



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

BARBARA SCHMITZ FRAPORTI

**METODOLOGIA BIM E COMPATIBILIZAÇÃO COM PROJETOS ESTRUTURAIS:
UM ESTUDO NA LITERATURA**

MOSSORÓ

2023

BARBARA SCHMITZ FRAPORTI

**METODOLOGIA BIM E COMPATIBILIZAÇÃO COM PROJETOS ESTRUTURAIS:
UM ESTUDO NA LITERATURA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Marcilene Vieira da Nóbrega,
Prof^a. Dra.

MOSSORÓ

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F838m Fraporti, Barbara Schmitz.
Metodologia Bim e compatibilização com projetos
estruturais: um estudo na literatura / Barbara
Schmitz Fraporti. - 2023.
29 f. : il.

Orientadora: Marcilene Vieira da Nóbrega.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2023.

1. Bim. 2. Compatibilização. 3. Projeto
estrutural. 4. Análise estrutural. I. Nóbrega,
Marcilene Vieira da, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

BARBARA SCHMITZ FRAPORTI

**METODOLOGIA BIM E COMPATIBILIZAÇÃO COM PROJETOS ESTRUTURAIS:
UM ESTUDO NA LITERATURA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 18/05/2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **MARCILENE VIEIRA DA NOBREGA**
Data: 19/05/2023 09:45:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marcilene Vieira da Nóbrega, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **IGOR JOSE NASCIMENTO DE MEDEIROS**
Data: 19/05/2023 09:25:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Igor José Nascimento de Medeiros, Prof. Me. (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **MARCUS VINICIUS SOUSA RODRIGUES**
Data: 19/05/2023 08:53:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marcus Vinícius Sousa Rodrigues, Prof. Dr. (UFMA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Erika Karla por todo tempo, suporte e colaboração em mais essa etapa de nossas vidas.

Agradeço a minha orientadora Prof^a. Dra. Marcilene Vieira da Nóbrega pela paciência e compreensão durante essa jornada.

“Algo só é impossível até que alguém duvide e prove o contrário.”

Albert Einstein

RESUMO

É inegável que a utilização de computadores se tornou indispensável na elaboração de projetos de arquitetura e engenharia. Inicialmente, a introdução dos sistemas CAD (Computer Aided Design) proporcionou melhor qualidade e eficiência na criação dos projetos estruturais de edificações. Essa pesquisa teve como objetivo realizar um estudo na literatura sobre a utilização da metodologia BIM na compatibilização de projetos estruturais, buscando analisar a utilização da metodologia BIM na elaboração de projetos estruturais e na análise estrutural e identificar vantagens e desvantagens dessa nova metodologia comparada as práticas convencionais de compatibilização de projetos. Para isso, realizou-se uma revisão bibliográfica fundamentando a teoria e foi feita a análise de 5 artigos relacionados ao tema. Com o estudo, concluiu-se que a metodologia BIM tem se mostrado uma evolução natural das práticas convencionais e da tecnologia CAD 2D. Tornando-se indispensável não apenas a escolha adequada do software de análise estrutural e dimensionamento, como também a comunicação dele com o software de modelação BIM, aumentando assim, a eficiência na elaboração dos projetos estruturais.

Palavras-chave: BIM, compatibilização, projeto estrutural, análise estrutural.

ABSTRACT

It is undeniable that the use of computers has become indispensable in the elaboration of architectural and engineering projects. Initially, the introduction of CAD (Computer Aided Design) systems provided better quality and efficiency in the creation of structural projects of edifications. This research's objective is the elaboration of a bibliography study about the utilization of the BIM methodology in the structural projects' compatibility, seeking to analyze the utilization of the BIM methodology in the structural projects elaboration and in the structural analysis and identify which advantages and disadvantages in comparison with conventional practices of projects' compatibility. For this, a bibliographical review was carried out to supporting the theory of this article and five articles related to the theme were analyzed. With this research, it was concluded that BIM methodology it has been shown that is a natural evolution of conventional practices and 2D CAD technology and becoming indispensable not only like a appropriate choice of structural analysis and dimensioning software, but also its communication with BIM modeling software, thus increasing the efficiency in the elaboration of the projects developed.

Keywords: BIM, compatibility, structural design, structural analysis.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEC	Arquitetura, engenharia e construção
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
Dra.	Doutora
ECTM	Encontro de Ciências e Tecnologia de Materiais
ENMC	Encontro Nacional de Modelagem Computacional
IFC	Industry Foundation Classes
OMS	Organização Mundial da Saúde
PIB	Produto Interno Bruto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo geral.....	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3.1	Metodologia <i>Building Information Modeling</i> (BIM).....	12
3.1.1	Modelagem paramétrica	12
3.1.2	Compatibilização e Interoperabilidade	13
3.1.3	Principais <i>Softwares</i>	15
3.2	Projeto estrutural	15
3.2.1	Etapas de um projeto estrutural.....	15
3.2.2	Métodos de análise.....	16
3.2.2.1	Método das forças	17
3.2.2.2	Método dos deslocamentos	18
4	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	20
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
5.1	Revisão dos artigos	21
5.2	Análise dos artigos.....	26
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
7	REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

A engenharia de estruturas é, na sua origem, uma ciência empírica. As grandes construções anteriores ao século XVII, como o coliseu e as grandes catedrais góticas, são exemplos de estruturas projetadas por tentativa e erro e extremamente amparadas pela experiência dos engenheiros da época. Nos séculos seguintes, a engenharia estrutural evoluiu enormemente, pois passou a utilizar os conhecimentos de mecânica e de resistência dos materiais em seus projetos. (KASSIMALI, 2022). Com o surgimento dos computadores, essa evolução se tornou ainda mais veloz e exigente, possibilitando a construção de edificações ainda mais complexas.

No século XXI, o mercado da indústria da construção tem apresentado estatísticas de desenvolvimento em escala global. No Brasil, em março de 2020, assim que a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou que estava instaurada a pandemia da COVID-19¹, os mercados tiveram grandes baixas, inclusive o da construção civil. Contudo, em 11 de maio de 2020, foi publicado o DECRETO Nº 10.344 que caracterizou as atividades de construção civil como serviços essenciais. Desde então, esse setor vem apresentando crescimento acima do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) é previsto um crescimento no setor da construção de 2,5% em 2023, que representa um crescimento acima da economia nacional pelo terceiro ano consecutivo.

