

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**ENIVALDO BATISTA DOS SANTOS FILHO**

**A EVOLUÇÃO DAS METODOLOGIAS DE PROJETO: UMA  
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CAD E BIM EM INSTALAÇÕES  
ELÉTRICAS**

Uberlândia  
2024

**ENIVALDO BATISTA DOS SANTOS FILHO**

**A EVOLUÇÃO DAS METODOLOGIAS DE PROJETO: UMA ANÁLISE  
COMPARATIVA ENTRE CAD E BIM EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares

---

Assinatura do Orientador

Uberlândia  
2024

# **A EVOLUÇÃO DAS METODOLOGIAS DE PROJETO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CAD E BIM EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade  
Federal de Uberlândia como requisito parcial à  
obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Prof. Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares

## **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Orientador

---

Prof. Examinador

---

Prof. Examinador

“Nós temos que viver sem deixar nenhum  
arrependimento” – Portgas D. Ace.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos professores da Universidade Federal de Uberlândia que influenciaram minha jornada, pela dedicação em ensinar e pela sabedoria transmitida. Em especial, agradeço ao meu orientador, Carlos Eduardo, pelos ensinamentos e ajuda para concluir essa etapa da jornada na graduação.

Agradeço a toda minha família por, desde o início, terem me apoiado a fazer uma faculdade, mesmo distante deles. Agradeço especialmente ao meu pai, Enivaldo, por sempre estar ao meu lado; à minha mãe, Maria, por sempre torcer por mim e querer o meu melhor; e às minhas duas irmãs, Lorrainy e Larissa, por todo o companheirismo, suporte e amor.

Por último, gostaria de agradecer a todas as amigas que fiz durante esse período de graduação, em especial ao Miguel, que sempre esteve ao meu lado durante toda a minha jornada, me apoiando nos momentos difíceis e festejando comigo nos momentos bons.

## RESUMO

Os projetos elétricos são fundamentais para garantir a segurança e eficiência de instalações em edificações e sistemas industriais. Com o passar dos anos, o mercado tem passado por uma transição gradual das metodologias tradicionais de CAD (*Computer-Aided Design*) para abordagens mais integradas, como o BIM (*Building Information Modeling*), impulsionada pela necessidade crescente de colaboração entre disciplinas. Esta pesquisa investiga essa mudança por meio de uma análise detalhada de publicações acadêmicas e demandas no mercado de trabalho, com foco na comparação entre as duas metodologias no contexto de projetos elétricos. A metodologia incluiu a coleta de dados em repositórios científicos, como Google Acadêmico, Scopus e ScienceDirect, e a análise de vagas no LinkedIn para identificar tendências e padrões de adoção de ambas as abordagens. Os resultados mostram que, enquanto o CAD ainda é amplamente utilizado, especialmente em níveis operacionais e intermediários, o BIM e ferramentas como o Revit estão ganhando relevância em posições estratégicas e de liderança, sugerindo uma coexistência momentânea e uma migração gradual para metodologias mais colaborativas e eficientes.

**Palavras-chave:** *Computer-Aided Design (CAD); Building Information Modeling (BIM); AutoCAD; Revit; Projetos elétricos.*

## ABSTRACT

Electrical projects are essential to ensuring the safety and efficiency of installations in buildings and industrial systems. Over the years, the market has gradually transitioned from traditional CAD (Computer-Aided Design) methodologies to more integrated approaches, such as BIM (Building Information Modeling), driven by the growing need for interdisciplinary collaboration. This research investigates this shift through a detailed analysis of academic publications and market demands, focusing on comparing the two methodologies within the context of electrical projects. The methodology involved data collection from scientific repositories such as Google Scholar, Scopus, and ScienceDirect, along with an analysis of LinkedIn job postings to identify trends and adoption patterns for both approaches. The results indicate that while CAD is still widely used, particularly in operational and mid-level positions, BIM and tools like Revit are gaining traction in strategic and leadership roles, suggesting a temporary coexistence and a gradual migration toward more collaborative and efficient methodologies.

**Keywords:** Computer-Aided Design (CAD); Building Information Modeling (BIM); AutoCAD; Revit; Electrical projects.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Um projeto CAD consiste em muitos arquivos não correlacionados criados de forma independente (Adaptado de Gaidyte, 2010) .....	23
Figura 2. O modelo BIM é uma base de dados centralizada na qual todos os documentos são interdependentes (Adaptado de Gaidyte, 2010) .....	23
Figura 3. Número de artigos científicos de 1970 para outubro de 2024 (O autor, 2024).....	34
Figura 4. Número de artigos científicos de 1970 para outubro de 2024 limitados a projetos elétricos (O autor, 2024).....	36
Figura 5. Barra de pesquisa de vagas do LinkedIn (O autor, 2024). .....	38



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Fases de implementação do BIM definidas no pelo decreto nº 10.306 (Adaptado de Secretária-geral da Presidência da República, 2020)	18
Tabela 2. Distribuição de Vagas por Nível Hierárquico e Competências em CAD e BIM (O autor, 2024).	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>11</b>
1.1.1 Objetivos Específicos.....	11
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 CONCEITO E APLICAÇÃO DO CAD EM PROJETOS ELÉTRICOS – VANTAGENS E DESAFIOS.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2. CONCEITO E APLICAÇÃO DO BIM EM PROJETOS ELÉTRICOS – VANTAGENS E DESAFIOS .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3. COMPARAÇÃO ENTRE CAD E BIM NO CONTEXTO DE PROJETOS ELÉTRICOS .....</b>	<b>22</b>
2.3.1. Natureza da informação .....	24
2.3.2. Colaboração e comunicação .....	24
2.3.3. Gerenciamento do ciclo de vida .....	25
2.3.4. Visualização e Análise.....	25
2.3.5. Interoperabilidade e Gerenciamento de Dados.....	25
<b>2.4. IMPACTO DO BIM NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS .....</b>	<b>26</b>
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>32</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE TERMOS RELACIONADOS A CAD E BIM EM REPOSITÓRIOS ACADÊMICOS. 34</b>	
<b>4.2. TENDÊNCIAS DE DEMANDA POR COMPETÊNCIAS EM CAD E BIM NO MERCADO DE TRABALHO NO LINKEDIN .....</b>	<b>37</b>
4.2.1. Níveis Hierárquicos e Evolução da Demanda .....	38
4.2.2. Ferramentas na indústria de AEC .....	39
<b>4.3. TENDÊNCIAS E IMPLICAÇÕES .....</b>	<b>40</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>44</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A integração do *Computer-Aided Design* (CAD) e *Building Information Modeling* (BIM) na engenharia transformou significativamente a indústria, aumentando a eficiência, colaboração e sustentabilidade do projeto. O CAD tem sido um item básico na engenharia para a criação de desenhos e planos detalhados. No entanto, o advento do BIM introduziu uma abordagem mais holística ao gerenciamento de projetos, permitindo a incorporação de modelos ricos em dados que abrangem não apenas informações geométricas, mas também dados funcionais e operacionais ao longo do ciclo de vida de uma estrutura (D'Amico, 2020; Bongiorno et al., 2019).

A aplicação do BIM na engenharia é particularmente benéfica para projetos de infraestrutura, onde facilita a visualização e simulação de sistemas complexos. Por exemplo, D'Amico (2020) destaca que o BIM permite a integração de dimensões 4D (tempo) e 5D (custo), que são cruciais para o cronograma e orçamento eficazes do projeto. Essa capacidade permite que os engenheiros antecipem problemas potenciais e otimizem a alocação de recursos, levando, em última análise, à redução dos custos do projeto e a cronogramas aprimorados.

Além disso, o BIM promove a colaboração entre várias partes interessadas envolvidas em projetos de engenharia. Como Bongiorno et al. (2019) observam, o BIM fornece um ambiente 3D compartilhado onde todos os participantes podem contribuir em tempo real, aprimorando o compartilhamento de conhecimento e os processos de tomada de decisão. Essa estrutura colaborativa é essencial na engenharia, onde os projetos geralmente envolvem várias áreas e exigem comunicação contínua para garantir resultados bem-sucedidos. A interoperabilidade dos modelos BIM é outro aspecto crítico que aumenta sua utilidade na engenharia. Park et al. (2015) enfatizam que a capacidade de gerar modelos BIM que incorporem dados gráficos e não gráficos facilita uma melhor integração de informações em diferentes fases de um projeto. Essa interoperabilidade é vital para garantir que todas as partes interessadas estejam trabalhando com os dados mais atuais e precisos, minimizando erros e retrabalho.

Além de melhorar a colaboração e a interoperabilidade, o BIM também desempenha um papel significativo na sustentabilidade dos projetos de engenharia. Ao permitir avaliações do ciclo de vida e análises de desempenho, o BIM permite que os engenheiros avaliem o impacto ambiental de seus projetos e tomem decisões informadas que promovam práticas sustentáveis

(Shults, 2022). Isso é cada vez mais importante no contexto dos esforços globais para reduzir os impactos ambientais e aumentar a resiliência da infraestrutura.

Apesar das diversas vantagens do BIM, sua implementação na engenharia ainda está evoluindo. Desafios como a necessidade de treinamento especializado, o investimento inicial em tecnologia e a integração do BIM em fluxos de trabalho existentes podem dificultar a adoção generalizada (Park et al., 2015).

No entanto, as instituições educacionais estão cada vez mais reconhecendo a importância do treinamento em BIM para futuros engenheiros civis, como evidenciado pela incorporação do BIM em currículos em vários programas (Bazán et al., 2020). Esse foco educacional visa equipar os alunos com as habilidades necessárias para alavancar o BIM efetivamente em suas futuras carreiras.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta uma análise comparativa das metodologias CAD e BIM no desenvolvimento de projetos de instalações elétricas. A pesquisa foi realizada com base na investigação das principais características e funcionalidades de cada metodologia, avaliando suas vantagens e desvantagens, como a interoperabilidade entre disciplinas, a facilidade na detecção de interferências e a capacidade de simulação proporcionada pelo BIM em relação ao CAD. Além disso, o estudo busca identificar os principais desafios enfrentados por empresas que ainda utilizam predominantemente o CAD e propõe estratégias de transição para o BIM, considerando a evolução dessas metodologias ao longo das últimas décadas nos contextos acadêmico e profissional.

## **1.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste estudo é identificar e avaliar as vantagens e desvantagens do uso das metodologias CAD e BIM em projetos de instalações elétricas.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

Visando atingir o objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Investigar e descrever as principais características e funcionalidades das metodologias CAD e BIM, destacando suas aplicações no contexto de instalações elétricas;
- Analisar as vantagens e desvantagens do uso do BIM em relação ao CAD, incluindo a interoperabilidade entre disciplinas, facilidade de detecção de interferências e capacidade de simulação;

- Identificar os principais desafios na implementação do BIM em empresas que tradicionalmente utilizam CAD para o desenvolvimento de projetos elétricos e sugerir estratégias de transição eficiente.
- Analisar a evolução das metodologias de projeto em instalações elétricas, considerando o desenvolvimento do CAD e BIM ao longo das últimas décadas no âmbito acadêmico e profissional.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo são apresentados os conceitos teóricos que norteiam o tema da pesquisa, com intuito de embasar o estudo e facilitar sua compreensão e apoio às conclusões. Inicialmente, são apresentados alguns conceitos e aplicações do CAD e do BIM no contexto de projetos elétricos.

### **2.1 Conceito e Aplicação do CAD em Projetos Elétricos – Vantagens e Desafios**

O CAD é uma tecnologia que utiliza sistemas de computador para auxiliar na criação, modificação, análise e otimização de um projeto. No contexto de projetos de instalações elétricas, o CAD desempenha um papel crucial ao fornecer ferramentas que facilitam a representação precisa de sistemas elétricos, incluindo layouts de fiação, diagramas de circuitos e especificações de componentes. Essa tecnologia aumenta a eficiência e a precisão do processo de projeto, permitindo que engenheiros visualizem e simulem instalações elétricas antes da implementação real (He et al., 2011; Vitkovic, 2024).

