

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

Pedro Kawase Falk

AVALIAÇÃO DE SOFTWARES DE PROJETOS EM BIM SEGUNDO O MANUAL DE
ESCOPO DE AVAC

Florianópolis

2022

Pedro Kawase Falk

Avaliação de softwares de projetos em BIM segundo o manual de escopo de AVAC

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Produção Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Civil com habilitação em Produção.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Mônica Maria Mendes Luna

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra

Falk, Pedro Kawase

Avaliação de softwares de projetos em BIM segundo o manual de escopo de AVAC / Pedro Kawase Falk ; orientadora, Mônica Maria Mendes Luna, 2022.
73 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Produção Civil, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Civil. 2. Engenharia de produção civil. 3. Building Information Modeling. 4. Aquecimento, ventilação e ar condicionado. I. Luna, Mônica Maria Mendes . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Produção Civil. III. Título.

Pedro Kawase Falk

Avaliação de softwares de projetos em BIM segundo o manual de escopo de AVAC

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil com habilitação em Produção e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de Produção Civil

Florianópolis, 12 de dezembro de 2022.



Documento assinado digitalmente

Monica Maria Mendes Luna

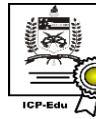
Data: 13/12/2022 13:33:39-0300

CPF: ***.104.993-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dra. Mônica Maria Mendes Luna
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

Monica Maria Mendes Luna

Data: 13/12/2022 13:34:00-0300

CPF: ***.104.993-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Profª. Dra. Mônica Maria Mendes Luna
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Profª. Gisele de Lorena Diniz Chaves
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Francisco de Assis Araújo Gonçalves Junior

Este trabalho é dedicado à minha querida família e amigos que sempre me apoiaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora Professora Mônica Maria Mendes Luna, por todo apoio e orientação durante a elaboração deste trabalho, mesmo quando ocupada sempre encontrou tempo e atendeu às minhas dúvidas. Meu muito obrigado.

À minha família sou eternamente grato por sempre me apoiarem e me aconselharem, pelos valores e ensinamentos que me formam e me conduziram até aqui. Sei que posso contar com vocês sempre.

Agradeço aos meus amigos que independente da distância demonstram apoio e dão sentido à palavra amizade. Nos momentos bons e ruins sempre estive rodeado e toda a jornada até aqui foi mais fácil graças a vocês.

Aos meus colegas de graduação, meu muito obrigado pelo apoio dentro e fora do curso, pelas horas investidas em estudos que foram mais proveitosas por causa de vocês. Desejo sucesso a todos.

Agradeço aos professores, agradeço pelos conhecimentos passados, pela paciência e o amor à profissão demonstrados ao longo desses anos. Sem vocês o mundo que conhecemos não seria possível.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina por promover o ambiente rico que é uma universidade, por formar profissionais responsáveis, éticos e que irão trabalhar para deixar o mundo um pouco melhor do que encontraram.

RESUMO

Cada vez mais o setor da construção civil se utiliza da digitalização no desenvolvimento de sua cadeia produtiva. Entre as tecnologias disponíveis, a metodologia BIM (Building Information Modeling) - que consiste na modelagem da informação da construção - tem se destacado pela sua amplitude de utilização, pois o modelo gerado durante a fase de projeto tem aplicação em todo o ciclo de vida da construção. Atualmente existem diversos softwares para projeto em BIM e suas características possuem vantagens ou desvantagens, especialmente em função do tipo de projeto a ser desenvolvido. Entre as disciplinas de um projeto, o desenho dos sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) em BIM tem trazido muitos benefícios, não só pela facilidade de compatibilização com os demais sistemas da edificação, mas também pela abordagem criteriosa da qualidade do ar interno, tema conhecido mas que veio à tona recentemente por causa da pandemia de Covid-19. O presente trabalho busca avaliar os softwares de projeto em BIM para aplicação em projetos de AVAC mais citados nos anuários e publicações especializadas. Os critérios de análise dos softwares selecionados foram definidos a partir do manual de escopo de projetos: visualização, dimensionamento, representação e documentação. Por fim, foi aplicada a metodologia multicritério AHP (Analytic Hierarchy Process) no processo decisório de análise do desempenho dos softwares selecionados, sendo que o software Open Building Designer apresentou o melhor resultado.

Palavras-chave: Building Information Modeling (BIM). Heating Ventilation Air Conditioning (HVAC). Construção Civil. Arquitetura Engenharia e Construção Civil (AEC)

ABSTRACT

The civil construction sector is increasingly using digitization in the development of its production chain. Among the available technologies, the BIM (Building Information Modeling) methodology - which consists of modeling construction information - has stood out for its wide range of use, as the model generated during the design phase has application throughout the entire life cycle of the construction. Currently there are several software for BIM design and their characteristics have advantages or disadvantages, especially depending on the type of project to be developed. Among the disciplines of a project, the design of Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) systems in BIM has brought many benefits, not only for the ease of compatibility with the other systems of the building, but also for the careful approach to air quality internal, a well-known topic that has recently surfaced due to the Covid-19 pandemic. The aim of this work is to evaluate the most cited in yearbooks and specialized publications BIM design software for application in HVAC projects. The analysis criteria for the selected software were based on the project scope manual: visualization, dimensioning, representation and documentation. Finally, to assess the performance of the selected software, the AHP (Analytic Hierarchy Process) multicriteria methodology was applied in the decision-making process and the Open Building Designer software presented the best performance.

Keywords: Building Information Modeling (BIM). Heating Ventilation Air Conditioning (HVAC). Construção Civil. Arquitetura Engenharia e Construção Civil (AEC)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Projetos contratados em BIM.....	18
Figura 2 - Capacidade de impactar, custos de mudança e fluxos de trabalho	21
Figura 3 - Hierarquia do problema	32
Figura 4 - Metodologia de trabalho	37
Figura 5 - Critérios de decisão para escolha de um software	39
Figura 6 - Softwares utilizados como ferramenta primária de projeto	40
Figura 7 - Ferramentas BIM	41
Figura 8 - Softwares mais utilizados nos últimos 12 meses	41
Figura 9 - Hierarquia do problema	56
Figura 10 - Desempenho das três alternativas preferíveis.....	63
Figura 11 - Desempenho das três alternativas menos preferíveis	63
Figura 12 – Representação hierarquia do problema de decisão com os valores de prioridade.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Normas e documentos de referência para projetos de AVAC	27
Quadro 2 - Manual de escopo de projetos de AVAC	29
Quadro 3 - Escala de valores de Saaty	33
Quadro 4 - Softwares citados nos relatórios anuais	42
Quadro 5 - Softwares citados e funções	43
Quadro 6 - Os 13 melhores softwares BIM para avaliação gratuita e open source ...	44
Quadro 7 - Softwares selecionados para análise	44
Quadro 8 – Serviços Essenciais do projeto de AVAC	48
Quadro 9 – Atividades essenciais do escopo de AVAC	49
Quadro 10 - Cumprimento das atividades essenciais pelos softwares	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice aleatório de matrizes de ordem n	34
Tabela 2 - Matriz de comparação par a par - Visualização	57
Tabela 3 - Matriz de preferência - Dimensionamento.....	57
Tabela 4 - Matriz de preferência - Representação.....	57
Tabela 5 - Matriz de preferência - Documentação	57
Tabela 6 - Matriz de preferência normalizada, vetor de preferência visualização	58
Tabela 7 - Matriz de preferência normalizada, vetor dimensionamento	58
Tabela 8 - Matriz de preferência normalizada, vetor de preferência representação ...	59
Tabela 9 - Matriz de preferência normalizada, vetor de preferência documentação .	59
Tabela 10 - Matriz de preferência - Critérios	59
Tabela 11 - Matriz de preferência normalizada, vetor de preferência de critérios	60
Tabela 12 - Índice aleatório, índice de consistência e consistência relativa	61
Tabela 13 - Matriz prioridades alternativas.....	61
Tabela 14 - Vetor prioridade critérios	62
Tabela 15 - Matriz intermediária.....	62
Tabela 16 - Prioridade final das alternativas	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAVA Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento

AEC Arquitetura, Engenharia e Construção Civil

ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

AVAC Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado

BEP BIM Execution Plan

BEM BIM Energy Modelling

BCF BIM Collaboration Format

BIM Building Information Modeling

CAG Central de Água Gelada

CFT Conselho Federal dos Técnicos Industriais

CONFEA Conselho Federal de Engenharia e Agronomia

CREA Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

GBXML Green Building XML

HVAC Heating, Ventilation and Air Conditioning

IDP Integrated Design Process

IFC Industry Foundation Classes

NR Norma Regulamentadora

OBD Open Building Designer

PEB Plano de Execução BIM

RDC Resolução da Diretoria Colegiada

RE Resolução

SPDA Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas

VRF Variant Refrigerant Flow

VRV Variant Refrigerant Velocity

XML Extensible Markup Language

SUMÁRIO

1	Introdução	15
1.1	Contextualização.....	15
1.2	Justificativa	17
1.2.1	Objetivo geral.....	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
2	Revisão de literatura.....	20
2.1	Gerenciamento de projetos de edificações	20
2.2	Softwares BIM.....	22
2.3	Escolha de software BIM.....	25
2.4	O projeto de climatização	26
2.4.1	Legislação e normas.....	26
2.4.2	Escopo de projeto.....	28
2.5	Analytic hierarchy process – AHP	31
2.5.1	Definição do problema	31
2.5.2	Hierarquia do problema	31
2.5.3	Julgamentos comparativos e avaliação das alternativas	32
3	Metodologia	36
3.1	Caracterização da pesquisa	36
3.2	Delimitação.....	38
4	Desenvolvimento	40
4.1	Identificação e classificação de softwares	40
4.1.1	Descrição dos softwares.....	45
4.1.1.1	<i>Archicad – Graphisoft</i>	45
4.1.1.2	<i>Cypetherm e Cypecad MEP– Cype.....</i>	45
4.1.1.3	<i>Edificius + Termus plus – ACCA</i>	46
4.1.1.4	<i>Open Building Designer – Bentley</i>	46

4.1.1.5	<i>QiBuilder – AltoQI</i>	47
4.1.1.6	<i>Revit – Autodesk</i>	47
4.2	Definição dos critérios	47
4.2.1	Atividades do escopo de AVAC	47
4.2.2	Comparativo entre softwares	50
4.2.3	Definição de critérios de avaliação	52
4.2.3.1	<i>Visualização</i>	53
4.2.3.2	<i>Dimensionamento</i>	53
4.2.3.3	<i>Representação</i>	53
4.2.3.4	<i>Documentação</i>	54
4.3	Avaliação de desempenho dos softwares usando o AHP	54
4.3.1	Caracterização do decisor	54
4.3.2	Modelo hierárquico de decisão	55
4.3.3	Avaliação das alternativas segundo os critérios	56
4.3.4	Definição da importância dos critérios	59
4.3.5	Classificação dos softwares segundo o modelo hierárquico	61
4.4	Análise dos resultados	64
5	Conclusão	67
6	Referências	69

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O setor da construção civil, assim como diversos outros, iniciou nos últimos anos um processo de digitalização. Entende-se que não existe uma única forma para a digitalização de um setor, porém esse processo sempre deve envolver o uso das ferramentas digitais para aumentar e engajar consumidores, criar novos produtos e modelos de negócio e promover a melhoria das operações. Apesar das recentes mudanças, a construção civil ainda é um setor marcado por um baixo desempenho segundo esses aspectos, assim como a agricultura e o setor hospitalar, segundo pesquisa realizada nos Estados Unidos pela McKinsey Global Institute (MCKINSEY & COMPANY, 2015).

No que se refere às ferramentas digitais, uma pesquisa conduzida pela Thórus Engenharia (2019) com empresas da construção civil em todo o território nacional aponta que o software mais utilizado no planejamento e gerenciamento de obra ainda é o Microsoft Excel, utilizado por 71% das empresas entrevistadas. De fato, no Brasil, o processo de digitalização da construção civil começou recentemente, mas de acordo com o Cenário Construtivo Brasileiro (THÓRUS ENGENHARIA, 2020), observa-se um aumento do número de empresas do setor que passaram a adotar novas tecnologias, como softwares que utilizam a metodologia *Building Information Modelling* (BIM) para desenvolver projetos e outras aplicações.

O BIM trata-se de uma metodologia que engloba todo o ciclo de vida de uma edificação. No projeto de edificações, o BIM permite que todos os profissionais desenvolvam simultaneamente as disciplinas de projetos como o projeto arquitetônico, projeto estrutural, hidrossanitário, elétrico, climatização etc., de forma coordenada e compatibilizada. O resultado desse projeto é um modelo tridimensional da edificação com informações das características dos materiais construtivos embarcadas no próprio modelo, e podem ser utilizadas para a geração de listas de materiais mais precisas para orçamentação, gerenciamento da obra, mas também podem ser úteis no gerenciamento, operação e manutenção da edificação durante o seu uso.