Buscando ampliar a evolução do setor da construção, pode-se afirmar que a indústria de arquitetura, engenharia e construção (AEC) procura cada vez mais minimizar os erros, prever e reduzir os custos, melhorar a produtividade, construir de maneira mais sustentável e aumentar a qualidade e confiabilidade dos projetos. Porém, as fases de elaboração do projeto estrutural de uma edificação não são unânimes entre os engenheiros. Cada profissional possui sua própria metodologia de trabalho e a fase de planejamento ainda é fortemente atrelada a experiência do engenheiro projetista e ao seu conhecimento sobre o comportamento das estruturas.

É inegável que a utilização de computadores se tornou indispensável na elaboração de projetos de arquitetura e engenharia. Inicialmente, a introdução dos sistemas CAD (*Computer Aided Design*) proporcionou maior qualidade e eficiência na criação dos projetos estruturais de edificações. Porém, a metodologia CAD apresenta limitações, sendo constituída basicamente por linhas geométricas bidimensionais desprovidas de especificações mais detalhadas como, por

¹ Síndrome respiratória grave causada por coronavírus 2019. Inicialmente, identificado a partir de um surto em Wuhan na China e, posteriormente, espalhou-se por todo o mundo.

exemplo, propriedades físicas do material, custo e fabricante, características importantes tanto nas etapas do projeto como na formulação de planilhas orçamentárias. Além disso, durante a etapa de projetos, os desenhos realizados em CAD, assim como os de papel, podem apresentar incompatibilidades entre as diversas áreas (arquitetônica, estrutural, hidráulica, elétrica) ocasionando erros, retrabalhos e, conseqüentemente, aumento de custos. (NUNES; LEÃO, 2018)

Recentemente, o BIM (*Building Information Modeling*) ou Modelagem da Informação da Construção tem se mostrado uma metodologia processual eficiente na compatibilização de projetos a qual possui como objetivo melhorar e ampliar a qualidade da informação compartilhada em projetos de engenharia.

Dessa forma, as ferramentas de BIM vêm se desenvolvendo para complementar os tradicionais desenhos em papel ou os feitos em CAD 2D, além de aprimorar a criação e execução de todas as fases dos projetos e serviços de AEC. Sendo assim, como a metodologia BIM pode auxiliar os engenheiros projetistas nas etapas de elaboração, análise e execução do seu projeto estrutural?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Essa pesquisa tem como objetivo realizar um estudo na literatura sobre a utilização da metodologia BIM na compatibilização de projetos estruturais.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar a utilização da metodologia BIM na elaboração de projetos estruturais e na análise estrutural.
- Identificar vantagens e desvantagens dessa nova metodologia na compatibilização de projetos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Metodologia *Building Information Modeling* (BIM)

A metodologia *Building Information Modeling* (BIM) ou Modelagem da Informação da Construção, é um modelo virtual tridimensional de uma obra, com a criação e gerenciamento de informações de todos os objetos constituintes da edificação e sua principal função é a integração de todas as informações do projeto. Segundo Eastman et al. (2014, p. 13), “BIM é uma tecnologia de modelagem e um grupo associado de processos para produção, comunicação e análise do modelo de construção”.

A BIM se baseia em três pilares: tecnologia, processos e pessoas. De modo geral, com a utilização dessa metodologia é possível: a parametrização do modelo 3D; a visualização em três dimensões da estrutura; obter plantas, cortes, documentos digitais e detalhes com maior facilidade; identificar inconsistências e interferências nos projetos, até mesmo antes da etapa de construção, evitando retrabalhos e otimizando os prazos de entrega da obra; criar uma base de dados única; e, estimar quantidades e custos. Segundo Eastman et al. (2014, p. 1), “quando completo, o modelo gerado computacionalmente contém a geometria exata e os dados relevantes, necessários para dar suporte à construção, à fabricação e ao fornecimento de insumos necessários para a realização da construção”.

Ao passo que permite a criação de um modelo virtual tridimensional de uma edificação, a metodologia BIM, além de simular a construção real, apresenta inúmeras possibilidades para os profissionais de AEC desenvolverem projetos cada vez mais complexos e detalhados. Além disso, possibilita compatibilizar as áreas de arquitetura, estrutura, instalações, orçamentação, planejamento e gerenciamento em um único modelo. Este modelo contém todas as informações pertinentes a obra, as quais podem ser inseridas e atualizadas simultaneamente pelos projetistas, enquanto que no modelo tradicional isso ocorre de forma lenta e burocrática.

As vantagens do BIM estão intrinsecamente vinculadas à característica de modelagem paramétrica e à interoperabilidade dos *softwares*, podendo ser observadas do início ao fim da construção.

3.1.1 Modelagem paramétrica

A modelagem paramétrica é uma das características fundamentais para a metodologia BIM. Diferentemente dos programas CAD, nos quais representamos os desenhos por linhas geométricas simples (sem informações e características), os *softwares* parametrizados possibilitam que os objetos sejam representados através de propriedades e parâmetros definidos, os quais podem ser valores ou características, e permitem a interação com outros objetos. Devido a caracterização e interação entre os objetos, a atualização do projeto é realizada automaticamente pelo sistema, em todas as vistas e cortes, sempre que ocorrem modificações, tornando-as muito mais rápidas e fáceis de serem executadas.

3.1.2 Compatibilização e Interoperabilidade

Na maioria das obras executadas no Brasil a fase de projeto é realizada de forma isolada por cada profissional. Essa fragmentação torna a sua coordenação mais difícil. Por isso, para que a construção civil atinja maior grau de eficiência e qualidade, primeiramente é necessário mudar a maneira como cria e executa suas obras.

A compatibilização entre os diversos projetos é fundamental para garantir a qualidade da obra. Nesta etapa os projetos das diversas áreas - arquitetônica, estrutural, hidráulica, elétrica, entre outros - são sobrepostos com o objetivo de evitar interferências e erros, prevenindo atrasos, desperdícios e aumento de custos durante a execução da mesma.

