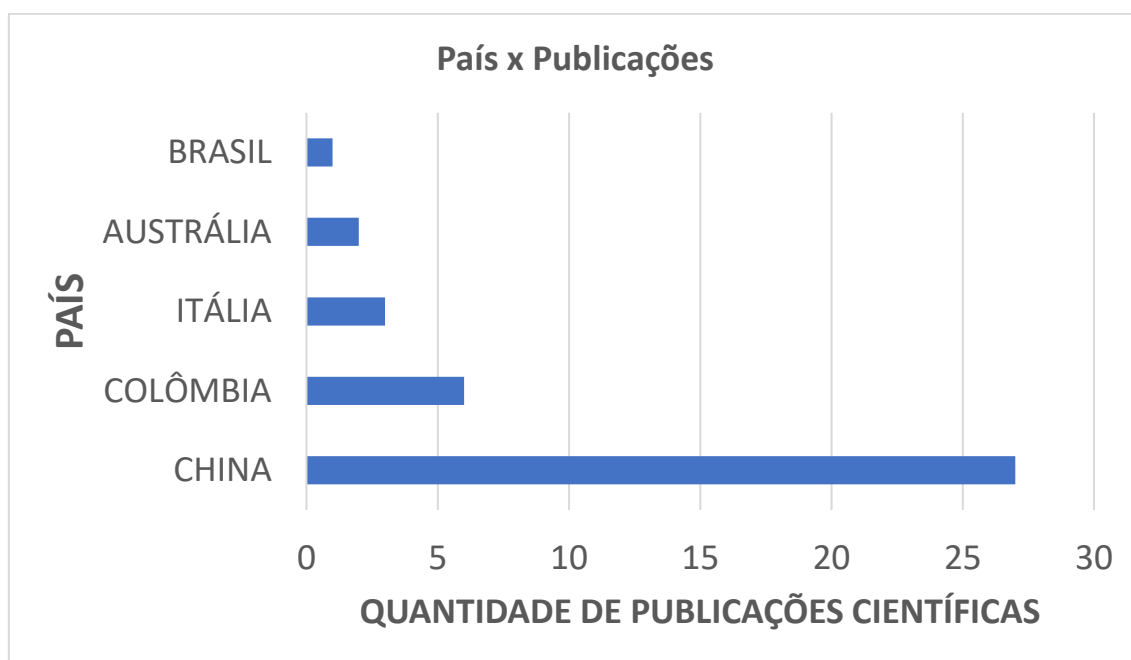
Figura 4. Nuvem de palavras da produção científica resultado da bibliometria.



A Figura 5 identifica, a partir dos artigos resultantes da pesquisa bibliométrica e selecionados para a análise, a produção de cada país ao longo do período de análise e, dessa maneira, ilustra-se a relevância global do tema, em especial para China, cujas publicações científicas foram mais significativas. A Figura 5 apresenta a distribuição geográfica da produção científica sobre aplicação de Building Information Modeling (BIM) em projetos de subestações elétricas, revelando padrões significativos de concentração regional de pesquisa e colaboração internacional, sendo que os 101 autores dos 23 trabalhos analisados foram divididos principalmente em 39 (100,00%) publicações que envolvem 5 países distintos (Brasil, Austrália, Itália, Colômbia e China). A análise

bibliométrica evidencia dominância absoluta da China na produção científica do campo, responsável por 27 publicações (69,23% do total) entre as 39 (100,00%) publicações analisadas. Segundo Shao (2021), Yang (2014), Chen (2015) e Ma (2016), esta concentração reflete o investimento maciço do governo chinês em infraestrutura de potência através da “*State Grid Corporation of China*” (SGCC), que operacionaliza a maior rede elétrica do mundo e tem implementado BIM sistematicamente em projetos de transmissão e distribuição desde década de 2010.

Figura 5. Distribuição dos países e das publicações obtidas a partir do resultado da bibliometria.



Fonte: Resultado da pesquisa.

A Colômbia aparece como segundo país mais representado com 6 publicações (15,4%), constituindo fenômeno notável considerando tratar-se de economia emergente. Esta concentração é explicada pela atuação da empresa alemã Entegra AG, que estabeleceu centro de excelência em Medellín focado em soluções BIM para setor elétrico latino-americano. Os autores Heuser S (2 publicações, índice 0,58), Cotes A J R (índice 0,33), Cano L A G (índice 0,33) e Guevara C L A (índice 0,25) representam este grupo,

responsável pelo desenvolvimento do S-BIM Latam prCatalog 1.0, primeiro catálogo BIM padronizado para subestações adaptado a requisitos regionais latino-americanos (COTES, 2024). A presença colombiana sinaliza transferência tecnológica Sul-Sul e adaptação contextual de metodologias BIM desenvolvidas em economias avançadas para realidades de países em desenvolvimento, incluindo especificidades regulatórias, climáticas e de capacitação profissional.