Os resultados dos processos BIM são denominados modelos de construção, ou modelos BIM (SACKS et al., 2021). As aplicações de um modelo com essas características são diversas, podendo incluir simulações como a de desempenho térmico, lumínico, elétrico, uso de água etc. Existem diversos softwares BIM disponíveis no mercado, cada um com foco em

uma ou mais funções, mas todos operando com a extensão de arquivo padrão *Industry Foundation Classes* (IFC), que permite a interoperabilidade entre os diversos softwares, cabendo a equipe de projetos utilizar o software mais adequado a sua disciplina e respectivas necessidades.

A multidisciplinaridade de um projeto desenvolvido em BIM, somada a uma diversidade de *softwares*, demandam profissionais dedicados à função de coordenação das equipes de projeto e da compatibilização do próprio modelo em si, mas também exige profissionais cada vez mais especializados em suas disciplinas e cientes das demandas de todas as outras disciplinas, ou seja, capazes de trabalhar cooperativamente e de forma coordenada.

Dentre as disciplinas de engenharia, o projeto de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAC) tem um impacto significativo sobre os demais projetos, bem como no funcionamento da edificação. Segundo Pozza et al. (2018) o projeto de AVAC é recomendado para todo empreendimento comercial, hospitalar, industrial, do setor público, áreas de lazer e residenciais. Das interações entre outras disciplinas de projetos, pode-se citar, por exemplo, o carregamento a ser previsto no projeto estrutural devido ao peso dos equipamentos usados nos sistemas de AVAC, a demanda de energia elétrica necessária para a operação desse sistema, a ser considerada nos projetos elétricos ou, ainda, a demanda por espaço para os equipamentos a ser contemplado pelo projeto arquitetônico.

Além disso, dentro do escopo do projetista de AVAC está o estudo do desempenho térmico de uma edificação que, quando associado à metodologia BIM, origina o conceito de *Building Energy Modelling* (BEM). Trata-se de um método computadorizado que permite avaliar o desempenho de um projeto arquitetônico, o qual deve ser desenvolvido nas etapas preliminares do projeto de um empreendimento (GAO; KOCH; WU, 2019). Apesar da variedade de softwares BIM disponíveis no mercado, estes devem ser verificados se possuem ferramentas dedicadas à disciplina de AVAC e como atendem as etapas de desenvolvimento do projeto da disciplina.

O presente trabalho avalia os principais softwares de desenvolvimento de projetos de sistemas de AVAC disponíveis do mercado mundial com base no atendimento das demandas previstas no manual de escopo elaborado pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA).

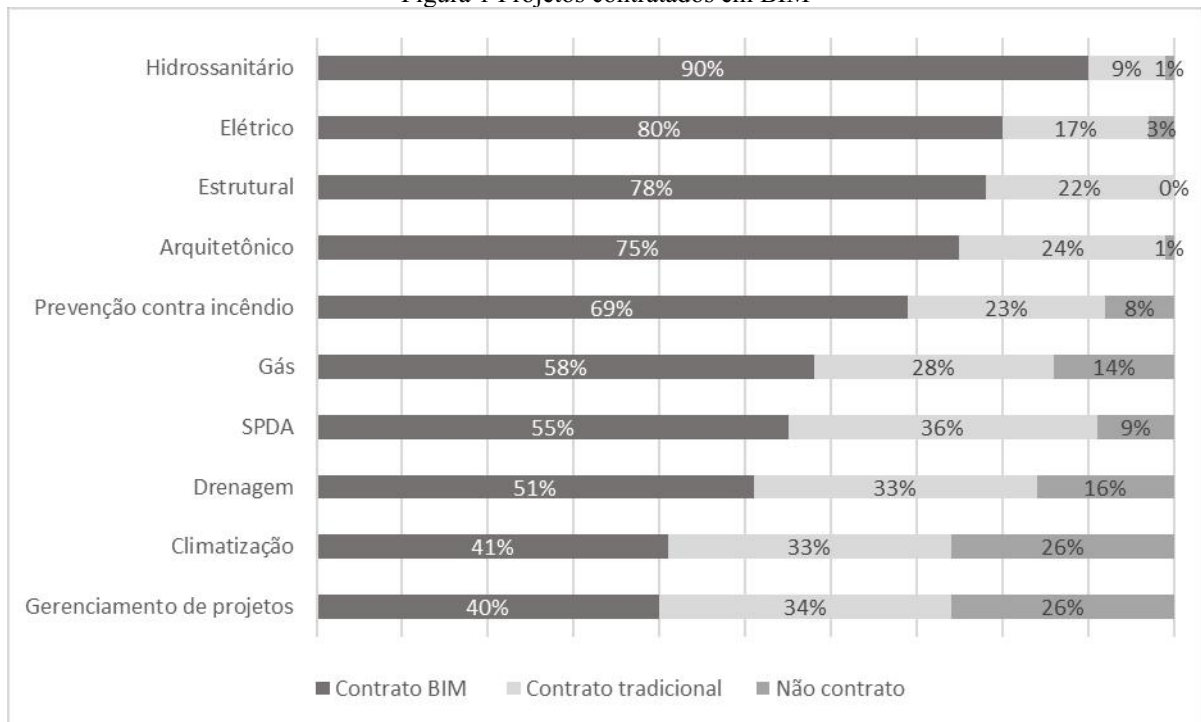
1.2 JUSTIFICATIVA

Atualmente, a disciplina de AVAC, também chamada simplesmente de projeto de climatização, ainda é negligenciada por construtores, contratantes ou até mesmo arquitetos: 26% dos empreendimentos não contratam projeto de climatização (THÓRUS ENGENHARIA, 2019). E, dos que contratam, 33% contratam projetos elaborados em ferramentas mais tradicionais que operam no sistema *Computer Aided Design* (CAD).

A ausência de projetos na construção de uma edificação gera problemas de todas as ordens, deixando a cargo de quem executa resolver *in loco* os problemas que surgirão ou para o usuário após entrega das chaves, caberá enfrentar e corrigir as os problemas decorrentes das deficiências na infraestrutura elétrica, de drenagem e, em alguns casos, a adequação do espaço para a instalação de um sistema de climatização .

De acordo com dados do Cenário Construtivo Brasileiro 2019 (THÓRUS ENGENHARIA, 2019) há ainda uma defasagem entre a adoção do BIM nos projetos de climatização contratados e as outras disciplinas, como a arquitetura ou projeto estrutural. Os projetos hidrossanitário e elétrico são os mais contratados em BIM, representando 90% e 80% dos contratos, respectivamente (Figura 1). Esses números mostram, que as empresas pesquisadas conhecem a importância da adoção da metodologia BIM, porém ainda não exploram todo o seu potencial. Os principais motivos para adoção da metodologia BIM, citados na referida pesquisa Cenário Construtivo Brasileiro 2019, são: a possibilidade de compatibilização dos projetos, de melhoria nos detalhamentos e na extração de quantitativos de materiais.

Figura 1 Projetos contratados em BIM



Fonte: adaptado de Thórus Engenharia (2019)

Apesar das leis, portarias e normas específicas que regulamentam os projetos da disciplina de aquecimento, ventilação e ar-condicionado, essa é uma das disciplinas de projeto que não precisam ser aprovados em órgãos competentes. Além da não obrigatoriedade de aprovação dessa disciplina de projeto, o desconhecimento da importância desse projeto por parte dos contratantes e demais envolvidos no projeto contribui para a não contratação dessa disciplina,

A recente pandemia causada pela COVID-19 mostrou a importância da Qualidade do Ar Interno (QAI), que passou a ser discutida por autoridades e profissionais de diversas áreas (SHEN et al., 2021). A QAI é uma das disciplinas que fazem parte do escopo do profissional que atua com os sistemas AVAC, o que reforça a importância de um projeto dessa natureza.

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar os softwares de desenvolvimento de projetos em BIM para projetos de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado (AVAC) de acordo com o manual de escopo.

1.2.2 Objetivos específicos

Para se atingir o objetivo principal os seguintes objetivos específicos serão tratados:

- Identificar os softwares de desenvolvimento de projetos BIM utilizados por empresas da construção civil.
- Definir critérios de avaliação dos softwares com base no manual de escopo de AVAC.
- Avaliar o desempenho dos softwares com base nos critérios de avaliação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 GERENCIAMENTO DE PROJETOS DE EDIFICAÇÕES

Projeto é um esforço temporário para se criar um produto, serviço ou resultado. Dependendo da natureza do projeto pode-se estabelecer um início e fim para o projeto. O gerenciamento de projetos por sua vez é a aplicação de conhecimentos, técnicas e ferramentas durante o projeto para que se atenda aos requisitos do projeto (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2008).

No caso do projeto de edificações, o resultado são representações gráficas e esquemáticas dos diversos sistemas que compõem a edificação, que permitem a interpretação das informações técnicas de forma clara pelas equipes que irão executar a obra.

De maneira geral, o projeto de uma edificação, além de necessitar de um projeto arquitetônico e de estruturas, também envolve a participação de diversos projetistas das diversas especialidades de instalações conforme a tipologia e função da edificação.

Segundo o Manual de Escopo de Projetos e Serviços elaborado pelo Sindicato da Habitação de São Paulo, os serviços técnicos de projetos frequentemente utilizados em edificações com aplicações diversas, como hospitais, asilos, aeroportos, restaurantes, centros de convenção etc., são:

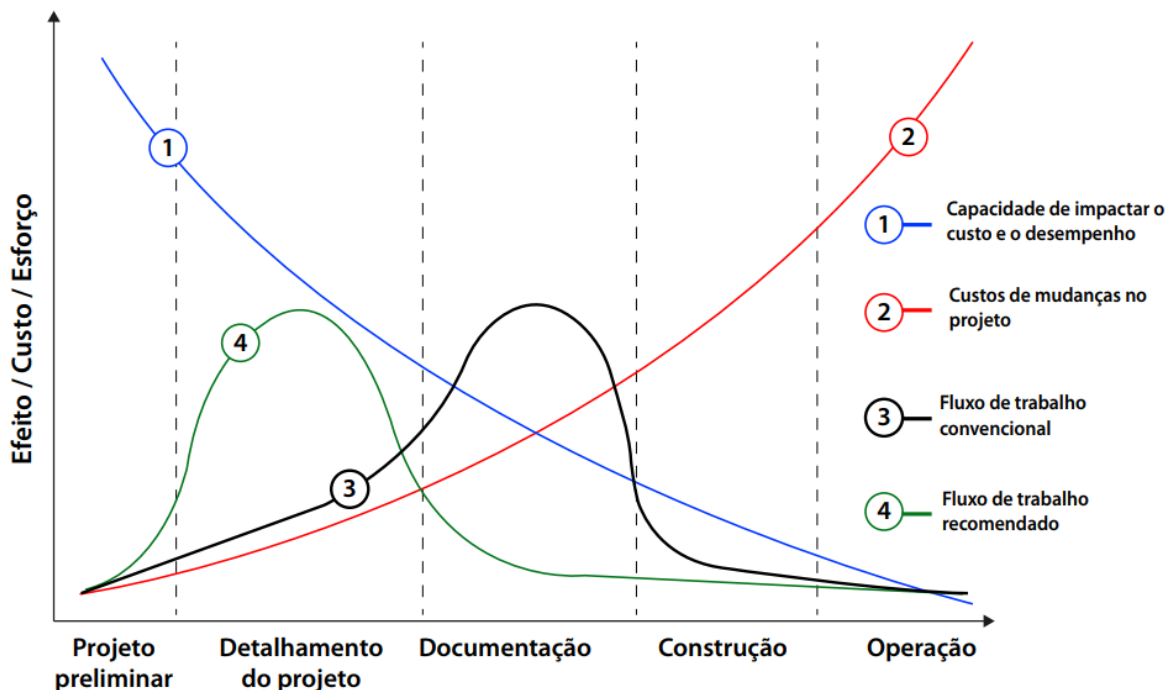
- acústica;
- ar-condicionado e ventilação;
- arquitetura e urbanismo;
- automação e segurança;
- estruturas;
- impermeabilização;
- instalações elétricas;
- instalações hidráulicas;
- luminotécnica; e
- paisagismo

O projeto global de uma edificação é um produto complexo considerando a quantidade de projetos específicos e profissionais envolvidos. A quantidade de informações e decisões tomadas ao longo do processo também é um desafio conhecido ao longo do processo, assim como o próprio relacionamento entre os participantes do projeto.

