

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

Gustavo Dalla Vecchia Lourenço

**APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP COMO FERRAMENTA PARA SELEÇÃO DE  
SOFTWARE DE VALIDAÇÃO DE MODELOS BIM**

Florianópolis

2023

Gustavo Dalla Vecchia Lourenço

**Aplicação do método AHP como ferramenta para seleção de software de  
validação de modelos BIM**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Produção Civil do Centro de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, com habilitação em Engenharia de Produção Civil.

Orientador(a): Prof. Carlos Ernani Fries, Dr.

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Lourenço, Gustavo Dalla Vecchia  
Aplicação do método AHP como ferramenta para seleção de  
software de validação de modelos BIM / Gustavo Dalla  
Vecchia Lourenço ; orientador, Carlos Ernani Fries, 2023.  
82 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia de Produção Civil, Florianópolis,  
2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Civil. 2. AHP. 3. BIM. I.  
Fries, Carlos Ernani. II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Graduação em Engenharia de Produção Civil. III.  
Título.

Gustavo Dalla Vecchia Lourenço

**Aplicação do método AHP como ferramenta para seleção de software de validação de modelos BIM**

Florianópolis, 22 de junho de 2023.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta dos seguintes membros

Prof. Carlos Ernani Fries, Dr.  
Orientador

Profa. Monica Maria Mendes Luna, Dra.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Francisco de Assis Araujo Gonçalves Jr.  
Engenheiro de Produção Elétrica

Certifico que esta é a versão final do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo autor e julgado adequado por mim e pelos demais membros da banca para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, com habilitação em Engenharia de Produção Civil.

---

Prof. Carlos Ernani Fries, Dr.  
Orientador

Dedico este trabalho ao meu avô paterno, Cesar Henriques Lourenço (in memoriam), por todo o seu conhecimento transmitido em forma de histórias.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à toda minha família, em especial a meus pais, Antonio e Marla, que dedicaram esforços imensuráveis na minha educação, por todos os incentivos recebidos e pela confiança depositada em mim.

Ao meu irmão, Felipe, por estar presente e me acompanhar em todos os níveis de ensino, do básico ao superior, pelas experiências vividas e por dividir conhecimentos.

Agradeço a minha namorada, Izabela, por todos os momentos em que me motivou a desenvolver este trabalho, pelo companheirismo e por sempre estar disposta a me ajudar.

A todos os meus colegas e amigos, em especial ao Alexandre e Vinícius, por todas as histórias compartilhadas, pelos projetos desenvolvidos e por sempre estarem presentes no cotidiano da faculdade.

Agradeço ao meu orientador, Carlos Ernani Fries, pela disponibilidade em auxiliar no compartilhamento, com dedicação, de seus conhecimentos sobre o tema do trabalho.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina por ter me proporcionado experiências engrandecedoras em grupos estudantis e oportunidades de estágios que moldaram minha formação acadêmica e profissional.

## RESUMO

Os softwares desenvolvidos para a indústria da construção civil desempenham um papel fundamental no suporte à gestão eficiente dos processos construtivos. As ferramentas fornecidas são essenciais nas definições estratégicas tomadas na fase de coordenação e gerenciamento de projetos. Desta forma, foram desenvolvidos softwares especializados na validação de projetos com base em Building Information Modeling (BIM), ou modelagem da informação da construção. Neste contexto, a decisão de utilização do melhor software de validação de modelos demonstra-se um fator essencial na garantia da qualidade dos projetos e do sucesso na viabilização da construção do empreendimento. Sendo assim, o presente estudo visa aplicar o método AHP de tomada de decisão multicritério como ferramenta para selecionar softwares de validação de modelos BIM. Para tal foi consultado um especialista em coordenação de projetos, onde por meio de entrevistas semiestruturadas, alternativas de softwares, critérios e subcritérios foram identificados e incorporados às etapas do método. Do método AHP sucede um ranking dos softwares segundo a ordem de preferência resultantes dos critérios adotados pelo tomador de decisão. Por fim, foram realizadas análises de sensibilidade quanto à verificação nos pesos dos critérios com suporte de gráficos de performance e gradiente. Ademais, o estudo permite um suporte ao profissional de coordenação de projetos avaliar os softwares de validação abordados. Outros profissionais do setor também podem utilizar das diretrizes estabelecidas pelo estudo na seleção de softwares pertinentes da área.

**Palavras-chave:** Método AHP; Modelagem BIM; Validação de Modelos; Tomada de Decisão; Construção Civil; Gestão de Projetos.

## ABSTRACT

The software developed for the construction industry plays a key role in supporting the efficient management of construction processes. The tools provided are essential in the strategic definitions taken in the coordination and project management phase. In this way, specialized software was developed in the validation of projects based on Building Information Modeling (BIM). In this context, the decision to use the best model validation software proves to be an essential factor in ensuring the quality of the projects and the success in making the construction of the project viable. Thus, the present study aims to apply the AHP method of multicriteria decision-making as a tool to select BIM model validation software. To this end, a specialist in project coordination was consulted, where through semi-structured interviews, software alternatives, criteria and subcriteria were identified and incorporated into the stages of the method. The AHP method is followed by a ranking of the software according to the order of preference resulting from the criteria adopted by the decision maker. Finally, sensitivity analyses were performed regarding the verification of the weights of the criteria with the support of performance and gradient graphs. In addition, the study allows a support to the project coordination professional to evaluate the validation software addressed. Other professionals in the sector can also use the guidelines established by the study in the selection of relevant software in the area.

**Keywords:** AHP Method; BIM Modeling; Model Validation; Decision Making; Civil Construction; Project Management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama PRISMA.....	23
Figura 2 – Conceito de federação dos modelos BIM.....	28
Figura 3 – Fluxograma do processo de validação de modelos BIM .....	29
Figura 4 – Fases e etapas dos métodos MCDA.....	31
Figura 5 – Estrutura hierárquica do método AHP .....	32
Figura 6 – Matriz exemplo A.....	33
Figura 7 – Enquadramento metodológico.....	36
Figura 8 – Estrutura hierárquica .....	40
Figura 9 – Critério usabilidade.....	41
Figura 10 – Critério viabilidade.....	42
Figura 11 – Importâncias relativas e índice de inconsistência dos critérios relacionados à meta .....	49
Figura 12 – Importâncias relativas e índice de inconsistência dos subcritérios relacionados ao critério usabilidade .....	49
Figura 13 – Importâncias relativas e índice de inconsistência dos subcritérios relacionados ao critério viabilidade .....	50
Figura 14 – Importâncias relativas e índice de inconsistências da estrutura hierárquica .....	51
Figura 15 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do subcritério compatibilidade .....	54
Figura 16 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do subcritério precisão .....	56
Figura 17 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do subcritério interface do usuário.....	57
Figura 18 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do subcritério preço ...	58
Figura 19 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do subcritério versões disponíveis .....	59
Figura 20 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do subcritério suporte técnico.....	61
Figura 21 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do critério funcionalidade .....	62
Figura 22 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do critério integração .	63

Figura 23 – Ranqueamento das alternativas.....	64
Figura 24 – Softwares BIM mais utilizados em 2020.....	65
Figura 25 – Gráfico de performance dos critérios relacionados as alternativas .....	66
Figura 26 – Gráfico do gradiente de sensibilidade referente ao critério “usabilidade” .....	67
Figura 27 – Gráfico do gradiente de sensibilidade referente ao critério “viabilidade”	68
Figura 28 – Gráfico do gradiente de sensibilidade referente ao critério “funcionalidade” .....	68
Figura 29 – Gráfico do gradiente de sensibilidade referente ao critério “integração”	69

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critérios de exclusão e inclusão .....	23
Quadro 2 – Escala fundamental de Saaty .....	33
Quadro 3 – Fases metodológicas empregadas .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Contribuições de aplicabilidade técnica do BIM na literatura .....	24
Tabela 2 – Contribuições de seleção de software BIM na literatura.....	25
Tabela 3 – Contribuições de critérios comumente adotados na seleção de software BIM na literatura .....	26
Tabela 4 – Valores de RI.....	35
Tabela 5 – Matriz de comparação paritária dos critérios relacionados à meta.....	46
Tabela 6 – Importâncias relativas dos critérios relacionados à meta .....	47
Tabela 7 – Matriz de comparação paritária do critério usabilidade .....	49
Tabela 8 – Matriz de comparação paritária do critério viabilidade.....	50
Tabela 9 – Quantidade de tipos de arquivos suportados .....	52
Tabela 10 – Normalização da quantidade de tipos de arquivos suportados .....	53
Tabela 11 – Matriz comparativa entre as quantidades de tipos de arquivos suportados .....	53
Tabela 12 – Matriz com valores normalizados da comparação das quantidades de tipos de arquivos suportados.....	54
Tabela 13 – Comparação e pesos do subcritério “precisão” .....	55
Tabela 14 – Matriz de comparação paritária com base no nível de precisão das alternativas .....	55
Tabela 15 – Comparação e pesos do subcritério “interface do usuário” .....	56
Tabela 16 – Matriz de comparação paritária com base no nível de satisfação das alternativas em relação a interface do usuário .....	57
Tabela 17 – Valor de aquisição anual dos softwares .....	58
Tabela 18 – Quantidade de versões disponíveis.....	59
Tabela 19 – Comparação e pesos do subcritério “suporte técnico” .....	60
Tabela 20 – Matriz de comparação paritária com base no nível de satisfação das alternativas em relação ao suporte técnico .....	60
Tabela 21 – Quantidade das principais ferramentas disponíveis .....	62
Tabela 22 – Quantidade de plug-ins disponíveis.....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AHP	Analytic Hierarchy Process
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CI	Índice de Inconsistência
CR	Consistência Relativa
IFC	Industry Foundation Classes
MCDA	Multiple Criteria Decision Analysis
MCDM	Multiple Criteria Decision Making
MEP	Mechanical, Electrical and Plumbing
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses
RI	Índice Randômico
TI	Tecnologia da Informação

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1	JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	17
1.2	OBJETIVOS.....	18
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>18</b>
1.3	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	19
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>21</b>
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
<b>2.1.1</b>	<b>Aplicação do protocolo PRISMA.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Resultados da revisão bibliográfica.....</b>	<b>24</b>
2.2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	26
<b>2.2.1</b>	<b>BIM e o impacto na construção civil.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Processo de validação de modelos BIM.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Software de validação de modelos BIM.....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Processo de tomada de decisão.....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.5</b>	<b>Método AHP.....</b>	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>36</b>
3.1	ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO.....	36
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	37
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>40</b>
4.1	ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA DE DECISÃO.....	40
4.2	SELEÇÃO DOS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS.....	41
<b>4.2.1</b>	<b>Usabilidade.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Viabilidade.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Funcionalidade.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Integração.....</b>	<b>43</b>
4.3	ESCOLHA DAS ALTERNATIVAS.....	43
<b>4.3.1</b>	<b>Navisworks.....</b>	<b>44</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Solibri.....</b>	<b>44</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Visicon.....</b>	<b>45</b>
<b>4.3.4</b>	<b>BIMcollab ZOOM.....</b>	<b>45</b>

4.4	ESTABELECIMENTO DE PREFERÊNCIAS E VERIFICAÇÃO DE CONSISTÊNCIA .....	46
4.4.1	Importância relativa dos critérios e subcritérios .....	46
4.4.2	Determinação do nível de preferência das alternativas .....	51
4.4.3	Valoração global e ranqueamento das alternativas .....	63
4.5	RESULTADO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....	65
5	CONCLUSÃO .....	70
	REFERÊNCIAS .....	72
	APÊNDICE A – ROTEIRO SEMIESTRUTURADO PARA ENTREVISTA (PARTE 1) .....	77
	APÊNDICE B – ROTEIRO SEMIESTRUTURADO PARA ENTREVISTA (PARTE 2) .....	78

## 1 INTRODUÇÃO

As crescentes exigências do mercado da construção civil, quanto a qualidade dos empreendimentos, tem demandado profissionais capacitados desde as etapas de concepção dos projetos. Nesse sentido, softwares desenvolvidos para o setor, vem sendo cada vez mais empregados como suporte aos profissionais em todas as etapas dos projetos.

Segundo Takagaki (2016), as etapas de desenvolvimento dos projetos influenciam direta e indiretamente o desempenho de uma edificação. Estas etapas são essenciais na redução de eventuais inconsistências operacionais no canteiro de obras. É nesse sentido que se evidencia uma crescente exigência com relação à qualidade do desenvolvimento dos projetos, bem como a compatibilização dos processos envolvidos durante a sua execução.

O projeto é essencial para dar suporte aos integrantes envolvidos no processo construtivo de uma obra. Porém um projeto por si só, não é garantia de qualidade e bom desempenho de uma edificação, mas acima de tudo, a validação do que foi projetado. Dessa forma, verificar as inconsistências entre as múltiplas disciplinas presentes em uma edificação é fundamental para proporcionar uma maior segurança operacional durante o desenvolvimento de uma obra.

Para Ruchel et al. (2013), há a necessidade de um fluxo contínuo de troca de informações e interdependência entre os envolvidos no processo. A necessidade de integração e gerência adequada das informações minimiza a possibilidade de erros, retrabalhos, ineficiência e defeitos.

O processo de integração durante o ciclo de vida de uma obra é comandado pelo coordenador de projetos, o qual frequentemente tem o desafio de compatibilizar as diversas disciplinas de um projeto. O papel desempenhado por um coordenador de projetos envolve as atividades de gerenciamento das questões técnicas, prazos, qualidade, escopo e tomada de decisão em um projeto (ADDOR; SANTOS, 2017).

As atividades de compatibilização são realizadas por meio de ferramentas computacionais, as quais desempenham processos de verificação de projetos. Esses softwares são responsáveis por dar o suporte e desempenho necessário aos coordenadores de projetos. Todavia, devido à elevada complexidade dos empreendimentos da construção civil, a qual demandam técnicas, métodos e

ferramentas apropriadas para gerenciá-los com sucesso é que foi desenvolvida a metodologia BIM.

BIM (*Building Information Modeling*) é um ecossistema de modelos tridimensionais com informações integradas sobre o ciclo de vida da edificação, sendo uma forma de alterar os processos ligados à construção civil. Esse sistema aproveita-se de ferramentas computacionais específicas para gerenciar as informações de construção (TAKAGAKI, 2016). A troca de informações entre softwares destinados à construção civil e o fluxo de dados entre diferentes disciplinas é realizado por arquivos do tipo IFC (*Industry Foundation Classes*).

A capacidade de interoperabilidade dos softwares de validação de modelos BIM é essencial para otimizar as atividades em equipe. As equipes são compostas por diferentes projetistas trabalhando em conjunto para conceber um empreendimento. Isso permite que os dados sejam compartilhados entre diferentes tipos de softwares, sem perda de informações, o que é fundamental para garantir a eficiência e a precisão dos projetos.

O presente trabalho pretende dar suporte ao coordenador de projetos, em uma tomada de decisão quanto à seleção de um software de validação de modelos BIM. Faz parte do escopo do trabalho selecionar opções de softwares dentre várias disponíveis no mercado, com apoio de critérios práticos usualmente realizados na gestão e coordenação de projetos na construção civil.

## 1.1 JUSTIFICATIVA DO TEMA

O mercado da construção civil é marcado por sua alta competitividade, fazendo com que as construtoras e incorporadoras operem em uma estreita margem de erro. A grande maioria dos equívocos evidenciados em obra podem ser mitigados na fase de concepção de projetos, a qual tem papel importante na decisão da viabilidade de um empreendimento.

A validação dos modelos gerados na fase de elaboração dos projetos é fundamental na redução de erros. As falhas cometidas nas etapas de elaboração dos projetos ocasionam em retrabalhos no canteiro de obra, orçamentos imprecisos do material a ser utilizado, assim como não cumprimento do cronograma efetivo nas fases operacionais.

Para que o processo de validação e de compatibilização dos projetos seja o mais otimizado possível, é relevante utilizar sistemas computacionais compatíveis com a modelagem de informação da construção (BIM). A seleção do melhor software deve considerar múltiplos critérios para garantir a melhor escolha dado que existem vários softwares disponíveis com diferentes funcionalidades.

Métodos de Apoio à Decisão Multicritério (MCDA - *Multiple Criteria Decision Analysis*) dispõem de ferramentas que dão suporte aos decisores para considerar critérios relevantes na seleção de uma alternativa. O ranqueamento de alternativas é realizado pelo estabelecimento de relações de preferência entre alternativas, subcritérios e critérios. Desta forma, agentes decisores têm maior clareza e segurança na escolha a ser feita, levando em conta os diversos atributos das alternativas que afetam a decisão.

Dentre as ferramentas de apoio à tomada de decisão mais populares e difundidas do MCDA, destaca-se o Processo Hierárquico Analítico (AHP - *Analytic Hierarchy Process*), desenvolvido por Saaty (1991). O método AHP é uma ferramenta amplamente utilizada, sendo aplicada nas mais diversas áreas. O método consiste na hierarquização por níveis permitindo uma melhor compreensão da relação entre os elementos da hierarquia (AYALA; FRANK, 2013).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste na aplicação do método AHP para seleção de softwares de validação de modelos compatíveis com a modelagem de informação da construção (BIM).