Tendo em vista que cada profissional, geralmente, trabalha com um determinado software específico da sua área, faz-se necessário o aprimoramento dos formatos de importação de dados entre os aplicativos, conservando as informações presentes nos objetos, ou seja, melhorando a interoperabilidade entre os *softwares*. Por exemplo, um arquiteto que faz uso de um aplicativo tipo *Revit Architecture* para elaborar o projeto arquitetônico precisa compartilhar seu projeto com o engenheiro estrutural que utiliza o TQS para realizar a análise estrutural.

Segundo Checcucci (2011), grande parte dos *softwares* geram modelos com formatos de arquivo proprietários fechados, mas permitem a exportação destes modelos através de formatos neutros abertos, um deles é o *Industry Foundation Classes* (IFC). Este formato tem o objetivo de representar a edificação em um modelo numérico, decompondo os objetos em seus componentes básicos, como geometria, relações e propriedades. Nesse compartilhamento é esperado que todas as informações transmitidas de um software para o outro sejam mantidas.

Checcucci (2011, p. 2) afirma que “é fundamental a compreensão de que a tecnologia por si só não tem o poder de resolver todos os problemas da gestão da informação durante o ciclo de

vida da edificação”. Nesse sentido, a compatibilização utilizando a metodologia BIM e a interoperabilidade tornam-se mais eficazes e para serem bem executadas, é de suma importância a capacitação dos profissionais envolvidos em todas as etapas.

3.1.3 Principais Softwares

Os *softwares* compatíveis com a metodologia BIM fazem com que profissionais de diversas áreas envolvidos em uma construção possam compartilhar informações entre si de forma mais eficaz. Para realizar a integração de todos os projetos e etapas de uma obra, faz-se necessário a utilização de vários *softwares* que atuam em cada etapa do projeto. Atualmente, os principais *softwares* utilizados de acordo com sua área podem ser visualizados no Quadro 1 abaixo:

Quadro 1 - Softwares compatíveis com a metodologia BIM

Orçamentação	Planejamento e Gerenciamento	Arquitetura	Estrutural	Instalações
Arquimedes	<i>Bexel</i>	<i>Allplan</i>	<i>CypeCAD</i>	<i>Bentley</i>
<i>Bexel</i>	<i>MS Project</i>	<i>ArchiCAD</i>	<i>Eberick</i>	<i>QI Builder</i>
<i>OrcaBIM</i>	<i>NavisWorks</i>	<i>Bentley (Aecosim)</i>	<i>Robot</i>	<i>Revit – MEP</i>
<i>OrcaPlus</i>	<i>Solibri</i>	<i>Revit (Autodesk)</i>	<i>Tekla Structure</i>	
PRESTO	<i>Tekla BIMsight</i>	<i>Vectorworks</i>	TQS	
SISPLO	<i>Trimble Connect</i>			
TCPO				

Fonte: Próprio autor, 2023.

3.2 Projeto estrutural

O projeto estrutural de uma edificação está relacionado diretamente com o dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais, iniciando com a concepção da estrutura até a finalização da documentação necessária para a construção. Segundo Martha (2022, p. 1):

“O projeto estrutural tem como objetivo a concepção de uma estrutura que atenda a todas as necessidades para as quais ela será construída, satisfazendo condições de segurança, de utilização, econômicas, estéticas, ambientais, construtivas e legais. O resultado final do projeto estrutural é a especificação de uma estrutura de forma completa, isto é, abrangendo todos os aspectos gerais, tais como locação, e todos os detalhes necessários para a sua construção.”

3.2.1 Etapas de um projeto estrutural

As etapas de um projeto estrutural não possuem uma sequência padrão, geralmente, cada profissional cria o seu próprio modo de trabalhar. Mas, todos os projetos estruturais passam pelas etapas de: concepção, análise, dimensionamento e detalhamento.

Para iniciar o projeto de uma construção o engenheiro estrutural realiza a concepção estrutural, ou seja, idealiza um arranjo que seja adequado ao projeto arquitetônico, garantindo segurança, resistência, estabilidade, menor custo e maior durabilidade à edificação.

A análise estrutural é a etapa do projeto na qual é idealizado o comportamento da estrutura, com objetivo de determinar esforços internos e externos e suas tensões correspondentes, bem como determinar os deslocamentos e as deformações correspondentes da estrutura que está sendo projetada (MARTHA, 2022). Uma das técnicas mais comuns para obter o comportamento de uma estrutura, consiste em simplificá-la a uma estrutura reticulada, ou seja, considerar seus componentes como barras. Além disso, estruturas tridimensionais são reduzidas para bidimensionais causando simplificações na geometria dos elementos que compõem a estrutura. Para Hibbeler (2013, p. 24), “a análise exata de uma estrutura nunca pode ser realizada, tendo em vista que estimativas sempre têm de ser feitas em relação às cargas e às resistências dos materiais que compõem a estrutura”.

O dimensionamento estrutural consiste em realizar cálculos matemáticos e físicos com o intuito de determinar os esforços dos elementos constituintes da edificação, afim de garantir segurança a estrutura. Já no detalhamento da estrutura, as partes e as quantidades dos elementos são discriminadas, informando características fundamentais para a execução de uma estrutura.

3.2.2 Métodos de análise

Em análise de estruturas define-se o grau de hiperestaticidade (g) de uma estrutura como sendo a diferença entre o número de incógnitas do problema estático e o número de equações de equilíbrio. Dessa forma, classificam-se em estruturas estaticamente determinadas ou estruturas isostáticas aquelas estruturas em que a quantidade de vínculos internos e externos é igual a quantidade de equações de equilíbrio, ou seja, $g = 0$. Quando $g > 0$, o número de vínculos internos e externos supera a quantidade de condições de equilíbrio e as estruturas são denominadas estruturas estaticamente indeterminadas ou estruturas hiperestáticas. E, quando $g < 0$, as estruturas possuem uma quantidade de vínculos menor do que a quantidade de equações de equilíbrio e são ditas estruturas hipostáticas.

Para cada tipo de estrutura o engenheiro estrutural utiliza um método de análise. Nas estruturas isostáticas como as treliças simples a análise estrutural é realizada utilizando-se apenas as equações de equilíbrio, fazendo a somatória das forças igual a zero. Comumente, utiliza-se o método dos nós ou o método das seções para determinar as forças em cada um de seus membros.