Dessa forma o gerenciamento de projetos deve ser exercido para se atingir os objetivos da empreitada, muitas vezes através de uma equipe dedicada à coordenação dos projetistas, fluxos de trabalho e informação e gerenciamento das documentações de forma integrada.

Tecnologias como o *Building Information Modeling* (BIM) promovem, por meio de sua metodologia, o trabalho colaborativo em tempo real. Embora ofereça métodos de colaboração, também traz novos desafios relacionados ao desenvolvimento de equipes de trabalho efetivas (SACKS et al., 2021) No entanto, o esforço de implementar o BIM se justifica quando se considera a capacidade de impactar positivamente o desempenho do projeto e obra de uma edificação.

Figura 2 - Capacidade de impactar, custos de mudança e fluxos de trabalho



Fonte: adaptado de Curt (2004).

Na Figura 2, o fluxo de trabalho convencional (curva 3) apresenta um esforço crescente nas etapas de projeto preliminar e detalhamento de projeto, atingindo o maior nível de esforço durante a fase de documentação do projeto, esforço – que pode ser reduzido nas etapas de

construção e operação do empreendimento. No fluxo de trabalho recomendado (relacionado à metodologia BIM), o esforço dispendido durante a fase de projeto é maior, pois é quando se concebe a edificação de fato, e se geram essas informações em um modelo BIM, podendo se obter ganhos de desempenho da edificação. Por ser um método auxiliado por softwares BIM, o esforço com a geração da documentação é muito baixo, dessa forma se pode utilizar melhor as horas dos projetistas com a solução do empreendimento e não com a documentação.

2.2 SOFTWARES BIM

O termo BIM, em inglês, *Building Information Modeling* (BIM), ou Modelagem da Informação da Construção pode ser definido como uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar, e analisar modelos de construção (SACKS et al., 2021) e (BUILDING SMART INTERNATIONAL, 2022a).

O modelo BIM é uma representação digital das características físicas e funcionais de uma edificação e uma ferramenta de compartilhamento das informações a respeito da concepção de uma edificação, formando uma base de informações confiáveis para os envolvidos e tomadores de decisões (NBS ENTERPRISES, 2022). O BIM não é um software, mas uma metodologia de trabalho que, por sua vez, pode ser desenvolvida com o auxílio de diversos softwares. Apesar de existirem diversos desenvolvedores de softwares BIM, e cada software com a sua respectiva extensão de arquivo, a *International Organization for Standardization* (ISO) registrou o formato *Industry Foundation Classes* (IFC) como formato padrão para viabilizar a necessária troca de informações quando se utiliza a metodologia BIM (ISO 16739-1:2018). O formato IFC é uma padronização descritiva digital dos materiais construtivos da indústria, esse formato é o padrão internacional de uso público, utilizado no intercâmbio de informações entre softwares da construção civil (SACKS et al., 2021) e (BUILDING SMART INTERNATIONAL, 2022b).

A adoção da metodologia BIM é um processo que deve ser planejado e implementado gradualmente, pois exige mudança de práticas consolidadas no setor da construção civil. Trata-se de uma ruptura de paradigma sendo a sua adoção completa resultado de um processo que engloba diversos estágios e que depende da quantidade de disciplinas envolvidas (RUSCHEL; ANDRADE; MORAIS, 2013).

O processo de implementação do BIM no Brasil, embora ainda em suas fases iniciais, é fomentado pelos governos estadual e federal, que tem passado a exigir o fornecimento dos serviços de elaboração de projetos e execução de obras públicas com uso da metodologia BIM.

A Secretaria do Planejamento do Estado de Santa Catarina, por exemplo, foi a pioneira ao lançar, em 2013, a primeira versão do Caderno de especificações de projetos em BIM, que tem como objetivo estabelecer as especificações de interoperabilidade no formato IFC de forma que todos os projetistas envolvidos, possam desenvolver seus respectivos projetos e participar das concorrências públicas, independente do software BIM que utilize (GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2018). Atualmente o Caderno de especificações de projetos em BIM se encontra na sua segunda versão e conta também com o Caderno de Encargos de projeto em BIM e CAD, que define os escopos de cada disciplina de projetos.

A exemplo do estado de Santa Catarina, o uso do BIM em obras públicas também foi adotado pelo governo federal que instituiu a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* no Brasil, conhecida como Estratégia BIM BR, por meio do Decreto nº 9.983 de 2019. Os objetivos do decreto estão listados a seguir:

- I - Difundir o BIM e os seus benefícios;
- II - Coordenar a estruturação do setor público para a adoção do BIM;
- III - Criar condições favoráveis para o investimento, público e privado, em BIM;
- IV - Estimular a capacitação em BIM;
- V - Propor atos normativos que estabeleçam parâmetros para as compras e as contratações públicas com uso do BIM;
- VI - Desenvolver normas técnicas, guias e protocolos específicos para adoção do BIM;
- VII - Desenvolver a Plataforma e a Biblioteca Nacional BIM;
- VIII - Estimular o desenvolvimento e a aplicação de novas tecnologias relacionadas ao BIM; e
- IX - Incentivar a concorrência no mercado por meio de padrões neutros de interoperabilidade BIM.

O decreto institui o Comitê Gestor da Estratégia BIM BR e definiu funções de implementação da Estratégia BIM BR e suas ações.

Outro marco importante é o Decreto nº 10.306 de 2020, que estabelece a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia, realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal (BRASIL, 2020). O decreto estabelece a implementação do BIM de forma gradual dividida em três fases:

I - Primeira fase - a partir de 1º de janeiro de 2021, ... abrangerá, no mínimo:

a) a elaboração dos modelos de arquitetura e dos modelos de engenharia referentes às disciplinas de:

1. estruturas;
2. instalações hidráulicas;
3. instalações de aquecimento, ventilação e ar condicionado; e
4. instalações elétricas;

b) a detecção de interferências físicas e funcionais entre as diversas disciplinas e a revisão dos modelos de arquitetura e engenharia, de modo a compatibilizá-los entre si;

c) a extração de quantitativos; e

d) a geração de documentação gráfica, extraída dos modelos a que se refere este inciso;

II - Segunda fase - a partir de 1º de janeiro de 2024, ... abrangerá, no mínimo:

a) os usos previstos na primeira fase;

b) a orçamentação, o planejamento e o controle da execução de obras; e

c) a atualização do modelo e de suas informações como construído (as built), para obras cujos projetos de arquitetura e engenharia tenham sido realizados ou executados com aplicação do BIM;

III - terceira fase: a partir de 1º de janeiro de 2028, ...abrangerá, no mínimo:

a) os usos previstos na primeira e na segunda fase; e

b) o gerenciamento e a manutenção do empreendimento após a sua construção, cujos projetos de arquitetura e engenharia e cujas obras tenham sido desenvolvidos ou executados com aplicação do BIM.

Apesar de existirem diversas soluções de desenvolvimento de projeto no mercado, nem todas são consideradas ferramentas BIM, pois não são softwares de modelagem paramétrica, ou seja, os objetos modelados em 3D não possuem informações acerca das suas características e, muito menos, podem ser utilizados no projeto. Dessa forma, os projetos desenvolvidos em softwares que não são ferramentas BIM fornecem somente informações relacionadas à geometria e dimensões do empreendimento.

Para Underwood et al. (2009) as características que definem um modelo BIM são:

- orientados a objetos;
- ricos em dados e abrangentes a respeito das características físicas e funcionais
- tridimensionais;
- espacialmente relacionados de maneira hierárquica;
- semanticamente ricos;
- capazes de suportar diversas vistas do modelo (plantas, cortes, elevações etc.).

Uma ferramenta BIM permite o desenvolvimento de um projeto paramétrico baseado em objetos, fornecendo informações para a estruturação e administração do projeto. Cabe

ressaltar que os softwares BIM podem desempenhar funções que vão além da modelagem paramétrica de uma edificação, como renderização, análises energéticas, estimativa de custos e interface com outros softwares. Por isso, as ferramentas BIM podem ser classificadas em dois grandes grupos segundo sua função: softwares de desenvolvimento de projeto e softwares de revisão de projeto (SACKS et al., 2021).

Os softwares de desenvolvimento de projeto podem ser utilizados de diversas formas e em diferentes etapas da construção de uma edificação: pelos projetistas, na modelagem do projeto e geração da documentação; por consultores, para a simulação do desempenho da edificação; por construtores, na geração de modelos de coordenação da construção; ou para geração de detalhes de pré-fabricação (SACKS et al., 2021).

Os softwares de revisão de projeto, por sua vez, têm como função principal auxiliar a equipe de projeto na inspeção virtual dos projetos da edificação e identificação de erros e conflitos entre as disciplinas de projeto. Para isso o software deve permitir uma visualização e navegação dos modelos, de forma integrada das disciplinas (sobreposição dos modelos), podendo ainda ter ferramentas simples de anotação dos conflitos que os direcione aos responsáveis. A verificação dos conflitos pode ser feita de forma visual, pela equipe de revisão, ou automática, através de rotinas e regras realizadas pelo próprio software que faz a checagem do modelo, para que, posteriormente, a equipe de revisão possa identificar as falhas encontradas e proceder as correções necessárias com as equipes de projeto (SACKS et al., 2021).

2.3 ESCOLHA DE SOFTWARE BIM

A tomada de decisão abrange diferentes níveis organizacionais que inclui o estratégico, o tático e o operacional, e envolve diferentes *stakeholders* com objetivos distintos. Em empresas da construção civil, as decisões devem ser tomadas considerando aspectos diversos, como físicos, financeiros e de viabilidade técnica do projeto. A decisão pela adoção da metodologia BIM é uma decisão estratégica a ser tomada pela alta direção (SAKA; CHAN; WUNI, 2022).

Mudar a plataforma de projeto, de uma empresa que desenvolve projeto de arquitetura e/ou engenharia. do sistema CAD para a metodologia BIM envolve mais do que a aquisição de software, treinamento e atualização de hardware (SACKS et al., 2021). A implementação exige uma compreensão da metodologia BIM e dos processos envolvidos, um plano de implementação, que pode ser conduzido com ou sem a contratação de um consultor.

A escolha do software de projeto BIM a ser adotado por uma empresa deve considerar diversos aspectos. Em geral, o custo surge como um dos primeiros da lista, porém outros critérios devem ser considerados, como os associados à necessidade de adoção da metodologia BIM, aqueles relativos às características da empresa que está implementando o BIM, como o caso da necessidade de treinamento e suporte técnico. Características do hardware disponível, e sua capacidade de processamento exigida pelos diferentes softwares (estrutura tecnológica) e desenvolvimento de novos processos e padrões internos (PORTAL EA, 2019).

2.4 O PROJETO DE CLIMATIZAÇÃO

Dentre os projetos de engenharia, o projeto dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado, também conhecido como projeto de climatização, é um dos sistemas que mais demandam interações com os projetos das demais engenharias e de arquitetura. Segundo o Guia de Climatização de Ambientes Fechados Não-residenciais (2017), o projeto de climatização é recomendado para todo e qualquer empreendimento comercial, hospitalar, industrial, no setor público, de lazer e inclusive residencial.

O projeto de climatização está associado ao dimensionamento de sistemas para aplicações de conforto térmico tanto para as condições de verão como para o inverno. Condicionar o ar de um ambiente significa submetê-lo às condições adequadas ao tipo de ocupação, independente das características do ambiente externo (CREDER, 2011).

Com o objetivo de apresentar todos os detalhes de um projeto da disciplina de climatização, as próximas seções tratam das leis e normas a serem seguidas e o escopo do projeto de AVAC segundo a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA).

2.4.1 Legislação e normas

As normas técnicas brasileiras são elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e formam um conjunto de documentos técnicos que estabelecem regras, diretrizes e procedimentos a respeito de processos, produtos ou serviços. Uma Norma Técnica Brasileira (NBR) quando citada em alguma lei, passa a ter força de lei, podendo servir como referência em uma demanda judicial (POZZA et al., 2018).

As Normas Brasileiras que orientam o projeto, instalação, operação e manutenção de sistemas de AVAC utilizam como referência as normas elaboradas pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE).

No Brasil existem ainda outros documentos a serem seguidos na elaboração de projetos de climatização, como as Resoluções Normativas (RE), Resoluções da Diretoria Colegiada (RDC), Normas Regulamentadoras (NR) e Portarias. No Quadro 1 são apresentadas as principais normas e documentos técnicos a serem considerados por um profissional da área de AVAC para o desenvolvimento de projetos, execução, operação e manutenção de instalações. Existem diversos outros documentos para aplicação específica conforme o programa de necessidades do empreendimento em questão.