### 1.2.2 Objetivos específicos

Com efeito de alcançar o objetivo geral do trabalho, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Estruturar problema de decisão da seleção de softwares de validação de modelos BIM;

- Identificar os critérios e subcritérios essenciais para o problema de decisão abordado;
- Desenvolver métricas, com escalas apropriadas, para a avaliação dos critérios e subcritérios adotados;
- Analisar resultados obtidos com a aplicação do método AHP na seleção dos softwares levantados.

### 1.3 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho tem como escopo a aplicação do método AHP como ferramenta de tomada de decisão, a fim de dar suporte ao decisor na seleção dos softwares de validação BIM disponíveis no mercado. Para isso, será considerada única e exclusivamente a ferramenta AHP como método de seleção. Nesse sentido, a escolha torna-se sensível às limitações do método, uma vez que não é o propósito do trabalho apresentar e comparar mais de um método para a tomada de decisão.

A indústria da construção civil, atualmente, dispõe de uma extensa gama de programas computacionais disponíveis no mercado. Todavia, serão abordados apenas os softwares voltados exclusivamente à validação dos modelos, não contemplando softwares de desenho e modelagem. Ademais, não é objetivo do trabalho analisar tecnicamente as funcionalidades presentes nos softwares de validação, mas expô-las e investigá-las por meio dos critérios adotados.

Os critérios, subcritérios e alternativas foram escolhidos por meio das literaturas selecionadas pela aplicação do protocolo de pesquisa PRISMA e pela realização de uma entrevista semiestruturada realizada em conjunto com um engenheiro civil, com especialização em coordenação de projetos BIM.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. No capítulo em que se inicia, é apresentado a introdução, a qual compõe os subcapítulos da justificativa do tema, objetivo geral, objetivos específicos, delimitação e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica referente às regras de validação de modelos BIM. A triagem de artigos foi realizada por meio do método PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-*

*Analyses*) utilizando a base de periódicos da CAPES. Ainda no mesmo capítulo é apresentada a fundamentação teórica abordando as aplicações do BIM e os fundamentos do método AHP.

O terceiro capítulo é reservado para a metodologia empregada no trabalho. Primeiramente foi demonstrado o enquadramento metodológico, subdividido entre a área específica do trabalho, a natureza da pesquisa e abordagem do problema. Em seguida foram elencados os procedimentos metodológicos, destacando as fases realizadas no desenvolvimento do trabalho.

No capítulo de desenvolvimento é realizada a aplicação do método AHP. A estruturação do problema de decisão foi discutida em primeiro plano. Em seguida, foram desenvolvidos os passos para a seleção dos critérios e subcritérios, comentados individualmente. As alternativas de softwares de validação de modelos BIM são apresentadas nessa seção. Posteriormente são realizadas as etapas de estabelecimento de prioridades e verificação de consistência, bem como a determinação do nível de preferência das alternativas. Ao final do capítulo, foi apresentado a valoração e o ranqueamento das alternativas, bem como os resultados e análise de sensibilidade.

No último capítulo, são apresentadas as conclusões dos resultados que foram obtidos com a aplicação do método AHP e uma breve justificativa do ranking dos softwares selecionados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A revisão bibliográfica sistematizada é baseada no protocolo de pesquisa PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*). A fundamentação teórica, em função dos resultados da revisão bibliográfica, é apresentada na sequência.

### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O protocolo de pesquisa PRISMA foi estabelecido para fornecer orientação na execução do método de pesquisa. Segundo Page et al. (2021), o PRISMA foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar os pesquisadores a relatar de maneira transparente a razão pela qual a revisão foi realizada, as ações tomadas pelos autores e os resultados encontrados. O protocolo compreende uma lista detalhada de verificação composta por 27 itens e um diagrama que abrange três fases: identificação, triagem e inclusão.

A fase de identificação é destinada à definição de *strings* de busca. A busca é realizada por meio de palavras-chave que têm como finalidade estabelecer o número total de artigos identificados por meio de pesquisa em bancos de dados. Na fase de triagem são definidos critérios de exclusão e inclusão de artigos estipulados na fase de identificação. Ao final da fase de triagem, os artigos selecionados são incluídos à base bibliográfica do trabalho.

#### 2.1.1 Aplicação do protocolo PRISMA

A aplicação do protocolo PRISMA foi realizada considerando a base de artigos científicos disponível no portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). Para a realização desta pesquisa, foram definidas três questões a serem respondidas através da revisão bibliográfica, quais sejam:

P1 – Qual o nível de aplicabilidade técnica do BIM na construção civil?

P2 – Como os softwares BIM têm sido selecionados nas empresas?

P3 – Que critérios são comumente adotados na seleção dos softwares BIM?

Na etapa de identificação, foi definida a *string* de busca na ferramenta de pesquisa avançada no portal da CAPES. Para a pesquisa, foram utilizadas as *strings*: (“*Civil Construction*” AND “*Analytic Hierarchy Process*” AND “*Building Information Modeling*”) para buscas em qualquer campo presente nos artigos científicos da base de dados. Posteriormente, com as *strings* definidas foram selecionadas as pesquisas que estivessem dentro do recorte temático.

As bases selecionadas para esta pesquisa foram: *Web of Science*, *Directory of Open Access Journals*, *Elsevier ScienceDirect Journals*, *American Society of Civil Engineers*. Para as bases selecionadas foram filtrados em apenas artigos de periódicos e descartados os filtros com correspondência temporal e de idiomas.

A pesquisa retornou 59 resultados de periódicos. Inicialmente, foi retirado 1 resultado por se tratar de uma ata de congresso, totalizando um total de 58 artigos de periódicos para a fase de identificação.

Na etapa de triagem, foram definidos os critérios de exclusão C1, C2 e C3, e o critério de inclusão C0, descritos no Quadro 1. A leitura e compreensão por meio dos títulos, resumo e palavras-chave dos artigos identificados foram pertinentes à exclusão de 6 artigos na primeira triagem realizada. Os artigos nos quais havia indecisão quanto a uma primeira exclusão foram analisados na próxima etapa de triagem. Os artigos que sobraram da primeira e segunda triagem passaram por uma nova etapa de seleção.

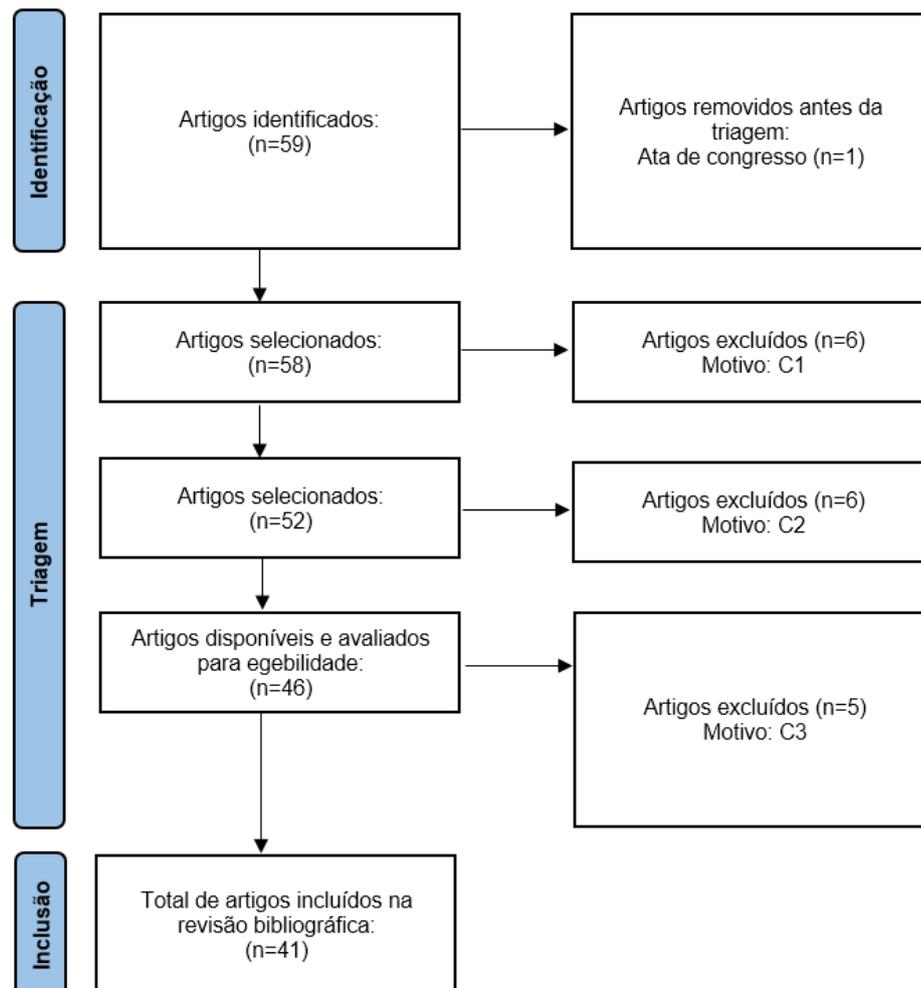
Os 46 artigos selecionados foram lidos na íntegra, buscando àqueles que realmente respondiam às questões de pesquisa. A leitura ativa e avaliativa dos artigos selecionados resultou na exclusão de 5 artigos por meio do critério de exclusão. O total de 41 artigos de periódicos foram selecionados para a etapa de inclusão, bem como na representação da revisão bibliográfica do trabalho.

Quadro 1 – Critérios de exclusão e inclusão

<b>Critérios de exclusão</b>	
<b>C1</b>	Artigo de periódicos não revisados por pares
<b>C2</b>	Artigos não disponíveis na íntegra
<b>C3</b>	Não conter a construção civil como assunto principal
<b>Critério de inclusão</b>	
<b>C0</b>	Responder às questões de pesquisa

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

Figura 1 – Diagrama PRISMA



Fonte: adaptado de Page et al. 2021

### 2.1.2 Resultados da revisão bibliográfica

Os resultados da realização desta pesquisa delimitaram-se em três questões a serem respondidas por meio da revisão bibliográfica. A primeira questão corresponde ao nível de aplicabilidade técnica do BIM na construção civil. Nesse sentido, a Tabela 1 consolida as aplicações do BIM mais frequentes evidenciadas na literatura. Dez artigos foram selecionados, destacando-se sete aplicações como as mais citadas. Destas, duas aplicações “simulações com análises de desempenho” e “planejamento do controle de projetos” assemelham ser as mais frequentemente evidenciadas na literatura investigada.

A primeira aplicação trata de simulações sobre a resistência de materiais de construção referentes à estrutura de uma moradia unifamiliar (da Costa et al., 2021), bem como o desempenho da avaliação do melhor layout de um canteiro de obras (Marzouk e Abubakr, 2015). O planejamento de projetos, também conhecido como sendo a quarta dimensão do BIM (4D), é outro tipo de aplicação frequentemente considerado na seleção de artigos promovida pelo PRISMA. No geral, todas as sete aplicações têm relevância na aplicabilidade de projetos em BIM e, portanto, são representativas para caracterizar um nível de aplicabilidade técnica do BIM na construção civil.

Tabela 1 – Contribuições de aplicabilidade técnica do BIM na literatura

Aplicabilidade BIM	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1 - Visão holística do empreendimento	X			X	X		X			
2 - Colaboração entre profissionais em um projeto				X	X				X	X
3 - Análise de interferências nos projetos		X	X	X				X	X	
4 - Coordenação entre as disciplinas envolvidas			X	X		X		X	X	
5 - Simulações com análises de desempenho	X	X	X			X	X	X		X
6 - Planejamento do controle de projetos		X	X		X	X	X	X		X
7 - Sustentabilidade dos projetos	X	X			X		X		X	

Autores: (1) Coors e Zhao, 2012; (2) da Costa et al., 2021; (3) Marzouk e Abubakr, 2015; (4) Chen et al., 2021; (5) Samarakoon e Ratnayake, 2022; (6) Petersen et al., 2016; (7) Ghaemi et al., 2019; (8) Woo e Menassa, 2014; (9) Jeon et al., 2012; (10) Wang e Piao, 2019.

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

A segunda questão consiste em como os softwares BIM têm sido selecionados nas empresas do setor da construção civil. Nesse viés, a Tabela 2 mostra as diversas práticas de seleção adotadas nas empresas. Dez artigos foram

selecionados, destacando-se sete práticas de seleção como as mais citadas. Destas, a “avaliação das funcionalidades” e “experiências dos profissionais” contribuíram em grande parte nos artigos levantados.

A avaliação das funcionalidades nos softwares BIM leva em consideração as ferramentas presentes nos softwares. Na obra de Figueiredo et al. (2021), a ferramenta de simulação para calcular e identificar os impactos do ciclo de vida do edifício estudado é analisada para determinar a implementação do caso considerado no artigo.

As “experiências dos profissionais” foram determinantes na escolha de softwares para o estudo do artigo de Dwyer et al. (2022). A demonstração realizada por meio de softwares selecionados pelos profissionais de segurança contra acidentes no posto de trabalho serviu de base para o desenvolvimento dos critérios de seleção presentes no artigo. Em síntese, as sete práticas de seleção foram relevantes para a questão levantada, e, portanto, são representativas para selecionar softwares BIM nas empresas do setor da construção civil.

Tabela 2 – Contribuições de seleção de software BIM na literatura

Seleção de software BIM	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1 - Outros métodos de tomada de decisão	X		X	X	X		X			
2 - Custo-benefício da adoção do BIM		X				X				
3 - Avaliação das necessidades	X		X				X	X	X	
4 - Pesquisa de mercado				X		X				X
5 - Experiências dos profissionais		X	X	X		X	X	X		X
6 - Avaliação das funcionalidades		X		X	X		X	X	X	X
7 - Compatibilidade entre demais softwares	X		X		X	X			X	X

Autores: (1) Lamine et al., 2018; (2) Figueiredo et al., 2021; (3) Zeng et al., 2021; (4) Dwyer et al., 2022; (5) Ding et al., 2019; (6) Mbachu et al., 2019; (7) Peng et al., 2022; (8) Mustafa et al., 1991; (9) Perschewski et al., 2018; (10) Bhatt et al., 2012.

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

A última questão se refere a quais critérios são comumente adotados na seleção dos softwares BIM. Na Tabela 3 estão elencados os critérios mais evidenciados na literatura. Seis artigos foram levantados, destacando-se cinco critérios de seleção como os mais citados. Os critérios de “custos de aquisição” e “usabilidade” foram os mais frequentes na literatura investigada.

Booth et al. (2016) utilizou os custos de aquisição das licenças de softwares BIM como critério para seleção de softwares voltados à escolha de fornecedores para

o setor da construção civil. O critério de usabilidade foi utilizado como avaliação técnica para a seleção de softwares BIM em um estudo de caso realizado no artigo de Nawi et al. (2018). Os cinco critérios foram significativos para a questão abordada, sendo representativos na adoção de critérios comuns à seleção de softwares BIM.

Tabela 3 – Contribuições de critérios comumente adotados na seleção de software BIM na literatura

Adoção de critérios de seleção	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1 - Custos de aquisição	X	X			X	X
2 - Colaboração	X		X			
3 - Usabilidade	X			X		
4 - Facilidade de implementação					X	
5 - Suporte técnico					X	

Autores: (1) Nawi et al., 2018; (2) Booth et al., 2016; (3) Nursal et al., 2015; (4) Omar, 2015; (5) Rajesh et al., 2009; (6) Haron et al., 2016.

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

## 2.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.2.1 BIM e o impacto na construção civil

O conceito de *Building Information Modeling* (BIM) revolucionou a forma como os projetos de construção são concebidos, desenvolvendo modelos virtuais com elementos parametrizados (Figueiredo et al., 2021). De acordo com Eastman et al. (2014), a metodologia é um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção com o objetivo de integrar os projetos para a construção de um modelo virtual único do edifício.

Segundo Sozer apud Zeng et al. (2021), o BIM surgiu principalmente da capacidade de integrar informações por meio da interoperabilidade entre as diferentes ferramentas de softwares utilizados para projetos na construção civil. O fluxo de informações entre diferentes ferramentas é promovido por meio do openBIM, onde as informações são compartilhadas gerando dados que possam ser utilizados sem reentrada na próxima fase do projeto.

O openBIM é um processo colaborativo que promove a interoperabilidade entre softwares baseado em padrões abertos e fluxos de trabalho que permitem que

diferentes partes interessadas compartilhem seus dados com qualquer software compatível com BIM (BUILDINGSMART, 2023).

A adoção do BIM tem crescido significativamente nos últimos anos, grande parte, pelo impacto positivo gerado na construção civil frente aos métodos tradicionais em CAD (*Computer Aided Design*). As informações contidas no modelo de construção permitem que os projetistas visualizem, com precisão, todo o projeto em 3D. A visualização em três dimensões facilita a detecção de erros e inconsistências antes que a construção se inicie.