Entre os softwares mais difundidos estão o AutoCAD, SolidWorks, CATIA, MicroStation e DraftSight, os quais oferecem ferramentas robustas para o desenvolvimento de modelos bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D). O AutoCAD, por exemplo, é amplamente utilizado para a elaboração de desenhos técnicos e plantas arquitetônicas, enquanto o SolidWorks e o CATIA são mais voltados para a modelagem tridimensional complexa e a simulação de componentes mecânicos. Além desses, ferramentas como o Fusion 360 e o SketchUp também são populares para modelagens mais leves e rápidas. Softwares como o TurboCAD e o BricsCAD surgem como alternativas de custo reduzido e versatilidade, sendo utilizados tanto em ambientes profissionais quanto educacionais. Já o LibreCAD se destaca por ser uma opção de código aberto, amplamente utilizada em projetos de menor complexidade. Esses programas foram desenvolvidos para aumentar a produtividade dos projetistas e engenheiros, otimizando o processo de criação e revisão de projetos por meio de uma interface gráfica intuitiva e a integração com normas e padrões técnicos.

Uma das principais funções do CAD na documentação de projetos de instalações elétricas é sua capacidade de criar esquemas e diagramas detalhados. Essas representações visuais são essenciais para transmitir sistemas elétricos complexos de forma clara e concisa. O software CAD permite que engenheiros utilizem símbolos e notações padronizados, garantindo

que a documentação esteja de acordo com os padrões da indústria e seja facilmente interpretável por outros profissionais envolvidos no projeto (Sun et al., 2013).

Essa padronização é vital para manter a consistência em diferentes projetos e facilitar a comunicação entre os membros da equipe. Além disso, os sistemas CAD permitem a integração de vários elementos de projeto, como cálculos de carga, especificações de circuito e recursos de segurança, em um único modelo. Essa integração não apenas simplifica o processo de projeto, mas também aumenta a precisão da documentação. Ao incorporar dados e simulações em tempo real, as ferramentas CAD podem ajudar a identificar problemas potenciais, como sobrecargas ou curtos-circuitos, no início da fase de projeto, reduzindo assim a probabilidade de modificações dispendiosas durante a construção (Hong et al., 2013; Kitsios et al., 2011).

Outra vantagem significativa do uso de CAD em projetos de instalação elétrica é sua capacidade de modificações e atualizações fáceis. À medida que os requisitos do projeto evoluem, o software CAD permite que os engenheiros ajustem rapidamente os projetos sem a necessidade de redesenhar esquemas inteiros. Essa flexibilidade é particularmente benéfica em ambientes dinâmicos onde as mudanças são comuns, garantindo que a documentação permaneça atualizada e relevante durante todo o ciclo de vida do projeto (Krishnan et al., 2016; Sato et al., 2021).

Além disso, os sistemas CAD geralmente incluem recursos para gerar relatórios e documentação automaticamente. Essa capacidade pode reduzir significativamente o tempo gasto em tarefas administrativas, permitindo que os engenheiros se concentrem mais nos aspectos do projeto. Os relatórios gerados a partir de modelos CAD podem incluir listas detalhadas de materiais, especificações e instruções de instalação, que são essenciais para a execução do projeto e conformidade com os padrões regulatórios (Velickovic et al., 2015; Kominé et al., 2020).

Em contrapartida, o uso do CAD no manuseio de instalações elétricas complexas apresenta vários desafios e limitações que podem impactar a eficiência e eficácia do processo de design. Embora as ferramentas CAD tenham revolucionado o design elétrico ao fornecer recursos poderosos de visualização e documentação, elas também enfrentam obstáculos significativos ao lidar com sistemas complexos. Entre os principais desafios e limitações do uso do CAD em instalações elétricas complexas, destacam-se:

- **Complexidade dos sistemas elétricos:** Sendo esse um dos principais desafios, as instalações elétricas geralmente envolvem vários componentes, como transformadores, disjuntores e configurações de fiação, o que pode levar a designs complexos que são difíceis de gerenciar dentro do software CAD. Conforme observado por Love et al.



(2018), a complexidade dos ativos elétricos pode dificultar a capacidade de documentar e gerenciar efetivamente esses sistemas usando abordagens CAD tradicionais. Essa complexidade pode resultar em maiores chances de erros durante a fase de projeto, principalmente quando modificações são necessárias.

- **Limitações na interoperabilidade:** Outra limitação significativa das ferramentas CAD é sua interoperabilidade com outros sistemas de software. Muitos aplicativos CAD são projetados para funcionar de forma independente, o que pode criar desafios ao integrar com outras ferramentas ou plataformas de engenharia, como sistemas BIM. A falta de troca de dados contínua pode levar a discrepâncias nas informações de projeto, dificultando a manutenção da consistência entre as diferentes fases do projeto (Love et al., 2018; Krieger et al., 2018). Esse problema é particularmente pronunciado em projetos multiáreas onde a colaboração entre várias áreas de engenharia é essencial.
- **Dificuldade em gerenciar mudanças:** Os sistemas CAD podem ter dificuldades para gerenciar mudanças em projetos elétricos complexos. Quando modificações são feitas em uma parte do projeto, ele pode não atualizar automaticamente os componentes relacionados, levando a potenciais inconsistências e erros. Esse desafio é exacerbado em grandes projetos onde vários engenheiros podem estar trabalhando em diferentes aspectos do projeto simultaneamente. Conforme destacado por Giachelle et al. (2021), a necessidade de documentação robusta e processos de gerenciamento de mudanças é crítica, mas muitas vezes ausente em ambientes CAD tradicionais.
- **Experiência e treinamento do usuário:** O uso eficaz de ferramentas CAD para instalações elétricas complexas requer um alto nível de experiência e treinamento. Os engenheiros devem ser proficientes não apenas no software em si, mas também na compreensão das complexidades dos sistemas elétricos. Esse requisito pode representar uma barreira de entrada para profissionais menos experientes, levando a potenciais ineficiências no processo de projeto (Love et al., 2018; Han et al., 2019). Além disso, a rápida evolução das tecnologias CAD exige treinamento contínuo, o que pode exigir muitos recursos das organizações.
- **Problemas de desempenho com modelos grandes:** À medida que as instalações elétricas aumentam em complexidade, o tamanho dos modelos CAD pode se tornar difícil de manejar, levando a problemas de desempenho. Modelos grandes podem resultar em tempos de renderização lentos e maiores demandas computacionais, o que pode prejudicar a produtividade e frustrar os usuários. Esse desafio é particularmente

relevante ao lidar com gráficos de alta resolução e componentes detalhados, conforme observado por Bagci et al. (2012). As limitações de desempenho do software CAD podem, em última análise, impactar a capacidade de conduzir análises e simulações completas de sistemas elétricos.

- **Conformidade e padrões:** As instalações elétricas devem aderir a vários regulamentos e padrões, o que pode complicar o processo de design. As ferramentas CAD podem nem sempre incorporar os requisitos de conformidade mais recentes, exigindo verificações manuais adicionais e ajustes por engenheiros. Essa falta de integração pode levar ao aumento dos cronogramas do projeto e a potenciais problemas de conformidade se não for gerenciada de forma eficaz (Love et al., 2018; Pomeroy & Marcon, 2018).
- **Compatibilidade de projetos:** A compatibilidade em fluxos de trabalho CAD muito afetada pela padronização de formatos de arquivo. Muitos sistemas CAD utilizam formatos proprietários, o que pode criar desafios ao compartilhar projetos entre diferentes aplicativos de software. Para projetos elétricos, onde a colaboração entre engenheiros eletricitas, arquitetos e engenheiros mecânicos é essencial, a falta de formatos padronizados pode levar a dificuldades na integração de projetos (Saha, 2017). O uso de formatos de arquivo comuns, como DXF (Drawing Exchange Format) ou DWG (Drawing), pode ajudar a mitigar esses problemas e melhorar a interoperabilidade entre diferentes sistemas CAD.
- **Projetos colaborativos:** A colaboração em fluxos de trabalho CAD geralmente envolve o compartilhamento de desenhos por e-mail ou plataformas de compartilhamento de arquivos, o que pode levar a problemas de controle de versão e informações desatualizadas sendo usadas na tomada de decisões. Essa falta de um modelo unificado pode resultar em discrepâncias entre diferentes saídas de design, complicando o processo de execução (Santos & Couto, 2022).

## 2.2. Conceito e Aplicação do BIM em Projetos Elétricos – Vantagens e Desafios

O BIM pode ser definido como um modelo digital que integra vários tipos de informações relacionadas a um projeto de construção, incluindo geometria, relações espaciais, informações geográficas e quantidades. Este modelo serve como um recurso de conhecimento compartilhado para informações sobre uma instalação, formando uma base confiável para

decisões durante seu ciclo de vida (Lim, 2015; Omer et al., 2022). O uso do BIM permite a visualização de um projeto em três dimensões, facilitando a compreensão e comunicação entre todas as partes interessadas envolvidas (Öz, 2023; Zhabrinna et al., 2018). Exemplo disso são as indústrias de arquitetura, engenharia e construção (AEC) que facilitam a criação e o gerenciamento de representações digitais de características físicas e funcionais de edifícios e infraestrutura (Öz, 2023; Zhabrinna et al., 2018).

Dentre os principais softwares utilizados na metodologia BIM, destacam-se o Revit, ArchiCAD, Tekla Structures, Vectorworks e Navisworks. O Revit, amplamente adotado pela indústria de construção civil, é conhecido por sua capacidade de modelagem paramétrica e coordenação entre diversas disciplinas, como arquitetura, elétrica e hidráulica. O ArchiCAD, por sua vez, oferece ferramentas intuitivas para a criação de modelos arquitetônicos detalhados e de alta precisão. O Tekla Structures é uma solução voltada para a modelagem estrutural, proporcionando a criação de projetos complexos com alto nível de detalhamento e precisão na construção de elementos metálicos e de concreto. Já o Navisworks e o BIM 360 são utilizados para a coordenação de projetos e detecção de interferências, garantindo maior eficiência e controle durante a fase de construção. Outros softwares, como o Allplan e o Bentley AECOsim, também desempenham um papel importante na modelagem multidisciplinar e na gestão integrada de projetos. Em conjunto, essas ferramentas facilitam a colaboração entre diferentes áreas, promovendo a interoperabilidade e o gerenciamento eficaz de informações, contribuindo para a redução de custos e melhoria da qualidade dos empreendimentos.

No Brasil, com o objetivo de criar um ambiente propício para investimentos na metodologia BIM, o governo instituiu em 2018 a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM, conhecida como BIM BR, por meio do decreto nº 9.377, posteriormente revogado e atualizado em 2019 pelo decreto nº 9.983. Em 2020, o decreto nº 10.306 foi publicado, estabelecendo a adoção gradual do BIM para a execução de obras e serviços de engenharia conduzidos por órgãos e entidades públicas federais. A implementação é planejada em etapas, cujas descrições e datas de vigência estão apresentadas na Tabela 1. Embora essas iniciativas tenham ocorrido mais tarde em comparação ao cenário internacional, elas estimularam a aplicação do BIM nas empresas, incentivaram o desenvolvimento tecnológico e promoveram a difusão do conhecimento sobre a metodologia no mercado brasileiro.