Quadro 1 - Normas e documentos de referência para projetos de AVAC

Número de referência	Descrição
NBR-16401-1:2008	Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários – Parte 1: Projetos e Instalações
NBR-16401-2:2008	Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários – Parte 2: Parâmetros de Conforto Térmico
NBR-16401-3:2009	Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários – Parte 3: Qualidade do Ar Interior
NBR 15575:2013	Edificações Habitacionais — Desempenho
NBR 15220:2003	Desempenho Térmico de Edificações
ASHRAE Standard 90.1:2016	Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.
ASHRAE Standard 62.1:2016	Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
ASHRAE Standard 55.1:2013	Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
ASHRAE Standard 189.1-2009	Standard for Design of High-Performance Green Buildings
Portaria nº 3523	Portaria do Ministério da Saúde de 28/08/1998
Resolução nº 9: 2003	Orientação técnica sobre padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público ou coletivo

Fonte: Elaborado pelo autor

2.4.2 Escopo de projeto

O escopo de um projeto pode variar de acordo com o tamanho, tipologia do empreendimento e a disciplina de engenharia ou arquitetura. A elaboração do projeto de um empreendimento é complexa, não só pelo desenvolvimento em si, mas pelas diversas interfaces entre disciplinas de projeto, demandando uma contratação, coordenação e integração entre as equipes de projeto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, 2019).

Os manuais de escopo são documentos que trazem uma sequência de atividades, organizadas em fases de projeto, orientando a identificação correta dos itens envolvidos de cada etapa e a suas respectivas soluções.

De acordo com o manual de escopo elaborado pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento (2019), o escopo essencial do projeto de AVAC contempla seis fases com diversas atividades e divididas em três categorias:

- essenciais, serviços presentes em qualquer tipo ou porte de empreendimento;
- específicos, serviços vinculados às características do empreendimento;
- opcionais, serviços que o contratante entende como conveniente para determinada especialidade e que não estejam enquadradas nas outras duas categorias.

A cada serviço é atribuído um código de identificação como, por exemplo, VAC-A 201. Os três primeiros caracteres se referem à disciplina de projeto ventilação e ar-condicionado (VAC), o quarto caractere define a fase de projeto (A F), os três algarismos seguintes indicam a categoria do serviço – se essencial, específico ou opcional atribuindo 0, 1 ou 2, respectivamente – e os dois últimos dígitos indicam a sequência de execução das atividades. O Quadro 2 lista essas atividades com os seus respectivos códigos de identificação.

Quadro 2 - Manual de escopo de projetos de AVAC

FASE A – Concepção do produto	
VAC-A 001	Estudo de implantação do empreendimento
VAC-A 201	Avaliação preliminar dos sistemas de ar condicionado viáveis de serem adotados
Fase B – Definição do produto	
VAC-B 001	Cálculos de carga térmica e de vazões de ar
VAC-B 002	Definição de compartimentos e espaços técnicos, acesso de equipamentos, estimativas de pesos, consumos de energia e água
VAC-B 003	Dimensionamento de dutos e tubulações principais
VAC-B 101	Estudo técnico e econômico para a definição do tipo de sistema a ser adotado
FASE C – Identificação das soluções de interfaces	
VAC-C 001	Consolidação dos cálculos anteriores e seleção de equipamentos
VAC-C 002	Definição e layout de casas de máquinas
VAC-C 003	Definição e layout de forros
VAC-C 004	Definição do dimensionamento e caminhamento da rede de dutos e tubulações, em formato unifilar
VAC-C 005	Definição e layout de furações verticais e horizontais
FASE D – Projeto de detalhamento	
VAC-D 001	Detalhamento das instalações em planta
VAC-D 002	Desenho de cortes localizados
VAC-D 003	Detalhamento de casas de máquinas
VAC-D 004	Elaboração de diagramas de alimentação elétrica
VAC-D 005	Elaboração de memoriais descritivos e especificações técnicas
VAC-D 101	Elaboração de fluxograma de processos
VAC-D 102	Elaboração de diagrama de controle
VAC-D 201	Elaboração de plantas específicas de marcação de lajes e vigas
VAC-D 202	Marcação e especificação de suportes de dutos e tubulações
VAC-D 203	Elaboração de diagramas de comandos elétricos
VAC-D 204	Detalhamento dos quadros elétricos
VAC-D 205	Elaboração de planilha de materiais e serviços
VAC-D 206	Elaboração de orçamento
VAC-D 207	Elaboração de minutas contratuais
FASE E – Projeto de detalhamento	
VAC-E 001	Apresentação do projeto
VAC-E 002	Esclarecimento de dúvidas
VAC-E 201	Análise técnica de proposta de fornecedores
VAC-E 202	Análise de soluções alternativas
VAC-E 203	Alterações de projeto
VAC-E 204	Análise dos desenhos de fabricação e planilha de seleção dos equipamentos oferecidos pelo instalador
VAC-E 205	Elaboração dos desenhos de fabricação
VAC-E 206	Acompanhamento técnico da obra

VAC-E 207	Orientação sobre os procedimentos de execução
VAC-E 208	Inspeção dos equipamentos na fábrica
VAC-E 209	Acompanhamento de testes, balanceamento e partida dos sistemas e recebimento da obra
VAC-E 210	Desenhos de "Como construído" (<i>as built</i>)
VAC-E 211	Subsídios para elaboração de manual de operação e manutenção dos sistemas de ar condicionado e ventilação
FASE F – Pós-entrega da obra	
VAC-F 201	Atividades de avaliação e/ou assessoria
VAC-F 202	Projeto de alterações

Fonte: ABRAVA (2019). Adaptado pelo autor

A fase A, consiste no levantamento de informações jurídicas, legais, do programa de necessidades, normas técnicas aplicáveis e definições a respeito dos padrões e critérios mínimos do empreendimento. Dessa forma é possível determinar quais as restrições e possibilidades do empreendimento pretendido.

A fase B compreende as etapas de Estudo Preliminar, Anteprojeto e Projeto Legal. Nesta etapa todas as disciplinas de projeto devem estar contratadas para que todo o empreendimento seja desenvolvido, consolidando as informações de cada etapa e verificando a viabilidade física, legal e econômica do empreendimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, 2019).

Na fase C são desenvolvidos o projeto básico e o pré-executivo, nesta etapa todas as interferências entre os projetos devem ser resolvidas através da negociação entre soluções, possibilitando assim a avaliação preliminar dos custos, métodos construtivos e prazos.

A fase D é onde o projeto executivo e o detalhamento de todos os elementos do empreendimento são desenvolvidos. O objetivo é gerar documentações capazes de caracterizar com precisão os serviços a serem executados, de forma clara e objetiva.

A fase E se trata de uma fase pós entrega do projeto, consistindo na entrega e apresentação do projeto para se garantir a compreensão e correta utilização das informações contidas na documentação e aplicação em campo.

Destinada aos serviços pós-entrega da obra, a fase F inclui as atividades de avaliação e assessoria e possíveis alterações necessárias.

2.5 ANALYTIC HIERARCHY PROCESS – AHP

O método de Saaty, mais conhecido como *Analytic Hierarchy Process* (AHP), Processo Hierárquico Analítico em tradução livre foi desenvolvido pelo professor Thomas Saaty no final dos anos 70 e se trata de uma ferramenta multicritério de suporte à decisão que considera o aspecto analítico, hierárquico e de processo (MELLO, 2020).

Segundo Almeida (2002) o método se baseia no princípio de que o conhecimento e experiência do decisor são tão valiosos quanto os dados numéricos em uma tomada de decisão. Durante a aplicação do método, as etapas de diálogo e de cálculo se alternam, havendo uma intervenção do decisor durante todo o processo.

O método AHP necessita da estruturação do problema de forma hierárquica, de forma que o objetivo ocupa o nível hierárquico mais alto, seguido dos critérios, subcritérios e por fim as alternativas. Através da comparação aos pares dos critérios de escolha e das alternativas de escolha utilizando matrizes de preferência é possível determinar os vetores de preferência de cada matriz. Dessa forma é possível valorar cada alternativa em relação ao objetivo do problema (SAATY, 2008). Com isso, para se tomar uma decisão de forma organizada para se obter as alternativas prioritárias, propõe a decomposição do método nos seguintes passos:

1. Definir o problema
2. Estruturar a hierarquia do problema
3. Construção das matrizes de comparação par a par
4. Atribuição de pesos às alternativas com as prioridades obtidas das comparações.

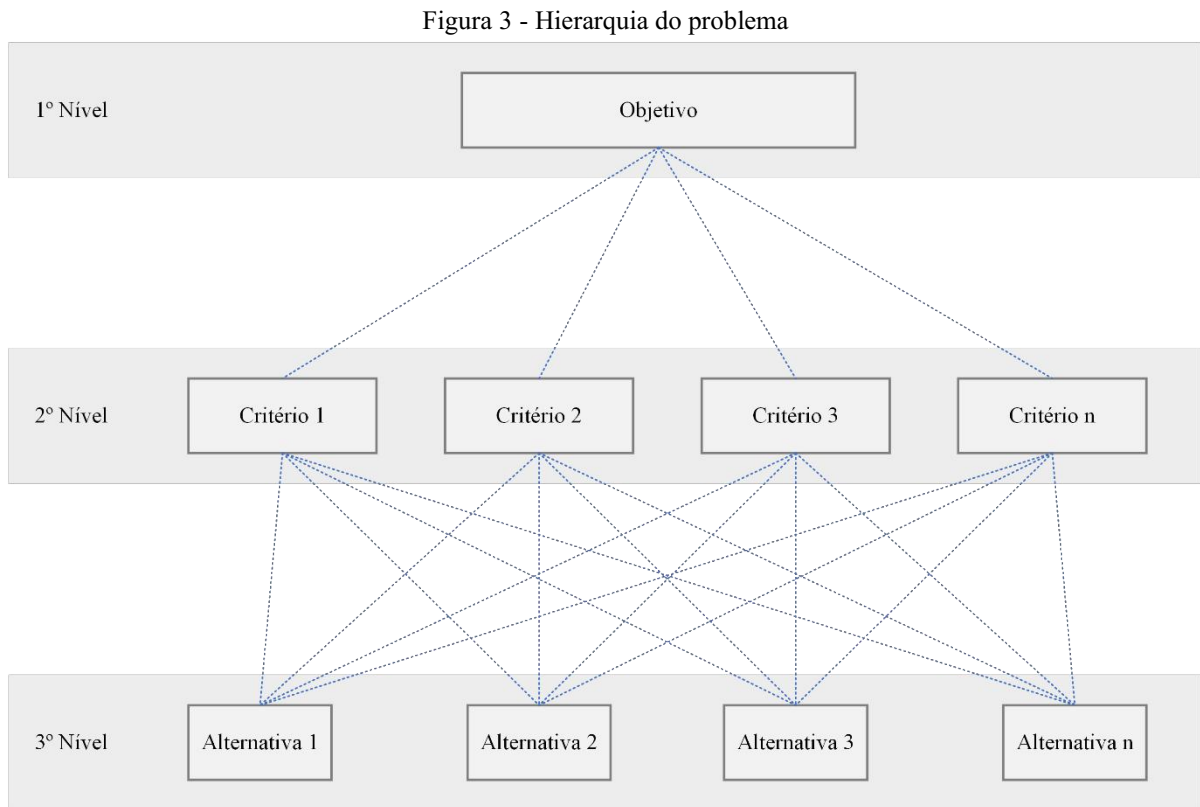
2.5.1 Definição do problema

O primeiro passo para aplicação do AHP é a determinação do problema a ser estudado e o objetivo a ser alcançado (MELLO, 2020) tendo em vista quais os critérios envolvidos no problema e quais as alternativas para a solução do problema.

2.5.2 Hierarquia do problema

Definido o problema, o segundo passo corresponde à estruturação do problema em níveis hierárquicos, o que melhora a compreensão e avaliação do problema (DA SILVA BARROS; SOUZA MARINS; SOUZA, 2009).

Conforme a Figura 3, no primeiro nível da hierarquia está colocado o objetivo do problema, no segundo nível são colocados os critérios e no terceiro nível as alternativas. Dependendo da estruturação do problema, podem ser necessários subcritérios para melhor representar o problema (ALMEIDA, 2002).



Fonte: Saaty (1980) adaptado pelo autor.