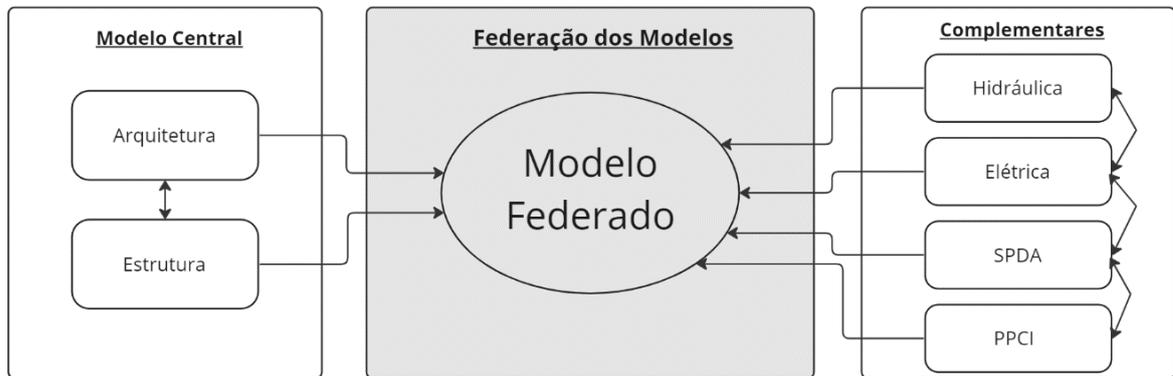
O software baseado em BIM permite que os profissionais reduzam custos, detectem erros de projeto e acompanhem os cronogramas de construção (Figueiredo et al., 2021). À medida que a tecnologia evolui, o BIM torna-se ainda mais avançado e difundido, apresentando benefícios capazes de tornar a construção civil mais eficiente, sustentável e acessível.

### **2.2.2 Processo de validação de modelos BIM**

A validação das geometrias que compõem os modelos BIM é analisada por meio de ferramentas capazes de identificar a existência de incompatibilidades geométricas dentro e entre os elementos do modelo. As ferramentas incluídas nos softwares de validação de modelos BIM integram os diversos sistemas compostos de uma edificação. Esses sistemas são desenvolvidos por diferentes projetistas, que utilizam softwares de modelagem BIM distintos (TAKAGAKI, 2016). Cabe ao coordenador de projetos compatibilizar as inconsistências apresentadas, validando os modelos gerados pelos diversos projetistas, notificando-os por meio de reuniões ou sistemas de documentação com compartilhamento de dados em nuvem.

Segundo Edwards apud Chen et al. (2021), o modelo federado baseado em transferência de dados em nuvem facilita a detecção de conflitos entre os projetos e a sua devida documentação. O gerenciamento do modelo federado é um meio com grande troca de informações entre equipes multidisciplinares, permitindo que cada indivíduo trabalhe sua especialidade e compartilhe informações para a coordenação de projetos como um todo (FISHER et al., 2017). Para Souza et al. (2021), o objetivo principal do modelo federado é vincular diferentes disciplinas de uma edificação, permitindo analisar soluções projetuais e testar conflitos entre os demais sistemas construtivos.

Figura 2 – Conceito de federação dos modelos BIM



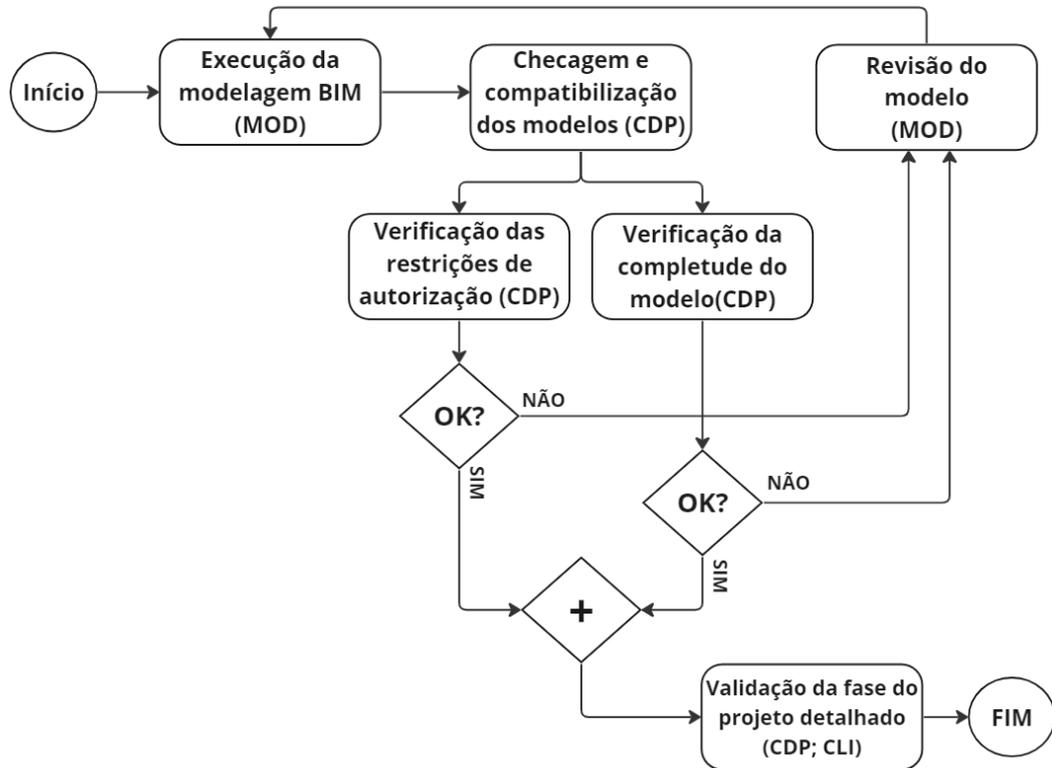
Fonte: adaptado de Souza et al., 2021

O processo de validação de modelos BIM compreende atividades e responsáveis em cada etapa, desde a modelagem dos sistemas até a entrega final do modelo federado (DANIOTTI et al., 2022).

A Figura 3 ilustra o fluxograma do processo de validação dos modelos BIM. Os modeladores (MOD) tem papel na execução dos projetos no padrão BIM, competindo a eles, tarefas de execução geométrica e informacional dos modelos seguindo as premissas previamente demandadas. Competem aos modeladores também a revisão de informações repassadas pelo coordenador de projetos quando solicitado.

O coordenador de projetos (CDP) realiza a checagem dos modelos, por meio de compatibilização do modelo federado e controle da qualidade para que atendam aos seus principais requisitos. Se todas as restrições forem atendidas, é papel do coordenador junto ao cliente (CLI) realizarem ambos a validação final do projeto detalhado, a fim de alinhar se todos os requisitos foram cumpridos.

Figura 3 – Fluxograma do processo de validação de modelos BIM



Fonte: adaptado de Daniotti et al. 2022

### 2.2.3 Software de validação de modelos BIM

Os softwares específicos para validar modelos BIM são voltados para a gestão eficiente dos projetos. A compatibilização dos modelos realizada por meio dos softwares de validação, tem como finalidade garantir a qualidade durante todo o ciclo de vida do empreendimento. Segundo Ruschel et al. (2013), os softwares BIM têm propiciado agilidade nos processos desde a concepção dos projetos, incluindo o gerenciamento de conflitos, tornando um elemento estratégico para as corporações.

A decisão da utilização de um software BIM específico, segundo Nawi et al. (2018), pode afetar os investimentos de uma empresa, bem como as necessidades envolvidas em um projeto. O processo de decisão na escolha de um software tem se tornado cada vez mais complexo, dado o surgimento de inúmeros softwares BIM disponíveis no mercado com diferentes características, funções e custos (NAWI et al., 2018).

Segundo Nursal et al. (2015), os benefícios diretos e indiretos do BIM forçaram as construtoras a adotar o BIM em seus projetos para acompanhar e competir no

mercado de construção. Consequentemente, vários softwares BIM foram desenvolvidos no mercado para atender à demanda na indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC).

#### **2.2.4 Processo de tomada de decisão**

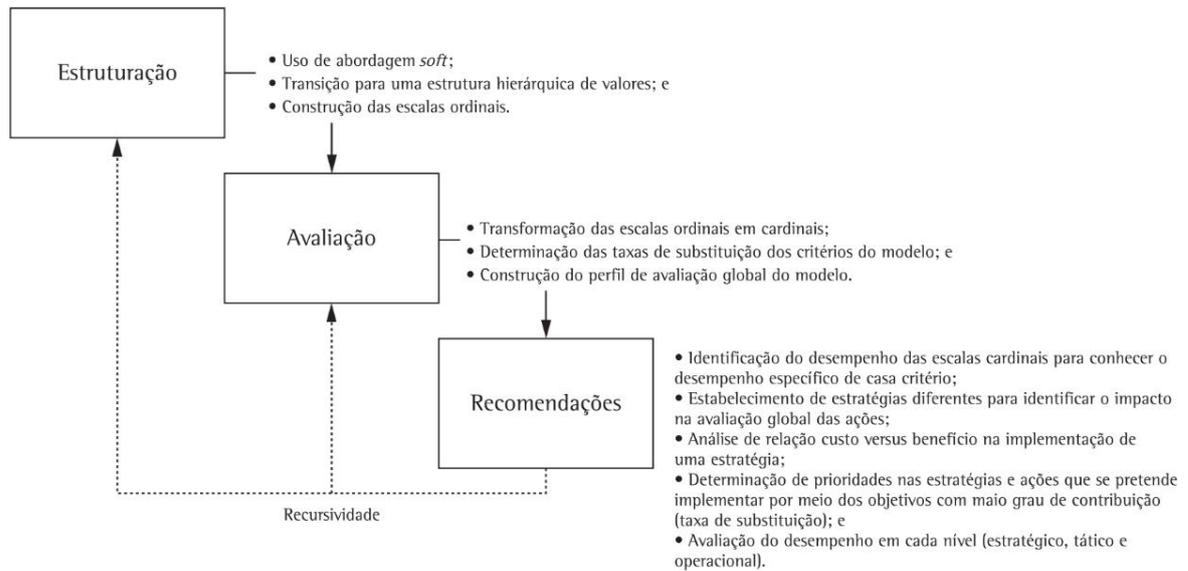
A tomada de decisão, envolve escolher a melhor opção, por meio de julgamentos embasados, entre diversas alternativas propostas levando em consideração as informações disponíveis e as possíveis consequências de sua escolha. De acordo com Figueira et al. (2005), a tomada de decisão é definida como a atividade em que uma pessoa, por meio de um modelo explícito, apoia a obtenção de elementos através de respostas propostas pelas partes de comum interesse.

O conjunto viável de alternativas de decisão consiste em um número finito de elementos que são explicitamente conhecidos no começo do processo de solução, obtendo-se uma classe importante de problemas chamados de avaliação multicritério (SAATY, 2013). As decisões sob múltiplos critérios é uma tarefa subjetiva, a qual depende do sistema de preferência adotada pelo tomador de decisão. Os métodos de MCDA (*Multicriteria Decision Analysis*) se encaixam em uma ampla gama de situações, sendo possível comparar diferentes critérios e objetivos levados em consideração pelo decisor.

Os métodos de apoio à tomada de decisão multicritério estão envolvidos na estruturação de problemas, na modelagem de preferências, na caracterização e construção de diversas formas de modelos de agregação de critérios. (DOUMPOS; ZOPOUNIDIS, 2011).

Segundo Longaray e Ensslin (2014), os métodos MCDA são operacionalizados de forma sistemática por meio de três fases consequentes, são elas: estruturação, avaliação e recomendação.

Figura 4 – Fases e etapas dos métodos MCDA



Fonte: Longaray e Ensslin, 2014

Na primeira fase, a de estruturação, importa o entendimento do problema [...] sob a premissa do construtivismo, procura-se identificar, caracterizar e organizar os fatos considerados relevantes no processo de apoio à decisão por meio da elaboração de uma estrutura que os intervenientes no processo devem partilhar. Quanto à fase de avaliação [...] consiste em esclarecer a escolha, recorrendo à aplicação de métodos matemáticos para apoiar a modelização das preferências dos decisores e sua agregação. Na última fase procede-se à elaboração das recomendações [...] que estabelecem possíveis ações que venham ajudar o decisor a melhorar o desempenho do que se está sendo avaliado (LONGARAY; ENSSLIN, 2014).

### 2.2.5 Método AHP

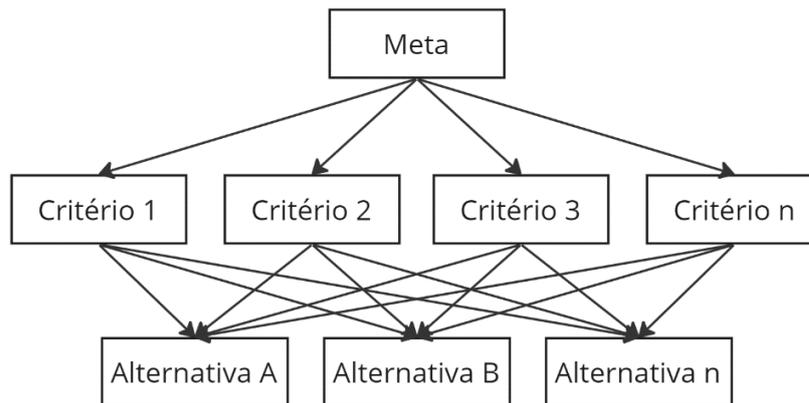
O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) de apoio à tomada de decisão multicritério, foi apresentado pela primeira vez por Thomas Saaty no final da década de 1970 (MBACHU, 2019). O método possibilita um modelo de um problema complexo em uma estrutura hierárquica, desenvolvendo relacionamentos entre objetivos, critérios, subcritérios e alternativas (SAATY apud MBACHU, 2019).

O método AHP permite comparações paritárias, onde os diferentes aspectos são confrontados entre si, resultando em uma priorização dos mesmos. Para isto, é

necessário a hierarquização dos critérios para tornar possível a comparação da influência de cada um no resultado final.

A estrutura hierárquica deve ser definida de forma que se coloque a meta no topo, os critérios no nível intermediário e as alternativas de decisão ao final (SAATY, 2008).

Figura 5 – Estrutura hierárquica do método AHP



Fonte: adaptado de Saaty, 1991

Determinada a estrutura hierárquica, realiza-se a construção de matrizes de comparação paritária. A construção das matrizes tem a finalidade de comparar os elementos de um mesmo nível e avaliá-los considerando os elementos superiores (SAATY, 2008). A comparação paritária é realizada de acordo com os pesos definidos por meio da escala fundamental de Saaty, segundo os níveis de intensidade de importância.

Quadro 2 – Escala fundamental de Saaty

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância fraca de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	Importância forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida em relação a outra e sua dominância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência, favorecendo uma atividade em relação a outra, é do mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes	Quando é necessária uma condição de compromisso

Fonte: adaptado de Saaty e Vargas, 2012

Ao considerar  $n$  o número de critérios adotados para à tomada de decisão, sendo os mesmos critérios da estrutura hierárquica, foi desenvolvida a seguinte matriz exemplo, denominada matriz  $A$ , com dimensão  $n \times n$ .

Figura 6 – Matriz exemplo  $A$ 

$$A = \begin{matrix} & \mathbf{C1} & \mathbf{C2} & \mathbf{C3} & \mathbf{Cn} \\ \mathbf{C1} & \left[ \begin{array}{cccc} 1 & 1/2 & 3 & \dots \\ 2 & 1 & 1/4 & \dots \\ 1/3 & 4 & 1 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{array} \right] \\ \mathbf{C2} & \\ \mathbf{C3} & \\ \mathbf{Cn} & \end{matrix}$$

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

Na matriz  $A$ , cada elemento está representado pela nomenclatura  $a_{i,j}$  associado a uma linha  $i$  e uma coluna  $j$ . A comparação deve sempre iniciar partindo do primeiro critério  $C1$  na posição  $a_{1,1}$  em relação aos demais critérios presentes na

mesma coluna ( $a_{2,1}$ ;  $a_{3,1}$ ;  $a_{n,1}$ ). Sendo assim, o critério C2 na posição  $a_{2,2}$  presente na segunda coluna, é comparado aos demais critérios nas posições  $a_{1,2}$ ;  $a_{3,2}$  e  $a_{n,2}$ . Bem como o critério C3 na posição  $a_{3,3}$  na terceira coluna, é comparado aos critérios posicionados em  $a_{1,3}$ ;  $a_{2,3}$  e  $a_{n,3}$ .

Como interpretação das comparações realizadas em pares temos que o critério C1 é levemente mais importante (peso igual a 3) que o critério C3. Logo, o critério C3 tem uma importância de  $1/3$  quando comparado ao critério C1.