Já nas estruturas hiperestáticas devido ao excesso de reações de apoio ou elementos para manter a estabilidade estática, somente as equações de equilíbrio não são suficientes para determinar tais reações e as forças internas da estrutura, sendo assim, para determiná-las torna-se necessário adicionar equações relacionadas a geometria de deformação das estruturas, denominadas condições de compatibilidade. Os métodos básicos de análise para estruturas estaticamente indeterminadas são o método das forças e o método dos deslocamentos.

Atualmente, a grande maioria das estruturas como edifícios, pontes e torres são do tipo estaticamente indeterminadas. Isso ocorre, pois, segundo Hibbeler (2013, p. 293), “para uma determinada carga, a tensão e a deflexão máximas de uma estrutura indeterminada são em geral menores do que aquelas da sua equivalente determinada estaticamente”. Além disso, estruturas hiperestáticas quando submetidas a sobrecargas como ventos ou terremotos possuem a propensão para redistribuir o excesso de carga para seus apoios redundantes. Tais estruturas são constituídas principalmente por elementos como tirantes, vigas e colunas. Quando combinados, esses elementos compõem sistemas estruturais como treliças, cabos, arcos e pórticos.

Ao realizar a análise estrutural de um projeto é imprescindível que o modelo estrutural satisfaça as condições de equilíbrio, de compatibilidade entre deslocamentos e deformações, assim como as condições sobre o comportamento dos materiais que compõem a estrutura, para que tal modelo represente corretamente o comportamento da estrutura (MARTHA, 2022). Segundo Hibbeler (2013, p. 293)

“O equilíbrio é satisfeito quando as forças reativas mantêm a estrutura em repouso, e a compatibilidade é satisfeita quando os vários segmentos da estrutura se encaixam sem rompimentos ou sobreposições intencionais. As exigências de força-deslocamento dependem da maneira como o material responde [...]”

3.2.2.1 Método das forças

Criado por James Clerk Maxwell em 1864, o método das deformações compatíveis ou método das forças consiste, essencialmente, em remover da estrutura indeterminada uma quantidade suficiente de vínculos afim de torná-la determinada estaticamente e, assim, encontrar a solução do problema por meio da superposição de soluções básicas isostáticas. De modo geral, segundo Martha (2022, p. 141), busca-se “somar uma série de soluções básicas que satisfazem as condições de equilíbrio, mas não satisfazem as condições de compatibilidade da estrutura original, para, na superposição, restabelecer as condições de compatibilidade.”

A estrutura estaticamente determinada obtida pela remoção das restrições redundantes da estrutura hiperestática é denominada estrutura ou solução principal. Para uma mesma estrutura é possível obter diferentes soluções principais. A escolha entre elas é arbitrária, sendo necessário apenas que a solução escolhida satisfaça as condições de equilíbrio. As forças e/ou momentos associados as restrições redundantes são chamados hiperestáticos e são as incógnitas do método das forças, geralmente, denotadas por X_i , onde i varia de 1 a g . Por se tratar de um método, pode ser descrito por meio de um passo a passo como se segue.

1º Determinar o grau de hiperestaticidade (g) da estrutura.

2º Identificar as forças e/ou momentos associados as restrições redundantes as quais devem ser removidas da estrutura afim de torná-la determinada estaticamente. A quantidade de hiperestáticos deve ser igual ao grau de hiperestaticidade da estrutura. A escolha do sentido dos hiperestáticos é arbitrária, uma resposta positiva confirma o sentido atribuído inicialmente.

3º Definir a solução principal, removendo as restrições redundantes.

4º Desenhar um diagrama e a curva elástica da solução principal, somente com a carga externa aplicada a ela. Mostrar, para cada hiperestático, o deslocamento ou a rotação no ponto e na direção de aplicação.

5º Desenhar, para cada hiperestático, um diagrama da solução principal com uma força unitária aplicada sobre a estrutura e no sentido positivo do hiperestático, juntamente com a curva elástica da estrutura, mostrando os coeficientes de flexibilidade em todos os hiperestáticos. Ao lado do diagrama representar a multiplicação da carga unitária pelo hiperestático X_i correspondente.

6º Escrever, para cada hiperestático, uma equação de compatibilidade e calcular todas as deflexões e os coeficientes de flexibilidade. Substituir essas relações nas equações de compatibilidade e solucionar para os hiperestáticos desconhecidos.

7º Calcular as reações desconhecidas restantes, utilizando as equações de equilíbrio.

Com o conhecimento de todas as reações de apoio pode-se traçar os diagramas de momento fletor e cortante para determinar a deflexão em qualquer ponto da estrutura.

3.2.2.2 Método dos deslocamentos

O método dos deslocamentos ou método da rotação-flecha foi desenvolvido por George A. Maney em 1915. O princípio deste método consiste no impedimento dos deslocamentos e/ou rotações livres em determinado ponto com o objetivo de encontrar o deslocamento necessário

para reestabelecer as condições de equilíbrio. Para isso, este método utiliza a equação (1) abaixo, conhecida como equação da rotação-flecha ou equação de inclinação-deflexão geral

$$M_N = 2Ek(2\theta_N + \theta_F - 3\psi) + (MEF)_N \quad (1)$$

onde, segundo Hibbeler (2013), M_N é o momento interno na extremidade próxima do vão; E é o módulo de elasticidade do material, k é a rigidez do vão com $k = I/L$; θ_N e θ_F são as inclinações das extremidades próxima e afastada, respectivamente; ψ é a rotação da corda do vão causada por um deslocamento linear e $(MEF)_N$ é o momento de extremidade fixa no apoio próximo.

Diferentemente do método das forças, no método dos deslocamentos só é possível estabelecer uma solução principal. De modo geral, o método da rotação-flecha pode ser descrito de acordo com as seguintes etapas:

- 1º Identificar os deslocamentos dos nós do pórtico.
- 2º Montar as equações de rotação-flecha para os momentos na extremidade de cada elemento.
- 3º Definir as equações de equilíbrio para os momentos na extremidade de cada elemento.
- 4º Resolver o sistema obtido pela substituição das equações rotação-flecha nas equações de equilíbrio, determinando os deslocamentos dos nós.
- 5º Utilizar os valores dos deslocamentos nas equações de rotação-flecha para calcular os momentos na extremidade de cada elemento.