2.5.3 Julgamentos comparativos e avaliação das alternativas

No terceiro passo do método AHP, as alternativas são comparadas aos pares sob cada critério através de uma matriz de preferência onde são atribuídos valores de preferência entre os pares comparados. Saaty (1991) define uma escala para se utilizar na comparação para a par, conforme o Quadro 3 a preferência entre os pares varia de 1 a 9, onde 1 denota uma igualdade de importância ou preferência, e o 9 uma das alternativas é extremamente mais importante que o par comparado. Os valores ímpares indicam uma categoria de preferência entre os critérios comparados e os valores pares são os intermediários das categorias de preferência.

Quadro 3 - Escala de valores de Saaty

Valor	Definição
1	Igualmente importante ou preferido
3	Levemente importante ou preferido
5	Fortemente mais importante ou preferido
7	Muito fortemente mais importante ou preferido
9	Extremamente mais importante ou preferido
2, 4, 6, 8	Valores intermediários para refletir compromissos entre os valores anteriores
Recíprocos	Usado para refletir dominância da segunda alternativa em relação à primeira

Fonte: Saaty (1980) adaptado pelo autor.

A comparação entre os pares é feita em uma matriz de preferência seguindo o seguinte raciocínio lógico e atender as seguintes condições conforme a Equação 1.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde:

- $a_{ij} > 0$ – todos os elementos são positivos
- $a_{ij} = 1/a_{ji}$ - reciprocidade
- $a_{ii} = 1$ – todos os elementos da diagonal principal são iguais a 1

Com o objetivo de se verificar se os julgamentos das preferências são consistentes em cada matriz, devem ser calculados o índice de inconsistência (IC) e a razão de consistência (RC) conforme as equações 2 e 3 (SAATY, 1991).

O índice de inconsistência é dado pela equação:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Onde:

IC = índice de inconsistência

λ_{max} = maior autovalor da matriz de comparação paritária de critérios

n = ordem da matriz

A razão de consistência é dada pela equação:

$$CR = IC \div RI \quad (3)$$

Onde:

RC = Razão de consistência

IC = Índice de inconsistência

RI = Índice aleatório (*Random index*)

O índice aleatório (RI) é obtido para cada tamanho n de matriz, onde foram geradas matrizes recíprocas aleatórias baseadas na escala de Saaty, e seus respectivos índices de inconsistências determinados. A Tabela 1 apresenta os índices aleatórios para cada ordem de matriz.

Tabela 1 - Índice aleatório de matrizes de ordem n

Ordem	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 (1980)

Segundo Fries (2019), a matriz é considerada consistente quando apresenta valores de CR iguais ou inferiores a 0,10, caso contrário o decisor deverá rever os valores atribuídos às suas preferências na etapa de comparação aos pares.

Após a verificação da consistência das matrizes de preferências é calculado o vetor de prioridades ou vetor preferência de cada matriz. O vetor de prioridades organiza as melhores escolhas entre as alternativas onde a melhor opção consiste no maior valor do vetor e a pior opção no menor valor do vetor.

O cálculo do vetor de prioridades é feito pela normalização da matriz de preferência, que consiste na divisão de cada componente pelo somatório da coluna correspondente gerando a matriz normalizada. Por fim, cada componente do vetor de prioridades é calculado pela média dos valores de cada linha da matriz normalizada (Equações 4 e 5).

$$W = \begin{bmatrix} w_{1j} \\ w_{2j} \\ \vdots \\ w_{nj} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$w_{ij} = (a_{11}/S_1 + a_{12}/S_2 + \dots + a_{1n}/S_n)/n \quad (5)$$

Onde:

W = vetor prioridade

w_{ij} = componente matriz

a_{ij} = componente da matriz de preferência

S_n = somatório dos componentes da coluna

n = ordem da matriz

Por fim as prioridades globais das escolhas são obtidas a partir da combinação iterativa dos vetores de pesos de todas as matrizes de comparação par a par. O peso de cada alternativa em relação ao objetivo principal é obtido pelos produtórios de pesos dos caminhos que levam da alternativa ao objetivo (ERNANI FRIES, 2019). O resultado é o vetor de prioridades globais onde o maior valor é a melhor alternativa e assim por diante.

O método AHP é criticado quando à racionalidade do seu procedimento de escolhas, segundo Fries (2019) as críticas podem ser resumidas em quatro pontos:

1. dever-se-ia inicialmente verificar se as alternativas podem ser ranqueadas segundo uma função aditiva de valor
2. o método considera que as preferências estabelecidas pelo decisor estejam numa escala racional. No entanto, funções individuais de valor de uma função aditiva multiatributiva estão definidas numa escala intervalar (o valor nulo é arbitrado para o pior valor)
3. a escala de Saaty de 9 pontos não pode ser entendida como racional. Outras escalas conduzem a diferentes ranqueamentos.
4. todos os critérios, subcritérios e alternativas que tenham algum impacto no problema de decisão, devem ser representados na hierarquia do problema. Este axioma desrespeita um dos axiomas da racionalidade que postula a “independência de alternativas irrelevantes”. Exemplos construídos com alternativas irrelevantes têm produzido ranqueamentos diferenciados, o que sob o ponto de vista da racionalidade é inaceitável.

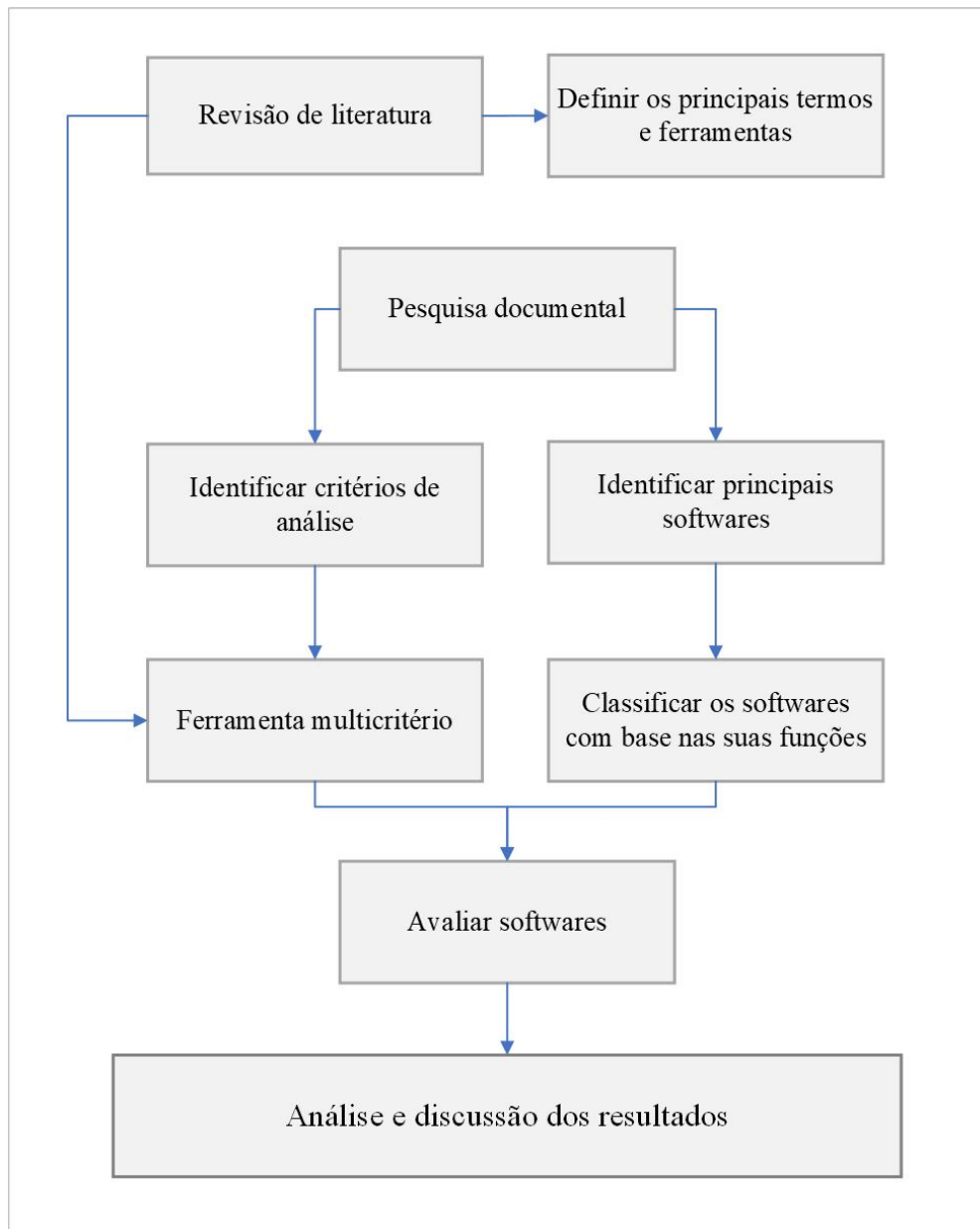
3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Dado o objetivo de avaliar os softwares BIM sob as demandas específicas de projetos de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), o presente trabalho pode ser classificado como de natureza aplicada pois tem o objetivo de gerar conhecimento para aplicação específica de interesse local (PRODANOV; FREITAS, 2013) e (MARCONI; LAKATOS, 2003). Quanto à abordagem, a pesquisa apresenta um viés predominantemente qualitativo considerando que os aspectos analisados são de natureza subjetiva, embora baseados em documentos técnicos.

Com relação aos objetivos, a presente pesquisa é classificada como descritiva uma vez que este trabalho apresenta e avalia o desempenho de diferentes softwares BIM sob a ótica das demandas previstas no escopo da disciplina de AVAC. Para tanto, são utilizados diversos procedimentos técnicos, tais como, revisão da literatura – para definição dos principais conceitos acerca do desenvolvimento e gerenciamento de projetos de edificações, principais termos e ferramentas associadas a metodologia BIM – e pesquisa documental, para o levantamento e seleção dos principais softwares BIM disponíveis no mercado e consulta de pesquisas recentes e anuários do setor da construção civil e publicações acerca do assunto. Os softwares BIM identificados por meio da pesquisa documental são classificados conforme seu objetivo, funções básicas e específicas. Em seguida, são estabelecidos os critérios de comparação entre os softwares. A pesquisa na literatura é utilizada para revisar todo o escopo de um projeto de AVAC (PRODANOV; FREITAS, 2013);(SOARES et al., 2018). A revisão do escopo objetiva selecionar itens fundamentais para a elaboração do projeto de AVAC e avaliar a importância no processo de desenvolvimento de um projeto, inclusive avaliar como afetam as outras disciplinas de projeto.

Figura 4 - Metodologia de trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor

Os softwares BIM encontrados são classificados conforme seu objetivo, e funções principais. E, para se estabelecer os critérios de comparação entre os softwares, a pesquisa na literatura é utilizada para revisar todo o escopo de um projeto de AVAC, devido a existência de diversas publicações acerca do assunto, a pesquisa documental é o procedimento mais adequado (PRODANOV; FREITAS, 2013) e (SOARES et al., 2018). A revisão do escopo objetiva selecionar itens fundamentais para a elaboração do projeto de AVAC e identificar quais desses

são mais importantes para o desenvolvimento de um projeto e como afetam as outras disciplinas de projeto envolvidas.

Com os critérios de comparação definidos, todos os softwares são avaliados com o auxílio de uma ferramenta multicritério (AHP) para identificar quais os que melhor atendem o escopo dos projetos de AVAC.

3.2 DELIMITAÇÃO

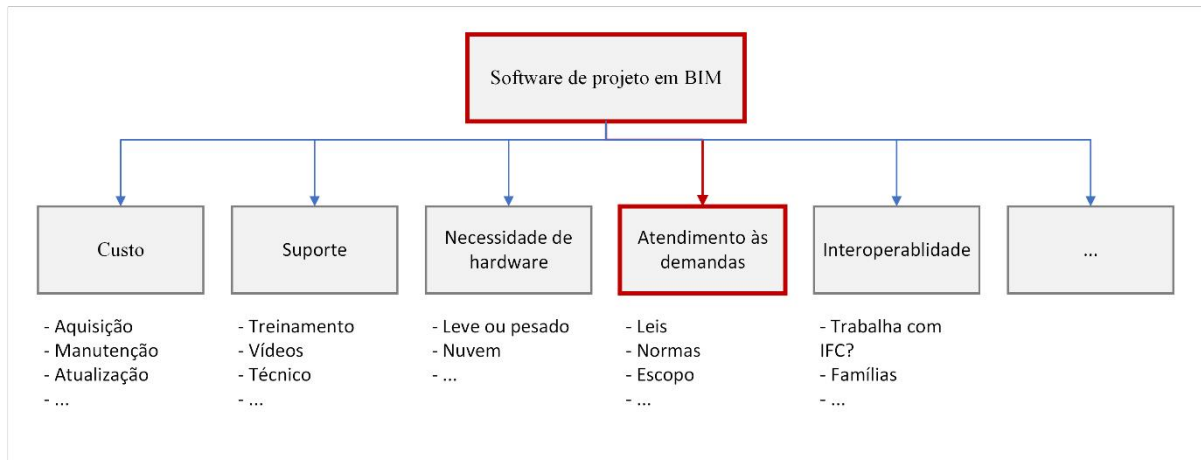
No universo de ferramentas BIM, existem diversas opções de softwares para dar assistência às várias atividades compreendidas no projeto de uma edificação, portanto este trabalho se limitará aos softwares para *Building design* em BIM, ou seja, softwares para desenvolvimento de projeto e desenho arquitetônico e de engenharia. Estes softwares serão citados como softwares de desenvolvimento de projetos em BIM no presente trabalho.