Segundo Stocker et al. (2020), ao seguir o método, na construção da escala matricial de comparação paritária, apenas metade das comparações em pares precisarão ser realizadas. A outra metade será recíproca as comparações efetuadas. A diagonal da matriz sempre será 1, afinal, um elemento é igualmente importante a ele mesmo.

As preferências são dadas por meio das importâncias relativas  $a_{i,j}$  em que cada par de elementos ( $i,j$ ) de um nível hierárquico tem, segundo as análises do decisor, em relação a um elemento de um nível hierárquico acima. Os valores das importâncias compõem a matriz de comparação aos pares de cada conjunto de elementos de um nível hierárquico relacionados a cada um dos elementos de um nível imediatamente superior (FRIES, 2023).

Saaty apud Fries (2023) estabelece que dada duas alternativas (ou subcritérios)  $i$  e  $j$  pertencentes ao conjunto de alternativas (ou conjunto de subcritérios), o decisor deve estar em condições de compará-las para qualquer critério do conjunto de critérios. O resultado será o valor  $a_{i,j}$  medido por meio de uma escala

racional:  $a_{i,j} = \frac{1}{a_{j,i}} \quad \forall i,j \in \text{Conjunto de Critérios}$

Os valores fixados para  $a_{i,j}$  são dependentes da escala de medida correspondente. Caso os atributos relativos aos elementos do nível hierárquico puderem ser medidos segundo uma escala quantitativa, então o valor de  $a_{i,j}$  é determinado diretamente pelo quociente dos valores medidos. Nos atributos qualitativos,  $a_{i,j}$  representará um valor subjetivo relativo ao elemento  $i$  em relação ao elemento  $j$  (FRIES, 2023).

Conforme Fries (2023) a determinação dos pesos e a checagem da consistência no método AHP, consiste na matriz  $A$  de ordem  $n$ , com autovalor igual a

$n$  e autovetor dados por meio dos pesos  $w$ . Caso para todo  $1 \leq i, j \leq n$  for verificado que  $A_{i,j} = w_i/w_j$ , então  $A \times w = n \times w$ .

As inconsistências geradas pelo estabelecimento de preferências paritárias, são determinadas por meio de pesos  $w$  como autovetor da  $A$  associado ao maior autovalor de  $A$ , dado por  $\lambda_{max}$  (SAATY APUD FRIES, 2023).

Ainda segundo Fries (2023), no caso de matriz consistente, com  $\lambda_{max} = n$ , todos os demais autovalores são nulos enquanto matrizes inconsistentes têm  $\lambda_{max} > n$ . A medida de inconsistência é definida por meio do Índice de Inconsistência (CI), dado por:  $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$ .

De acordo com Saaty (2008), o índice randômico (RI) é o índice de inconsistência de uma matriz recíproca gerada aleatoriamente com base na escala fundamental para cada tamanho  $n$  da matriz. A Tabela 4 mostra a tabela RI em função do número de critérios.

Tabela 4 – Valores de RI

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: adaptado de Saaty, 2008

A Consistência Relativa (CR) de uma matriz recíproca  $A$  é determinada pela relação:

$$CR = \frac{CI(n)}{RI(n)}$$

Segundo Saaty apud Fries (2023), os valores de CR iguais ou inferiores a 0,10 indicam que a matriz  $A$  apresenta consistência aceitável.

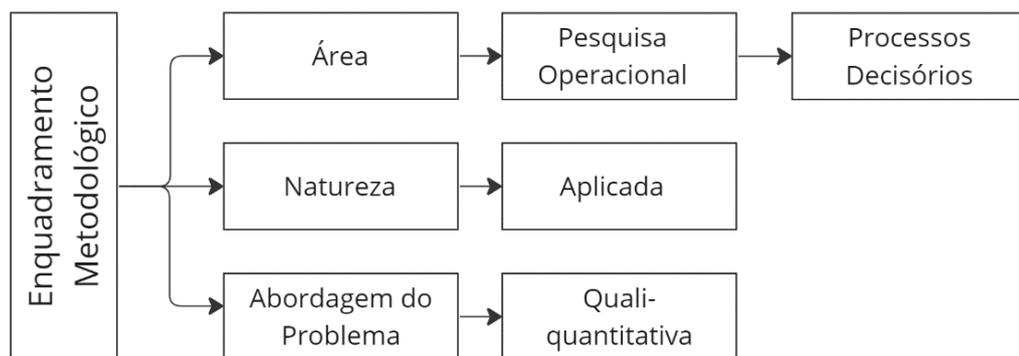
### 3 METODOLOGIA

O propósito deste capítulo é apresentar as etapas empregadas na pesquisa, a fim de alcançar os objetivos estabelecidos no primeiro capítulo do presente trabalho. Será apresentado o enquadramento metodológico da pesquisa em termos de área, natureza e abordagem do problema, bem como, os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento do método AHP.

#### 3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

O enquadramento da pesquisa em uma metodologia específica proporciona um suporte ao trabalho por meio da organização das etapas e possibilita aos leitores identificar a perspectiva adotada na pesquisa.

Figura 7 – Enquadramento metodológico



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

A área de pesquisa do presente trabalho leva em consideração a classificação das dez principais áreas e subáreas do conhecimento relacionados à Engenharia de Produção determinadas pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO). O trabalho enquadra-se na área de pesquisa operacional, na subárea de processos decisórios, sendo descrita conforme a ABEPRO (2023), como uma área relacionada a resolução de problemas reais envolvendo situações de tomada de decisão. A qual procura introduzir elementos de objetividade e racionalidade nos processos de tomada de decisão.

A natureza do trabalho é configurada como uma pesquisa aplicada, uma vez que o estudo objetiva a aplicação do método AHP para seleção de software de validação de modelos BIM. A pesquisa aplicada se dedica à geração de conhecimento com o objetivo de solucionar um problema específico, ou seja, para determinada aplicação prática em uma situação particular (NASCIMENTO; SOUSA, 2016).

Uma pesquisa científica pode ser qualificada como quantitativa, qualitativa ou o conjunto das duas, quali-quantitativa. Segundo Cauchick (2012), a pesquisa quantitativa tem como objetivo traduzir em números as informações para analisá-las e classificá-las, por meio do uso de recursos estatísticos. Já a pesquisa qualitativa é descritiva, os pesquisadores analisam as informações com base na indução, ou seja, não são utilizados métodos e técnicas estatísticas (CAUCHICK, 2012).

A pesquisa possui tanto características quantitativas por ser fundamentada em uma ferramenta de tomada de decisão que faz uso de operadores matemáticos, quanto qualitativas por reunir dados de natureza subjetiva coletados por meio de entrevistas.

### 3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos adotados na pesquisa foram constituídos em cinco fases. A descrição das fases e as ferramentas utilizadas para a coleta e tratamento dos dados foram apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Fases metodológicas empregadas

<b>Fase</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ferramentas</b>
<b>1</b>	Estruturação do problema de decisão	Roteiro semiestruturado para entrevista (parte 1); Revisão da literatura (protocolo de pesquisa PRISMA).
<b>2</b>	Seleção dos critérios e subcritérios	Roteiro semiestruturado para entrevista (parte 1); Revisão da literatura (protocolo de pesquisa PRISMA).
<b>3</b>	Escolha das alternativas	Roteiro semiestruturado para entrevista (parte 1); Revisão da literatura (protocolo de pesquisa PRISMA).
<b>4</b>	Estabelecimento de preferências e verificação de consistência	Roteiro semiestruturado para entrevista (parte 2); <i>Software Expert Choice</i>
<b>5</b>	Resultado e análise de sensibilidade	<i>Software Expert Choice</i>

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

O principal instrumento de coleta de dados para o desenvolvimento das fases foi realizado por meio de um roteiro semiestruturado dividido em duas partes. A primeira parte é composta por sete perguntas de caráter aberto. As perguntas foram destinadas à obtenção dos critérios, subcritérios e alternativas segundo as experiências de um coordenador de projetos BIM entrevistado. A segunda parte do roteiro semiestruturado compreende quinze perguntas objetivas. As perguntas foram restritas quanto ao julgamento das preferências do entrevistado entre pares de critérios previamente determinados na primeira parte do roteiro semiestruturado e do protocolo de pesquisa PRISMA. A escala fundamental de Saaty foi utilizada quanto ao nível de preferência julgada pelo entrevistado.

O entrevistado é graduado em engenharia civil, com mais de dez anos de exercício da profissão contando com especialização em coordenação de projetos BIM e pós-graduação em gerenciamento de projetos.

A entrevista foi realizada presencialmente no ambiente de trabalho do entrevistado, dividida em duas etapas ocorridas em dois dias distintos. As etapas das entrevistas ocorreram ambas com duração de aproximadamente trinta minutos.

O tratamento dos dados foi realizado com o auxílio de matrizes e gráficos por meio do software *Expert Choice*. O software utiliza as diretrizes do método AHP para os cálculos matemáticos, retornando de forma automática os resultados de preferência relativa e índice de inconsistências. O *Expert Choice* também gera gráficos para análise de sensibilidade, úteis para a tomada de decisão envolvendo múltiplos critérios.

A fase de estruturação do problema de decisão apresenta a estrutura hierárquica completa e a análise de como os grupos de critérios foram definidos. Na segunda fase é apresentado individualmente cada critério e subcritério selecionado por meio da entrevista com o especialista e da literatura revisada por meio do protocolo de pesquisa PRISMA. Na fase da escolha das alternativas, é apresentada como a escolha foi determinada e uma breve apresentação dos softwares selecionados. Na quarta etapa, é apresentado o estabelecimento de preferências e o cálculo das consistências relativas, coletados na segunda parte da entrevista. Na última etapa é realizada a análise de sensibilidade por meio dos gráficos de performance e gradiente do ranqueamento geral das alternativas selecionadas.

## 4 DESENVOLVIMENTO

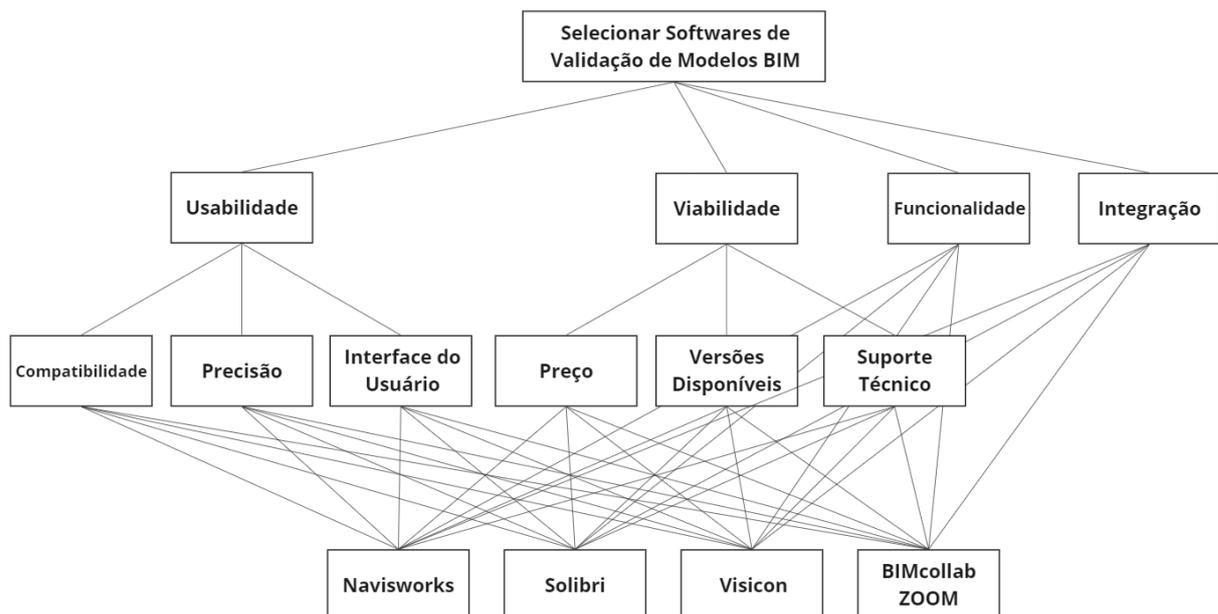
### 4.1 ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA DE DECISÃO

O problema de decisão foi estruturado pelo autor com o apoio de um coordenador de projetos BIM. O suporte do coordenador de projetos BIM foi fornecido por meio de entrevistas com roteiro semiestruturado realizado previamente pelo autor. A análise das respostas obtidas para o terceiro e quinto questionamento da primeira parte do roteiro semiestruturado (APÊNDICE A) e a revisão da literatura através do protocolo de pesquisa PRISMA, revelaram critérios relevantes à seleção de softwares de validação de modelos BIM.

A síntese e o agrupamento dos critérios foram realizados pelo autor. Os critérios de usabilidade e viabilidade foram desdobrados em subcritérios devido à sua sensibilidade à experiência prévia do usuário com o software, enquanto os critérios de funcionalidade e integração estão relacionados às características do software de validação de modelos BIM.

A Figura 8 apresenta a estrutura hierárquica completa do problema de decisão.

Figura 8 – Estrutura hierárquica



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

## 4.2 SELEÇÃO DOS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS

Os critérios e subcritérios selecionados serão apresentados individualmente, considerando as informações obtidas por meio da entrevista com o especialista e da revisão da literatura realizada através do protocolo de pesquisa PRISMA.

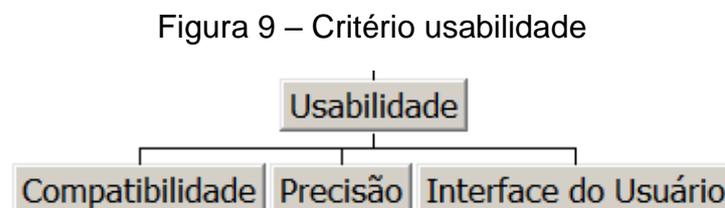
### 4.2.1 Usabilidade

O critério “usabilidade” foi utilizado como critério para seleção de software BIM no estudo de caso de Nawi et al. (2018). O estudo compreende a tomada de decisão quanto à seleção de software BIM para implementação de um empreendimento na Malásia. O autor também utilizou a entrevista semiestruturada como instrumento de coleta de dados.

Segundo Omar (2015), o software de validação e coordenação de modelos BIM deve ser selecionado segundo a sua percepção de usabilidade, sendo um software: fácil de usar, fácil de aprender e ter processos compreensíveis pelos usuários.

Os subcritérios do critério de usabilidade foram determinados por meio da resposta do coordenador de projetos entrevistado ao terceiro questionamento da primeira parte do roteiro semiestruturado. Segundo o entrevistado, as principais características que o software de validação de modelos deve apresentar é uma interface do usuário com comandos precisos e ser compatível com outros softwares.

A Figura 9 apresenta o critério de usabilidade e os três subcritérios de compatibilidade, precisão e interface do usuário.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

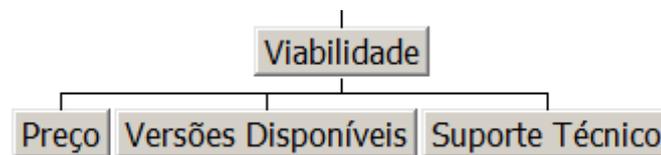
### 4.2.2 Viabilidade

O critério “viabilidade” foi selecionado por meio da resposta à sexta pergunta da primeira parte do roteiro semiestruturado. O coordenador de projetos entrevistado apontou que a disponibilidade de diferentes versões com opções diversas de preços para o software e a presença de um suporte técnico eficiente para esclarecer dúvidas são aspectos indispensáveis em um software de validação de modelos BIM.

A literatura revisada também aponta critérios de preço como um dos principais no processo de seleção de softwares BIM. No estudo de Haron et al. (2016), os custos envolvidos na implementação de um software BIM estão entre os três mais citados critérios de seleção, junto com critérios técnicos e gerenciais.

A Figura 10 apresenta o critério de viabilidade e os três subcritérios de preço, versões disponíveis e suporte técnico.

Figura 10 – Critério viabilidade



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

### 4.2.3 Funcionalidade

O critério de “funcionalidade” foi selecionado como critério de seleção de software de validação de modelos BIM por meio da resposta da quarta pergunta presente na primeira parte do roteiro semiestruturado. Segundo o especialista, as ferramentas presentes nos softwares, como a validação automática de colisões (*clash detective*) são indispensáveis em um software de validação de modelos BIM.

Segundo Daniotti et al. (2022) a utilização de detecção de colisões por meio de análise e controle de interferências geométricas de forma automática é uma das ferramentas mais utilizadas entre os coordenadores de projetos BIM.

O critério de funcionalidade diz respeito às ferramentas presentes nos softwares de validação de modelos BIM capazes de garantir a qualidade do modelo projetado.

#### **4.2.4 Integração**

Segundo o coordenador de projetos entrevistado, em resposta ao quinto questionamento realizado na primeira parte do roteiro semiestruturado, a integração entre softwares BIM é indispensável para que haja colaboração entre o profissional que coordena o projeto e o projetista que modela as disciplinas.

Nawi et al. (2018) utiliza o critério de colaboração em seu estudo de caso como critério técnico para selecionar softwares BIM na implementação de um empreendimento.