Dessa forma, pode-se determinar os cortantes, as reações de apoio e as forças normais utilizando as considerações de equilíbrio.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Esta revisão da literatura consiste em um processo de busca e análise de artigos científicos para responder à uma pergunta específica. Primeiramente, definiu-se a questão problema desta monografia em concordância com os objetivos geral e específicos deste trabalho. Assim, foi estabelecido que a questão problema é: Como a metodologia BIM pode auxiliar os engenheiros projetistas nas etapas de elaboração, análise e execução do seu projeto estrutural?

Em seguida, para fundamentar a teoria realizou-se uma ampla pesquisa buscando na literatura obras que abordassem os temas de metodologia BIM, projeto estrutural e análise estrutural. Nesta pesquisa consultou-se livros de autores reconhecidos pela sua importância e relevância em suas áreas de atuação; artigos científicos; monografias; teses e dissertações.

Para a realização da busca dos artigos científicos utilizou-se a ferramenta *Google Acadêmico* e refinou-se a pesquisa procurando obras com ano de publicação entre 2017 e 2023. As palavras chaves da pesquisa foram: metodologia BIM, análise estrutural e compatibilização de projetos. A seleção dos artigos relevantes para uma análise mais aprofundada iniciou-se por meio de uma varredura dos seus títulos e resumos. Posteriormente, foram retirados os artigos que não atendiam aos critérios de exclusão definidos conforme Quadro 2 abaixo, juntamente com os motivos da exclusão. Selecionando as obras encontradas, foi possível realizar a revisão bibliográfica e analisar 5 artigos.

Quadro 2 – Critérios de exclusão

Nº	Critério	Motivos para a exclusão
1	Artigos de texto incompletos eletronicamente.	Recursos e tempo indisponíveis para coletá-los fisicamente.
2	Artigos com ano de publicação anterior a 2017.	Não ser atual.
3	Artigos que não tratam do uso do BIM na compatibilização de projetos estruturais.	Não tratam do tema principal deste trabalho.
4	Artigos que não tenham sido apresentados em congressos ou encontros nacionais.	Sem ampla divulgação no meio acadêmico.
5	Artigos que não tenham sido publicados em revistas eletrônicas reconhecidas.	Pode não ser relevante academicamente.

Fonte: Próprio autor, 2023.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os cinco artigos científicos selecionados diante dos critérios mencionados anteriormente estão listados no Quadro 3 abaixo com seus respectivos autores e ano de publicação. Em seguida, tem-se a revisão e a análise destes artigos.

Quadro 3 - Artigos selecionados

Artigo	Título	Autores	Ano
1	BIM como uma ferramenta para o projeto de estruturas pré-moldadas: uma revisão sistemática	LEITE, A. G. F.; PINTO, B. R.; COSTA, L. R. A. da; NUNES, K. K. F.; DIÓGENES, H. J. F.	2018
2	Compatibilização de projetos estruturais de edificações via metodologia bim – integração entre <i>softwares</i> de modelagem e dimensionamento de projeto	SANTOS, N. V.; RODRIGUES, G. J. de O.; REBELLO, W. F.	2019
3	Avaliação do uso do BIM em obras de médio porte: estudo de caso	ANGELIN, G. G.; LOPES, P. A.; MANDOLA, J. B.; IMAI, C.	2022
4	Avaliação da integração entre uma plataforma BIM e uma ferramenta de análise estrutural	PAPADOPOULOS, N. A.; SOTELINO, E. D.; MARTHA, L. F.; NASCIMENTO, D. L. M.; FARIA, P. S.	2017
5	Identificação de interferências e análise de compatibilidade na integração de projetos utilizando o conceito BIM em uma edificação modelo	SOUZA, B. V. A. DE; GONÇALVES, D. B.; RESENDE, A. DE P.; ALVIM, M. A.; MENDES, M. C.; FERNANDES, W. L.	2020

Fonte: Próprio autor, 2023.

5.1 Revisão dos artigos

O artigo 1 intitulado “BIM como uma ferramenta para o projeto de estruturas pré-moldadas: uma revisão sistemática” escrito por Anna G. F. Leite; Bruno R. Pinto; Lays R. A. da Costa; Kildenberg K. F. Nunes e Hidelbrando J. F. Diógenes, publicado no periódico do Congresso Nacional de Construção de Edifícios em julho de 2018 apresenta uma revisão sistemática de trabalhos científicos. Com objetivo de “avaliar a importância do uso do BIM no desenvolvimento de estruturas de concreto pré-moldado” o grupo de pesquisadores respondeu a seguinte pergunta: “A modelagem da informação da construção (BIM) é a ferramenta perfeita para o desenvolvimento de projetos de estruturas de concreto pré-moldado?”. Inicialmente, definiu-se algumas etapas da revisão para a realização da pesquisa, sendo elas: a questão de pesquisa, a estratégia de busca, critérios de exclusão e método de síntese. Após a análise dos artigos selecionados constatou-se que os critérios de exclusão foram satisfatórios e responderam ao questionamento inicial da pesquisa.

Após este estudo concluiu-se que o “BIM é a ferramenta indicada a ser utilizada para projetos de estruturas pré-moldadas”. E observou-se que os *softwares* que utilizam a metodologia BIM necessitam ter uma maior integração, melhorando a interoperabilidade entre eles, ou seja, aumentar a capacidade dos sistemas dialogarem sem que haja dependência entre si, podendo transferir e utilizar informações de forma segura, com eficiência e eficácia, garantindo a integridade dos dados.

O artigo 2 denominado “Compatibilização de projetos estruturais de edificações via metodologia BIM – integração entre *softwares* de modelagem e dimensionamento de projeto” escrito por Natália V. Santos; Glaucio J. de O. Rodrigues e Wilson F. Rebello, publicado nos anais do XXII ENMC – Encontro Nacional de Modelagem Computacional e X ECTM – Encontro de Ciências e Tecnologia de Materiais em outubro de 2019 apresenta um estudo sobre a compatibilidade entre os *softwares Revit* (2019) e *CypeCAD* (2019). O objetivo do estudo foi “avaliar as formas de integração entre *softwares Revit* e *CypeCAD* durante a elaboração de um projeto estrutural de uma edificação multifamiliar”.