Tabela 1. Fases de implementação do BIM definidas no pelo decreto nº 10.306 (Adaptado de Secretária-geral da Presidência da República, 2020)

Fase	Data de vigência	Adequação
I	1º de janeiro de 2021	Desenvolvimento de projetos referentes a construções novas, ampliações ou reabilitações quando consideradas de grande relevância
II	1º de janeiro de 2024	Execução direta ou indireta de projetos e na gestão de obras, referentes a construções novas, reformas, ampliações ou reabilitações quando consideradas de grande relevância
III	1º de janeiro de 2028	Desenvolvimento de projetos de arquitetura e engenharia e na gestão de obras referentes a construções novas, reformas, ampliações e reabilitações, quando consideradas de média ou grande relevância

A seguir, são apresentadas as principais vantagens do BIM, que reforçam sua eficácia e aplicabilidade na gestão e execução de projetos multidisciplinares:

- **Colaboração e coordenação em tempo real:** Uma das vantagens mais significativas do BIM é sua capacidade de facilitar a colaboração em tempo real entre várias partes interessadas, incluindo arquitetos, engenheiros, contratantes e clientes. O BIM serve como um repositório centralizado para todas as informações do projeto, permitindo que os membros da equipe acessem e atualizem o modelo simultaneamente (Santos et al., 2015; Lin et al., 2020). Esse ambiente colaborativo aprimora a comunicação e reduz a probabilidade de erros e mal-entendidos que podem surgir de métodos tradicionais de compartilhamento de informações (Chan et al., 2018). Para projetos elétricos, isso significa que quaisquer alterações feitas no projeto elétrico são imediatamente refletidas no modelo geral, garantindo que todas as partes interessadas estejam trabalhando com as informações mais atuais.
- **Detecção e resolução de conflitos:** A capacidade do BIM de realizar a detecção de conflitos é particularmente benéfica para projetos elétricos, onde vários sistemas (por exemplo, elétricos e hidráulicos frequentemente se cruzam. Ao identificar conflitos no

início da fase de projeto, o BIM permite que as equipes resolvam problemas antes do início da construção, reduzindo o risco de retrabalho e atrasos dispendiosos (Sattineni & Brock, 2019; Lin et al., 2019). Essa abordagem proativa para resolução de conflitos aumenta a eficiência geral do projeto e garante uma execução mais tranquila durante a fase de construção.

- **Visualização e simulação aprimoradas:** O BIM permite a criação de modelos 3D detalhados que fornecem uma representação visual clara do projeto. Essa capacidade auxilia na identificação de potenciais conflitos de design e problemas espaciais no início do processo de design, o que pode reduzir significativamente mudanças dispendiosas durante a construção (Lim, 2015; Omer et al., 2022). A capacidade de visualizar o projeto em três dimensões também aumenta o envolvimento das partes interessadas, pois os clientes podem entender melhor a intenção do design e tomar decisões informadas. Além disso, o BIM permite recursos avançados de simulação que permitem que as equipes de projeto analisem o desempenho dos sistemas elétricos antes da implementação real. Por exemplo, simulações podem avaliar o consumo de energia, distribuição de carga e interações do sistema, fornecendo informações sobre a eficiência e eficácia do projeto (Spasevski & Stoikov, 2022). Essa análise preditiva ajuda a otimizar projetos elétricos, garantindo que os sistemas não sejam apenas funcionais, mas também energeticamente eficientes e compatíveis com códigos e padrões relevantes.
- **Integração e gerenciamento de dados:** O uso desse sistema possibilita integrar vários tipos de dados em um único modelo, incluindo especificações de design, quantidades de materiais e estimativas de custo. Essa integração simplifica o fluxo de trabalho e melhora a precisão dos dados, pois as alterações feitas em uma parte do modelo são refletidas automaticamente em todo o projeto (Öz, 2023; Sampaio & Gomes, 2021). Ao aproveitar essas informações, as equipes de projeto podem tomar decisões informadas que melhoram a qualidade e a sustentabilidade das instalações elétricas. Por exemplo, a capacidade de analisar o impacto ambiental de diferentes opções de design permite que as equipes escolham soluções que se alinhem às metas de sustentabilidade (Spasevski & Stoikov, 2022).
- **Gerenciamento e manutenção do ciclo de vida:** O BIM se estende além das fases de design e construção, oferecendo ferramentas valiosas para gerenciar o ciclo de vida das instalações elétricas. As informações detalhadas armazenadas no modelo BIM podem

ser utilizadas para gerenciamento de instalações, permitindo que equipes de manutenção acessem dados críticos sobre sistemas elétricos, como especificações e cronogramas de manutenção (Diaz, 2016; Latiffi et al., 2015). Essa capacidade melhora o desempenho e a confiabilidade de longo prazo das instalações elétricas, contribuindo para o sucesso geral do projeto.

- **Recursos de planejamento aprimorados:** O BIM fornece uma plataforma abrangente para o planejamento de instalações elétricas integrando vários tipos de dados em um único modelo. Essa integração permite um cronograma de projeto e alocação de recursos mais precisos. Ao utilizar o BIM 4D, que incorpora o tempo como uma dimensão, as equipes de projeto podem visualizar o cronograma de construção junto com o modelo físico, facilitando um melhor planejamento e coordenação de instalações elétricas (Byun & Sohn, 2020; Valkonen, 2023). Ao melhorar a precisão na estimativa de custos e permitir um melhor gerenciamento de recursos, o BIM ajuda a minimizar o desperdício e otimizar os cronogramas do projeto (Bueno & Fabrício, 2017; Lim, 2015). Além disso, a capacidade de conduzir a detecção de conflitos e resolver problemas antes do início da construção pode evitar atrasos e custos adicionais associados ao retrabalho (Öz, 2023; Omer et al., 2022).
- **Análise de sustentabilidade:** O BIM pode facilitar as avaliações de sustentabilidade ao permitir a integração de dados ambientais no processo de design. Essa capacidade permite que as equipes de projeto avaliem o impacto ambiental de seus designs e tomem decisões informadas que promovam práticas de construção sustentáveis (Lim, 2015; Zhabrinna et al., 2018). A capacidade de simular o desempenho energético e analisar os custos do ciclo de vida aumenta ainda mais a sustentabilidade dos projetos de construção.

No entanto, apesar de suas inúmeras vantagens, o BIM também enfrenta vários desafios e limitações que podem prejudicar sua eficácia neste contexto. Abaixo estão alguns dos principais desafios associados ao BIM no manuseio de instalações elétricas complexas:

- **Complexidade dos sistemas elétricos:** As instalações elétricas geralmente envolvem sistemas complexos com vários componentes, como fiação, disjuntores, transformadores e sistemas de controle. A complexidade desses sistemas pode tornar desafiador criar modelos BIM precisos e abrangentes. Conforme observado por

Valkonen (2023), projetos pouco claros podem levar à improvisação no local, o que acaba afetando a produtividade. A natureza complexa dos sistemas elétricos requer modelagem precisa, e qualquer descuido pode resultar em problemas significativos durante a instalação.

- **Problemas de interoperabilidade:** O BIM depende da integração de várias ferramentas e plataformas de software para funcionar de forma eficaz. No entanto, problemas de interoperabilidade podem surgir quando diferentes aplicativos de software não se comunicam perfeitamente. Isso pode levar à perda de dados ou discrepâncias entre modelos, complicando a coordenação de instalações elétricas. A falta de formatos padronizados de troca de dados pode dificultar a colaboração entre diferentes partes interessadas, dificultando a manutenção de um modelo unificado durante todo o ciclo de vida do projeto (Chen, 2024).
- **Lacunas de habilidades e necessidades de treinamento:** A implementação bem-sucedida do BIM para instalações elétricas requer uma força de trabalho qualificada e familiarizada com tecnologias BIM e sistemas elétricos. No entanto, muitas vezes há uma falta de programas de treinamento abrangentes que equipem os profissionais com as habilidades necessárias para utilizar o BIM de forma eficaz. Essa lacuna de habilidades pode limitar o potencial total do BIM, pois os profissionais podem ter dificuldade para alavancar suas capacidades para projetos elétricos complexos (Zhou, 2024).
- **Desafios de gerenciamento de dados:** O BIM gera grandes quantidades de dados, o que pode ser desafiador para as equipes de projeto gerenciarem de forma eficaz. Garantir que todos os dados sejam precisos, atualizados e acessíveis a todas as partes interessadas é crucial para a execução bem-sucedida do projeto. O envolvimento de várias partes interessadas pode complicar o gerenciamento de dados, levando a possíveis falhas de comunicação e erros (Zhou, 2024). Estratégias eficazes de gerenciamento de dados são essenciais para mitigar esses desafios.
- **Resistência à mudança:** A transição de métodos tradicionais de design para o BIM pode ser enfrentada com resistência por profissionais acostumados às práticas convencionais. Essa resistência pode resultar da falta de compreensão dos benefícios do BIM ou do medo da curva de aprendizado associada às novas tecnologias. Superar essa resistência é fundamental para a adoção bem-sucedida do BIM em projetos

elétricos, pois requer uma mudança cultural dentro das organizações (Alhumayn & Chinyio, 2017).

- **Desafios de coordenação e colaboração:** Embora o BIM seja projetado para aprimorar a colaboração, a realidade pode ser diferente, especialmente em projetos complexos que envolvem várias áreas. Conforme observado por Chauhan et al. (2022), fatores como orçamentos limitados, cronogramas apertados e espaço limitado no edifício podem complicar os processos de coordenação para sistemas mecânicos, elétricos e hidráulico. Comunicação e colaboração eficazes são essenciais para garantir que todas as áreas trabalhem juntas harmoniosamente, mas conseguir isso pode ser desafiador na prática.
- **Limitações em atualizações em tempo real:** Embora o BIM permita atualizações em tempo real, a eficácia desse recurso pode ser limitada pelo software usado e pelos fluxos de trabalho estabelecidos. Se os membros da equipe não atualizarem o modelo de forma consistente ou se houver atrasos na entrada de dados, o modelo pode não refletir com precisão o estado atual do projeto. Isso pode levar a confusão e erros durante a fase de construção, especialmente para instalações elétricas complexas que exigem coordenação precisa (Chen, 2024).

### 2.3. Comparação entre CAD e BIM no Contexto de Projetos Elétricos

As diferenças entre BIM e CAD em processos de design e execução são significativas, refletindo suas distintas funcionalidades, metodologias e impactos nos resultados do projeto na indústria de AEC. Embora ambas as tecnologias desempenhem papéis cruciais nos processos de design e construção, elas diferem fundamentalmente em sua abordagem para gerenciamento de informações, colaboração e integração do ciclo de vida.

Segundo Gaidyte (2010), a maior diferença entre BIM e CAD é que um sistema CAD, especialmente 2D, utiliza muitos documentos separados para explicar uma construção. Por exemplo, a vista da parede é representada por duas linhas paralelas e não podemos compreender que essas linhas representam a mesma parede numa secção. O BIM reúne todas as informações em um único local. É um modelo de banco de dados centralizado. No BIM todos os documentos são interdependentes e compartilham inteligência (Figura1 e Figura2).





### 2.3.1. Natureza da informação

O CAD foca principalmente na criação de desenhos e modelos 2D e 3D. É predominantemente uma ferramenta de representação gráfica que permite aos designers produzir planos detalhados, seções e elevações de estruturas. Os sistemas CAD geram desenhos estáticos que representam os aspectos físicos de um projeto sem conter inerentemente dados sobre as relações entre componentes ou seu ciclo de vida (Wang et al., 2021; Gankhuyag & Han, 2020). Isso pode levar a desafios no gerenciamento de projetos complexos, pois as modificações em uma área não se propagam automaticamente por todo o modelo, necessitando de atualizações manuais.

O BIM, por outro lado, integra dados geométricos e não geométricos em um único modelo. O BIM abrange um banco de dados que inclui informações sobre materiais, quantidades, custos e métricas de desempenho, permitindo uma visão mais holística do projeto (Vilas-Boas et al., 2019; Ho et al., 2013). Essa integração permite atualizações em tempo real e garante que todas as partes interessadas estejam trabalhando com as informações mais atuais, reduzindo significativamente o risco de erros e omissões durante as fases de projeto e construção (Jin, 2023; Lin, 2014).