A colaboração entre os profissionais envolvidos é realizada por meio da integração entre o software de validação com os demais softwares utilizados para o desenvolvimento de projetos.

### **4.3 ESCOLHA DAS ALTERNATIVAS**

As alternativas de softwares de validação de modelos BIM foram escolhidas com o auxílio de um especialista em coordenação de projetos BIM. Os softwares foram selecionados por meio das respostas à primeira e segunda pergunta presentes na primeira parte do roteiro semiestruturado realizado pelo autor e utilizado em entrevista junto ao especialista. Os softwares selecionados também estão presentes na literatura revisada através do protocolo de pesquisa PRISMA e serão apresentados individualmente nesta sessão.

### 4.3.1 Navisworks

O Navisworks é um software de validação e compatibilização de modelos BIM projetado pela companhia americana Autodesk. O Navisworks é um dos softwares de validação mais conhecidos do setor da construção civil, devido, em grande parte, ao alcance da marca Autodesk no contexto mundial (AUTODESK, 2023).

O software permite que os usuários abram e combinem modelos 3D, naveguem em torno deles em tempo real e revisem o modelo BIM. Além disso, o Navisworks é notável por seu suporte a uma ampla gama de formatos de arquivos, enquanto todos os dados coletados durante as fases de projeto e construção podem ser acessados através de elementos no modelo (KAZADO, 2019).

Os principais objetivos do software são a coordenação entre as diferentes especialidades de um projeto, detecção de conflitos entre especialidades, visualização do processo construtivo e o cálculo de custos totais do projeto (CARREIRÓ, 2017).

### 4.3.2 Solibri

O Solibri foi fundado em 1996 pela empresa finlandesa Solibri, inc., parte do grupo alemão, Nemetschek. A principal proposta do software visa indicar potenciais problemas e conflitos na modelagem do projeto de uma edificação, melhorando a qualidade do modelo BIM e das informações nele contidas (TAKAGAKI, 2016).

Segundo Andrade (2017), a interface do Solibri é relativamente simples, não necessitando ao usuário conhecimentos avançados em linguagem de programação, com suporte às funcionalidades de fácil acesso e regras previamente customizadas.

As ferramentas presentes no software são capazes de avaliar as restrições paramétricas, fazem detecções de conflitos ente modelos BIM e permite a estimativa de quantitativos retiradas do modelo (RUSCHEL, 2013).

### **4.3.3 Visicon**

A empresa norte americana fundada por Florian Aalami e Henry Purdy em 2015, contempla uma coleção de ferramentas práticas criadas para melhorar a capacidade de visualização dos modelos em BIM (VISICON INC, 2022).

O objetivo final do Visicon se estende a validação de modelos de projetos precisos que atendam padrões de controle de qualidade e que permitam extração simples de dados por meio de suas ferramentas de validação (KHEMLANI, 2019).

O Visicon é uma solução centrada em dados para interações de modelos BIM com ferramentas de revisões, marcações, coordenação, extração de dados e gerenciamento de alterações do projeto (THÓRUS ENGENHARIA, 2021).

### **4.3.4 BIMcollab ZOOM**

O BIMcollab ZOOM é o software de validação de modelos BIM desenvolvido pela empresa holandesa KUBUS. O software permite visualizações inteligentes nos modelos BIM, detecção de interferências e gerenciamento rápido de conflitos nos modelos (BIMCOLLAB, 2023).

O software BIMcollab ZOOM é utilizado para colaboração entre modelos BIM, fazendo toda a gestão dos problemas, identificando os responsáveis e apresentando todo o histórico das validações (THÓRUS ENGENHARIA, 2021).

O BIMcollab ZOOM é de fácil aprendizagem, com ferramentas que encontram falhas de informações e comunicam-nas ainda nos estágios iniciais verificando as soluções do projeto desenvolvido em BIM (BIMTOOLS, 2020).

#### 4.4 ESTABELECIMENTO DE PREFERÊNCIAS E VERIFICAÇÃO DE CONSISTÊNCIA

##### 4.4.1 Importância relativa dos critérios e subcritérios

As importâncias relativas foram obtidas por meio de entrevista, com o suporte de um roteiro semiestruturado disponibilizado no apêndice B deste trabalho. Os pesos foram determinados por meio de perguntas direcionadas ao especialista, voltadas na comparação par a par entre dois elementos. As perguntas foram realizadas até completar a matriz comparativa de preferências individuais. A escala fundamental de Saaty, apresentada no segundo capítulo, foi utilizada como escala de julgamento de importância.

A Tabela 5 ilustra a matriz de comparação paritária dos critérios presentes no segundo nível da estrutura hierárquica relacionados à meta.

Tabela 5 – Matriz de comparação paritária dos critérios relacionados à meta

	Usabilidade	Viabilidade	Funcionalidade	Integração
Usabilidade	1	1/2	1/3	2
Viabilidade	2	1	2	4
Funcionalidade	3	1/2	1	2
Integração	1/2	1/4	1/2	1

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

A normalização da matriz de comparação paritária é realizada por meio da divisão de cada elemento presente em uma determinada coluna, pela soma de sua respectiva coluna. A Tabela 6 apresenta a matriz normalizada e as importâncias relativas de cada critério relacionado à meta.

Tabela 6 – Importâncias relativas dos critérios relacionados à meta

	Usabilidade	Viabilidade	Funcionalidade	Integração	<b>Importâncias relativas</b>
Usabilidade	0,15	0,22	0,09	0,22	<b>0,167</b>
Viabilidade	0,31	0,44	0,52	0,44	<b>0,430</b>
Funcionalidade	0,46	0,22	0,26	0,22	<b>0,295</b>
Integração	0,08	0,11	0,13	0,11	<b>0,107</b>

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

As inconsistências geradas pelo estabelecimento de importâncias relativas são determinadas por meio da equação característica (1). A equação característica analisa uma forma de encontrar os autovalores de uma matriz  $A$  de forma sistemática. Os autovalores são encontrados por meio das raízes do polinômio característico (2).

As etapas de obtenção dos autovalores para estabelecer as inconsistências são demonstradas a seguir.

Equação característica para encontrar os autovalores da matriz  $A$ :

$$\det(A - \lambda I) = 0 \quad (1)$$

Polinômio característico para encontrar as raízes da matriz  $A$ :

$$p(\lambda) = \det(A - \lambda I) \quad (2)$$

Cálculo do polinômio característico:

$$p(\lambda) = \det \begin{pmatrix} 1 - \lambda & 1/2 & 1/3 & 2 \\ 2 & 1 - \lambda & 2 & 4 \\ 3 & 0,5 & 1 - \lambda & 2 \\ 1/2 & 1/4 & 1/2 & 1 - \lambda \end{pmatrix} = \frac{3\lambda^4 - 12\lambda^3 - 8\lambda}{3}$$

O resultado retorna raízes iguais a:

$$\lambda_1 \cong 4,15435$$

$$\lambda_2 \cong -0,07717 + 0,79766 i$$

$$\lambda_3 \cong +0,07717 + 0,79766 i$$

$$\lambda_4 = 0$$

O índice de inconsistência (CI) é definido por meio da equação 3. Sendo o maior autovalor,  $\lambda_{max} = 4,15435$ , e  $n$  o número de critérios igual a 4, determina-se o índice de inconsistência:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$CI = \frac{4,15435 - 4}{4 - 1} = 0,05145$$

O índice randômico (RI) é adotado conforme a Tabela 2, presente no terceiro capítulo do trabalho. Sendo o número de critérios igual a 4, a tabela retorna um valor de RI igual a 0,90 obtendo-se finalmente o valor da consistência relativa (CR):

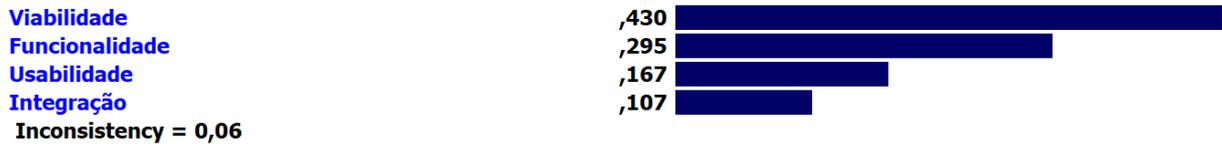
$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,05145}{0,90} = 0,05716$$

O valor de CR igual ou inferior a 0,10 indica que a matriz A apresenta consistência aceitável.

O software *Expert Choice* realiza de forma análoga o cálculo das importâncias relativas e do índice de inconsistência. A Figura 11 ilustra os resultados obtidos pelo software.

Figura 11 – Importâncias relativas e índice de inconsistência dos critérios relacionados à meta

Goal: Selecionar Software de Validação de Modelos BIM



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

Os critérios “usabilidade” e “viabilidade”, constituídos por três subcritérios cada, posicionados no nível imediatamente inferior, seguem o mesmo processo descrito anteriormente.

Os subcritérios “compatibilidade”, “precisão” e “interface do usuário”, são comparados par a par e demonstrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Matriz de comparação paritária do critério usabilidade

	Compatibilidade	Precisão	Interface do usuário
Compatibilidade	1	1/3	1/3
Precisão	3	1	2
Interface do usuário	3	1/2	1

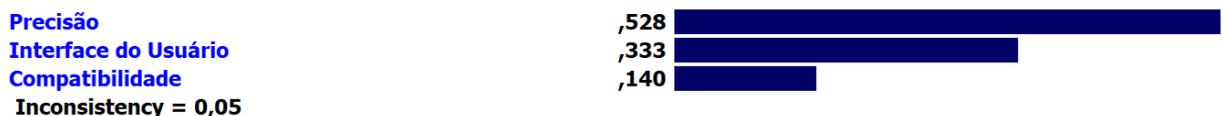
Fonte: elaborado pelo autor, 2023

A partir do software *Expert Choice* são apresentadas, na Figura 12, as importâncias relativas e o índice de inconsistência dos valores calculados para os subcritérios referentes à usabilidade dos softwares de validação de modelos BIM.

Figura 12 – Importâncias relativas e índice de inconsistência dos subcritérios relacionados ao critério usabilidade

Goal: Selecionar Software de Validação de Modelos BIM

>Usabilidade



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

A matriz de comparação paritária entre os subcritérios “preço”, “versões disponíveis” e “suporte técnico” é ilustrada na Tabela 8.

Tabela 8 – Matriz de comparação paritária do critério viabilidade

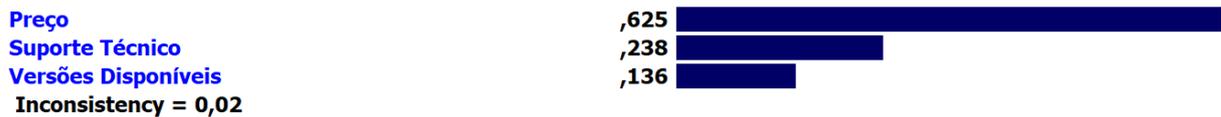
	Preço	Versões disponíveis	Suporte técnico
Preço	1	4	3
Versões disponíveis	1/4	1	1/2
Suporte técnico	1/3	2	1

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

A Figura 13 exibe os valores das importâncias relativas e o índice de inconsistência calculados para os subcritérios relacionados à viabilidade dos softwares de validação de modelos BIM.

Figura 13 – Importâncias relativas e índice de inconsistência dos subcritérios relacionados ao critério viabilidade

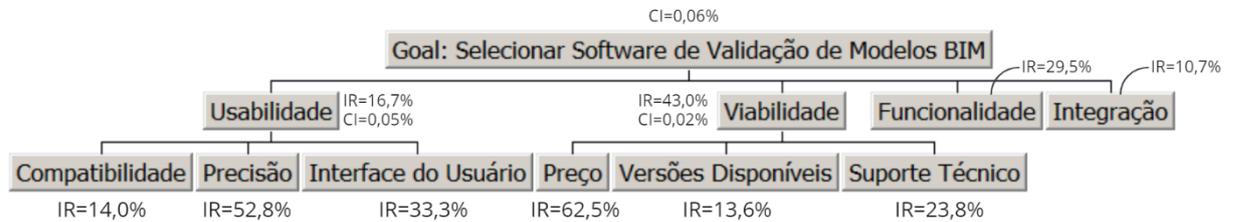
**Goal: Selecionar Software de Validação de Modelos BIM**  
**>Viabilidade**



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

O resultado das importâncias relativas (IR) e dos índices de inconsistências (CI) de cada nível da estrutura hierárquica, são apresentados na Figura 14.

Figura 14 – Importâncias relativas e índice de inconsistências da estrutura hierárquica



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

#### 4.4.2 Determinação do nível de preferência das alternativas

O nível de preferência das alternativas é determinado por meio da comparação paritária entre as alternativas de softwares de validação de modelos BIM previamente apresentados. O processo de julgamento das preferências para os critérios subjetivos é análogo ao realizado na seção 4.4.1. Entretanto, para os julgamentos que envolvam atributos quantitativos, o processo se dará considerando os próprios valores dos atributos. Nesses casos, a matriz de preferências será sempre consistente, por definição.

O subcritério “compatibilidade” é avaliado por atributos quantitativos, visto que as preferências são julgadas com base no número de tipos de arquivos suportados em cada software. Nesse sentido, os sites das desenvolvedoras dos softwares de validação de modelos BIM foram consultados. Em seguida, os dados foram extraídos e representados na Tabela 9.

Tabela 9 – Quantidade de tipos de arquivos suportados

Software	Desenvolvedora	Arquivos suportados	Número de arquivos suportados
Navisworks	Autodesk, Inc.	.nwd .nwf .nwc .fbx .dwg .dxf .model .session .exp .dlv3 .CATPart .CATProduct .cgr .stp .step .dwf .ifc .igs .iges .ige .ipt .iam .ipj .jt .dgn .prp .prw .prt .obj .x_b .x_t .xmt_txt .dri .prt .asm .g .neu .3dm .rvm .sat .sab .smt .smb .skp .vue .prt .sldprt .asm .sldasm .stp .step .stpz .ste .stl .wrl .wrz .3ds .prjv	58
Solibri	Nemetschek, Inc.	.ifc .zip .ifczip .smc .smct .smv .pdf	7
Visicon	Visicon, Inc.	.ifc .inp .e2k .vxf .vtx .pts .ptx .obj	8
BIMcollab ZOOM	Kubus, Inc.	.ifc .bcp .ifczip .e57 .pts .txt .xyz	7

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

Para o caso da quantidade de arquivos suportados, não é realizada a comparação par a par entre as alternativas. Sendo que os números de arquivos são disponibilizados em uma escala de razão e todas as operações de cálculo podem ser feitas diretamente. Assim, é preciso somente normalizar os valores obtidos, como demonstrado por meio da Tabela 10.

Tabela 10 – Normalização da quantidade de tipos de arquivos suportados

Software	Número de arquivos suportados	Valores normalizados
Navisworks	58	0,725
Solibri	7	0,088
Visicon	8	0,100
BIMcollab ZOOM	7	0,088

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

O índice de inconsistência não é calculado para os casos em que contenham atributos quantitativos. Para exemplificar esta premissa, é realizado o cálculo da matriz comparando todas as quantidades de tipos de arquivos suportados em relação a alternativa com o maior número apresentado. A matriz é ilustrada na Tabela 11.

Tabela 11 – Matriz comparativa entre as quantidades de tipos de arquivos suportados

	Navisworks	Solibri	Visicon	BIMcollab ZOOM
Navisworks	1,000	8,286	7,250	8,286
Solibri	0,121	1,000	0,875	1,000
Visicon	0,138	1,143	1,000	1,143
BIMcollab ZOOM	0,121	1,000	0,875	1,000

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

Ao comparar o Navisworks com o Solibri, temos que o Navisworks é preferível ao Solibri, dado o maior número de tipos de arquivos que são suportados no software. Esta preferência é representada pela razão  $58 / 7 = 8,286$ . Ao normalizar a matriz, obtêm-se os valores constantes apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Matriz com valores normalizados da comparação das quantidades de tipos de arquivos suportados

	Navisworks	Solibri	Visicon	BIMcollab ZOOM
Navisworks	0,725	0,725	0,725	0,725
Solibri	0,088	0,088	0,088	0,088
Visicon	0,100	0,100	0,100	0,100
BIMcollab ZOOM	0,088	0,088	0,088	0,088

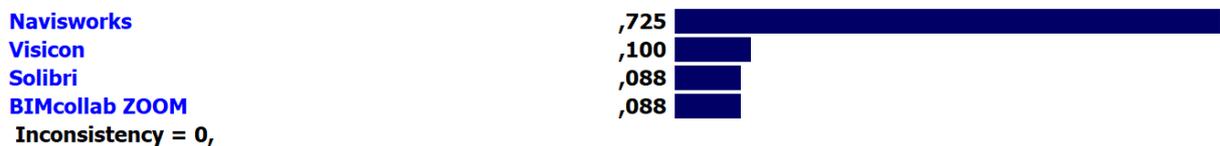
Fonte: elaborado pelo autor, 2023

As comparações (preferências) em todas as colunas não apenas são iguais, o que mostra uma consistência nas comparações par a par das alternativas de software, como também o vetor prioridade é idêntico aos valores obtidos na Tabela 10. Portanto, ao calcular o índice de inconsistência, o resultado é igual a zero, o qual indica que não há inconsistências nos julgamentos.