Primeiramente, importou-se o projeto arquitetônico pré-modelado da edificação para o *template* estrutural no *Revit Structure* onde realizou-se a modelagem da estrutura com o lançamento dos pilares, vigas, lajes e carregamentos. Em seguida, verificou-se a integração da modelagem e, utilizando todos os formatos de IFC disponíveis no mercado até a data de conclusão do artigo, exportou-a para o *CypeCAD* onde efetuou-se o dimensionamento do modelo que obteve o melhor desempenho na análise.

Após as etapas de estudo supracitadas, concluiu-se que ainda há ineficiência na interoperabilidade utilizando o formato de arquivo IFC para exportação entre os *softwares Revit* e *CypeCAD*.

O artigo 3 de título “Avaliação do uso do BIM em obras de médio porte: estudo de caso” escrito por Giovane G. Angelin; Paulo A. Lopes; Juliana B. Mandola e Cesar Imai, publicado em novembro de 2022 nos anais do XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído apresenta um estudo de caso sobre a utilização do BIM para obras de médio porte. Neste artigo, objetivou-se estudar o processo de projeto e de execução de uma obra residencial de porte médio, projetada e executada a partir da utilização do BIM. Os projetos envolvidos no estudo foram: topografia, fundações, estrutural, hidrossanitário, instalações (elétricas, lógica, TV, telefonia e alarme), vedações, impermeabilizações, ar-condicionado, automação de aspiração central, sistema fotovoltaico e aquecimento solar.

Inicialmente, realizou-se o acompanhamento de todas as etapas do projeto de arquitetura (estudos preliminares, anteprojeto, projeto legal e projetos executivos). Em seguida, acompanhou-se a execução da obra desde a implantação do canteiro de obras, fundações, infraestrutura em concreto armado, até a fase de acabamentos e pintura. Durante a obra realizou-se entrevistas estruturadas com os projetistas e executores da obra, *walkthrough* técnico, documentação fotográfica, análise de projetos e orçamentos. Por fim, tabulou-se os resultados e comparou-se o “cronograma físico-financeiro, os quantitativos de materiais e os insumos em real time”, com o objetivo de identificar “prováveis falhas na utilização do BIM na comparação entre projetos e a execução da obra”.

Neste estudo observou-se que, na ausência de uma equipe que tenha conhecimento técnico adequado, a viabilidade do BIM é questionável, pois não apresenta vantagem significativa se a qualidade técnica dos projetos e a compatibilização não estiverem de acordo com as práticas comuns de arquitetura e engenharia para a execução de obras.

O artigo 4 nomeado “Avaliação da integração entre uma plataforma BIM e uma ferramenta de análise estrutural” publicado em 2017 na revista eletrônica *Sistemas & Gestão* e escrito por Nicilas A. Papadopoulos; Elisa D. Sotelino; Luiz F. Martha, Daniel L. M. Nascimento e Pedro S. Faria, apresenta o projeto de um laboratório de análises químicas usando ferramentas 3D BIM da *Autodesk* com objetivo de “estudar e avaliar a integração entre uma plataforma de modelagem BIM e uma ferramenta de análise estrutural”.

A pesquisa iniciou-se com a busca por um projeto que tivesse sido elaborado com metodologias tradicionais em 2D. Foi escolhida a modelagem de um laboratório de análises químicas de dois pavimentos, com área aproximada de 2500 m².

O projeto foi feito no *software Revit Structure* 2012 e exportado para o *software* de análise estrutural *Robot* 2012. Optou-se por fazer uso de dois programas da *Autodesk*, pois apresentam maior compatibilidade entre si. Observou-se que na exportação do projeto faz-se necessário efetuar ajustes para a realização da análise estrutural, tais como: utilizar a opção “*Use drawing model offsets as analytical*”, para corrigir o posicionamento do eixo analítico do centróide das vigas afim de que os momentos fletores fiquem o mais próximo possível do modelo tradicional; e, gerar os “*Rigid Links*” - atributo que conecta o eixo analítico da viga ao eixo do pilar por meio de um elemento rígido sem peso - automaticamente no *Robot* durante a exportação. Notou-se ainda que, nos casos de sobreposição de pilares, a melhor solução é deixar o pilar como um elemento único da fundação até o topo.

Diante das análises realizadas, ficou notório que a integração entre os *softwares Revit Structure* 2012 e o *Robot* 2012 é possível, mas as dificuldades de compatibilização encontradas são diretamente proporcionais à complexidade do projeto.

O artigo 5 denotado “Identificação de interferências e análise de compatibilidade na integração de projetos utilizando o conceito BIM em uma edificação modelo” publicado em junho de 2020 no *Brazilian Journal of Development* e escrito por Bruna V. A. de Souza; Drielle B. Gonçalves; Arley de P. Resende; Mateus A. Alvim; Marina C. Mendes e William L. Fernandes, apresenta um estudo de caso sobre a integração da modelagem estrutural no *software* TQS e a modelagem arquitetônica e hidrossanitária no *software Revit* - ambos na versão acadêmica. O objetivo principal do artigo foi “apresentar um projeto modelo de uma edificação utilizando o conceito BIM e a integração dos dados entre a Modelagem da Informação da Construção com o *Revit* e TQS”.

A edificação modelo utilizada foi um apartamento de 36,36 m² com 1 sala de estar/jantar, 1 cozinha, 1 banheiro e 2 quartos. A modelagem estrutural da edificação foi realizada no *software* TQS e a modelagem arquitetônica e hidrossanitária no *software Revit*, ambos na versão acadêmica. Após a compatibilização dos projetos no *Revit*, foi utilizada a ferramenta *Clash Detection* para identificar interferências existentes entre os projetos.

O estudo mostrou várias interferências entre os projetos estrutural, arquitetônico e hidrossanitário. A Figura 1 mostra em laranja uma interferência entre a viga de fundação e a viga da laje com a tubulação de água fria que alimenta a caixa d'água.