### 2.3.2. Colaboração e comunicação

As ferramentas de CAD geralmente operam em silos, onde diferentes áreas podem trabalhar em desenhos separados sem um modelo unificado. Isso pode levar a falhas de comunicação e conflitos de projeto, especialmente em projetos multiáreas onde a coordenação é essencial (Wang et al., 2021; Lee et al., 2016). A falta de um modelo centralizado pode resultar em discrepâncias entre várias saídas de projeto, complicando o processo de execução. Em contraste, o BIM promove colaboração aprimorada por meio de um ambiente digital compartilhado. Todos os participantes do projeto podem acessar e contribuir para um único modelo, facilitando a comunicação e a coordenação em tempo real (Wang et al., 2021; Ho et al., 2013). Essa abordagem colaborativa permite a identificação e resolução de conflitos de projeto no início do processo, melhorando a eficiência geral do projeto e reduzindo a probabilidade de retrabalho dispendioso durante a construção (Vilas-Boas et al., 2019; Jin, 2023).

### 2.3.3. Gerenciamento do ciclo de vida

O CAD está principalmente preocupado com a fase de projeto, produzindo desenhos detalhados que orientam a construção. No entanto, ele não tem os recursos para gerenciar informações durante todo o ciclo de vida de um edifício. Uma vez que o projeto esteja concluído, os desenhos CAD podem não fornecer dados suficientes para manutenção contínua ou decisões operacionais (Taha, 2020). O BIM, no entanto, é projetado para dar suporte a todo o ciclo de vida de um projeto, desde o projeto inicial até a construção e operação e manutenção.

Os modelos BIM podem ser usados para analisar o desempenho do edifício, conduzir avaliações de energia e gerenciar as operações das instalações, tornando-os inestimáveis para o gerenciamento de ativos de longo prazo (Lim, 2015; Omer et al., 2022). Essa capacidade permite uma melhor tomada de decisão ao longo da vida do edifício, contribuindo para uma melhor sustentabilidade e eficiência (Taha, 2020).

### 2.3.4. Visualização e Análise

Embora o CAD forneça recursos básicos de visualização, ele se concentra principalmente na produção de desenhos em vez de analisá-los. A natureza estática dos desenhos CAD limita a capacidade de conduzir análises de desempenho ou simulações durante a fase de projeto (Taha, 2020; Taha, 2020).

Em contraste, o BIM oferece ferramentas de visualização avançadas que permitem que as partes interessadas explorem o modelo em três dimensões e conduzam várias análises, como integridade estrutural, eficiência energética e estimativa de custo (Wang et al., 2021; Ho et al., 2013). Esse recurso aprimora o processo de projeto ao permitir uma tomada de decisão mais informada e facilitar o envolvimento das partes interessadas por meio de visualizações realistas (Vilas-Boas et al., 2019; Lin, 2014).

### 2.3.5. Interoperabilidade e Gerenciamento de Dados

Os sistemas de CAD geralmente enfrentam desafios relacionados à interoperabilidade, pois diferentes pacotes de software podem não compartilhar dados facilmente ou se integrar uns aos outros. Isso pode levar a ineficiências e perda de dados durante a transferência de informações entre áreas (Wang et al., 2021; Lee et al., 2016).

O BIM é construído em princípios de interoperabilidade, utilizando padrões abertos como *Industry Foundation Classes* (IFC) para facilitar a troca de dados entre diferentes aplicativos de software (Jiang et al., 2019; Meouche et al., 2013). Essa interoperabilidade permite a integração perfeita de informações em várias plataformas, aprimorando a colaboração e garantindo que todos os participantes do projeto tenham acesso aos mesmos dados (Wang et al., 2021; Jin, 2023).

#### 2.4. Impacto do BIM na Indústria da Construção Civil e de Instalações Elétricas

Como mostrado nas seções anteriores, a integração e colaboração entre áreas usando CAD e BIM apresentam fluxos de trabalho e metodologias distintas que impactam significativamente os resultados do projeto na indústria de AEC. Esta comparação destaca as diferenças em processos, eficiências e resultados associados a cada abordagem. Abaixo está uma análise comparativa de como CAD e BIM facilitam a integração e colaboração entre várias áreas.

- **Fase de design do projeto:** Em fluxos de trabalho CAD tradicionais, a fase de design normalmente envolve a criação de desenhos 2D e modelos 3D que representam os aspectos físicos de um projeto. Os designers geralmente trabalham isolados, produzindo desenhos detalhados que devem ser atualizados manualmente quando ocorrem alterações. Isso pode levar a discrepâncias entre diferentes desenhos e à falta de integração entre várias áreas de design (Rocha et al., 2020; Byun & Sohn, 2020). A dependência de processos manuais pode resultar em aumento de tempo e esforço, principalmente quando modificações são necessárias. Em contraste, o fluxo de trabalho BIM começa com a criação de um modelo digital abrangente que integra vários tipos de informações, incluindo geometria, materiais e dados de desempenho. Este modelo serve como um repositório central para todas as informações do projeto, permitindo a colaboração em tempo real entre arquitetos, engenheiros e empreiteiros. O BIM facilita o uso de ferramentas de visualização, simulação e análise 3D, permitindo que as partes interessadas avaliem as opções de design e tomem decisões informadas no início do processo (Chao & Tang, 2019). A capacidade de visualizar o projeto em três dimensões ajuda a identificar potenciais conflitos e ineficiências antes do início da construção.

- **Natureza da colaboração:** Em fluxos de trabalho CAD tradicionais, a colaboração geralmente ocorre por meio da troca de desenhos 2D e modelos 3D. Cada área normalmente trabalha em arquivos separados, o que pode levar a falhas de comunicação e erros. As alterações feitas em um desenho podem não ser refletidas em outros, resultando em discrepâncias e potenciais conflitos durante a execução (Byun & Sohn, 2020; Rahmani, 2022). Essa abordagem isolada pode dificultar o trabalho em equipe eficaz e prolongar os cronogramas do projeto. O BIM, por outro lado, promove um ambiente colaborativo por meio de um modelo digital centralizado que integra informações de várias áreas. Todas as partes interessadas podem acessar e modificar o mesmo modelo em tempo real, melhorando a comunicação e a coordenação (Chao & Tang, 2019; Zhang et al., 2020). Essa abordagem integrada permite melhor visibilidade das mudanças do projeto, permitindo que as equipes identifiquem e resolvam conflitos no início da fase de design, reduzindo assim a probabilidade de retrabalho dispendioso durante a construção (Croce et al., 2022; Rocha et al., 2020). O uso do BIM 4D e 5D oferece suporte adicional ao cronograma do projeto e à estimativa de custos, fornecendo uma visão mais abrangente do cronograma e do orçamento do projeto (Basir, 2023).
- **Gerenciamento e integração de dados:** Os sistemas CAD se concentram principalmente em representações gráficas e não gerenciam inerentemente os relacionamentos de dados entre os componentes. Essa limitação pode complicar a integração de informações entre diferentes áreas, pois cada área pode manter seus dados de forma independente (Byun & Sohn, 2020; Rahmani, 2022). A falta de uma estrutura de dados unificada pode levar a ineficiências e aumento do risco de erros durante as fases de design e execução. O BIM fornece uma estrutura robusta para gerenciamento de dados, permitindo a integração de informações geométricas e não geométricas em um único modelo. Esse recurso permite atualizações em tempo real e garante que todas as partes interessadas estejam trabalhando com as informações mais atuais (Chao & Tang, 2019; Bianchini et al., 2021). O BIM oferece suporte à entrega de dados multidimensionais, o que aumenta a capacidade de analisar e visualizar o projeto de várias perspectivas, incluindo custo, tempo e desempenho (Zhang et al., 2020; Shafiq et al., 2018).
- **Eficiência do fluxo de trabalho:** O fluxo de trabalho CAD geralmente envolve processos manuais para atualizar desenhos e coordenar entre áreas. Isso pode levar a atrasos e ineficiências, especialmente em projetos complexos onde várias alterações são

comuns (Byun & Sohn, 2020; Rahmani, 2022) o que pode tornar o fluxo de trabalho ainda mais lento e aumentar o potencial de erros. O BIM aprimora a eficiência do fluxo de trabalho ao automatizar muitos processos, como detecção de conflitos e levantamento de quantidades. A capacidade de visualizar o projeto em três dimensões permite que as partes interessadas avaliem as opções de design e tomem decisões informadas no início do processo (Chao & Tang, 2019; Zhang et al., 2020). Além disso, a integração do BIM com ferramentas de gerenciamento de projetos facilita melhor programação e alocação de recursos, levando a cronogramas de projeto aprimorados e custos reduzidos (Croce et al., 2022; Rocha et al., 2020).

- **Detecção e resolução de conflitos:** Em fluxos de trabalho CAD, a detecção de conflitos geralmente é um processo manual que ocorre após a conclusão dos desenhos. Essa abordagem reativa pode levar a atrasos significativos e aumento de custos se conflitos forem descobertos durante a construção (Byun & Sohn, 2020; Rahmani, 2022). O BIM incorpora recursos avançados de detecção de conflitos que permitem que as equipes identifiquem conflitos no início da fase de projeto. Ao simular o processo de construção e analisar as interações entre diferentes sistemas, o BIM permite a resolução proativa de problemas antes que eles se tornem problemas dispendiosos durante a execução (Zhang et al., 2020; Rocha et al., 2020). Esta capacidade é particularmente benéfica para instalações elétricas complexas, onde vários sistemas se cruzam.
- **Benefícios de longo prazo e gerenciamento do ciclo de vida:** o CAD se concentra principalmente nas fases de projeto e documentação, com capacidades limitadas para gerenciar informações durante todo o ciclo de vida de um edifício. Uma vez concluído o projeto, os desenhos CAD podem não fornecer dados suficientes para manutenção contínua ou decisões operacionais (Byun & Sohn, 2020; Rahmani, 2022). O BIM oferece suporte a todo o ciclo de vida de um edifício, do projeto e construção à operação e manutenção. As informações detalhadas armazenadas no modelo BIM podem ser utilizadas para gerenciamento de instalações, permitindo que as equipes de manutenção acessem dados críticos sobre sistemas e componentes do edifício (Chao & Tang, 2019; Shafiq et al., 2018). Essa capacidade aprimora o desempenho e a confiabilidade de longo prazo das instalações elétricas, contribuindo para o sucesso geral do projeto.
- **Desafios e limitações:** As limitações do CAD incluem dificuldades no gerenciamento de projetos complexos, falta de colaboração em tempo real e desafios na integração de dados. A natureza manual dos fluxos de trabalho do CAD pode levar a ineficiências e

aumento do risco de erros durante as fases de projeto e execução (Rocha et al., 2020; Byun & Sohn, 2020). Embora o BIM ofereça inúmeras vantagens, ele não é isento de desafios. Isso inclui a necessidade de treinamento especializado, problemas de interoperabilidade entre diferentes plataformas de software e o investimento inicial necessário para a implementação do BIM (Sun et al., 2015). Além disso, a complexidade de criar e manter um modelo BIM abrangente pode ser assustadora, especialmente para empresas menores ou projetos com recursos limitados (Rifai et al., 2022).

A implementação do BIM em projetos de construção envolve vários custos associados ao investimento inicial, operação e manutenção. Entender esses custos é crucial para que as partes interessadas tomem decisões informadas sobre a adoção do BIM. Abaixo está uma análise abrangente das implicações de custo nessas três fases.