A Figura 15 apresenta, de forma decrescente, os níveis de preferência e o índice de inconsistência referente ao subcritério “compatibilidade”, os quais foram obtidos por meio da utilização do software *Expert Choice*.

Figura 15 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do subcritério compatibilidade

**Goal: Selecionar Software de Validação de Modelos BIM**  
 >Usabilidade >Compatibilidade



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

O subcritério “precisão” é representado por atributos subjetivas, onde as preferências são consideradas com base no nível de precisão de cada software. Os níveis são julgados por meio de entrevista com o especialista e determinados em alto, médio ou baixo.

A Tabela 13 apresenta a relação entre a comparação dos níveis julgados e os pesos respectivamente adotados em cada situação.

Tabela 13 – Comparação e pesos do subcritério “precisão”

Comparação	Peso
Baixa - Baixa	1
Média - Média	1
Alta - Alta	1
Baixa - Média	3
Média - Alta	3
Baixa - Alta	5

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

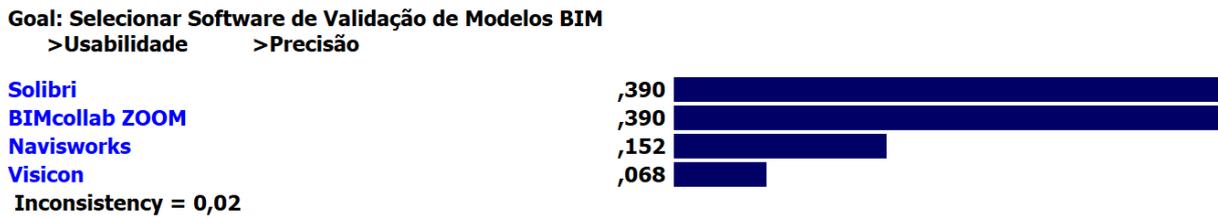
A Tabela 14 ilustra a matriz de comparação par a par das alternativas com base no nível de precisão adotado pelo especialista. Em seguida, na Figura 16, é demonstrado por meio do software *Expert Choice*, os níveis de preferência e o índice de inconsistência relacionado ao subcritério “precisão”.

Tabela 14 – Matriz de comparação paritária com base no nível de precisão das alternativas

	Nível de Precisão	Navisworks	Solibri	Visicon	BIMcollab ZOOM
Navisworks	(Médio)	1	1/3	3	1/3
Solibri	(Alto)	3	1	5	1
Visicon	(Baixo)	1/3	1/5	1	1/5
BIMcollab ZOOM	(Alto)	3	1	5	1

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

Figura 16 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do subcritério precisão



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

A “interface do usuário” também apresenta atributos subjetivos. Entretanto, as preferências são consideradas com base no nível de satisfação julgado pelo especialista conforme a sua experiência na utilização de cada software. O nível de satisfação é medido em bom, regular ou ruim.

A Tabela 15 apresenta a relação entre a comparação dos níveis julgados e os pesos respectivamente adotados em cada situação.

Tabela 15 – Comparação e pesos do subcritério “interface do usuário”

Comparação	Peso
Ruim - Ruim	1
Regular - Regular	1
Bom - Bom	1
Ruim - Regular	3
Regular - Bom	3
Ruim - Bom	5

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

A matriz de comparação paritária das alternativas com base no nível de satisfação adotado pelo especialista é ilustrada na Tabela 16. Posteriormente, na Figura 17, é demonstrado por meio do software *Expert Choice*, os níveis de preferência e o índice de inconsistência referente ao subcritério “interface do usuário”.

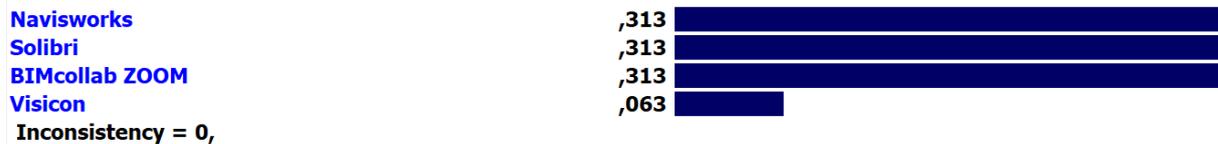
Tabela 16 – Matriz de comparação paritária com base no nível de satisfação das alternativas em relação a interface do usuário

	Nível de Satisfação	Navisworks	Solibri	Visicon	BIMcollab ZOOM
Navisworks	(Bom)	1	1	5	1
Solibri	(Bom)	1	1	5	1
Visicon	(Ruim)	1/5	1/5	1	1/5
BIMcollab ZOOM	(Bom)	1	1	5	1

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

Figura 17 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do subcritério interface do usuário

Goal: Selecionar Software de Validação de Modelos BIM  
>Usabilidade >Interface do Usuário



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

As preferências para o subcritério “preço” foram consultadas nos sites das desenvolvedoras de cada software e feito o levantamento dos valores referentes a aquisição anual do programa. A Tabela 17 apresenta os valores (em reais) relativos ao mês de abril do ano presente ao desenvolvimento do trabalho, bem como a normalização dos valores obtidos.

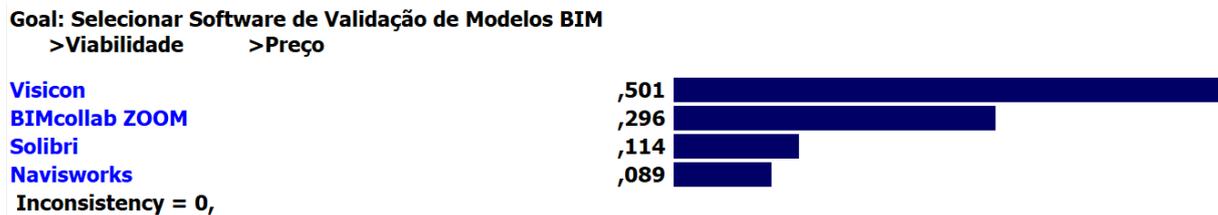
Tabela 17 – Valor de aquisição anual dos softwares

Software	Desenvolvedora	Valor de aquisição anual (R\$)	Inverso do valor	Valores normalizados
Navisworks	Autodesk, Inc.	13.604	0,00007350	0,089
Solibri	Nemetschek, Inc.	10.573	0,00009458	0,114
Visicon	Visicon, Inc.	2.405	0,00041580	0,501
BIMcollab ZOOM	Kubus, Inc.	4.071	0,00024563	0,296

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

A Figura 18 apresenta, de forma decrescente, os níveis de preferência e o índice de inconsistência das alternativas referente ao subcritério “preço”, obtidos por meio da utilização do software *Expert Choice*.

Figura 18 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do subcritério preço



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

Todas as versões de software oferecidos nos sites das desenvolvedoras e que estão à disposição do usuário, foram contabilizadas e representadas por meio da Tabela 18. Para estabelecer os níveis de preferência e o índice de inconsistência, foi realizado a normalização dos valores obtidos e posteriormente, na Figura 19, retratados com o auxílio do software *Expert Choice*.

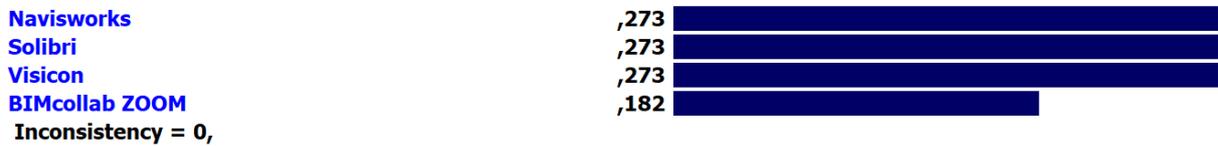
Tabela 18 – Quantidade de versões disponíveis

Software	Desenvolvedora	Versões disponíveis	Número de versões disponíveis	Valores normalizados
Navisworks	Autodesk, Inc.	Freedom Simulate Manager	3	0,273
Solibri	Nemetschek, Inc.	Anywhere Site Office	3	0,273
Visicon	Visicon, Inc.	Free Viewer Standard Edition Professional Edition	3	0,273
BIMcollab ZOOM	Kubus, Inc.	ZOOM Free ZOOM	2	0,182

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

Figura 19 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do subcritério versões disponíveis

**Goal: Selecionar Software de Validação de Modelos BIM**  
 >Viabilidade >Versões Disponíveis



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

As preferências do subcritério “suporte técnico” foram julgadas por meio do nível de satisfação prestado pelo suporte com relação à utilização prévia por parte do especialista entrevistado. Por se tratar de dados com natureza subjetiva, as preferências são consideradas com base no nível de satisfação, sendo estimados em bom, regular ou ruim.

A Tabela 19 expõe a relação entre a comparação dos níveis julgados e os pesos respectivamente adotados em cada situação.

Tabela 19 – Comparação e pesos do subcritério “suporte técnico”

Comparação	Peso
Ruim - Ruim	1
Regular - Regular	1
Bom - Bom	1
Ruim - Regular	3
Regular - Bom	3
Ruim - Bom	5

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

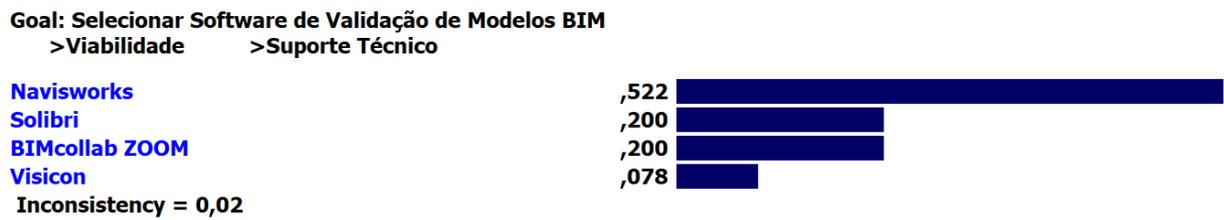
A Tabela 20 retrata a matriz de comparação paritária das alternativas, a partir do nível de satisfação julgado pelo especialista. Ademais, na Figura 20, foi utilizado o software *Expert Choice* para apresentar os dados de preferência e inconsistência do subcritério “suporte técnico”.

Tabela 20 – Matriz de comparação paritária com base no nível de satisfação das alternativas em relação ao suporte técnico

	Nível de Satisfação	Navisworks	Solibri	Visicon	BIMcollab ZOOM
Navisworks	(Bom)	1	3	5	3
Solibri	(Regular)	1/3	1	3	1
Visicon	(Ruim)	1/5	1/3	1	1/3
BIMcollab ZOOM	(Regular)	1/3	1	3	1

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

Figura 20 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do subcritério suporte técnico



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

O critério “funcionalidade” foi julgado por meio do número, fornecido nos sites das desenvolvedoras, das principais ferramentas disponíveis nas versões mais completas de cada software. A Tabela 21, contempla as principais ferramentas, o montante dos valores obtidos e a normalização dos valores contabilizados. Posteriormente, na Figura 21, foram expressos os níveis de preferência e o índice de inconsistência do critério “funcionalidade”.

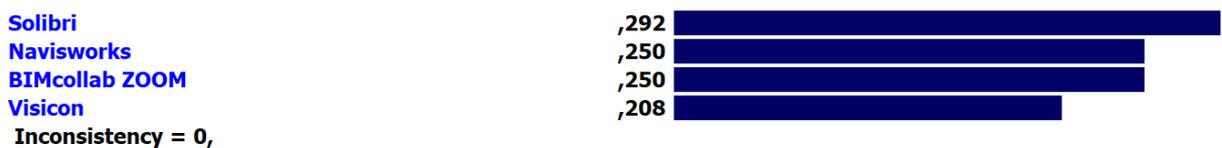
Tabela 21 – Quantidade das principais ferramentas disponíveis

Software	Desenvolvedora	Principais ferramentas disponíveis	Número de ferramentas disponíveis	Valores normalizados
Navisworks	Autodesk, Inc.	Clash Detective TimeLiner Quantification Autodesk Rendering Animator Scripter	6	0,250
Solibri	Nemetschek, Inc.	Clash Detective Code Checking Classification Information Takeoff Results Autorun Solibri Score	7	0,292
Visicon	Visicon, Inc.	Clash Test Boolean Difference Component Matching Check Find Duplicates Quantity Reports	5	0,208
BIMcollab ZOOM	Kubus, Inc.	Smart Properties Smart Views Smart Issues Clash Detection Lists Nightshift	6	0,250

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

Figura 21 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do critério funcionalidade

**Goal: Selecionar Software de Validação de Modelos BIM**  
**>Funcionalidade**



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

Por fim, na Tabela 22, foram demonstradas as preferências do critério “integração”. Os quais foram tomados como base o número de plug-ins disponibilizados nos sites e nas lojas de aplicativos nativos de cada uma das desenvolvedoras. Em seguida, foi realizado a normalização dos valores e posteriormente ilustrados na Figura 22 os níveis de preferência e o índice de inconsistência, desenvolvidos com o suporte do software *Expert Choice*.

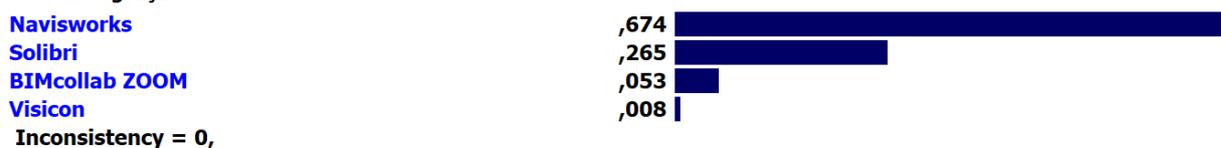
Tabela 22 – Quantidade de plug-ins disponíveis

Software	Desenvolvedora	Número de plug-ins disponíveis	Valores normalizados
Navisworks	Autodesk, Inc.	89	0,674
Solibri	Nemetschek, Inc.	35	0,265
Visicon	Visicon, Inc.	1	0,008
BIMcollab ZOOM	Kubus, Inc.	7	0,053

Fonte: elaborado pelo autor, 2023

Figura 22 – Níveis de preferência e índice de inconsistência do critério integração

Goal: Selecionar Software de Validação de Modelos BIM  
>Integração



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

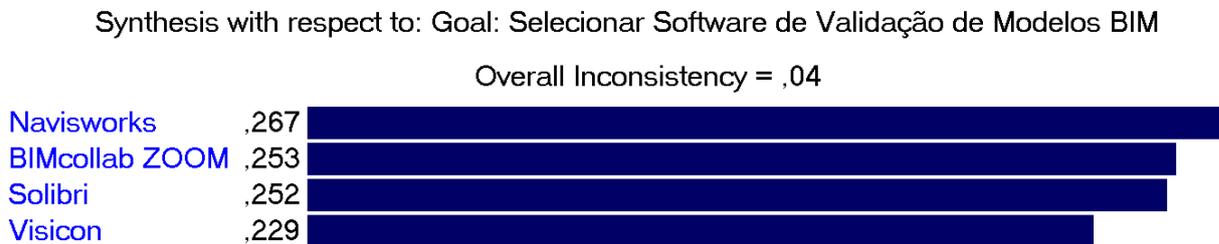
#### 4.4.3 Valoração global e ranqueamento das alternativas

A valoração global de cada uma das alternativas é determinada por meio da soma ponderada dos critérios em relação as alternativas referentes à meta. A valoração global é um processo que leva em conta tanto as valorações em relação a cada critério, quanto a importância relativa dos critérios na tomada de decisão. Nesse

sentido, as alternativas são avaliadas de acordo com o modelo matemático, permitindo um ranqueamento de forma fundamentada.

Segundo Faria et al. (2016), existem softwares que implementam o AHP e promovem a simplificação do processo de avaliação, por meio da execução dos cálculos matriciais e dos índices de inconsistência. Nesse viés, foi tomado como suporte a utilização do software *Expert Choice* para determinar a valoração global das alternativas. Como resultado, obteve-se o índice de inconsistência geral e o ranqueamento das alternativas, demonstrados na Figura 23.