Os softwares avaliados são aqueles disponíveis no ano de 2022 e as características desses são as referentes a versão do ano em questão, dado que o levantamento foi realizado nos meses de agosto a novembro de 2022. Cabe destacar que os softwares são constantemente revisados e atualizados para a solução de problemas de programação, inclusão de novas funções e otimizações, logo novos trabalhos de avaliação dos mesmos softwares poderão ser desenvolvidos, caso novas versões dos softwares estejam disponíveis.

Os softwares para desenvolvimento de projetos podem ser analisados sob diversas perspectivas, como por exemplo: i) do tomador de decisões, que está escolhendo um software para a sua equipe de projetos; ii) do projetista de alguma área; iii) do coordenador de projetos. Para o desenvolvimento deste trabalho a perspectiva adotada é a do projetista de sistemas de AVAC que avalia qual o software atende as necessidades de projeto da disciplina em questão, auxiliando nas atividades típicas do início ao fim do projeto. A Figura 5 apresenta alguns aspectos que podem ser considerados na escolha de um software. O escopo deste trabalho é limitado à análise do quarto aspecto: atendimento à demanda.

A Figura 5 também apresenta alguns critérios que podem ser considerados pelo tomador de decisão ao escolher o software de projeto BIM mais adequado para a sua empresa. Dependendo da profundidade na análise e do tempo disponível para o levantamento de informações, outros aspectos como a interoperabilidade do software e necessidade de hardware podem ser considerados na análise dos softwares.

Figura 5 - Critérios de decisão para escolha de um software



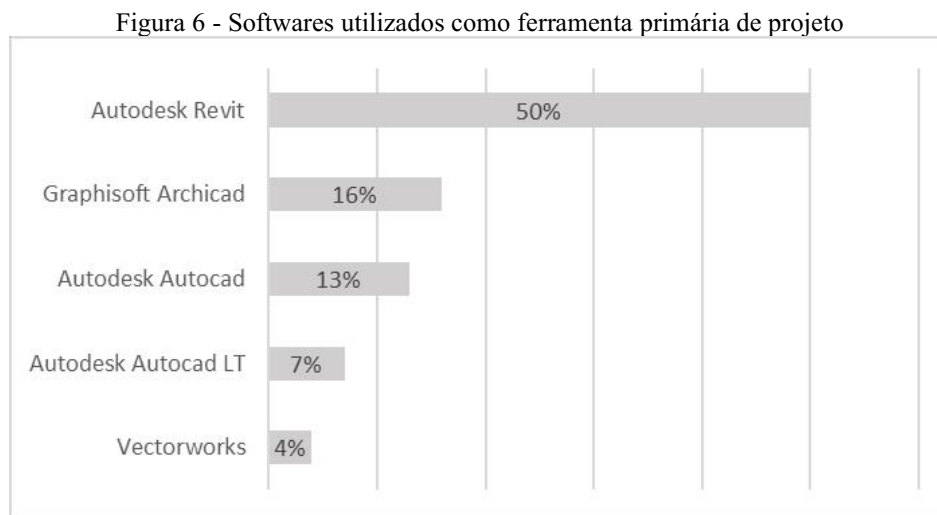
Fonte: elaborado pelo autor.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOFTWARES

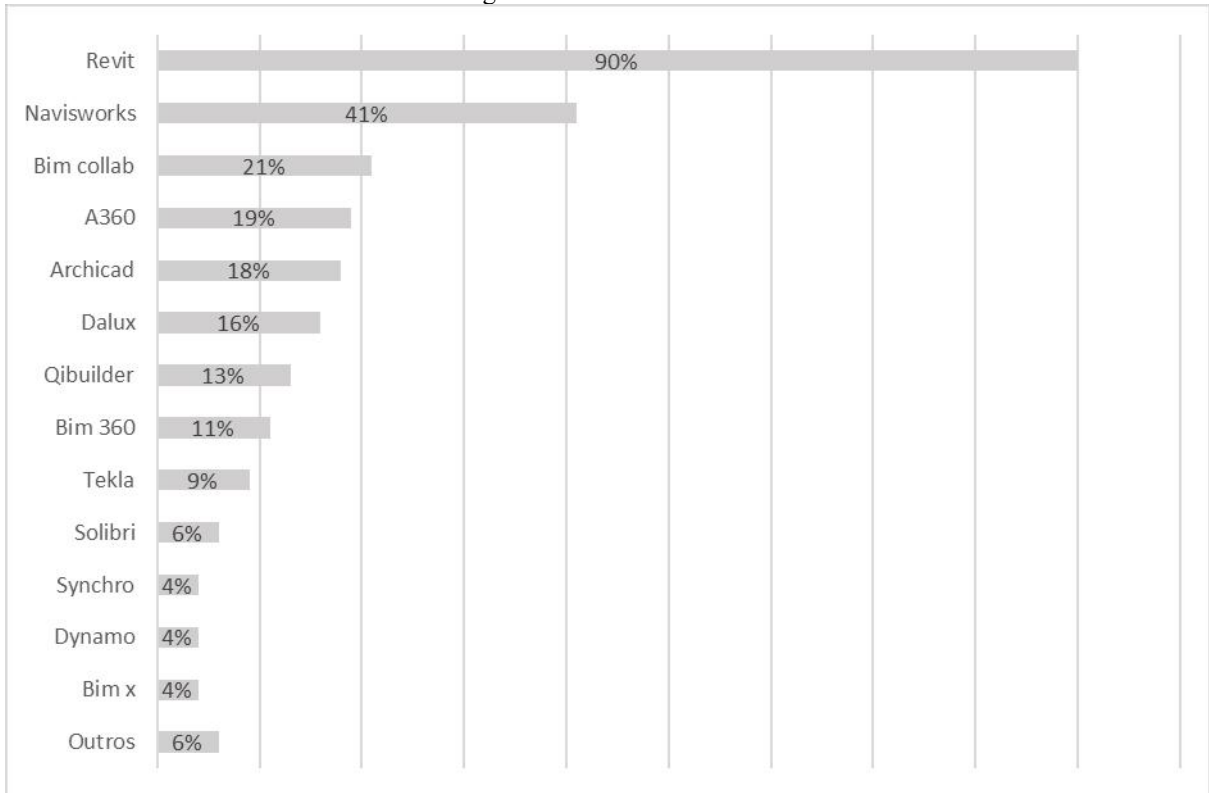
Para a identificação das ferramentas BIM foram consultados relatórios anuais de instituições públicas e privadas que fomentam a implementação dessas ferramentas. Os relatórios que serviram de base para este trabalho incluem aqueles publicados no Canadá, representados pela Universidade de Toronto, no Reino Unido pela *National Building Specification* (NBS) e no Brasil pela Thórus Engenharia.

Conforme mostram os histogramas das Figura 6, Figura 7 e Figura 8, diversos softwares são citados nesses documentos, os quais são organizados segundo a frequência de uso. Nas pesquisas conduzidas pela Thórus Engenharia (2020) e Universidade de Toronto (2020) observa-se que os softwares citados desempenham funções voltadas ao auxílio de atividades distintas, entre elas o desenvolvimento de projetos arquitetônicos e/ou de instalações (alguns usando a metodologia BIM) e outros softwares que funcionam como *plugins* do software principal, outros ainda possuem como função principal a revisão de modelos BIM.



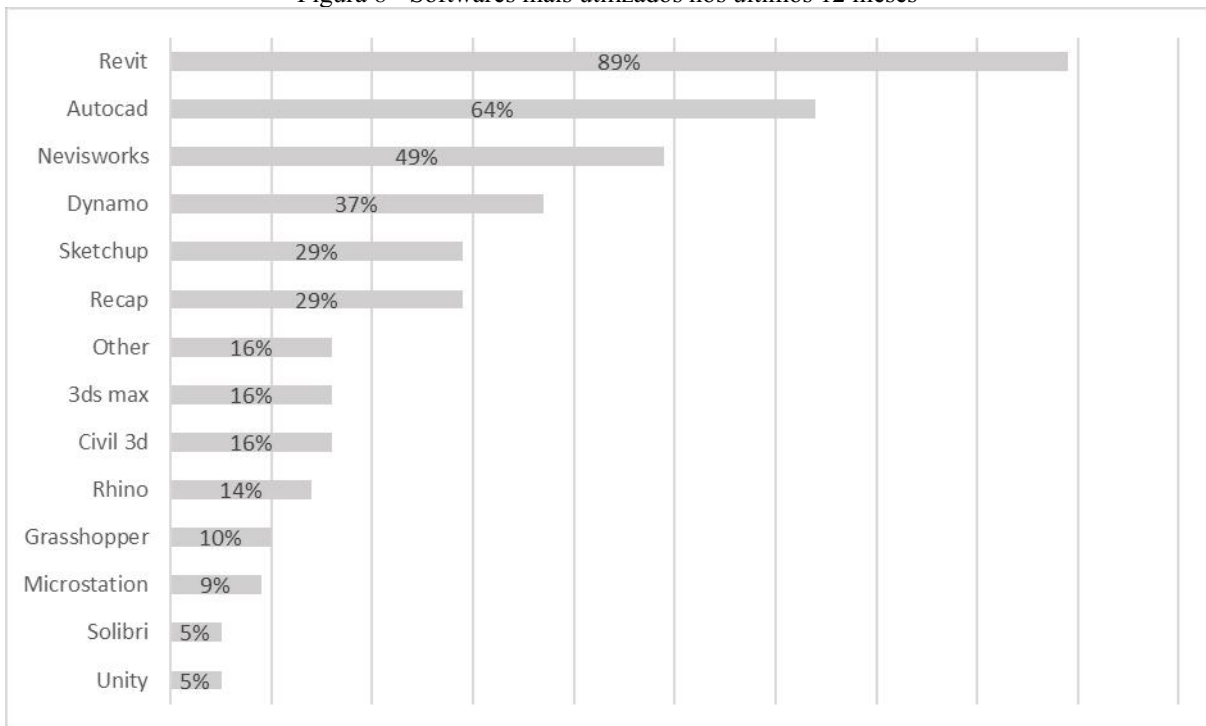
Fonte: National Building Specification (2020)

Figura 7 - Ferramentas BIM



Fonte: Thórus Engenharia (2020)

Figura 8 - Softwares mais utilizados nos últimos 12 meses



Fonte: University of Toronto (2020)

Os softwares, identificados nos documentos supracitados, foram organizados em ordem alfabética em um quadro com o seu respectivo desenvolvedor e o site institucional, fonte na qual são obtidas as informações sobre cada software (Quadro 4).