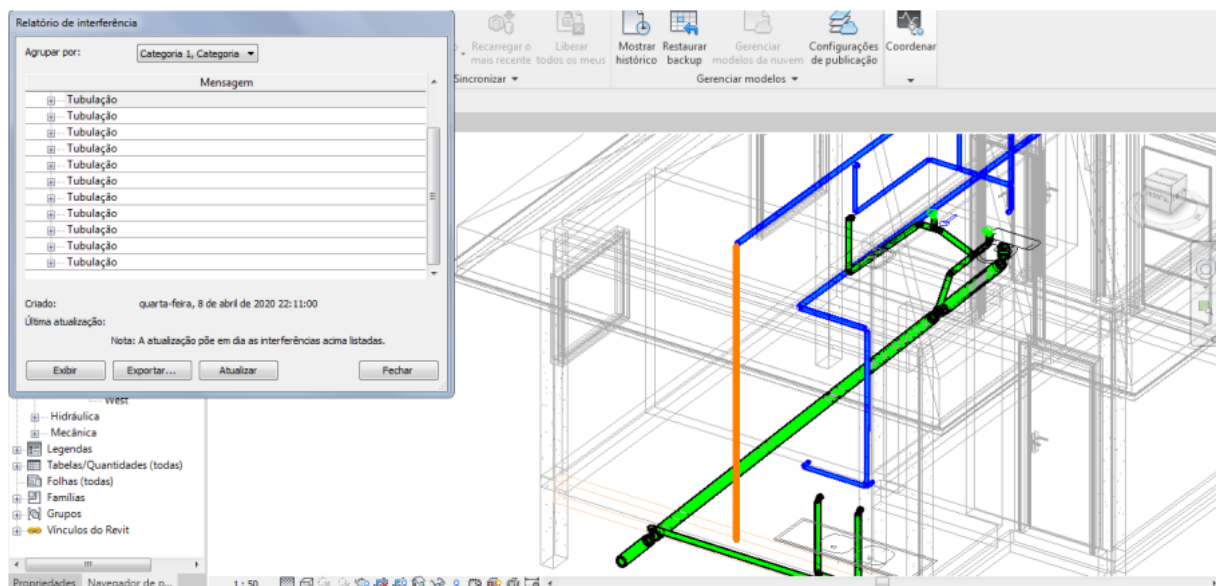


Figura 1 – Interferência entre a viga de fundação e a viga da laje com a tubulação de água. Fonte: Resende et al., 2020

A Figura 2 abaixo mostra em laranja a interferência entre a tubulação de esgoto, que sai do banheiro, e a viga de fundação.

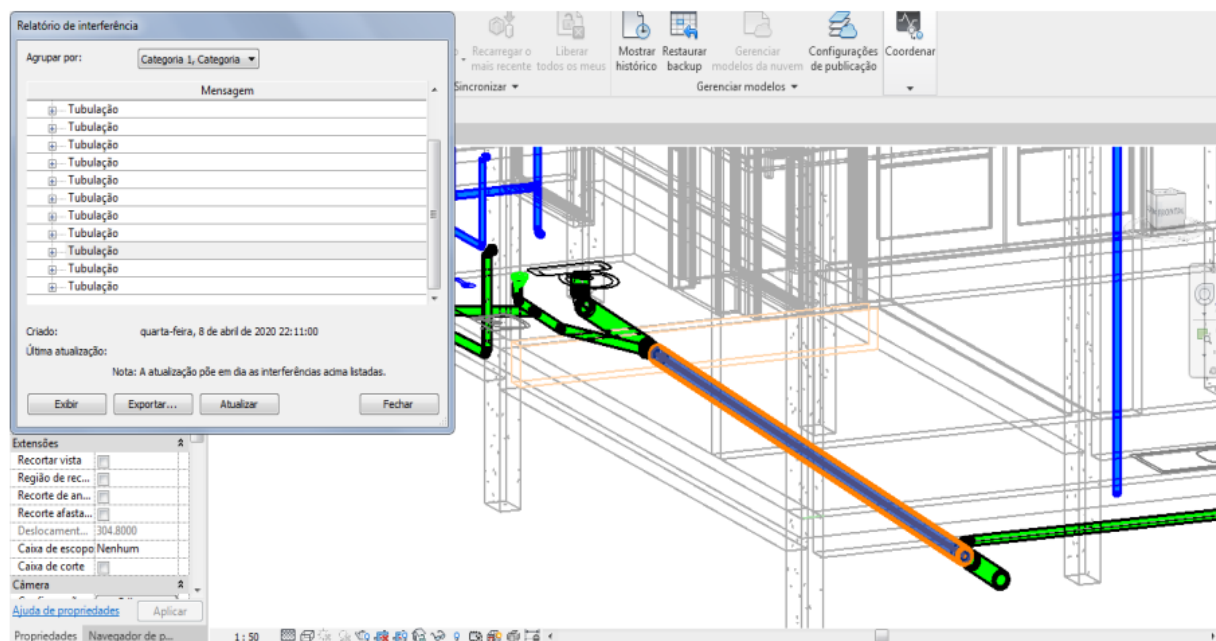


Figura 2 – Interferência entre a tubulação de esgoto e a viga de fundação. Fonte: Resende et al., 2020

Neste estudo concluiu-se que “aperfeiçoar e facilitar a utilização do BIM para detectar essas interferências ainda na fase de projetos é de grande importância para a construção civil”, já

que a não visualização antecipada da incompatibilidade dos projetos pode demandar mais tempo na execução de obras, além de gastos não planejados.

5.2 Análise dos artigos

A partir da revisão realizada no item anterior observou-se que os artigos 1 e 2 ressaltam que ainda há ineficiência na interoperabilidade entre os *softwares* que utilizam a metodologia BIM. Sendo assim, é necessário o aumento da capacidade dos sistemas transferirem dados e utilizarem as informações de forma segura. Uma vez que a metodologia BIM ainda é pouco utilizada no Brasil, espera-se que a interoperabilidade entre estes sistemas operacionais seja cada vez mais aprimorada pelos seus desenvolvedores conforme houver maior adesão por parte dos profissionais de AEC.

No artigo 3 é realizado um estudo sobre o processo de projeto e de execução de uma obra residencial de médio porte e constata-se que a falta de capacitação dos profissionais envolvidos tanto na fase de projeto como na execução da obra torna a viabilidade do BIM questionável. Então, para que a metodologia BIM se torne viável é necessário um investimento por parte das instituições de ensino superior na qualificação dos especialistas, mas também é fundamental que todos os demais profissionais sejam preparados e capacitados para este novo método de trabalho.