Figura 23 – Ranqueamento das alternativas

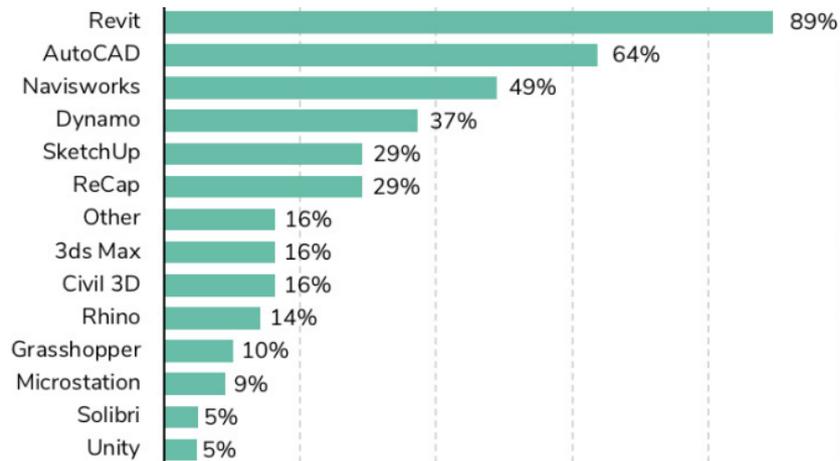


Fonte: elaborado pelo autor, 2023

O ranqueamento apresenta o software Navisworks como o preferível à tomada de decisão quanto a seleção de softwares para validar modelos BIM. O software indicado como o mais adequado pelo método AHP também é um dos softwares mais utilizados pelos profissionais da área segundo pesquisas conduzidas pela universidade de Toronto.

Na pesquisa, foram conduzidas perguntas aos participantes com relação aos softwares mais utilizados por eles no ano de 2020. Os resultados mostraram o Navisworks como o software de validação mais utilizado entre os demais, estando atrás apenas do Revit e AutoCAD, softwares de desenho e modelagem de projetos.

Figura 24 – Softwares BIM mais utilizados em 2020



Fonte: University of Toronto, 2020

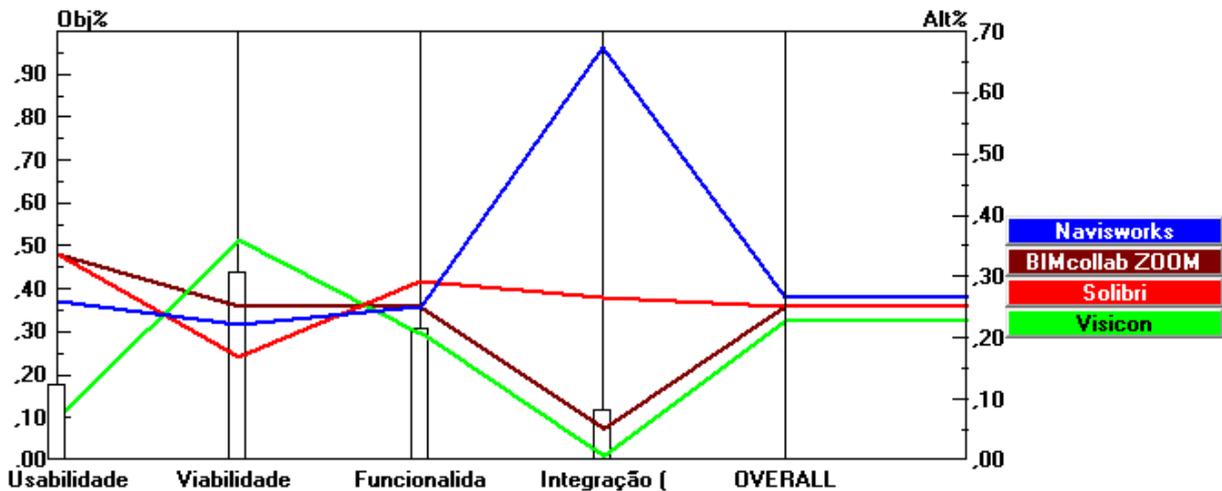
#### 4.5 RESULTADO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

O ranqueamento das alternativas, permitiu visualizar o resultado com base nos pesos adotados em cada critério determinados por meio das preferências julgadas pelo especialista entrevistado. Contudo, deve-se analisar criticamente o ranking obtido, uma vez que, os critérios foram julgados de forma subjetiva pelo decisor. Nesse sentido, variações nos pesos dos critérios podem gerar mudanças no desempenho das alternativas, alterando o ranking obtido.

A sensibilidade quanto às alternativas, serão demonstradas por meio do software *Expert Choice*. O software permite gerar uma série de gráficos relacionando critérios para as diversas alternativas de software de validação de modelos BIM.

O primeiro gráfico a ser explorado conta com a análise de sensibilidade referente a performance das alternativas em relação a cada critério. A Figura 25 mostra, por exemplo, que a alternativa que liderou o ranking, o Navisworks, se destacou como primeira posição em apenas um dos quatro critérios. O critério em destaque foi o de “integração”, representado por 10,7% do peso referente à meta.

Figura 25 – Gráfico de performance dos critérios relacionados as alternativas



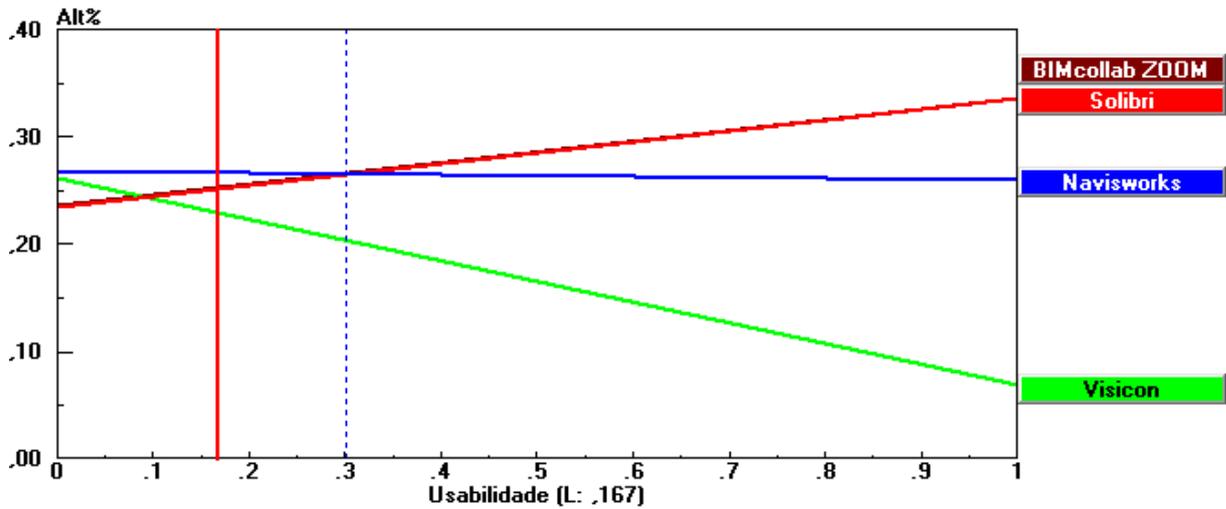
Fonte: elaborado pelo autor, 2023

Outra análise sobre o gráfico de performance dos critérios demonstra que mesmo o critério viabilidade, com maior peso com relação ao objetivo maior, não elevou a alternativa em última colocação, Visicon, de posição. Isso se reflete, em grande parte, pela alternativa ter o pior desempenho nos demais critérios, onde foi o menos preferível nos julgamentos feitos pelo especialista.

O gráfico de gradiente de sensibilidade realiza a análise individual de cada critério com relação às alternativas. Nesse gráfico, é possível inferir qual o peso que está no limiar da mudança das alternativas no ranking e qual a sua sensibilidade a essa mudança. Nesse momento, serão analisados todos os critérios (eixo “x”), com relação ao peso (eixo “y”) das alternativas referentes ao respectivo critério.

A Figura 26, conta com a análise para o critério “usabilidade”. No gráfico, a linha vermelha aponta para o peso (eixo “x”) do critério, sendo de 16,7% com relação à meta. Nessa posição, o software Navisworks aponta vantagem acima das outras. Contudo, se fosse determinado um peso maior ou igual a 30% (linha pontilhada), as alternativas BIMcollab ZOOM e Solibri, encontrariam ambas na primeira colocação do ranking.

Figura 26 – Gráfico do gradiente de sensibilidade referente ao critério “usabilidade”

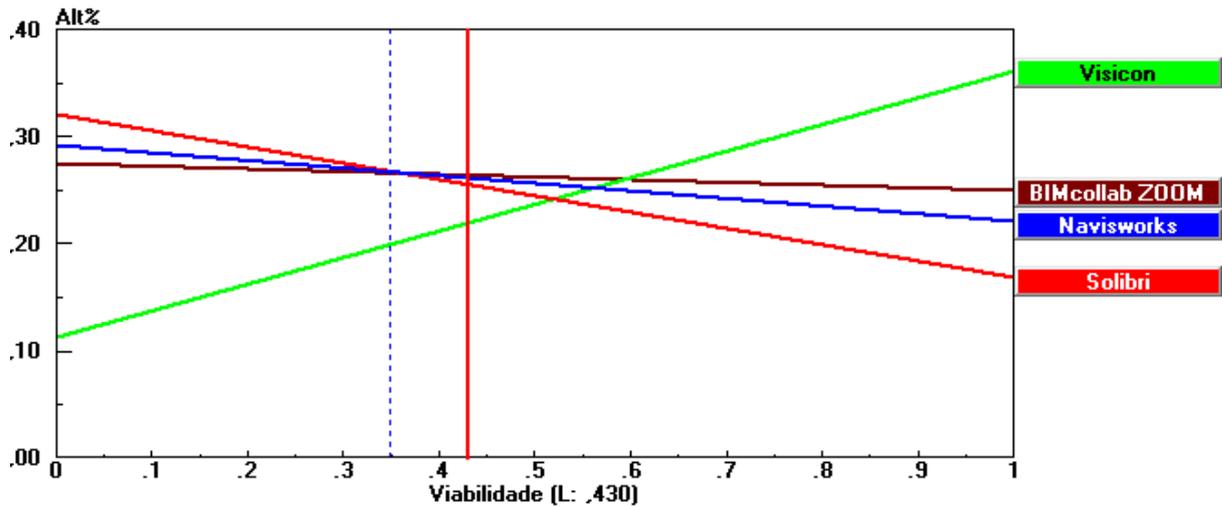


Fonte: elaborado pelo autor, 2023

O gráfico para o critério “viabilidade”, Figura 27, demonstra que a linha vermelha (43%), maior peso entre os critérios com relação à meta, determina a alternativa do software BIMcollab ZOOM ligeiramente favorável as outras duas alternativas (Navisworks e Solibri).

O ponto que coincide com o peso do critério viabilidade igual a 35% (linha pontilhada), demonstra mesma posição no ranking para as alternativas de software BIMcollab ZOOM, Navisworks e Solibri. Contudo, o software Visicon continua em última posição, demonstrando inversão para primeiro colocado, apenas com valores acima de 60% no peso do respectivo critério.

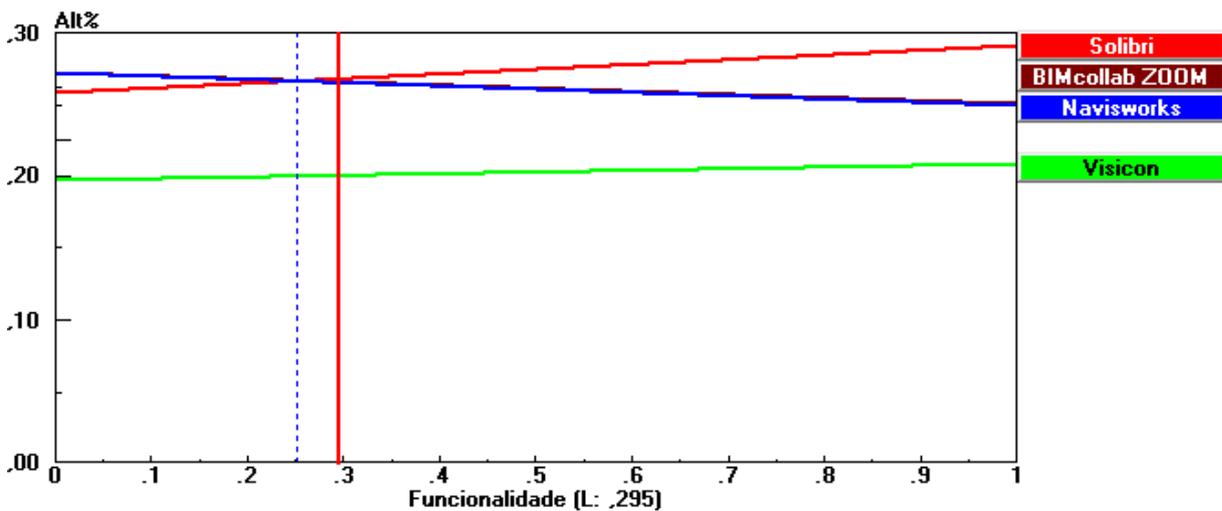
Figura 27 – Gráfico do gradiente de sensibilidade referente ao critério “viabilidade”



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

O critério “funcionalidade” conta com o gráfico de gradiente de sensibilidade, Figura 28, desfavorável ao software Visicon. Uma vez que, não importando o aumento do peso do critério, a posição do software se manterá em último colocado. No ponto que coincide com o peso igual a 25% (linha pontilhada), demonstra mudança de posição no ranking, com a alternativa de software Solibri saindo da penúltima posição, indo para a liderança do ranking.

Figura 28 – Gráfico do gradiente de sensibilidade referente ao critério “funcionalidade”

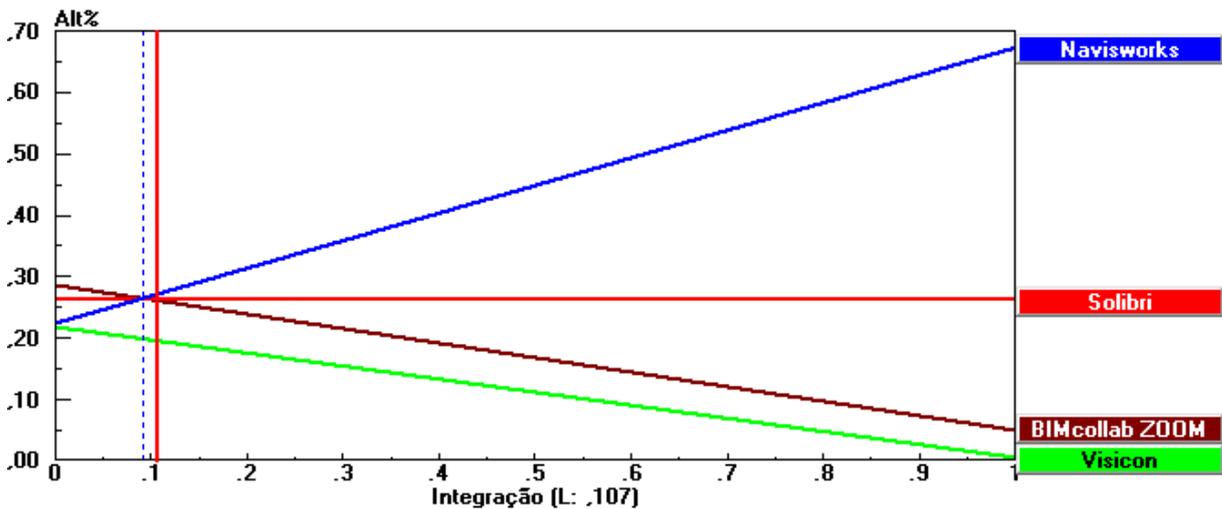


Fonte: elaborado pelo autor, 2023

Para o critério “integração”, Figura 29, o software Navisworks, mesmo com pesos abaixo dos 15%, ainda permaneceria na primeira colocação. A sua grande vantagem está no número de plug-ins disponíveis em sua loja de aplicativos nativo. O número alto de aplicações de integração compatíveis com o software, garante a liderança no ranking.

O peso do critério integração igual a 9% (linha pontilhada), demonstra igualdade das posições das três alternativas de software, com exceção do software Visicon, que demonstra desvantagem absoluta por disponibilizar apenas 1 plug-in para integração com outros softwares.

Figura 29 – Gráfico do gradiente de sensibilidade referente ao critério “integração”



Fonte: elaborado pelo autor, 2023

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal a aplicação do método AHP para seleção de softwares de validação de modelos BIM. O software de validação atua como suporte ao coordenador de projetos no gerenciamento de conflitos e inconsistências entre projetos. Para tanto, o problema de decisão multicriterial foi estruturado hierarquicamente em níveis, onde foram abordados quatro critérios e seis subcritérios, tratados sob a ótica das necessidades do profissional.

Os critérios, subcritérios e alternativas foram identificados por meio da revisão da literatura utilizando o protocolo de pesquisa PRISMA com as bases de dados do portal da CAPES e com a colaboração de um especialista em coordenação de projetos BIM. Onde, por meio de entrevista com roteiro semiestruturado, foram conduzidos questionamentos que propuseram resultados viáveis para o desenvolvimento das etapas do método AHP. Nesse sentido, o método AHP revelou sua capacidade de envolver múltiplos critérios, tanto qualitativos, quanto quantitativos, por meio dos pesos predefinidos segundo a escala fundamental de Saaty.