- **Investimento Inicial (Implementação):** O investimento inicial em BIM envolve vários componentes, incluindo licenciamento de software, atualizações de hardware, treinamento e custos de integração.
  - *Licenciamento de Software:* O custo de aquisição de software BIM pode ser significativo. Ferramentas BIM populares, como Autodesk Revit, ArchiCAD e Navisworks, exigem um investimento inicial substancial para licenças, que podem variar com base no número de usuários e nas funcionalidades específicas necessárias (Alasmari et al., 2022).
  - *Atualizações de hardware:* para executar o software BIM de forma eficaz, as organizações podem precisar investir em computadores e servidores de alto desempenho, capazes de lidar com grandes conjuntos de dados e modelos complexos. Esse investimento em hardware é essencial para garantir uma operação tranquila e eficiência durante as fases de projeto e execução (Hamma-Adama et al., 2020).
  - *Custos de treinamento:* treinar pessoal para usar as ferramentas BIM de forma eficaz é outro aspecto crítico do investimento inicial. De acordo com Alnaser (2024), o custo do treinamento pode ser substancial, pois requer tempo e recursos para desenvolver as habilidades necessárias entre a equipe. Esse investimento em capital humano é essencial para maximizar os benefícios do BIM.

- *Custos de integração*: integrar o BIM com fluxos de trabalho e sistemas existentes também pode incorrer em custos. Isso pode envolver a personalização de soluções de software ou o desenvolvimento de novos processos para acomodar metodologias BIM (Hamma-Adama et al., 2020).
- **Custos operacionais**: Uma vez que o BIM é implementado, os custos operacionais contínuos devem ser considerados. Esses custos incluem manutenção de software, gerenciamento de dados e treinamento contínuo.
  - *Manutenção de software*: atualizações regulares e manutenção do software BIM são necessárias para garantir o desempenho ideal e acesso aos recursos mais recentes. Essas taxas de manutenção podem aumentar os custos operacionais gerais (Hamma-Adama et al., 2020).
  - *Gerenciamento de dados*: gerenciar as grandes quantidades de dados gerados por modelos BIM requer recursos dedicados. Isso inclui garantir a precisão dos dados, atualizar modelos conforme as mudanças ocorrem e manter a segurança dos dados. Práticas eficazes de gerenciamento de dados são essenciais para alavancar todo o potencial do BIM (Lu et al., 2023).
  - *Treinamento contínuo*: conforme a tecnologia BIM evolui, o treinamento contínuo é necessário para manter a equipe atualizada sobre novos recursos e melhores práticas. Esse investimento contínuo em treinamento ajuda a manter uma força de trabalho qualificada, capaz de utilizar o BIM de forma eficaz (Hamma-Adama et al., 2020).
- **Custos de manutenção**: A fase de manutenção do ciclo de vida de um edifício é onde o BIM pode impactar significativamente os custos operacionais. O BIM facilita uma melhor gestão das instalações, o que pode levar a economias de custos ao longo do tempo.
  - *Manutenção preditiva*: os modelos BIM podem ser usados para rastrear a condição dos sistemas e equipamentos do edifício, permitindo estratégias de manutenção preditiva. Ao analisar dados do modelo BIM, os gerentes das instalações podem antecipar as necessidades de manutenção e programar reparos antes que os problemas surjam, reduzindo o tempo de inatividade e os custos de reparo (Kaewunruen et al., 2022).
  - *Eficiência operacional*: o BIM aumenta a eficiência operacional ao fornecer informações detalhadas sobre os sistemas do edifício, o que pode agilizar os



processos de manutenção. Essa eficiência pode levar à redução dos custos operacionais ao longo do ciclo de vida do edifício (Kaewunruen et al., 2022).

- *Análise de Custo do Ciclo de Vida (LCCA)*: O BIM oferece suporte à análise de custo do ciclo de vida, fornecendo dados precisos para avaliar os custos de longo prazo associados à operação e manutenção do edifício. Essa capacidade permite que as partes interessadas tomem decisões informadas que otimizam a alocação de recursos e minimizam os custos (Alasmari et al., 2022; Lu et al., 2023).

Em resumo, a análise de custo da implementação do BIM abrange o investimento inicial, os custos operacionais e as despesas de manutenção. Embora os custos iniciais possam ser significativos, os benefícios de longo prazo de eficiência aprimorada, custos operacionais reduzidos e gerenciamento aprimorado das instalações podem superar esses investimentos iniciais. Conforme destacado em vários estudos, a adoção do BIM não apenas agiliza o processo de construção, mas também contribui para economias de custo significativas ao longo do ciclo de vida de um edifício (Alasmari et al., 2022; Pučko et al., 2020). As partes interessadas devem avaliar cuidadosamente esses custos e benefícios para tomar decisões informadas sobre a adoção do BIM em seus projetos.

### 3. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma revisão narrativa com o objetivo de comparar as metodologias CAD e BIM na execução de projetos de instalações elétricas, buscando identificar suas principais vantagens e desvantagens. A pesquisa foi conduzida com base em fontes primárias, tais como artigos científicos, livros, dissertações, normas técnicas e publicações especializadas em engenharia e construção. Além disso, foram analisadas vagas abertas disponíveis no LinkedIn para verificar as competências e habilidades exigidas no mercado de trabalho para profissionais que atuam com essas metodologias. As etapas de desenvolvimento do estudo são descritas a seguir:

- **Levantamento Bibliográfico:** A pesquisa bibliográfica foi realizada em bases de dados científicas como Scopus, Google Scholar, ScienceDirect e periódicos especializados em engenharia elétrica e construção civil. As palavras-chave utilizadas incluíram: "*Computer-Aided Design*", "*Building Information Modeling*", "*CAD BIM Comparison*", "*Revit*", "*AutoCAD*" e "*Electrical Project*". A busca foi realizada em inglês, abrangendo o período de 1970 a setembro de 2024. Estas informações estão disponíveis na seção 2;

- **Coleta de Dados de Mercado:** Foi realizada uma pesquisa nas principais plataformas de emprego (como LinkedIn) para identificar as habilidades e competências exigidas para profissionais que utilizam CAD e BIM. As vagas analisadas foram extraídas de empresas que atuam no setor de engenharia elétrica e construção civil, com foco nas funções de engenheiro de projetos, projetista elétrico e coordenador de BIM;

- **Organização e Sistematização dos Dados:** Os dados coletados foram organizados em tabelas e gráficos comparativos, facilitando a análise das características e da eficiência das metodologias CAD e BIM no contexto de projetos de instalações elétricas. As informações foram sistematizadas de acordo com os objetivos específicos do estudo;

- **Investigação e Descrição das Metodologias CAD e BIM:** Foi realizada uma revisão detalhada dos princípios de funcionamento, softwares mais utilizados, limitações e benefícios de cada metodologia. As informações foram agrupadas para evidenciar a evolução das metodologias ao longo das últimas décadas. Estas informações estão disponíveis na seção 2;

- **Identificação de Desafios e Oportunidades:** Foram identificados os principais desafios enfrentados por empresas que estão em processo de transição do CAD para o BIM, assim como as oportunidades para a melhoria da comunicação e integração de equipes multidisciplinares. Estas informações estão disponíveis na seção 2;

- **Validação dos Dados:** A validação dos dados foi realizada por meio de triangulação, cruzando informações de diversas fontes para garantir a consistência e a confiabilidade dos resultados apresentados.

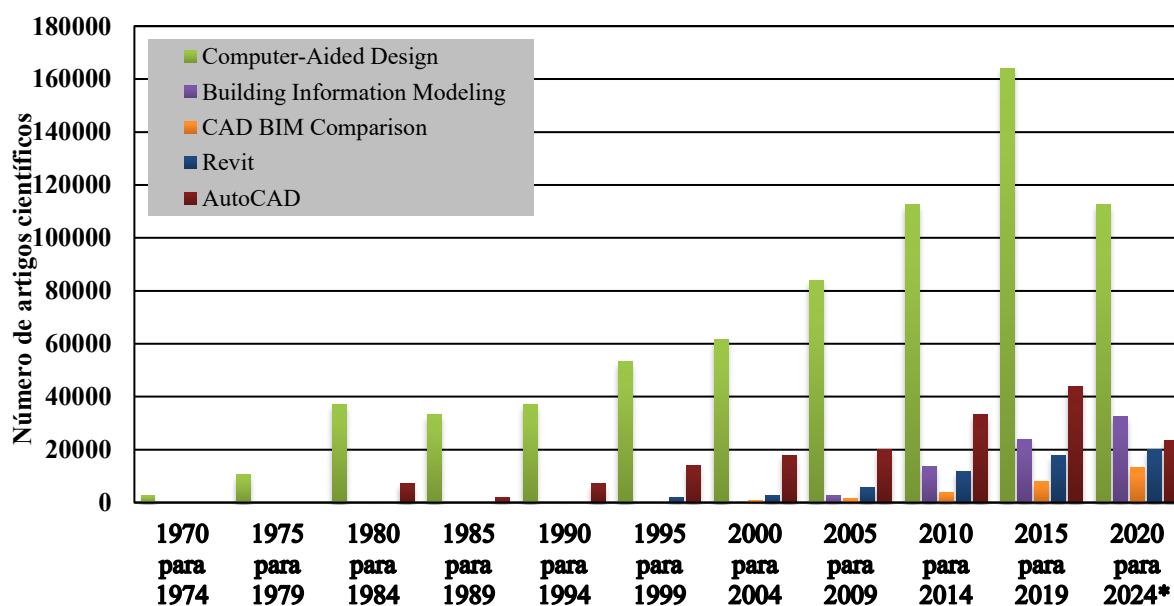
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados desta pesquisa são apresentados a seguir, com uma análise das tendências identificadas tanto nos repositórios acadêmicos quanto no mercado de trabalho. Inicialmente, serão explorados os dados das buscas em plataformas como Google Acadêmico, Scopus e ScienceDirect, destacando a evolução das metodologias CAD e BIM ao longo das décadas, com ênfase na aplicação em projetos elétricos. Em seguida, será discutida a demanda por essas competências no LinkedIn, evidenciando como o mercado tem se adaptado à transição entre CAD e BIM em diferentes níveis hierárquicos e funções. Essas análises fornecerão uma visão integrada entre pesquisa científica e prática profissional, revelando as dinâmicas e desafios enfrentados por empresas e profissionais na adoção dessas metodologias.

### 4.1. Análise da Evolução de Termos Relacionados a CAD e BIM em Repositórios Acadêmicos

Como mencionado na seção 3, pesquisando as palavras-chaves "*Computer-Aided Design*", "*Building Information Modeling*", "*CAD BIM Comparison*", "*Revit*" e "*AutoCAD*", em inglês, encontrou-se 1.004.904 artigos científicos que foram publicados de 1970 a outubro de 2024, por meio de consulta às bases de dados como Scopus, Science Direct e Google Acadêmico, conforme Figura3.

Figura 3. Número de artigos científicos de 1970 para outubro de 2024 (O autor, 2024).



Foram encontrados 682.520 artigos relacionados a “*Computer-Aided Design*”, 73.170 de “*Building Information Modeling*”, 27.427 de “*CAD BIM Comparison*”, 60.127 de “Revit” e 161.660 de “AutoCAD”.

Nos períodos entre 1970 e 1984, as pesquisas estavam focadas quase exclusivamente em “*Computer-Aided Design*”, com um aumento gradual de 2.852 para 36.957 buscas. A presença de “AutoCAD” também começa a surgir a partir de 1980, com 7.165 buscas, refletindo a introdução e crescente adoção dessa ferramenta. Naquele ponto, o termo “*Building Information Modelling*” nem era usado, o que evidencia que na época tanto o mercado quanto a pesquisa ainda estavam focados nas metodologias de design auxiliado por computador.

É assim que, durante esses anos entre 1995 e 1999, o número de buscas relacionadas a CAD continua aumentando para 53.405, enquanto o termo “AutoCAD” também se amplia para abranger 13.923 menções. É neste ano que surgem as primeiras buscas relacionadas ao termo “*Building Information Modeling*”, embora em seu surgimento, em 48 buscas registradas, entre 1995 e 1999. Além disso, vê-se uma inclusão visível do termo “*CAD BIM Comparison*” que mostra os primeiros sinais de comparação entre essas metodologias.