Quadro 4 - Softwares citados nos relatórios anuais

Software	Desenvolvedor	Site
3ds max	Autodesk	https://www.autodesk.com.br/products/3ds-max
A360	Autodesk	https://www.autodesk.com/products/a360
Archicad	Graphisoft	https://graphisoft.com/br/solucoes/archicad
Autocad	Autodesk	https://www.autodesk.com.br/products/autocad
Bim 360	Autodesk	https://www.autodesk.com/bim-360/
Bim collab	Bim collab	https://www.bimcollab.com/
Bim x	Graphisoft	https://graphisoft.com/br/solucoes/bimx
Civil 3d	Autodesk	https://www.autodesk.com.br/products/civil-3d
Dalux	Dalux	https://www.dalux.com/dalux-box
Dynamo	Autodesk	https://www.autodesk.com/products/dynamo-studio/overview
Grashopper	Rhino	https://www.rhino3d.com/6/new/grasshopper/
Microstation	Bentley	https://www.bentley.com/software/microstation/
Navisworks	Autodesk	https://www.autodesk.com.br/products/navisworks/overview
Qibuilder	Altoqi	https://hotsite.altoqi.com.br/qibuilder/
Recap	Autodesk	https://www.autodesk.com.br/products/recap/overview
Revit	Autodesk	https://www.autodesk.com.br/products/revit
Rhino	Rhino	https://www.rhino3d.com
Sketchup	Trimble	https://www.sketchup.com/pt-BR
Solibri	Solibri	https://www.solibri.com/bim-coordination
Synchro	Bentley	https://www.bentley.com/software/synchro/
Tekla	Trimble	https://www.tekla.com/br
Unity	Unity	https://unity.com/pt/solutions/architecture-engineering-construction
Vectorworks	Vectorworks	https://www.vectorworks.net/en-US/architect

Fonte: Elaborado pelo autor com base em National Building Specification (2020); Thórus Engenharia (2019); University of Toronto (2020)

Para identificar as funções desempenhadas por cada software, foi feita a pesquisa dos manuais disponíveis nos sites das empresas desenvolvedoras. Além disso, buscou-se identificar quais os softwares podem ser classificados como softwares BIM, ou seja, quais permitem o trabalho colaborativo, a interoperabilidade e a coordenação em seus processos e a geração de informações. Assim, o Quadro 5 apresenta a lista de softwares identificados e sua principal função, de acordo com os dados obtidos no site do respectivo desenvolvedor.

Numa primeira análise, pode-se observar que apenas três softwares de três desenvolvedores diferentes cumprem as funções de desenvolver projetos de instalações seguindo a metodologia BIM: Revit, Archicad e Qibuilder (Quadro 5). No entanto dentre os

desenvolvedores citados nas pesquisas, alguns também possuem em seu portfólio outros softwares voltados ao desenvolvimento de projetos de instalações, a exemplo da Bentley que, além do Microstation (projeto de estradas), conta com o Open Building Designer (OBD), orientado para projeto de arquitetura e instalações (água, esgoto, AVAC etc.).

Quadro 5 - Softwares citados e funções

Software	Desenvolvedor	Função	BIM
3ds max	Autodesk	Animação 3D	Não
A360	Autodesk	Armazenagem na nuvem	Sim
Archicad	Graphisoft	Projeto Arquitetônico e Instalações	Sim
Autocad	Autodesk	Projeto Arquitetônico e Instalações	Não
Bim 360	Autodesk	Coordenação de projetos e documentos	Sim
Bim collab	Bim collab	Coordenação de projetos e documentos	Sim
Bim x	Graphisoft	Automação Archicad	Sim
Civil 3d	Autodesk	Projeto de infraestrutura (pontes, estradas etc.)	Sim
Dalux	Dalux	Coordenação de projetos e documentos	Sim
Dynamo	Autodesk	Automação revit	Sim
Grashopper	Rhino	Plug-in Rhino	Não
Microstation	Bentley	Projeto de infraestrutura (pontes, estradas etc.)	Sim
Navisworks	Autodesk	Compatibilização	Sim
Qibuilder	Altoqi	Projeto de Instalações	Sim
Recap	Autodesk	Captura de imagens escaneadas	Sim
Revit	Autodesk	Projeto Arquitetônico e Instalações	Sim
Rhino	Rhino	Modelagem 3D	Não
Sketchup	Trimble	Projeto Arquitetônico	Sim
Solibri	Solibri	Coordenação de projetos e documentos	Sim
Synchro	Bentley	Gerenciamento e planejamento de obras	Sim
Tekla	Trimble	Projeto de estruturas	Sim
Unity	Unity	Modelagem 3D/Games/Arquitetura	Não
Vectorworks	Vectorworks	Projeto Arquitetônico	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor com base em National Building Specification (2020); Thórus Engenharia (2019); University of Toronto (2020)

Para uma análise de softwares mais abrangente, foram ainda identificadas outras ferramentas BIM que tiveram destaque nos anos de 2021 e 2022 em sites de tecnologia e construção. Um levantamento realizado pelo site H2S MEDIA (2022) indica os 13 melhores softwares BIM para teste gratuito e *open source*, em tradução livre, de “código aberto” (Quadro 6). Os softwares de código aberto são desenvolvidos com contribuições de diversos desenvolvedores e, no geral, não desempenham todas as funções e não são softwares consolidados, portanto não foram avaliados neste trabalho.

Além dos softwares citados nos relatórios anuais da Universidade de Toronto, do *National Building Specification* (NBS) e da Thórus Engenharia, outros dois outros softwares de desenvolvimento de projeto em BIM, citados no site *How 2 Shout*, foram incluídos no presente trabalho: o Edificius, da desenvolvedora ACCA e o Cypecad da Cype por serem softwares de projeto arquitetônico e de instalações em BIM. No Quadro 6 estão listados os treze softwares, com os seus respectivos desenvolvedores, função e seus sites institucionais que serviram de referência para levantamento de informações e elaboração do quadro.

Quadro 6 - Os 13 melhores softwares BIM para avaliação gratuita e open source

Software	Função	Referência
Bim 360	Coordenação de documentos	https://www.autodesk.com/bim-360/
Bim server	Servidor para software bim	https://bimserver.org/
Bim surfer	Visualizador de modelos	https://github.com/opensourceBIM/BIMsurfer
Bim Vision	Visualizador de modelos	BIMvision free IFC model viewer - BIMvision
Bim x	Automação Archicad	https://graphisoft.com/br/solucoes/bimx
Bricscad	Projeto Arquitetônico	https://www.bricsys.com/briscad-bim
Cypecad	Projeto Arquitetônico e Instalações	http://www.cype.com/
DP Designer	Projeto Arquitetônico	https://www.digitalproject3d.com/#features
Dynamo	Automação revit	https://www.autodesk.com/products/dynamo-studio/overview
Edificius	Projeto Arquitetônico e Instalações	https://www.accasoft.com/en/3d-building-design-software
Freecad bim	Projeto Arquitetônico	https://www.freecadweb.org/
Tad	Projeto Arquitetônico	TAD: A unique BIM that is for the rest of us (teamtad.com)
Tekla	Projeto de estruturas	https://www.tekla.com/br

Fonte: How 2 Hout (2022) adaptado pelo autor

No Quadro 7 estão organizados todos os softwares citados em pesquisas e anuários do setor da construção civil que cumprem o requisito de desenvolverem projetos de arquitetura e instalações na metodologia BIM, os quais são objeto de avaliação no presente trabalho.

Quadro 7 - Softwares selecionados para análise

Software	Desenvolvedor	Função	BIM
Archicad	Graphisoft	Projeto Arquitetônico e Instalações	Sim
Cypecad	Cype	Projeto Arquitetônico e Instalações	Sim
Edificius	Acca	Projeto Arquitetônico e Instalações	Sim
Open BIM designer	Bentley	Projeto Arquitetônico e Instalações	Sim
Qibuilder	Altoqi	Projeto Arquitetônico e Instalações	Sim
Revit	Autodesk	Projeto Arquitetônico e Instalações	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1 Descrição dos softwares

Cada um dos softwares de desenvolvimento de projeto em BIM tem suas peculiaridades e dispõem de recursos diversos para auxiliar nas atividades de desenvolvimento de projeto. Além disso, alguns desenvolvedores possuem estratégias diferentes de como apresentar sua ferramenta, seja disponibilizando um único software para auxiliar todas as atividades, seja oferecendo vários softwares, cada um com funções específicas para apoiar uma determinada atividade. Alguns pontos fortes e fracos de cada um desses softwares, assim como um breve histórico dos desenvolvedores de software é apresentado a seguir.

4.1.1.1 Archicad – Graphisoft

O Archicad é um software BIM desenvolvido originalmente para projetos arquitetônicos que vem ampliando suas funções através de aplicativos de suporte para aplicações das instalações mecânicas, elétricas e tubulações. A Graphisoft começou a comercializar o Archicad na década de 80 e está sediada em Budapeste, Hungria. Em 2007 foi adquirida pela empresa alemã Nemetschek, que desenvolvia softwares CAD (NEMETSCHEK GROUP, 2022).

O Archicad é conhecido pela sua interface amigável e intuitiva. Possui grandes bibliotecas de objetos e aplicativos de suporte com funções extras para auxiliar no desenvolvimento das outras disciplinas de projeto. Pode ser destacado como ponto fraco do Archicad as limitações em relação a sua capacidade de modelagem paramétrica customizada (SACKS et al., 2021).

4.1.1.2 Cypetherm e Cypecad MEP– Cype

A Cype foi fundada em 1983 na Espanha, e iniciou suas atividades desenvolvendo softwares para realizar análises estruturais. A empresa desenvolve outros softwares para aplicações específicas, no caso de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (CYPE, 2016), dois softwares distintos foram desenvolvidos para atender as demandas dessa disciplina: o Cypecad, para modelagem dos sistemas e o Cypetherm para cálculo de carga térmica do edifício (CYPE, 2022). Como desvantagem pode-se citar a variedade de softwares que apesar de resultar

em softwares mais leves, resultam na necessidade de várias instalações e treinamentos específicos para cada software.

4.1.1.3 Edificius + Termus plus – ACCA

O Edificius é o software da empresa Italiana ACCA Software, fundada em 1989 (ACCA SOFTWARE, 2022a). Trata-se de um software BIM para modelagem de projetos arquitetônicos, interiores, instalações mecânicas, elétricas e tubulações. Além do Edificius, a ACCA possui softwares dedicados aos projetos estruturais, análises energéticas, compatibilização e coordenação. O software voltado à simulação e análise energética da construção é o Termus Plus (ACCA SOFTWARE, 2022b)

Pode-se destacar como vantagens o fato de os softwares serem dedicados a uma atividade específica, é que as suas funções e ferramentas tendem a desempenhar melhor as atividades de projeto. A capacidade de processamento também tende a ser otimizada, uma vez que não haverá funções desnecessárias de outras disciplinas de projeto. Porém a integração entre os softwares pode ser complexa dado o número de formatos de arquivos gerados por cada software.

4.1.1.4 Open Building Designer – Bentley

A Bentley Systems é uma empresa americana fundada em 1984, e é uma das principais fabricantes do mercado da engenharia civil, infraestrutura e indústria. Fornece diversos softwares de modelagem da construção, lidando com quase todas as demandas da indústria da construção civil (SACKS et al., 2021).

A Bentley é conhecida pelo amplo portfólio de soluções atendendo todas as tipologias de empreendimentos e níveis de desenvolvimento. Porém, devido à quantidade de ferramentas e recurso, há uma demanda de mais tempo de treinamento para se tornar proficiente no uso. Como ponto fraco desse software pode-se destacar que os produtos oferecidos são parcialmente integrados, especialmente no que tange a interface com o usuário, o que exige mais tempo de aprendizagem.

O software dedicado à modelagem paramétrica de edificações é o Open Building Designer, que engloba todas as disciplinas de engenharia e arquitetura e realiza outras funções, como revisão dos modelos (BENTLEY, 2020).

4.1.1.5 QiBuilder – AltoQI

A Altoqi é uma empresa fundada no Brasil em 1989, conhecida pelos softwares Eberick para cálculo estrutural e o Qibuilder para instalações (elétrica, hidrossanitário, incêndio etc.) (ALTOQI, 2022b). Trata-se de um produto adequado para o mercado brasileiro, uma vez que utiliza como base as normas brasileiras que estabelecem os parâmetros de dimensionamento em seu algoritmo de projeto.

Como ponto fraco, pode se destacar que o Qibuilder não possui ferramentas dedicadas para apoiar o cálculo de sistemas de AVAC de forma plena, limitando-se a modelagem dos elementos de sistemas do tipo *split* e *Variant Refrigerant Flow* (VRF) e modelagem somente de tubos, faltando a possibilidade de modelar uma rede de dutos e terminais de ar (ALTOQI, 2022a).

4.1.1.6 Revit – Autodesk

O Revit é o software BIM da Autodesk, empresa americana de desenvolvimento de softwares fundada em 1982. O Revit é o software mais conhecido e popular por causa de sua facilidade de uso (SACKS et al., 2021) e dada a capacidade de desenvolver todas as disciplinas de projeto em um único software. Por ter um único formato de arquivo para todas as disciplinas, a colaboração entre diversos projetistas é otimizada, não necessitando conversões de formatos de arquivos.

A Autodesk ainda desenvolve outros softwares que utilizam a metodologia BIM para outras aplicações como revisão de modelos, coordenação e compatibilização, infraestrutura, fabricação etc. (AUTODESK, 2022).