A Itália contribuiu com 3 publicações (7,7%), predominantemente associadas à Enel Grids S.r.l., operadora multinacional que lidera a iniciativa Open Power Grids (OPG), consórcio de código aberto para padronização de componentes BIM em infraestrutura elétrica. Os autores italianos (Gentile A, Giannini G, Mangialavori S, Franzone G, Amadei F) representam abordagem de padronização global por meio de metodologia “*open-source*”, contrastando com modelos proprietários predominantes em outros contextos.

A Austrália contribuiu com 2 publicações (5,1%), embora os dados de autoria não especifiquem afiliações institucionais australianas, sugerindo possível participação em colaborações internacionais ou publicações em conferências realizadas na região Ásia-Pacífico (ACIRS - Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems).

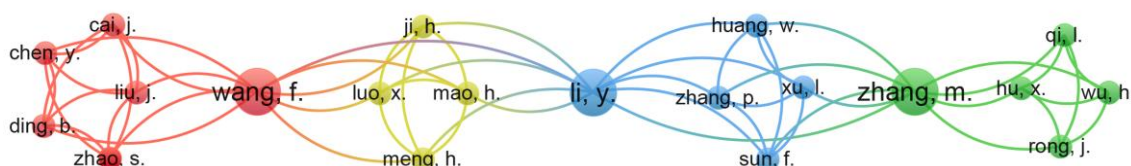
O Brasil aparece com 1 publicação (2,6%), representado por Azevedo D M e colaboradores (Lamounier E, Cardoso A, Guttler C, Bartholomeu C, De A A L, De L G F M, Rocha R D O) da Universidade Federal de Uberlândia em parceria com Furnas Centrais Elétricas S.A. (subsidiária da Eletrobras). Esta publicação pioneira (Azevedo et al., 2021) focou em integração BIM-GIS para subestações, metodologia particularmente relevante para contextos de grande extensão territorial como o brasileiro, onde georreferenciamento preciso de ativos é crítico para gestão de redes.

Em síntese, a Figura 5 evidencia distribuição geográfica assimétrica da produção científica em BIM para subestações, com hegemonia chinesa absoluta (69%), emergência colombiana significativa (15%), e contribuições pontuais de Itália, Austrália e Brasil. Este padrão reflete dinâmicas de investimento em infraestrutura elétrica, políticas públicas de

digitalização, e estabelecimento de centros de excelência regionais, com implicações diretas para transferência tecnológica e desenvolvimento de capacidades em contextos ferroviários e metroviários emergentes.

Em relação a rede de coautoria, ilustra-se pela Figura 6, em 4 “clusters” (vermelho, amarelo, azul e verde).

Figura 6. Rede de Coautoria da produção científica resultado da bibliometria e pesquisa documental.



Fonte: Resultado da pesquisa.

Cluster Vermelho: Controle de Construção (CAI J., CHEN Y., DING B., ZHAO S., WANG F.). Intensidade de conexão: Alta (múltiplas linhas conectando). Instituições Associadas (inferidas da literatura): State Grid Shanghai Electric Power Company, State Grid Tianjin Electric Power Company, China Energy Engineering Group. Publicações Documentadas: Luo et al. (2021); Chen et al. (2023); e Yan et al. (2023).

Cluster Amarelo: Smart Site Technology (WANG F., LUO X., MENG H., JI H., MAO H.). Concentra pesquisa em tecnologia BIM para controle integrado de construção com foco em digitalização de dados operacionais em tempo real através de sensores IoT (código QR, RFID, câmeras, laser scanning). Institucionalizado principalmente em State Grid Shanghai Municipal Electric Power Company e State Grid Tianjin Electric Power Company, este cluster desenvolveu plataformas colaborativas de gestão 3D que integram arquitetura BS/CS com sistemas de blockchain para controle de progresso, qualidade, segurança e custos através de modelos LOD 300 em formato IFC aberto. Publicações documentadas incluem Shao et al. (2021) e Luo et al. (2021), demonstrando implementação prática em subestações como Kaixuan (Shanghai 110kV) e Tencent (Tianjin 110kV) com resultados quantificáveis: redução de 89% em tempo de cálculo de



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

quantitativos, economia de 9,43% em custos e precisão de erro de apenas 2,33% em volumes críticos.