A segunda parte do roteiro semiestruturado usada na entrevista, no formato de questionamentos objetivos, foi utilizado para a definição das importâncias relativas dos critérios e subcritérios, bem como na determinação do nível de preferência das alternativas.

O software *Expert Choice* foi utilizado como suporte para o desenvolvimento dos cálculos do método AHP. O software também demonstrou grande apoio na entrega de recursos visuais, apresentando o ranqueamento dos critérios e subcritérios na sessão das importâncias relativas, bem como das alternativas na sessão das preferências.

A literatura revisada e a análise dos resultados obtidos pelo ranqueamento das alternativas, demonstra, por meio dos critérios julgados, preferência na tomada de decisão voltada ao software Navisworks. Contudo, por meio das análises de sensibilidade quanto às alternativas, demonstrou que o software Navisworks não obteve unanimidade na primeira colocação dos critérios julgados. Da mesma forma, por meio dos gráficos de gradiente, fica claro a possibilidade de alteração do ranking das alternativas caso fossem julgadas, com pesos diferentes, os critérios e subcritérios nas etapas preliminares do método AHP.

O presente estudo, por fim, visa dar suporte ao coordenador de projetos na tomada de decisão quanto à seleção de softwares de validação de modelos BIM. Todavia, o mesmo pode servir como base para a tomada de decisão envolvendo outros tipos de softwares para os demais profissionais da construção civil. Dessa forma, surgem sugestões para trabalhos futuros, abrindo caminho para a continuidade da pesquisa, explorando a aplicação do método AHP na seleção de softwares de modelagem destinados a profissionais de arquitetura.

## REFERÊNCIAS

ADDOR, M. R. A.; SANTOS, E. T. **Salas de coordenação de projetos em BIM: proposta de um método de avaliação.** Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 403-423, 2017.

ANDRADE, F. P. S. **Verificação Automática Dos Requisitos De Projetos Da Norma De Desempenho Pela Plataforma Bim Solibri Model Checker.** 2017. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 2017.

ANDRICH, W.; DANIOTTI, B.; PAVAN, A.; MIRARCHI, C. **Check and Validation of Building Information Models in Detailed Design Phase: A Check Flow to Pave the Way for BIM Based Renovation and Construction Processes.** Buildings, v. 12, p, 154, 2022.

AUTODESK. **Navisworks: 3D model review, coordination, and clash detection.** Disponível em: <<https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=NAVSIM>>. Acesso em: 03 jul. 2023.

AYALA, N. F.; FRANK, A. G. **Métodos de análise multicriterial: uma revisão das forças e fraquezas.** XIII SEPROSUL – Semana Sul-Americana de Engenharia de Produção. Gramado, 2013.

BIMCOLLAB. **Save time and create high quality BIM models with BIMcollab ZOOM.** Disponível em: <<https://www.bimcollab.com/pt/>>. Acesso em: 04 jul. 2023.

BIMTOOLS. **Porque BIMcollab ZOOM.** Disponível em: <<https://bimtools.com.br/bimcollab/bimcollab-zoom/why-bimcollab-zoom/>>. Acesso em: 04 jul. 2023.

BOOTH, A. C. et al. **Critical BIM qualification criteria for construction pre-qualification and selection,** Architectural Engineering and Design Management, p. 326-343, 2016.

**BUILDINGSMART. The international home of openBIM: who is responsible for determining the standards that apply to the openBIM.** Disponível em: <<https://www.buildingsmart.org/about/openbim/>>. Acesso em: 03 jul. 2023.

**CARREIRÓ, D. C. Aplicação da Metodologia BIM a um Caso de Estudo através do software Autodesk Navisworks.** 2017. Tese (Doutorado). ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2018.

**CAUCHICK, Miguel et al; Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** Terceira edição. Elsevier. Rio de Janeiro, 2012.

**CHEN, L. et al. Identifying Impact Factors of MEP Installation Productivity: An Empirical Study.** Buildings, v. 12, n. 5, p. 565, 2021.

**DA COSTA, B. F.; FILHO, M. V.; NAJJAR, M., FIGUEIREDO, K. V.; MENDONÇA, M. N.; HADDAD, A. N. Sustainability Assessment of a Low-Income Building: A BIM-LCSA-FAHP-Based Analysis.** Buildings, 2021.

**DOUMPOS, Michael; ZOPOUNIDIS, Constantin. Preference disaggregation and statistical learning for multicriteria decision support: A review.** European Journal Of Operational Research. Crete, p. 203-214, 2011.

**DWYER, T. et al. Enhancing Safety Training Performance Using Extended Reality: A Hybrid Delphi–AHP Multi-Attribute Analysis in a Type-2 Fuzzy Environment.** Buildings, v.13, n. 3, p.625, 2022.

**EASTMAN, Charles M. Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores.** Primeira Edição. Porto Alegre. Bookman, 2014.

**EDWARDS, D. J.; PÄRN, E. A.; SING, M. C. P. Origins and probabilities of MEP and structural design clashes within a federated BIM model.** Automation in Construction, v. 85, p. 209-219, 2017.

FARIA, D. G. M.; MENDES, R. M.; VALÉRIO, M. F.; BERTOLDO, M. A.; SILVA, M. F. **Aplicação do processo de análise hierárquica (AHP) no mapeamento de riscos associado a escorregamentos no município de São José dos Campos-SP.** Edição Especial Movimentos de Massa e Processos Erosivos. Revista Brasileira de Cartografia. p. 1721-1735. Rio de Janeiro, 2016.

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys.** International Series in Operations Research & Management Science - ISOR, v. 78, 2005.

FIGUEIREDO, K.; PIEROTT, R.; HADDAD, A.; **Sustainable material choice for construction projects: A Life Cycle Sustainability Assessment framework based on BIM and Fuzzy-AHP.** Elsevier ScienceDirect Journals. Building and environment. v.196, 2021.

FISCHER, M.; ASHCRAFT, H.; REED, D.; KHANZODE, A. **Integrating Project Delivery.** Hoboken, Wiley, p. 480, 2017.

FRIES, Carlos Ernani. **Teoria da Decisão.** Apostila da Disciplina EPS7009 do Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2023.

HARON, A. T. et al. **A preliminary requirement of decision support system for Building Information Modelling software selection.** Malaysian Construction Research Journal, v. 15, p. 11-28, 2016.

KAZADO, D.; KAVGIC M.; ESKICIOGLU R. **Integrating Building Information Modeling (BIM) and sensor technology for Facility Management.** Journal of Information Technology in Construction (ITcon), v. 24, pg. 440-458, 2019.

KHEMLANI, L. **Visicon: revisão e validação do modelo.** AECbytes. Disponível em: <<https://www.aecbytes.com/review/2019/Visicon.html>>. Acesso em: 03 jul. 2023.

LONGARAY, A. A.; ENSSLIN, L. **Uso da MCDA na identificação e mensuração da performance dos critérios para a certificação dos hospitais de ensino no âmbito do SUS.** Production, v. 24, n. Prod. p. 41-56, 2014.

MARZOUK, M.; ABUBAKR, A. **Decision support for tower crane selection with building information models and genetic algorithms.** ScienceDirect Journals. Automation in construction, v.61, p.1-15, 2015.

MBACHU, J. et al. **Optimization of the Supplier Selection Process in Prefabrication Using BIM.** Buildings, v. 9, n. 10, p. 222, 2019.

NASCIMENTO, Francisco Paulo do; SOUSA, Flávio Luís Leite. **Metodologia da Pesquisa Científica: Teoria e Prática.** Thesaurus Editora. Brasília, 2016.

NAWI, M. et al. **The application of Fuzzy TOPSIS to the selection of building information modeling software.** Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC), p.1-5, 2018.

NURSAL, A. T. et al. **The Design Of Topsis4bim Decision Support For Building Information Modeling Software Selection.** Journal Teknologi, Sciences & Engineering, p. 1–7, 2015.

OMAR, M. F. et al. **Decision Support Evaluation For Building Information Modeling Software Selection.** Journal Teknologi, Sciences & Engineering, p. 117–122, 2015.

PAGE, M. J. **The PRISMA 2020 statement: na updated guideline for reporting systematic reviews.** Systematic Reviews. V. 10, n. 89, p. 1-11, 2021.

RUSCHEL, R.; VALENTE, C.; CACERE, E.; QUEIROZ, S. **O papel das ferramentas BIM de integração e compartilhamento no processo de projeto na indústria da construção civil.** REEC – Revista eletrônica de Engenharia Civil. v.7, p. 36-54, 2013.

SAATY, Thomas L. **Decision making with the analytic hierarchy process.** *International Journal of Services Sciences*. Int. J. Services Sciences. v. 1., 2008.

SAATY, Thomas L. **Método de análise hierárquica.** Makron Books. 367 p. São Paulo, 1991.

SAATY, Thomas L. **The Modern Science of Multicriteria Decision Making and Its Practical Applications: The AHP/ANP Approach.** Operations Research, 2013.

SOUZA, M. P.; FIALHO, B. C.; FERREIRA, R. C.; FABRICIO, M. M. **Verificação de interferências entre especialidades de projeto BIM: Um caso prático.** VII Simpósio Brasileiro De Qualidade Do Projeto Do Ambiente Construído (SBQP). Londrina, 2021.

TAKAGAKI, C. **Regras de verificação e validação de modelos BIM para sistemas prediais hidráulicos e sanitários.** 2016. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.

THÓRUS ENGENHARIA. **Conheça as principais ferramentas BIM.** Disponível em: <<https://thorusengenharia.com.br/conheca-as-principais-ferramentas-bim/>>. Acesso em: 03 jul. 2023.

UNIVERSITY OF TORONTO. **3rd BIM Report 2020: A Benchmark of BIM use in Canada.** Building Innovation Research Centre, Department of Civil and Mineral Engineering, 2020.

UTKUCU, D.; SÖZER, H. **Interoperability and data exchange within BIM platform to evaluate building energy performance and indoor Comfort.** *Automation in Construction*. v. 116, 2020.

VISICON INC. **Visicon: The Fastest Way to View, Query and Compare Models.** Disponível em: <<https://visicon.com>>. Acesso em: 03 jul. 2023.

ZENG, N. et al. **Development Path of Construction Industry Internet Platform: An AHP–TOPSIS Integrated Approach.** *Buildings*, v. 12, 2021.

## APÊNDICE A – ROTEIRO SEMIESTRUTURADO PARA ENTREVISTA (PARTE 1)

### ENTREVISTA PARA TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

1. Quais softwares de validação de modelos BIM você já utilizou na compatibilização dos projetos em que esteve envolvido?
2. Você tem conhecimento, obteve contato ou já ouviu falar em mais algum software de validação de modelos BIM utilizado por outros coordenadores de projetos?
3. Quais são as principais características que um software de validação de modelos BIM deve ter?
4. Quais são as principais ferramentas que você utiliza na compatibilização dos projetos?
5. O que é indispensável ter em um software de validação de modelos BIM para que os projetos sejam compatibilizados?
6. Quais foram os principais requisitos que te levaram a escolher o software de validação de modelos BIM que utiliza atualmente?
7. Você utiliza outros softwares como suporte para a compatibilização dos projetos? Por quê?

## APÊNDICE B – ROTEIRO SEMIESTRUTURADO PARA ENTREVISTA (PARTE 2)

### ENTREVISTA PARA TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

1. Qual dos critérios abaixo você julga ser mais importante na decisão de escolha entre dois ou mais softwares de validação de modelos BIM?

- ( ) Usabilidade [compatibilidade, precisão, interface do usuário]
- ( ) Viabilidade [preço, versões disponíveis, suporte técnico]

Com base em sua escolha, qual é o nível de importância do critério escolhido em comparação ao outro critério?

Pouco importante (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) Muito importante

2. Qual dos critérios abaixo você julga ser mais importante na decisão de escolha entre dois ou mais softwares de validação de modelos BIM?

- ( ) Usabilidade [compatibilidade, precisão, interface do usuário]
- ( ) Funcionalidade [ferramentas presentes no software]

Com base em sua escolha, qual é o nível de importância do critério escolhido em comparação ao outro critério?

Pouco importante (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) Muito importante

3. Qual dos critérios abaixo você julga ser mais importante na decisão de escolha entre dois ou mais softwares de validação de modelos BIM?

- ( ) Usabilidade [compatibilidade, precisão, interface do usuário]
- ( ) Integração [conexão com demais softwares]

Com base em sua escolha, qual é o nível de importância do critério escolhido em comparação ao outro critério?

Pouco importante (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) Muito importante

4. Qual dos critérios abaixo você julga ser mais importante na decisão de escolha entre dois ou mais softwares de validação de modelos BIM?

( ) Viabilidade [preço, versões disponíveis, suporte técnico]

( ) Funcionalidade [ferramentas presentes no software]

Com base em sua escolha, qual é o nível de importância do critério escolhido em comparação ao outro critério?

Pouco importante (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) Muito importante

5. Qual dos critérios abaixo você julga ser mais importante na decisão de escolha entre dois ou mais softwares de validação de modelos BIM?

( ) Viabilidade [preço, versões disponíveis, suporte técnico]

( ) Integração [conexão com demais softwares]

Com base em sua escolha, qual é o nível de importância do critério escolhido em comparação ao outro critério?

Pouco importante (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) Muito importante

6. Qual dos critérios abaixo você julga ser mais importante na decisão de escolha entre dois ou mais softwares de validação de modelos BIM?

( ) Funcionalidade [ferramentas presentes no software]

( ) Integração [conexão com demais softwares]

Com base em sua escolha, qual é o nível de importância do critério escolhido em comparação ao outro critério?

Pouco importante (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) Muito importante

7. Com relação a usabilidade de um software de validação de modelos BIM, qual dos critérios abaixo você julga ser mais importante?

( ) Compatibilidade [capacidade de ler formatos de arquivos variados]

( ) Precisão [exatidão das ferramentas presentes no software]

Com base em sua escolha, qual é o nível de importância do critério escolhido em comparação ao outro critério?

Pouco importante (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) Muito importante

8. Com relação a usabilidade de um software de validação de modelos BIM, qual dos critérios abaixo você julga ser mais importante?

( ) Compatibilidade [capacidade de ler formatos de arquivos variados]

( ) Interface do usuário [projeção das informações e interação com o software]

Com base em sua escolha, qual é o nível de importância do critério escolhido em comparação ao outro critério?

Pouco importante (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) Muito importante

9. Com relação a usabilidade de um software de validação de modelos BIM, qual dos critérios abaixo você julga ser mais importante?

( ) Precisão [exatidão das ferramentas presentes no software]

( ) Interface do usuário [projeção das informações e interação com o software]

Com base em sua escolha, qual é o nível de importância do critério escolhido em comparação ao outro critério?

Pouco importante (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) Muito importante

10. Com relação a viabilidade de um software de validação de modelos BIM, qual dos critérios abaixo você julga ser mais importante?

( ) Preço [custo de aquisição do software]

( ) Versões disponíveis [disponibilidade de diferentes versões do software]

Com base em sua escolha, qual é o nível de importância do critério escolhido em comparação ao outro critério?

Pouco importante (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) Muito importante

11. Com relação a viabilidade de um software de validação de modelos BIM, qual dos critérios abaixo você julga ser mais importante?

( ) Preço [custo de aquisição do software]

( ) Suporte técnico [orientações técnicas disponibilizadas para o usuário]

Com base em sua escolha, qual é o nível de importância do critério escolhido em comparação ao outro critério?

Pouco importante (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) Muito importante

12. Com relação a viabilidade de um software de validação de modelos BIM, qual dos critérios abaixo você julga ser mais importante?

( ) Versões disponíveis [disponibilidade de diferentes versões do software]

( ) Suporte técnico [orientações técnicas disponibilizadas para o usuário]

Com base em sua escolha, qual é o nível de importância do critério escolhido em comparação ao outro critério?

Pouco importante (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) Muito importante

13. Com relação a precisão de um software de validação de modelos BIM, qual nível de precisão você julgaria para cada software?

Navisworks: Baixo ( ) Médio ( ) Alto ( )

Solibri: Baixo ( ) Médio ( ) Alto ( )

Visicon: Baixo ( ) Médio ( ) Alto ( )

BIMcollab ZOOM: Baixo ( ) Médio ( ) Alto ( )

14. Com relação a interface do usuário de um software de validação de modelos BIM, qual nível de satisfação você julgaria para cada software?

Navisworks: Ruim ( ) Regular ( ) Bom ( )

Solibri: Ruim ( ) Regular ( ) Bom ( )

Visicon: Ruim ( ) Regular ( ) Bom ( )

BIMcollab ZOOM: Ruim ( ) Regular ( ) Bom ( )

15. Com relação ao suporte técnico de um software de validação de modelos BIM, qual nível de satisfação você julgaria para cada software?

Navisworks: Ruim ( ) Regular ( ) Bom ( )

Solibri: Ruim ( ) Regular ( ) Bom ( )

Visicon: Ruim ( ) Regular ( ) Bom ( )

BIMcollab ZOOM: Ruim ( ) Regular ( ) Bom ( )