O ponto de virada nas solicitações de “*Building Information Modeling*” começa na década de 2000. Especificamente, de 2005 a 2009, houve 2.672 solicitações, o que mostra que o início da popularização deste conceito havia sido iniciado. Paralelamente, o termo AutoCAD também cresce para 19.952 solicitações, o que significaria que, embora o BIM estivesse surgindo, o CAD e suas ferramentas ainda eram muito significativos. O aumento na busca pela comparação de CAD vs BIM, que chega a 1.492, marca o início da discussão da transição na metodologia de forma técnica.

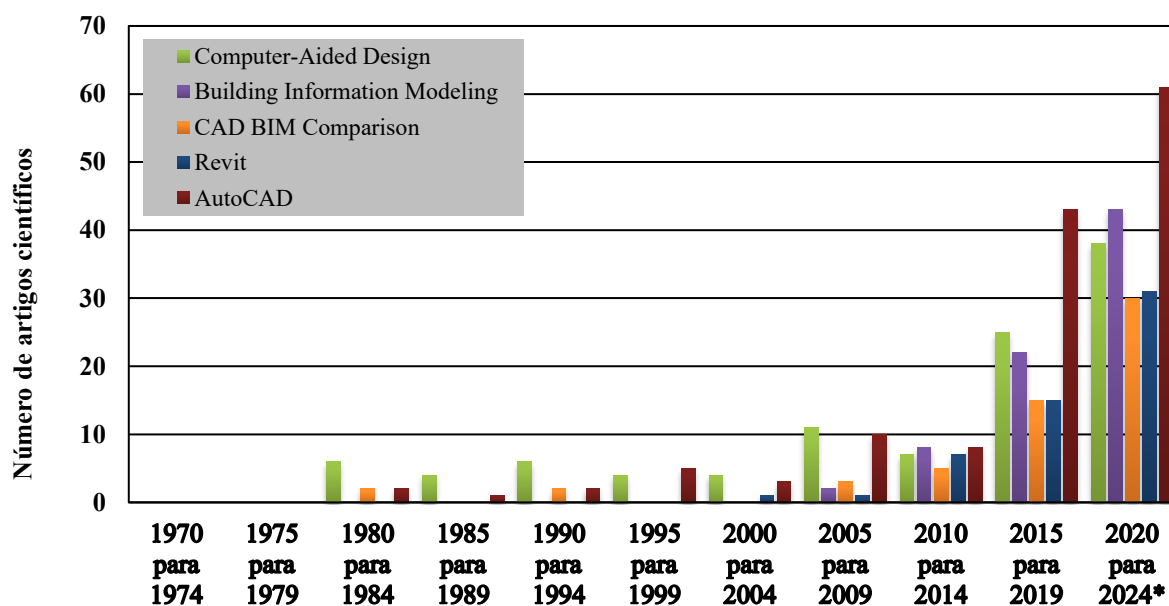
A década de 2010-2019 experimentou um aumento acentuado na adoção do BIM: as pesquisas aumentaram de 13.743 no período de 2010-2014 para 23.992 no período de 2015-2019. A relevância entre CAD e BIM continuou tão forte durante esse período que, em 2019, houve 7.908 menções feitas. Isso mostrou que o mercado tinha interesse em entender os benefícios e limitações das duas abordagens. O uso da indispensável ferramenta BIM, Revit, tem seu uso crescendo para 17.932 pesquisas, indicativo de que se refletiu como uma plataforma BIM líder de mercado.

Recentemente, no período de 2020 a 2024, o BIM continua crescendo, chegando a 32.535 pesquisas, e o termo Revit cresce para 19.885, solidificando sua posição de mercado. As buscas do AutoCAD se estabilizaram por enquanto em 23.623, mas isso sugere que, embora o CAD ainda seja relevante, ele está perdendo terreno para metodologias mais integradas como

o BIM. O número crescente de comparações entre CAD e BIM — 13.086 menções — mostra como o mercado continua a investir esforços para entender como as metodologias devem ser combinadas e otimizadas para melhor uso em um projeto específico.

Quando se limita essa pesquisa a “*Electrical Project*” utilizando o operador AND (em maiúsculas) para garantir que todos os termos apareçam nos resultados, tem-se os resultados obtidos nos gráficos da Figura4.

Figura 4. Número de artigos científicos de 1970 para outubro de 2024 limitados a projetos elétricos (O autor, 2024).



Entre 1970 e 1999, as menções a “*Computer-Aided Design*” foram consideravelmente esparsas: apenas 6 ocorrências entre 1980 e 1994 e 4 entre 1995 e 1999. As buscas por “AutoCAD” foram ainda mais limitadas, aparecendo de 2 a 5 vezes durante esse período. Não há registros de pesquisas para BIM ou “Revit” nesse contexto, sugerindo que, até então, o foco do setor elétrico estava restrito às metodologias tradicionais de desenho assistido por computador, sem incorporar modelagem mais avançada.

Entre 2000 e 2009, a pesquisa indicava que enquanto o CAD tinha maior frequência nas pesquisas, 11 pesquisas, surgiram as primeiras menções ao BIM e ao “Revit”, ambos com 1 ou 2 pesquisas. A presença de comparações entre CAD e BIM (3 menções) sugere que as discussões sobre as características e diferenças entre essas metodologias começavam a entrar no setor de projetos elétricos.

Durante o período de 2015 a 2019, nota-se um crescimento nas buscas por BIM (22 ocorrências) e “Revit” (15), demonstrando que essas metodologias começaram a ser aplicadas

de forma mais consistente em projetos elétricos. As comparações entre CAD e BIM também aumentam para 15 menções, o que indica um mercado progressivamente interessado em integrar ou substituir as metodologias tradicionais por abordagens mais novas. O AutoCAD ainda mantém uma presença significativa (43 menções), refletindo sua resiliência e relevância contínua no setor.

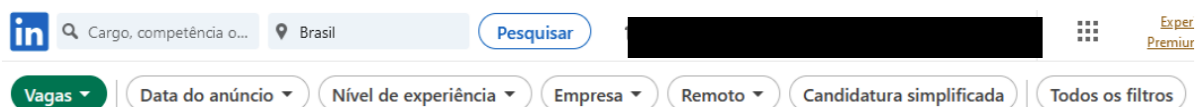
Nos anos mais recentes, entre 2020 e 2024, o BIM finalmente supera o CAD em termos de buscas, com 43 menções para BIM e 31 para “Revit”, enquanto o “AutoCAD” registra 61 ocorrências. As comparações entre BIM e CAD chegam a 30 menções, sugerindo uma fase de consolidação na qual o setor de projetos elétricos busca estratégias para adotar e integrar essas metodologias. Isso indica a ascensão da modelagem integrada e colaborativa no planejamento e execução de projetos complexos.

#### **4.2. Tendências de Demanda por Competências em CAD e BIM no Mercado de Trabalho no LinkedIn**

O LinkedIn é a maior plataforma de mídia social focada em negócios e empregos do mundo, com mais de 850 milhões de usuários e em 200 países e territórios (LinkedIn, s. d.), funcionando por meio de sites e aplicativos móveis. A plataforma é utilizada principalmente para networking profissional e desenvolvimento de carreira, e permite que os candidatos a emprego publiquem seus currículos e os empregadores publiquem vagas de empregos (Lunden, 2015).

Para procurar vagas de emprego no LinkedIn, é possível usar a barra de pesquisa (Figura5) para inserir palavras-chave relacionadas à função ou habilidade desejada, como “CAD”, “BIM”, “AutoCAD” ou “Revit”. A plataforma oferece filtros para refinar os resultados, permitindo modelos de seleção por local, data de anúncio, tipo de vaga (estagiário, período integral, temporário, etc.), nível (estagiário, júnior, sênior, executivo), setor da empresa e cargo (presencial, híbrido ou remoto). Além disso, você pode ativar notificações para receber alertas sobre novas vagas de emprego que atendam aos critérios selecionados. Para este estudo foi utilizada uma opção de localização global, com datas de anúncio definidas como “a qualquer momento” e sem restrições aos modos de trabalho entre trabalho presencial, híbrido ou em casa, garantindo a oportunidade de uma pesquisa abrangente e atualizada para estar disponível.

Figura 5. Barra de pesquisa de vagas do LinkedIn (O autor, 2024).



Os resultados obtidos para vagas nas áreas de elétrica e construção civil (como mencionado na seção 3) dessa busca são mostrados na Tabela 2 e sugerem que o mercado para profissionais especializados em AutoCAD e Revit é mais amplo do que para aqueles que possuem competências gerais em CAD ou BIM de forma geral. CAD apresenta um volume significativamente maior de oportunidades (406) em comparação ao BIM (83). Isso sugere que, apesar do crescente interesse pela metodologia BIM, o mercado ainda depende fortemente de ferramentas CAD tradicionais, especialmente AutoCAD, como referência em projetos.

Tabela 2. Distribuição de Vagas por Nível Hierárquico e Competências em CAD e BIM (O autor, 2024).

Nível Hierárquico	Computer-Aided Design (CAD)	Building Information Modeling (BIM)	CAD/BIM	Revit	AutoCAD
Estágio	1	2	1	55	178
Assistente	70	7	140	882	1.307
Júnior	185	23	41	355	723
Pleno-Sênior	83	30	130	856	3.916
Diretor	8	13	3	59	1.102
Executivo	59	8	4	70	529
Total	406	83	319	2277	7755

#### 4.2.1. Níveis Hierárquicos e Evolução da Demanda

- **Estágio:** Habilidades em AutoCAD e Revit aparecem com menor frequência para estagiários, com 178 e 55, respectivamente, indicando que essas competências são buscadas desde o início da carreira, preparando profissionais para demandas futuras em CAD e BIM.
- **Assistente e Júnior:** As posições de assistente e júnior seguem uma proporção maior para AutoCAD e Revit, com Revit registrando 882 oportunidades e AutoCAD com 1.307 para assistente. Essa alta demanda para níveis iniciais demonstra a importância dessas habilidades básicas e sua aplicação prática em diferentes setores.



- **Pleno-Sênior:** O mercado para profissionais mais experientes é amplo tanto em AutoCAD quanto em Revit, com 3.916 e 856 vagas, respectivamente. As metodologias CAD e BIM apresentam uma transição para cargos de maior responsabilidade, com BIM sendo mais visível neste nível (30 vagas Pleno-Sênior) em comparação ao CAD (83). Isso sugere que BIM está ganhando força em posições estratégicas e de gerenciamento.
- **Diretoria e Executivo:** Em cargos de liderança, o BIM se destaca pela sua presença em 13 vagas de diretoria e 8 de nível executivo, superando o CAD, que registra 8 e 59 vagas, respectivamente. Essa predominância reflete o papel estratégico do BIM na gestão integrada de projetos e na coordenação multidisciplinar, enquanto o Revit, com 59 vagas em diretoria e 70 em nível executivo, reforça sua importância como ferramenta para líderes técnicos. Por outro lado, o AutoCAD, embora ainda relevante, apresenta maior concentração em cargos operacionais e intermediários, indicando uma transição gradual para abordagens mais integradas e colaborativas nos níveis mais altos de gestão.

#### 4.2.2. Ferramentas na indústria de AEC

Quando se trata de vagas sob o termo “*Computer-Aided Design*”, “CAD” e “AutoCAD”, foram identificadas 10.705 oportunidades. A maioria das vagas concentra-se nos níveis assistentes (1.447) e (949) júniores. Para Pleno-Sênior (4.046), revelando que o know-how em CAD é altamente valorizada em posições técnicas e de gestão intermediária. No nível executivo e de diretoria, são menos comuns (1.634), o que reflete o caráter mais técnico dessa competência.