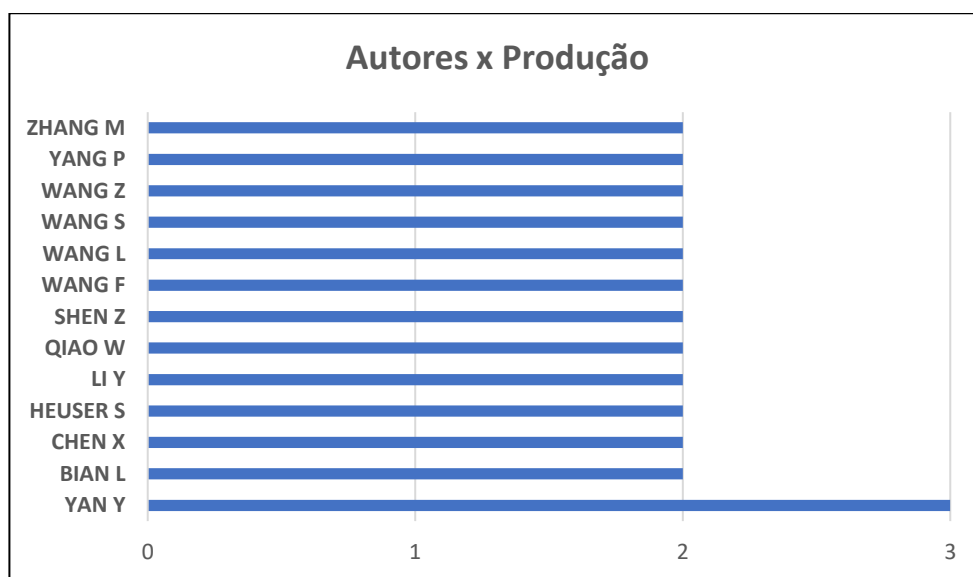
Cluster Azul: 4D-BIM e Realidade Virtual (LI Y., ZHANG P., XU L., HUANG W., SUN F.). Concentra-se em integração de 4D-BIM com ambientes imersivos de realidade virtual para otimização de sequência construtiva e treinamento operacional, predominantemente associado à University of Jinan e colaborações com State Grid International Development Co. Sua metodologia combina cronogramas temporais (dimensão 4) com renderização 3D em tempo real mantendo frame rate estável, permitindo simulação de conflitos de design, visualização de progresso e análise de operabilidade em ambientes confinados. A publicação principal Sun et al. (2022) demonstrou aplicabilidade em projetos ferroviários por meio de imersão interativa que reduz retrabalho pela identificação antecipada de violações de espaço (*“arc-flash incidentes”*, *“clearance violations”*) e melhora significativamente a taxa de retenção de conhecimento em programas de capacitação de operadores em ambientes de alto risco.

Cluster Verde: Avaliação e Framework de Performance (RONG J., ZHANG M., HU X., WU H., DU L.). Concentra-se no desenvolvimento de *“frameworks”* sistemáticos de avaliação de maturidade BIM em ciclo de vida completo de projetos de subestação, utilizando metodologias avançadas como Fuzzy Comprehensive Evaluation, AHP (Analytical Hierarchy Process) e análise custo-benefício para quantificar ROI de implementação BIM. Publicações como Rong et al. (2023): Framework for Evaluating BIM Application Performance, Zhang et al. (2021): BIM Application Maturity Evaluation Using Fuzzy Theory e Xu et al. (2023): Evaluation Method of BIM Application Level estabelecem escalas de 0-100 pontos para classificação de maturidade (baixo 0-20, médio 40-60, alto 80-100) e introduzem índices compostos que consideram aspectos de processo, tecnologia, política e capacidade organizacional, especialmente relevantes para análise de viabilidade técnico-econômica em contextos de subestações de tração com requisitos críticos de confiabilidade MTBF e redundância N+1/N+2.

A Figura 7 apresenta os principais autores e a Figura 8 os principais trabalhos, sendo que a análise bibliométrica revelou que Loggia (2024) e Rong (2023) destacam-se como os