Já no artigo 4 realizou-se um estudo para avaliar a integração entre os softwares *Revit Structure* 2012 e *Robot* 2012. Neste estudo percebeu-se que quanto maior a complexidade da estrutura mais dificuldades de compatibilização foram encontradas. Dessa forma, observou-se que mesmo programas desenvolvidos pela mesma empresa ainda apresentam dificuldades de compatibilização.

Por fim, no artigo 5 é apresentado o projeto modelo de uma edificação. Foi realizada a compatibilização dos projetos estrutural, arquitetônico e hidrossanitário utilizando a metodologia BIM e percebeu-se que visualizar ainda na fase de projetos todas as interferências evita atrasos, retrabalhos e o aumento nos custos da obra. Ou seja, apesar das dificuldades encontradas no processo de compatibilização a identificação das interferências ainda na fase de projetos é extremamente vantajoso para obras de pequeno, médio e grande porte.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do estudo realizado foi observado que a metodologia BIM tem se mostrado uma evolução natural das práticas convencionais e da tecnologia CAD 2D. Conclui-se que nos projetos estruturais utilizar a metodologia BIM elimina a necessidade de os engenheiros projetistas replicarem o projeto em um programa de cálculo estrutural e, da mesma forma, as alterações realizadas nos programas de cálculo são reconhecidas pelo modelo BIM, evitando a necessidade de atualizar individualmente os modelos durante o processo de elaboração do projeto.

Evidentemente, a familiaridade com as ferramentas computacionais utilizadas nessa metodologia é um pré-requisito indispensável aos profissionais da área. Além disso, a interoperabilidade entre os *softwares* ainda é uma barreira para a elaboração e análise de projetos estruturais, tornando menos atraente a adesão do BIM pelas empresas de engenharia. Portanto, tornando-se indispensável não apenas a escolha adequada do software de análise estrutural e dimensionamento, como também a comunicação do mesmo com o software de modelação BIM, aumentando assim, a eficiência na elaboração dos projetos estruturais.

7 REFERÊNCIAS

ANGELIN, G. G.; LOPES, P. A.; MANDOLA, J. B.; IMAI, C. Avaliação do uso do BIM em obras de médio porte: estudo de caso. In: XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 19., 2022, Canela. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-11.

BRASIL. Decreto nº 10.344, de 11 de maio de 2020. Altera o Decreto nº 10.282, de 20 de março de 2020, que regulamenta a Lei nº 13.979, de 6 de fevereiro de 2020, para definir os serviços públicos e as atividades essenciais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 11 mai. 2020. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.344-de-11-de-maio-de-2020-256165816>>. Acesso em: 15 abr. 2023.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Indústria da construção prevê crescimento de 2,5% em 2023**. Brasília: CBIC, 2022. Disponível em: <<https://cbic.org.br/industria-da-construcao-preve-crescimento-de-25-em-2023/>>. Acesso em: 15 abr. 2023.

CHECCUCCI, E. S.; PEREIRA, A. P. C.; AMORIM, A. L. D. Colaboração e Interoperabilidade no contexto da Modelagem da Informação da Construção (BIM). In: XV CONGRESSO SIGRADI. Santa Fé, Argentina, 2011.

EASTMAN, C.; SACKS, R.; TEICHOLZ, P.; LISTON, K.. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Tradução: Cervantes Gonçalves Ayres Filho, et al.; revisão técnica: Eduardo Toledo Santos. Porto Alegre: Bookman, 2014. ISBN 9788582601181.

HIBBELER, R. C.. **Análise das estruturas**. Tradução: Jorge Ritter; revisão técnica: Pedro Vianna. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013. 543 p.

KASSIMALI, Aslam. **Análise Estrutural** - Tradução da 5ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2016. E-book. ISBN 9788522124985. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522124985/>. Acesso em: 16 nov. 2022.

LEITE, A. G. F.; PINTO, B. R.; COSTA, L. R. A. da; NUNES, K. K. F.; DIÓGENES, H. J. F. BIM como uma ferramenta para o projeto de estruturas pré-moldadas: uma revisão sistemática. In: Congresso Nacional de Construção de Edifícios, 2018, João Pessoa. Anais... João Pessoa: III CONACED, 2018. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/343350190>>. Acesso em: 15 fev. 2023

MARTHA, L. F.. **Análise de Estruturas: Conceitos e Métodos Básicos**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2022. E-book. ISBN 9788521638216. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521638216/>. Acesso em: 23 abr. 2023.

NUNES, G. H., LEÃO, M. Estudo comparativo de ferramentas de projetos entre o CAD tradicional e a modelagem BIM. **Revista de Engenharia Civil**, n. 55, p. 47 – 61, 2018. Disponível em: <https://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n55/Pag.47-61.pdf>

PAPADOPOULOS, N. A.; SOTELINO, E. D.; MARTHA, L. F.; NASCIMENTO, D. L. M.; FARIA, P. S. Avaliação da integração entre uma plataforma BIM e uma ferramenta de análise estrutural. *Sistemas & Gestão*, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 108–16, 2017. DOI: 10.20985/1980-5160.2017.v12n1.1203. Disponível em: <https://revistasg.uff.br/sg/article/view/1203>. Acesso em: 2 mar. 2023.

SANTOS, N. V.; RODRIGUES, G. J. de O.; REBELLO, W. F. Compatibilização de projetos estruturais de edificações via metodologia bim – integração entre softwares de modelagem e dimensionamento de projeto. In: Encontro Nacional de Modelagem Computacional e Encontro de Ciências e Tecnologia de Materiais, 2019, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: XXII ENMC e X ECTM, 2019. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/362832687>>. Acesso em: 15 fev. 2023

SOUZA, B. V. A. DE; GONÇALVES, D. B.; RESENDE, A. DE P.; ALVIM, M. A.; MENDES, M. C.; FERNANDES, W. L. Identificação de interferências e análise de compatibilidade na integração de projetos utilizando o conceito BIM em uma edificação modelo. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n.6, p. 33843-33857, jun. 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n6-076. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/11071>. Acesso em: 2 mar. 2023.