O termo “*Building Information Modeling*”, “BIM” e “Revit”, por sua vez, apareceu em 2.790 vagas, distribuídas para assistentes e profissionais juniores totalizando 1.267 (889 para assistentes e 378 para juniores), indicando que empresas estão apostando na introdução da metodologia BIM em seus processos desde as primeiras etapas do desenvolvimento profissional. Para o nível Pleno-Sênior, há 886 vagas, já que integração do BIM em projetos mais complexos e da coordenação entre disciplinas. No caso de cargos de nível executivo e de diretoria, foram identificadas 80 vagas, sugerindo que a metodologia BIM começa a ser incorporada nas políticas de gestão e planejamento de longo prazo das empresas.

A análise de vagas que mencionam “CAD” e “BIM” simultaneamente mostrou 340 oportunidades no total, com concentração em posições de assistente (140) e Pleno-Sênior (130), mostrando que a integração entre CAD e BIM está se tornando essencial em várias etapas

da carreira. Curiosamente, o número de vagas para júnior (41) é relativamente baixo, sugerindo que essa combinação é mais buscada em níveis operacionais e gerenciais, onde a experiência em ambas as metodologias agrega maior valor. Nos cargos de diretoria e executivo, as menções são raras, com apenas 3 e 4 vagas, respectivamente, indicando que, embora o mercado esteja adotando o BIM, ele ainda não substituiu completamente o CAD em posições de liderança estratégica. Esse cenário reflete um momento de transição na indústria, em que empresas começam a integrar ambas as abordagens, mas a familiaridade com o CAD ainda garante relevância, especialmente em funções técnicas e intermediárias.

### **4.3. Tendências e Implicações**

Os resultados das pesquisas em repositórios acadêmicos apontam para uma transição gradual da metodologia CAD para BIM, especialmente a partir dos anos 2000. Até os anos 1990, o foco permanecia predominantemente em CAD e AutoCAD, mas a partir de 2010, observa-se um crescimento acelerado nas pesquisas sobre BIM e ferramentas como Revit. O aumento nas comparações entre CAD e BIM indica uma busca ativa por compreender as vantagens e limitações de cada abordagem, especialmente em áreas técnicas como projetos elétricos. Essa tendência sugere que o meio acadêmico está investindo no estudo da integração dessas metodologias, preparando-se para a aplicação mais ampla de BIM e suas vantagens colaborativas em projetos complexos.

No contexto de projetos elétricos, o crescimento do BIM em pesquisas recentes reforça a relevância da interoperabilidade e da gestão integrada. As publicações mais recentes indicam que as ferramentas BIM não estão apenas se consolidando, mas também começam a ser exploradas como alternativas estratégicas para solucionar os desafios de comunicação e eficiência presentes nos métodos tradicionais baseados em CAD.

A análise das vagas no LinkedIn revela um mercado em transição, com um equilíbrio entre a demanda por AutoCAD, que permanece forte em posições operacionais, e o crescimento consistente do BIM e Revit em cargos estratégicos e de liderança. AutoCAD é amplamente exigido para funções de nível júnior e assistente, consolidando-se como uma base técnica essencial. No entanto, a demanda crescente por BIM e Revit sugere que as empresas estão cada vez mais investindo em metodologias colaborativas para otimizar a gestão de projetos. A presença significativa do BIM em vagas de diretoria e Pleno-Sênior reflete o reconhecimento de seu valor estratégico na coordenação multidisciplinar e planejamento de longo prazo.

Os resultados das pesquisas acadêmicas e a análise de demanda no LinkedIn convergem para uma tendência de integração entre CAD e BIM, com o CAD mantendo sua relevância em funções técnicas e BIM ganhando força em níveis estratégicos. Essa dinâmica indica que, embora o mercado ainda dependa das metodologias tradicionais, a transição para o BIM é inevitável, especialmente para empresas que buscam maior eficiência e comunicação entre equipes.

A integração entre academia e mercado é fundamental para preparar profissionais que possam atuar nessa transição. A alta demanda por habilidades em ambas as metodologias sugere que os profissionais mais bem posicionados serão aqueles com competências híbridas, capazes de trabalhar tanto com ferramentas CAD quanto BIM, especialmente em setores técnicos como o de projetos elétricos.

## 5. CONCLUSÕES

A pesquisa apresentada destaca das metodologias de projeto no contexto de instalações elétricas, com destaque para a transição gradual do CAD para o BIM e as tendências emergentes tanto no mercado de trabalho quanto nos repositórios acadêmicos. Ao longo das décadas, o CAD consolidou-se como uma ferramenta essencial na engenharia, amplamente utilizado para a elaboração de projetos técnicos. No entanto, o avanço tecnológico e a crescente necessidade de integração multidisciplinar abriram espaço para o surgimento do BIM, que não apenas ganhou relevância na prática profissional, mas também se tornou um dos principais focos de pesquisa acadêmica, especialmente após 2010.

Os dados analisados indicam que, embora o CAD permaneça relevante, principalmente em cargos técnicos e intermediários, há uma migração gradual para metodologias mais integradas como o BIM. Ferramentas como o Revit vêm ganhando popularidade, indicando uma transição em andamento. O mercado, pouco a pouco, direciona suas expectativas para profissionais que dominem o BIM, especialmente em posições de liderança e gestão. Isso não significa que o CAD será completamente substituído – ao contrário, estamos vivenciando uma fase de coexistência entre essas abordagens, onde integrar o tradicional e o inovador se tornou uma habilidade cada vez mais valorizada.

A análise das vagas no LinkedIn reforça essa transição. Enquanto o AutoCAD ainda é amplamente exigido em cargos de assistente e pleno-sênior, o BIM e suas ferramentas, como o Revit, estão ganhando espaço em funções estratégicas. A distribuição equilibrada de vagas de BIM entre níveis júnior e sênior sugere que as empresas estão apostando tanto no desenvolvimento de novos talentos quanto na formação de líderes experientes para impulsionar essa transformação digital. Ainda assim, a presença tímida do BIM em cargos de diretoria e executivos aponta que há espaço para amadurecimento estratégico na adoção dessas metodologias de forma integrada nas organizações.

Em suma, mercado e academia parecem seguir em direção a uma adaptação gradual e mútua. Enquanto o CAD permanece como um alicerce sólido, o BIM desponta como a metodologia do futuro, capaz de responder às exigências contemporâneas de eficiência, comunicação e colaboração. A combinação de competências em ambas as metodologias oferece uma vantagem competitiva significativa para os profissionais, especialmente em setores técnicos como o de instalações elétricas. No entanto, essa transição exige investimentos

em capacitação e adaptações culturais, sobretudo nas organizações que ainda operam com fluxos de trabalho predominantemente baseados em CAD.

Com base nos resultados obtidos, sugere-se para trabalhos futuros avaliar o impacto econômico e operacional da implementação do BIM para obter uma compreensão mais ampla dos benefícios e desafios envolvidos. Por fim, é essencial investigar como instituições de ensino e empresas podem preparar melhor seus profissionais para lidar com essas metodologias de forma integrada, desenvolvendo perfis híbridos capazes de atender às demandas de um mercado cada vez mais dinâmico e competitivo.

## REFERÊNCIAS

- Alasmari, E., Martínez-Vázquez, P., & Baniotopoulos, C. (2022). A systematic literature review of the adoption of building information modelling (bim) on life cycle cost (lcc). *Buildings*, 12(11), 1829. <https://doi.org/10.3390/buildings12111829>
- Alhumayn, S. A. and Chinyio, E. (2017). The barriers and strategies of implementing bim in saudi arabia. *WIT Transactions on the Built Environment*. <https://doi.org/10.2495/bim170061>
- Bağcı, U., Miller-Jaster, K., Yao, J., Wu, A. W., Caban, J. J., Olivier, K. N., ... & Mollura, D. J. (2012). Automatic quantification of tree-in-bud patterns from ct scans. 2012 9th IEEE International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI). <https://doi.org/10.1109/isbi.2012.6235846>
- Basir, W. N. F., Ujang, U., & Majid, Z. (2023). Adaptation 4d and 5d bim for bim/gis data integration in construction project management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1274(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1274/1/012002>
- Bazán, Á. M., Alberti, M. G., Álvarez, A. R., & Trigueros, J. A. (2020). New perspectives for bim usage in transportation infrastructure projects. *Applied Sciences*, 10(20), 7072. <https://doi.org/10.3390/app10207072>
- Bongiorno, N., Bosurgi, G., Carbone, F., Pellegrino, O., & Sollazzo, G. (2019). Potentialities of a highway alignment optimization method in an i-bim environment. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. <https://doi.org/10.3311/ppci.12220>
- Bueno, C. and Fabrício, M. (2017). Methodological discussion of insertion and exportation of lca data embedded in bim elements. <https://doi.org/10.2495/bim170101>
- Byun, Y. and Sohn, B. (2020). Abgs: a system for the automatic generation of building information models from two-dimensional cad drawings. *Sustainability*, 12(17), 6713. <https://doi.org/10.3390/su12176713>
- Chan, A. P. C.; Xiaozhi, M. A.; Wen, Y. I., ZHOU, X., XIONG, F. Critical review of studies on building information modeling (BIM) in project management. *Front. Eng*, 2018, 5(3): 394–406 <https://doi.org/10.15302/J-FEM-2018203>
- Chao, C. and Tang, L. (2019). Development of bim-based innovative workflow for architecture, engineering and construction projects in china. *International Journal of Engineering and Technology*, 119-126. <https://doi.org/10.7763/ijet.2019.v11.1133>

- Chauhan, K., Peltokorpi, A., Abou-Ibrahim, H., & Seppänen, O. (2022). Mechanical, electrical and plumbing coordination practices: case finnish construction market. Proc. 30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). <https://doi.org/10.24928/2022/0169>
- Chen, S., Zhu, C., & Shang, Y. (2024). Optimizing construction project outcomes through bim and mep system integration. *Applied and Computational Engineering*, 66(1), 204-210. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/66/20240954>
- Croce, P., Landi, F., Puccini, B., Martino, M., & Maneo, A. (2022). Parametric hbim procedure for the structural evaluation of heritage masonry buildings. *Buildings*, 12(2), 194. <https://doi.org/10.3390/buildings12020194>
- D'Amico, F. (2020). Bim for infrastructure: an efficient process to achieve 4d and 5d digital dimensions. *European Transport/Trasporti Europei*, (77), 1-11. <https://doi.org/10.48295/et.2020.77.10>
- Davies, R., Pratama, M., & Yusuf, M. (2018). Bim adoption towards the sustainability of construction industry in indonesia. *Matec Web of Conferences*, 195, 06003. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201819506003>
- Diaz, P. (2016). Analysis of benefits, advantages and challenges of building information modelling in construction industry. *Journal of Advances in Civil Engineering*, 2(2), 1-11. <https://doi.org/10.18831/djcivil.org/2016021001>
- Gankhuyag, U. and Han, J. (2020). Automatic 2d floorplan cad generation from 3d point clouds. *Applied Sciences*, 10(8), 2817. <https://doi.org/10.3390/app10082817>
- Gaidyte, Rita. 2D and 3D Modeling Comparison. BS thesis. 2010.
- Giachelle, F., Irrera, O., & Silvello, G. (2021). Medtag: a portable and customizable annotation tool for biomedical documents. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12911-021-01706-4>
- Hamma-Adama, M., Kouider, T., & Salman, H. S. (2020). Analysis of barriers and drivers for bim adoption. *International Journal of BIM and Engineering Science*, 3(1), 18-41. <https://doi.org/10.54216/ijbes.030102>
- He, Y., Liang, G. Z., & Shen, X. (2011). A new approach to integrating algorithm modules in cad software applications. *Advanced Materials Research*, 291-294, 2338-2341. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.291-294.2338>
- Heterogeneity of the phenotypic definition of coronary artery disease and its impact on genetic association studies. *Circulation: Cardiovascular Genetics*, 4(1), 58-67. <https://doi.org/10.1161/circgenetics.110.957738>