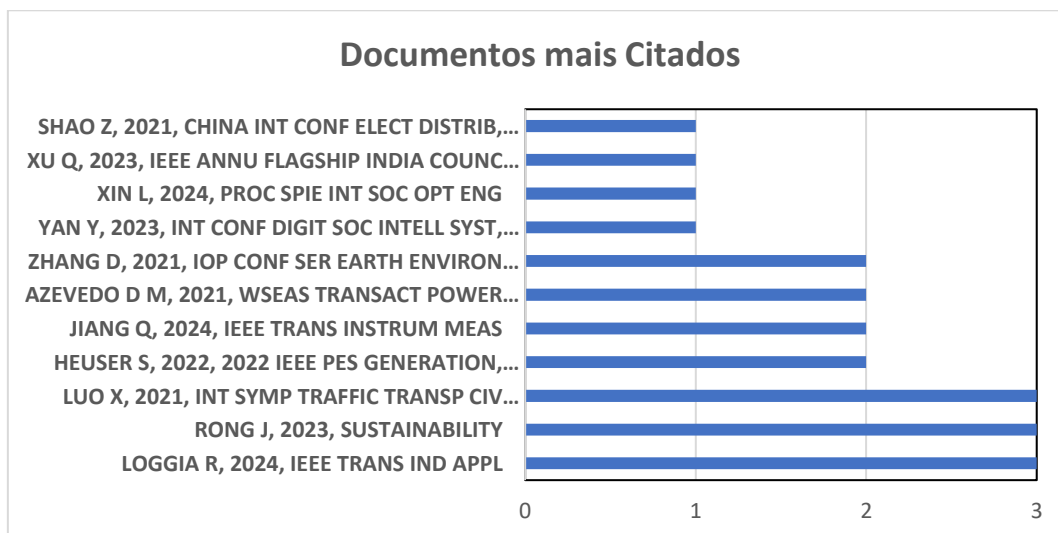
documentos mais citados nos artigos sobre subestações BIM, evidenciando o crescimento científico em gestão integrada de projetos. Seguidos de Luo (2021) e Heuser (2022) que consolidaram aplicações de BIM em engenharia elétrica. Os estudos de Jiang (2024) e Azevedo (2021) demonstram evolução metodológica de BIM associada a tecnologias emergentes como inteligência artificial e integração de sistemas geoespaciais.

Figura 7. Distribuição dos principais autores.



Fonte: Resultado da pesquisa.

Figura 8. Distribuição dos documentos mais citados.

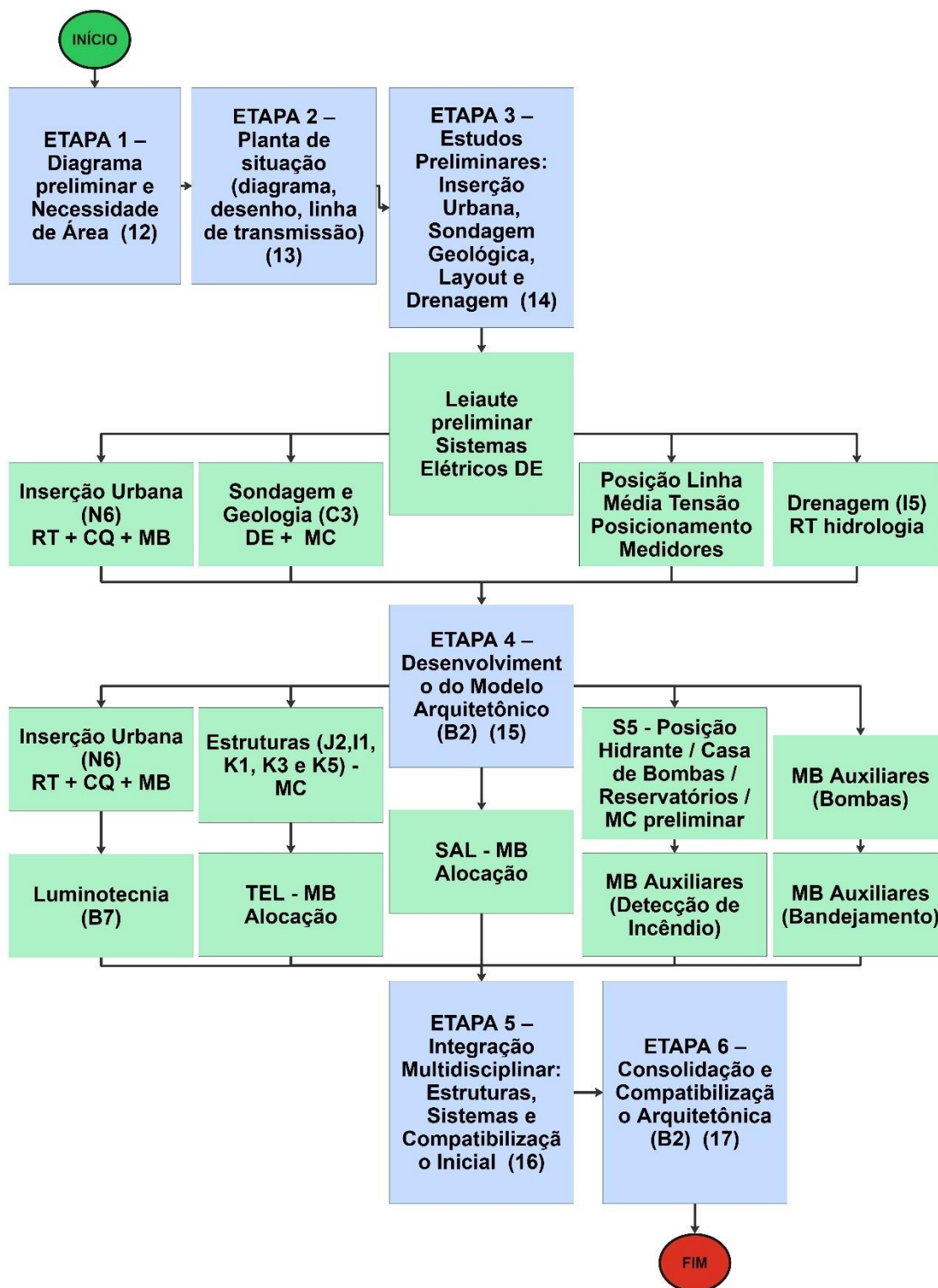


Fonte: Resultado da pesquisa.

4.2: Fluxograma de trabalho BIM para projeto de subestação primária (SEP) em fase de concepção de concepção arquitetônica.

Após análise da seção 4.1, elaborou-se um “*framework*” para organização dos trabalhos de elaboração do projeto de uma subestação primária durante a fase de Concepção Arquitetônica de uma subestação primária. Este fluxo foi encaminhado à coordenação técnica da empresa PÓLUX engenharia que considerou apto para uso dentro do cenário paulistano de projetos metroviários de SEPs. A nomenclatura utilizada seguiu o padrão da Companhia do Metropolitano de São Paulo. A Figura 9 apresenta o “*framework*” de elaboração de projeto de subestação primária metroviária em BIM, durante fase de Concepção Arquitetônica.

Figura 9. Framework de elaboração de projeto de subestação primária metro.



Fonte: Resultado da pesquisa.

O Passo 12 mapeou-se o desenvolvimento de uma Subestação de Energia Primária (SEP) é a definição do terreno por parte do Metrô. Esta decisão é estratégica e fundamental, pois o terreno precisa atender a uma série de critérios técnicos, urbanísticos e operacionais. A escolha considera aspectos como acessibilidade, proximidade com a rede de distribuição de média tensão, viabilidade de implantação, impacto no entorno urbano, além de questões ambientais e de desapropriação. Este é o ponto de partida que orientará todas as etapas subsequentes do projeto.

No Passo 13 elaborou-se a planta de situação do terreno. Após a definição do terreno, foi elaborada a planta de situação. Este documento é essencial, pois apresenta a configuração e os limites do terreno, suas dimensões, acessos, entorno imediato, e a relação com as vias públicas e demais infraestruturas próximas. A planta de situação permite visualizar as possibilidades e restrições do local, servindo como base para o desenvolvimento dos estudos preliminares de inserção urbana, projetos e modelagens futuras.

No Passo 14 foi realizado os estudos Preliminares, responsáveis pela inserção urbana, sondagem geológica, layout e drenagem. Com a planta de situação em mãos, iniciou-se uma série de estudos fundamentais para a implantação da SEP. O projeto de inserção urbana teve como finalidade avaliar como a subestação será integrada ao contexto da cidade, considerando aspectos como acessos viários, calçadas, impacto visual, vizinhança e atendimento às normas municipais.

A sondagem geológica investigou as condições do subsolo, identificando a resistência do terreno, o nível do lençol freático, a presença de rochas e outros fatores geotécnicos que impactam diretamente nas fundações e estruturas. O layout preliminar (desenvolvido pelos sistemas elétricos) realizou a organização espacial dos equipamentos e instalações dentro do terreno, considerando a lógica operacional da subestação e as conexões com a rede elétrica. No estudo de drenagem foi feita a análise e definição das soluções para o escoamento de águas pluviais, prevenindo alagamentos e garantindo o correto funcionamento da infraestrutura.

No Passo 15 foi realizado o desenvolvimento do modelo arquitetônico (B2). Com o layout preliminar consolidado, incluindo a definição da linha de média tensão e a posição dos medidores, inicia-se o desenvolvimento do primeiro modelo de arquitetura (B2). Este modelo começa a dar forma física ao projeto, considerando o envelope das edificações, os acessos, a volumetria e a relação com os demais sistemas. É uma fase crucial para garantir que os espaços projetados comportem todos os equipamentos e atendam às normas de ergonomia, manutenção e operação segura.