- Ho, S. P., Tserng, H. P., & Jan, S. (2013). Enhancing knowledge sharing management using bim technology in construction. *The Scientific World Journal*, 2013(1). <https://doi.org/10.1155/2013/170498>
- Hong, X., Yuan, L., Yu, J., & Zhang, J. (2013). Cad mesh model simplification with assembly features preservation. *Science China Information Sciences*, 57(3), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11432-013-4791-z>
- Jin, M. and Li, B. (2023). Dual-level framework for openbim-enabled design collaboration. *Buildings*, 13(12), 3031. <https://doi.org/10.3390/buildings13123031>
- Kaewunruen, S., AbdelHadi, M., Kongpuang, M., Pansuk, W., & Remennikov, A. (2022). Digital twins for managing railway bridge maintenance, resilience, and climate change adaptation. *Sensors*, 23(1), 252. <https://doi.org/10.3390/s23010252>
- Komine, F., Honda, J., Kusaba, K., Kubochi, K., Takata, H., & Fujisawa, M. (2020). Clinical outcomes of single crown restorations fabricated with resin-based cad/cam materials. *Journal of Oral Science*, 62(4), 353-355. <https://doi.org/10.2334/josnusd.20-0195>
- Krieger, K., Balden, M., Coenen, J. W., Laggner, F. M., Matthews, G. F., Nille, D., ... & Team, E. M. (2018). Experiments on transient melting of tungsten by elms in asdex upgrade. *Nuclear Fusion*, 58(2), 026024. <https://doi.org/10.1088/1741-4326/aa9a05>
- Krishnan, M., Zachariah, G., Venugopal, K., Mohanan, P., Harikrishnan, S., Sanjay, G., ... & Thankappan, K. R. (2016). Prevalence of coronary artery disease and its risk factors in kerala, south india: a community-based cross-sectional study. *BMC Cardiovascular Disorders*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12872-016-0189-3>
- Kitsios, G. D., Dahabreh, I. J., Trikalinos, T. A., Schmid, C. H., Huggins, G. S., & Kent, D. M. (2011).
- Latiffi, A. A., Mohd, S., & Brahim, J. (2015). Application of building information modeling (bim) in the malaysian construction industry: a story of the first government project. *Applied Mechanics and Materials*, 773-774, 943-948. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.773-774.943>
- Lee, X. S., Tsong, C. W., & Khamidi, M. F. (2016). 5d building information modelling – a practicability review. *MATEC Web of Conferences*, 66, 00026. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20166600026>
- Lim, Y. W. (2015). Building information modeling for indoor environmental performance analysis. *American Journal of Environmental Sciences*, 11(2), 55-61. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2015.55.61>



- Lin, Y. (2014). Construction 3d bim-based knowledge management system: a case study. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(2), 186-200. <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.801887>
- Lin, Y., Jung, S., & Su, Y. (2019). Construction database-supported and bim-based interface communication and management: a pilot project. *Advances in Civil Engineering*, 2019(1). <https://doi.org/10.1155/2019/8367131>
- Lin, Y., Lo, N., Hu, H., & Hsu, Y. (2020). Collaboration-based bim model development management system for general contractors in infrastructure projects. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, 1-16. <https://doi.org/10.1155/2020/8834389>
- LinkedIn. Sobre o LinkedIn. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.02.014](https://about.linkedin.com/pt-br#:~:text=Bem%2Dvindo%20ao%20LinkedIn%2C%20a,em%20200%20pa%C3%ADses%20e%20territ%C3%B3rios.&text=Criar%20oportunidades%20econ%C3%B4micas%20para%20cada%20integrante%20da%20for%C3%A7a%20de%20trabalho%20global.&text=A%20miss%C3%A3o%20do%20LinkedIn%20%C3%A9,mais%20produtivos%20e%20bem%2Dsucedidos. Acesso em: 02 out. 2024.</a></p><p>Love, P. E., Zhou, J., Matthews, J., Lavender, M., & Morse, T. (2018). Managing rail infrastructure for a digital future: future-proofing of asset information. <i>Transportation Research Part A: Policy and Practice</i>, 110, 161-176. <a href=)
- Lu, K., Deng, X., Jiang, X., Cheng, B., & Tam, V. W. (2023). A review on life cycle cost analysis of buildings based on building information modeling. *Journal of Civil Engineering and Management*, 29(3), 268-288. <https://doi.org/10.3846/jcem.2023.18473>
- Lunden, I. (April 2, 2015). "LinkedIn Buys Refresh.io To Add Predictive Insights To Its Products". TechCrunch. Archived from the original on April 4, 2015. Retrieved April 6, 2015.
- Öz, İ., Cevikbas, M., & Öcal, C. (2023). Determination of significance of 4d-bim features. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(2), 246-254. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.1209834>
- Omer, M. M., Ezazee, N. M. A. M., Lee, Y. S., Rajabi, M. S., & Rahman, R. A. (2022). Constructive and destructive leadership behaviors, skills, styles and traits in bim-based construction projects. *Buildings*, 12(12), 2068. <https://doi.org/10.3390/buildings12122068>

- Park, J., Lee, H., & Kwak, P. (2015). Case study analysis on the application of bim in korea's civil engineering industry and securing of interoperability of bim models. *Advanced Science and Technology Letters*. <https://doi.org/10.14257/astl.2015.99.13>
- Pellegrino, O., & Sollazzo, G. (2019). Potentialities of a highway alignment optimization method in an i-bim environment. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. <https://doi.org/10.3311/ppci.12220>
- Pomeroy, K. O. and Marcon, M. (2018). Reproductive tissue storage: quality control and management/inventory software. *Seminars in Reproductive Medicine*, 36(05), 280-288. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1676851>
- Pučko, Z., Maučec, D., & Šuman, N. (2020). Energy and cost analysis of building envelope components using bim: a systematic approach. *Energies*, 13(10), 2643. <https://doi.org/10.3390/en13102643>
- Rahmani, I. and Herumanta, B. (2022). Comparison of estimation of reinforced concrete structure working costs based on the concept of computer-aided design (cad) and building information modeling (bim). *Indonesian Journal of Multidisciplinary Science*, 1(10), 1237-1244. <https://doi.org/10.55324/ijoms.v1i10.188>
- Rifai, A. I., Thalib, H., Isradi, M., & Prasetijo, J. (2022). Implementation of building information modelling for road rehabilitation and reconstruction project: liquefaction disaster of palu area. *IJEBD (International Journal of Entrepreneurship and Business Development)*, 5(4), 781-791. <https://doi.org/10.29138/ijebd.v5i4.1914>
- Rocha, G., Mateus, L., Fernández, J. R., & Ferreira, V. (2020). A scan-to-bim methodology applied to heritage buildings. *Heritage*, 3(1), 47-67. <https://doi.org/10.3390/heritage3010004>
- Saha, S. (2017). Cost-benefit analysis of computer-aided technology customization projects. *Open Journal of Business and Management*, 05(02), 272-279. <https://doi.org/10.4236/ojbm.2017.52024>
- Sampaio, A. and Gomes, A. (2021). Bim structural project applied in a case study: interoperability analyses, reinforcement detailing drawings and quantity take-off. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 15(1), 196-213. <https://doi.org/10.2174/1874836802115010196>
- Santos, L. and Couto, C. (2022). Review of design techniques applied to electrical installation projects: a comparison of cad and bim tools. *Studies in Education Sciences*, 3(1), 458-466. <https://doi.org/10.54019/sesv3n1-029>

- Santos, S., Vendrametto, O., González, M., & Correia, C. (2015). Potential of building information modeling – bim - tools inside brazilian civil construction scenery., 299-307. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-22756-6\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22756-6_37)
- Shafiq, M. T., Matthews, J., Lockley, S. W., & Love, P. (2018). Model server enabled management of collaborative changes in building information models. *Frontiers of Engineering Management*, 0(0), 0. <https://doi.org/10.15302/j-fem-2018009>
- Sato, Y., Yoshihisa, A., Takeishi, R., Ohara, H., Sugawara, Y., Ichijo, Y., ... & Takeishi, Y. (2021). Simplified academic research consortium for high bleeding risk (arc-hbr) definition predicts bleeding events in patients with heart failure. *Circulation Journal*, 86(1), 147-155. <https://doi.org/10.1253/circj.cj-21-0686>
- Sattineni, A. and Brock, B. (2019). Impact of bim on electrical subcontractors. *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (IAARC)*. <https://doi.org/10.22260/isarc2019/0119>
- Secretaria-Geral da Presidência da República. Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018. Portal da Legislação, 17 Maio 2018. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2018/Decreto/D9377.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Decreto/D9377.htm)>. Acesso em: 11 de Novembro de 2024.
- Secretaria-Geral da Presidência da República. Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Portal da Legislação, 22 Agosto 2019. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9983.htm#art15](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9983.htm#art15)>. Acesso em: 11 de Novembro de 2024.
- Secretaria-Geral da Presidência da República. Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020. Portal da Legislação, 2 Abril 2020. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/decreto/d10306.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10306.htm)>. Acesso em: 11 de Novembro de 2024.
- Shults, R. (2022). Geospatial monitoring of engineering structures as a part of bim. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-5/W1-2022, 225-230. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlvi-5-w1-2022-225-2022>
- Spasevski, S. and Stoikov, V. (2022). Estimating rooftop photovoltaics placement on administrative building using building information modelling. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 20, 429-433. <https://doi.org/10.24084/repqj20.332>
- Sun, C., Jiang, S., Skibniewski, M. J., Man, Q., & Shen, L. (2015). A literature review of the factors limiting the application of bim in the construction industry. *Technological and*

- Economic Development of Economy, 23(5), 764-779.  
<https://doi.org/10.3846/20294913.2015.1087071>
- Sun, C. L., Ning, D. Y., Xiong, W., & Wang, H. T. (2013). A universal feature definition frame for 3-d cad model conversion. *Advanced Materials Research*, 690-693, 2781-2786.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.690-693.2781>
- Taha, F. F. (2020). Building energy management using bim technique: iraq construction projects as a case study. *Diyala Journal of Engineering Sciences*, 13(3), 91-100.  
<https://doi.org/10.24237/djes.2020.13309>
- Valkonen, T. and Seppänen, O. (2023). Improving productivity in ventilation and plumbing installations by developing designs. *Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC31)*.  
<https://doi.org/10.24928/2023/0151>
- Veličković, I., Milin-Lazović, J., Nestorović, E., Ćirković, A., Savić, M., Stojković, N., ... & Milić, N. (2015). Comparison of different definitions of the metabolic syndrome in relation to coronary artery disease in high risk serbian population. *Praxis Medica*, 44(1), 115-121. <https://doi.org/10.5937/pramed1501115v>
- Vilas-Boas, J. P., Mirnoori, V., Razy, A., & Silva, A. (2019). Outlining a new collaborative business model as a result of the green building information modelling impact in the aec supply chain. *Collaborative Networks and Digital Transformation*, 405-417.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-28464-0\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-28464-0_35)
- Vitkovic, N., Manic, M., Randjelovic, S., Korunovic, N., Turudija, R., Trajkovic, A., ... & Arandjelovic, J. (2024). Geometrical modeling of extruder screws utilizing the characteristic product features method in cad. *Journal of Engineering Management and Systems Engineering*, 3(2), 93-99. <https://doi.org/10.56578/jemse030204>
- Wang, J., Yuan, Z., He, Z., Zhou, F., & Wu, Z. (2021). Critical factors affecting team work efficiency in bim-based collaborative design: an empirical study in china. *Buildings*, 11(10), 486. <https://doi.org/10.3390/buildings11100486>
- Zhang, C., Zhu, A., Zhou, L., Che, M., & Qiu, T. (2020). Constraints for improving information integrity in information conversion from cad building drawings to bim model. *IEEE Access*, 8, 81190-81208. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2991200>
- Zhou, D. (2024). Innovative bim technology application in the construction management of highway. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66232-5>