O Passo 16 foi responsável pela integração multidisciplinar: Estruturas definitivas, Sistemas e Compatibilização Inicial. Nesta etapa, o projeto atingiu um nível de detalhamento mais robusto e integrado. Com base no levantamento geológico e no modelo inicial de arquitetura, desenvolve-se o primeiro estudo estrutural, que avalia as fundações e a estrutura necessária para suportar as cargas dos equipamentos e edificações. Simultaneamente deve ser executado o seguinte conjunto de atividades:

O estudo de Inserção Urbana (N6) foi refinado, incorporando as definições arquitetônicas e as condições mais concretas do entorno. O projeto de iluminação (B7) desenvolveu soluções para iluminação interna e externa da SEP. O sistema de telecomunicações definiu o posicionamento dos armários de telecom (AT) e realizou estudos de interface com o banco de dutos. A equipe de auxiliares iniciou o desenvolvimento do bandejamento e dos suportes para as instalações, além dos estudos de detecção de incêndio.

Os sistemas de alimentação elétrica definiram a localização dos demais equipamentos, garantindo o correto encaminhamento dos cabos e a eficiência da distribuição interna. A disciplina Hidráulica (S5) posicionou os hidrantes e as casas de bombas, fornecendo insumos essenciais para que o projeto de auxiliares desenvolva os sistemas de combate a incêndio e as instalações de bombeamento de forma integrada.

No Passo 17 consolidou-se a compatibilização arquitetônica (B2). Com todas as informações reunidas e os modelos preliminares das disciplinas desenvolvidos, o projeto retornou para a Concepção Arquitetônica (B2), onde ocorreu uma intensa fase de compatibilização. Neste momento, a arquitetura foi ajustada para absorver todas as



necessidades das disciplinas, respeitando as instruções de projeto fornecidas pelo cliente e assegurando o atendimento completo aos requisitos técnicos e normativos.

A compatibilização buscou resolver conflitos espaciais, garantindo a coerência entre as diferentes especialidades e proporcionando um modelo integrado e consistente que servirá de base para as fases seguintes do projeto executivo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo contribuiu significativamente para o preenchimento de uma lacuna importante na literatura científica sobre aplicação de BIM em projetos de subestações primárias metroferroviárias durante a fase de concepção arquitetônica. Através da análise bibliométrica de 23 publicações científicas entre 2021 e 2024, foi possível identificar tendências globais, consolidar conhecimento técnico-científico e desenvolver um protocolo estruturado de 17 etapas para otimização de projetos de subestações primárias utilizando metodologia BIM.

Os resultados revelam hegemonia chinesa na produção científica (69,2%), com emergência significativa da América Latina (15,4%, especialmente Colômbia) e contribuições pontuais da Europa (Itália, 7,7%) e Austrália (5,1%). Esta distribuição geográfica reflete investimentos em infraestrutura elétrica, políticas de digitalização nacional e estabelecimento de centros de excelência regionais. O framework proposto integra conhecimento dos quatro clusters de co-autoria identificados: controle de construção, smart site technology, 4D-BIM com realidade virtual e frameworks de avaliação de maturidade.

A principal contribuição prática é o fluxograma de 17 etapas desenvolvido e validado pela PÓLUX engenharia, estruturando o “*workflow*” BIM desde a definição do terreno até a consolidação arquitetônica. Este protocolo demonstrou aplicabilidade no contexto paulistano de projetos metroviários, representando avanço significativo para operadores de transporte de passageiros no Brasil.

Contudo, identificam-se lacunas remanescentes: (1) literatura limitada especificamente em subestações de tração ferroviária/metroviária; (2) necessidade de estudos quantitativos sobre ROI de implementação BIM em contextos de economia emergente; (3) padronização ainda incipiente entre operadores brasileiros; (4) integração limitada com “*Digital Twins*” e tecnologias de monitoramento em tempo real em ambientes operacionais.

Recomenda-se pesquisa futura em: (a) desenvolvimento de catálogos BIM específicos para subestações de tração metroviária adaptados à legislação brasileira (similar ao S-BIM Latam prCatalog); (b) estudos comparativos de custo-benefício de implementação BIM entre projetos piloto em operadores de metrô; (c) integração de IA/Machine Learning para otimização automática de layouts em fases iniciais; (d) metodologia de Digital Twin integrado a SCADA para operadores existentes. Espera-se que este trabalho inspire futuras pesquisas e contribua para a adoção sistêmica de BIM no setor metroferroviário brasileiro, alinhando-se com tendências globais de digitalização e gestão inteligente de infraestrutura de transporte.

REFERÊNCIAS

Aria, M., and C. Cuccurullo. 2017. “bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis.” *Journal of Informetrics* 11 (4): 959–975.

Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems (ACIRS). 2025. “10th Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems (ACIRS 2025).” Acesso em 26 de outubro de 2025. <https://www.acirs.org>.

Azevedo, D. M., E. Lamounier, C. Guttler, et al. 2021. “Development of BIM (building information modeling) concept applied to projects of substations integrated with the geographic intelligence system.” *WSEAS Transactions on Power Systems* 16: 1–7.

Batty, M., K. W. Axhausen, F. Giannotti, A. Pozdnoukhov, A. Bazzani, M. Wachowicz, and Y. Portugali. 2012. “Smart cities of the future.” *European Physical Journal Special Topics* 214 (1): 481–518. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3>.

Centre for Science and Technology Studies. 2022. Welcome to VOSviewer. Leiden: CWTS. <https://www.vosviewer.com/>. Accessed 22 June 2025.

Cet Brazil. “State Grid Corporation of China.” CET Brazil. Accessed October 26, 2025. <https://cetbrazil.com.br/state-grid-corporation-of-china/>.

Chen, Qin, and Minli Zhang. 2015. "Application of BIM technology for cost control in the construction stage." *Jiangsu Construction* 2015 (4): 116–120.

Chen, X., Y. Yan, Z. Xie, et al. 2023. "Research on whole process quality control technology of substation construction based on big data." In *IEEE International Electrical Energy Conference (CIEEC)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 138–143.

Clemente, J., and N. Cachadinha. 2013. "BIM and integrated asset management." In *Proceedings of the Creative Construction Conference 2013*. Budapest, Hungary.

Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô. "Empresa." Metrô de São Paulo. Acessado em 26 de outubro de 2025. <https://www.metro.sp.gov.br/metro/>.

Cotes, A. J. R., L. A. G. Cano, and S. Heuser. 2024. "Bridging the gap: Implementing BIM and lean principles in electrical substations for Latin America." In *IEEE PES Generation, Transmission and Distribution Latin America Conference and Industrial Expo (GTDLA)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

Digitalização das Redes Elétricas Enel Grids. Enel. <https://www.enel.com/es/nuestra-compania/servicios-energeticos/enel-grids>. Accessed 22 June 2025.

Eastman, C., P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston. 2011. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. 2nd ed., Wiley.

Enel Grid. 2022. *Global Infrastructure and Networks – GSCM734 Voltage transformer trolley for air insulated "compact" switchgear family*. Technical Specification code: MAT-E&C-NC-2021-0055-EGIN. <https://www.eneldistribuicao.com.br/ce/documentos/GSCM734%20ed.2.pdf>. Accessed 22 June 2025.

Entegra GmbH. "Bienvenido a la página de eventos | entegra gmbh." primtech. Última atualização em 2025. <https://www.primtech.com/es/noticias/eventos>. (Acessado em 26 de outubro de 2025).

Furnas Centrais Elétricas. "Institucional." Eletrobras Furnas. Acessado em 26 de outubro de 2025. <https://www.furnas.com.br/subsecao/2/institucional?culture=pt>.

Gentile, A., G. Giannini, S. Mangialavori, et al. 2023. "Primary substation open standardisation through building information modelling (BIM) implementation." In *IET Conference Proceedings*, Institution of Engineering and Technology, 1250–1254.

Heuser, S., L. A. Guevara Cano, W. Eyrich, et al. 2022. "Digital twin, simulation BIM and virtual reality models for substation lifecycle in engineering, operation, asset management & maintenance." In *IEEE PES Generation, Transmission and Distribution Conference Expo - Latin America*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

Jiang, Q., Y. Liu, Y. Yan, et al. 2024. "BIM-based 3-D multimodal reconstruction for substation equipment inspection images." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 73.

Ju, X., Y. Wan, S. Liu, et al. 2024. "Integrated application of BIM technology and data mining algorithms in substation engineering." In *Proceedings - International Conference on Power, Electrical Engineering, Electronics Control (PEEEEC)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 965–969.

Kassem, M., G. Kelly, N. Dawood, M. Serginson, and S. Lockley. 2015. "BIM in facilities management applications: A case study of a large university complex." *Built Environment Project and Asset Management* 5 (3): 261–277. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-02-2014-0011>.

Li, L., X. Chen, F. Wu, et al. 2024. "Study on multi-objective optimization of assembly strategies for building constructions based on BIM." In *International Symposium on Artificial Intelligence and Intelligent Manufacturing (AIIM)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 736–744.

Loggia, R., and A. Flamini. 2023. "Electrical safety enhanced with BIM, SCADA and digital twin integration: A case study of a MV-LV substation." *IEEE Transactions on Industry Applications* 60 (2): 2725–2731.

Luo, X., H. Mao, F. Wang, et al. 2021. "Development and application of three-dimensional visualization system for substation construction control based on 'BIM+ smart site' technology." In *International Symposium on Traffic Transport Civil Architecture (ISTTCA)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 410–417.

Maia, Marcelo, and Denise Fukumi Tsunoda. 2020. "Governança corporativa: Levantamento da produção em artigos recuperados da Scopus." *RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação* 18 (0): e020019. <https://doi.org/10.20396/rdbci.v19i0.8658213>.

Ma, Yiping. 2016. "Acceptance of concealed works in water conservancy projects." *Innovation and Application of Science and Technology* 2016 (18): 204.

Open Power Grids Platform. <https://indh-prod-egin-global-od-landing-page.cfapps.eu10.hana.ondemand.com/opendataselandingpage/index.html>. Accessed 22 June 2025.

PÓLUX Engenharia Ltda. "Projetar e Gerenciar Grandes Empreendimentos: Contribuindo para um Mundo Melhor." Acessado em 26 de outubro de 2025. <https://www.polux.com.br>.

Qin, K., B. Zhong, and Q. Lan. 2024. "Research on the automatic statistical technology of construction progress of substation engineering based on AI and AR." In *Proceedings - International Conference on Advanced Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 183–188.

Rong, J., L. Qi, H. Wu, et al. 2023. "Framework for evaluating the BIM application performance: A case study of a grid information modeling system." *Sustainability (Switzerland)* 15 (15).

Shao, Z., Y. Qiu, L. Xie, et al. 2021. "Platform building and application of substation digital control based on BIM." In *China International Conference on Electrical Distribution (CICED)*, IEEE Computer Society, vol. 2021-April, 259–262.

Succar, B. 2009. "Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders." *Automation in Construction* 18 (3): 357–375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>.

Sun, F., Y. Li, L. Xu, et al. 2022. "Virtual reality-based 4D-BIM method for substations." In *Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems (ACIRS)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 123–127.

Van Eck, N. J., and L. Waltman. 2010. "Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping." *Scientometrics* 84 (2): 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>.

Volk, R., J. Stengel, and F. Schultmann. 2014. "Building information modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs." *Automation in Construction* 38: 109–127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>.

Wang, F., J. Liu, B. Ding, et al. 2021. "Research on optimal sizing and location of substation according to point load forecast based on BIM." In *IEEE Conference on Energy Internet and Energy Systems Integration: Energy Internet Carbon Neutrality (EI2)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 1047–1051.

Wang, S., W. Qiao, L. Wang, et al. 2023a. "Cost management of power grid transmission and substation project based on BIM technology." *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences* 8 (2): 1433–1446.

Wang, S., W. Qiao, L. Wang, et al. 2023b. "Research on substation engineering estimates based on BIM-DE-RF." *Journal of Advances in Information Technology* 14 (5): 892–896.

Xin, L., J. Zhang, and N. Zhang. 2024. "Application of BIM model based on Lidar point cloud technology in construction of power substations." In *Proceedings - SPIE International Society for Optical Engineering*, SPIE, vol. 13229.

Xu, Q., G. Sun, M. Guo, et al. 2023. "Research on evaluation method of BIM application level in power grid engineering project." In *IEEE Annual Flagship India Council International Subsections Conference: Computing Intelligence and Learning Systems (INDISCON)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

Yan, Y., C. Zhang, Q. Liu, et al. 2023. "Application study of GIS + BIM technology in substation construction quality control." In *International Conference on Digital Society and Intelligent Systems (DSInS)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 75–78.

Yang, H., W. Zhang, Y. Wang, et al. 2022. "Substation construction management and control system based on 3D modeling technology." In *Lecture Notes in Data Engineering and Communication Technologies*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, vol. 123, 400–407.

Yang, Wei. 2014. "Application status and prospect of BIM technology in electric power engineering." *Power & Energy* 35 (4): 530–532.

Zhang, D., Z. Wang, and C. Yin. 2021. "Research on evaluation method of application maturity of BIM technology in transmission and distribution engineering based on fuzzy theory." In *IOP Conference Series - Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, vol. 680.

Zotero. <https://www.zotero.org/groups/6019192/bim-sep/library>.