4.2 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS

4.2.1 Atividades do escopo de AVAC

Para se avaliar os softwares de desenvolvimento de projeto em BIM são observadas as atividades contidas no escopo de projetos de engenharia com foco em projetos de sistemas AVAC. Assim, o Manual de Escopo de Projetos e Serviços de Climatização e Ventilação (2019) elaborado pela ASBRAV é usado como referência nesse trabalho. Como apresentado na seção

2.4.2, o manual de escopo divide os serviços contidos em um projeto de AVAC em três categorias: essenciais, específicos e opcionais.

Visando a permitir uma comparação geral dos softwares, nesse trabalho são adotados somente as atividades relativas aos serviços essenciais. Isso se deve ao fato de os projetos de AVAC de uma edificação se caracterizarem pela alta complexidade e muitas especificidades, o que levaria a uma grande variação dos serviços classificados como específicos e opcionais, conforme o tipo de empreendimento. O Quadro 8 apresenta os serviços essenciais descritos pelo manual de escopo de projeto e seus respectivos códigos e etapas de projeto.

Quadro 8 – Serviços Essenciais do projeto de AVAC

FASE A – Concepção do produto	
VAC-A 001	Estudo de implantação do empreendimento
Fase B – Definição do produto	
VAC-B 001	Cálculos de carga térmica e de vazões de ar
VAC-B 002	Definição de compartimentos e espaços técnicos, acesso de equipamentos, estimativas de pesos, consumos de energia e água
VAC-B 003	Dimensionamento de dutos e tubulações principais
FASE C – Identificação das soluções de interfaces	
VAC-C 001	Consolidação dos cálculos anteriores e seleção de equipamentos
VAC-C 002	Definição e layout de casas de máquinas
VAC-C 003	Definição e layout de forros
VAC-C 004	Definição do dimensionamento e caminhamento da rede de dutos e tubulações, em formato unifilar
VAC-C 005	Definição e layout de furações verticais e horizontais
FASE D – Projeto de detalhamento	
VAC-D 001	Detalhamento das instalações em planta
VAC-D 002	Desenho de cortes localizados
VAC-D 003	Detalhamento de casas de máquinas
VAC-D 004	Elaboração de diagramas de alimentação elétrica
VAC-D 005	Elaboração de memoriais descritivos e especificações técnicas
FASE E – Projeto de detalhamento	
VAC-E 001	Apresentação do projeto
VAC-E 002	Esclarecimento de dúvidas

Fonte: ABRAVA (2019). Adaptado pelo autor

Ao se analisar cada etapa e atividade descrita pelo manual de escopo é possível notar que algumas incluem mais de uma atividade de projeto em um mesmo item, como por exemplo o VAC-B 001 - Cálculos de carga térmica e de vazões de ar, ou então o item VAC-B 003 Dimensionamento de dutos e tubulações principais. Nos dois itens exemplificados, as

atividades são distintas, pois envolvem o levantamento de informações e dimensionamentos específicos e, conseqüentemente, exigem recursos distintos do software para se executar ou auxiliar o desenvolvimento da respectiva atividade.

Para uma análise comparativa mais detalhada, os itens do manual de escopo que contemplam mais de uma atividade foram separados em mais de um item por atividade descrita. Ao se fazer essa separação das atividades, os critérios de análise são organizados conforme mostra o Quadro 9, no qual os serviços desagregados são identificados com um “*” após o código.

Quadro 9 – Atividades essenciais do escopo de AVAC

FASE A – Conceção do produto	
VAC-A 001	Estudo de implantação do empreendimento
Fase B – Definição do produto	
VAC-B 001*	Cálculos de carga térmica
VAC-B 001*	Cálculos de vazões de ar
VAC-B 002	Definição de compartimentos e espaços técnicos, acesso de equipamentos, estimativas de pesos, consumos de energia e água
VAC-B 003*	Dimensionamento de dutos principais
VAC-B 003*	Dimensionamento de tubulações principais
FASE C – Identificação das soluções de interfaces	
VAC-C 001*	Consolidação dos cálculos anteriores
VAC-C 001*	Consolidação da seleção de equipamentos
VAC-C 002	Definição e layout de casas de máquinas
VAC-C 003	Definição e layout de forros
VAC-C 004*	Definição do dimensionamento da rede de dutos
VAC-C 004*	Definição do caminhamento da rede de dutos em formato unifilar
VAC-C 004*	Definição do dimensionamento da rede de tubulações
VAC-C 004*	Definição do caminhamento da rede de tubulações em formato unifilar
VAC-C 005	Definição e layout de furações verticais e horizontais
FASE D – Projeto de detalhamento	
VAC-D 001	Detalhamento das instalações em planta
VAC-D 002	Desenho de cortes localizados
VAC-D 003	Detalhamento de casas de máquinas
VAC-D 004	Elaboração de diagramas de alimentação elétrica
VAC-D 005*	Elaboração de memoriais descritivos
VAC-D 005*	Elaboração de memoriais de especificações técnicas
FASE E – Projeto de detalhamento	
VAC-E 001	Apresentação do projeto
VAC-E 002	Esclarecimento de dúvidas

Fonte: ABRAVA (2019). Adaptado pelo autor

Separando as atividades dessa forma, os softwares instalados em suas versões de teste gratuito são testados e, apoiados pela documentação fornecida pelos respectivos desenvolvedores, verificados se conseguem atender ou não cada atividade. No item a seguir são apresentados os resultados da verificação de cada software.

4.2.2 Comparativo entre softwares

Conforme mencionado na seção anterior, os softwares foram disponibilizados e instalados em suas versões de teste gratuito pelos próprios desenvolvedores. Cada uma das atividades essenciais previstas no manual de escopo de AVAC (Quadro 9) foi testada por um projetista de AVAC dentro do ambiente do software para verificação de ferramentas dedicadas para cada função. Com o apoio ao uso dos softwares e suas respectivas ferramentas, também foram utilizados manuais, tutoriais e demais recursos audiovisuais disponibilizados pelos próprios desenvolvedores em suas plataformas de suporte ao usuário para avaliar cada software.

O Quadro 10 apresenta a lista dos softwares por ordem alfabética e, em cada linha, a identificação das atividades previstas no escopo de projeto de AVAC organizados por ordem de execução proposto pelo próprio manual. Para cada software, são identificadas as atividades que esses atendem para fins de comparação.

Todos os softwares cumprem as atividades básicas de projeto que permitem a visualização do projeto da edificação e compreensão de suas características, definição dos espaços técnicos necessários, assim como a incorporação de informações a respeito dos equipamentos e materiais. O cumprimento desses requisitos é previsto, uma vez que todos os softwares avaliados são adequados ao uso no contexto da metodologia BIM.

As atividades de representação do projeto na forma de plantas, cortes, detalhes específicos, organizados em pranchas de projeto, também são atendidas por todos os softwares. Além disso, todos são capazes de gerar uma listagem de quantidades e de especificações dos equipamentos e materiais para uso no memorial de especificações técnicas.

Quadro 10 - Cumprimento das atividades essenciais pelos softwares

		Archicad	Cypecad	Edificius	OBD	QIBuilder	Revit
FASE A – Conceção do produto							
VAC-A 001	Estudo de implantação do empreendimento	x	x	x	x	x	x
Fase B – Definição do produto							
VAC-B 001*	Cálculos de carga térmica	x	x	x	x		x
VAC-B 001*	Cálculos de vazões de ar		x	x	x		x
VAC-B 002	Definição de compartimentos e espaços técnicos, acesso de equipamentos, estimativas de pesos, consumos de energia e água	x	x	x	x	x	x
VAC-B 003*	Dimensionamento de dutos principais	x	x	x	x		x
VAC-B 003*	Dimensionamento de tubulações principais	x	x	x	x		x
FASE C – Identificação das soluções de interfaces							
VAC-C 001*	Consolidação dos cálculos anteriores		x		x		x
VAC-C 001*	Consolidação da seleção de equipamentos	x	x	x	x	x	x
VAC-C 002	Definição e layout de casas de máquinas	x	x	x	x	x	x
VAC-C 003	Definição e layout de forros	x	x	x	x	x	x
VAC-C 004*	Definição do dimensionamento da rede de dutos		x	x	x		x
VAC-C 004*	Definição do caminhamento da rede de dutos em formato unifilar		x	x	x		x
VAC-C 004*	Definição do dimensionamento da rede de tubulações		x	x	x		x
VAC-C 004*	Definição do caminhamento da rede de tubulações em formato unifilar		x	x	x		x
VAC-C 005	Definição e layout de furações verticais e horizontais	x	x	x	x	x	x
FASE D – Projeto de detalhamento							
VAC-D 001	Detalhamento das instalações em planta	x	x	x	x	x	x
VAC-D 002	Desenho de cortes localizados	x	x	x	x	x	x
VAC-D 003	Detalhamento de casas de máquinas	x	x	x	x	x	x
VAC-D 004	Elaboração de diagramas de alimentação elétrica		x		x		
VAC-D 005*	Elaboração de memoriais descritivos					x	
VAC-D 005*	Elaboração de memoriais de especificações técnicas	x	x	x	x	x	x
FASE E – Projeto de detalhamento							
VAC-E 001	Apresentação do projeto	x	x	x	x	x	x
VAC-E 002	Esclarecimento de dúvidas						

Fonte: Elaborado pelo autor

As atividades que envolvem dimensionamento das instalações de AVAC, como cálculo de carga térmica, vazões de ar, dutos e tubulações são atendidas por todos os softwares. Outras atividades que também não são atendidas por nenhum dos softwares analisados, por não

se tratar de um item de projeto, mas de uma atividade inerente ao papel do projetista é a VAC-E-002 - Esclarecimento de dúvidas. Essa atividade consiste no esclarecimento eventual de dúvidas sobre o projeto elaborado e sua utilização após análise do projeto executivo de condicionamento de ar e ventilação mecânica, inclusive esclarecimentos relativos aos memoriais técnicos e demais documentos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, 2019).

Apesar do Quadro 10 possibilitar uma visualização e comparação dos softwares a partir da quantificação no número de atividades essenciais que o software consegue cumprir e auxiliar no desenvolvimento do projeto, as atividades previstas no escopo tem características distintas e os tempos de execução dependem de cada tipo de empreendimento. Dessa forma, outros métodos de análise podem ser empregados a partir das atividades previstas, com o objetivo de se avaliar os softwares. Assim, por exemplo, o uso de critérios estabelecidos com base nas atividades e nas funções dos softwares de projeto podem permitir uma avaliação comparativa dos mesmos, como proposto a seguir.

4.2.3 Definição de critérios de avaliação

Ao se observar as atividades previstas no manual de escopo de projetos de AVAC e as diversas funções contidas nos softwares de projetos é possível categorizar essas atividades segundo quatro grupos de funções/atividades de projeto: visualização, dimensionamento, representação e documentação.

Essas quatro categorias de atividades ou funções disponibilizadas pelos softwares podem ser adotadas como critérios em uma análise multicritério. Assim, o desempenho dos softwares segundo cada grupo é avaliado em função dos recursos e ferramentas disponíveis para a execução das atividades pelos vários softwares e, em seguida a importância de cada grupo para o decisor (projetista) é definida. Essas avaliações podem ser agregadas para comparar o desempenho dos softwares na visão do projetista, tendo em vista o atendimento das atividades previstas no escopo de projeto de AVAC.

Os critérios propostos também são mencionados e descritos pelos desenvolvedores de softwares, a exemplo da Graphisoft ao destacar os recursos do software Archicad: Modelagem, visualização, colaboração e documentação (GRAPHISOFT, 2022).

A aplicação do Método de Saaty, também conhecido como *Analytic Hierarchy Process* (AHP), é usado nesse trabalho para ordenar as alternativas (os softwares) e auxiliar no processo de avaliação dos mesmos.

4.2.3.1 Visualização

A visualização engloba todas as atividades que permitem uma visão do modelo de arquitetura e demais disciplinas de projetos para a correta compreensão do empreendimento. Os softwares que possibilitam uma boa visualização do modelo devem permitir a representação do modelo nas vistas típicas de projetos, como plantas baixas, de forro, cortes, elevações, mas também vistas em três dimensões, perspectivas, vistas isométricas e ortogonais. Além disso devem permitir a navegação entre todos os arquivos de projetos incluídos no modelo, de forma que se possa sobrepor os projetos das disciplinas em camadas, ou atribuir cores à cada disciplina de projeto. Também está sendo considerado o desempenho de cada software em relação à visualização, como interface, organização das informações dos elementos de projeto, recursos de navegação e facilidade na manipulação dos projetos vinculados.

4.2.3.2 Dimensionamento

No grupo de atividades de dimensionamento estão incluídas todas as atividades de desenvolvimento do projeto que envolvam o dimensionamento preliminar ou final do sistema projetado. As atividades de dimensionamento podem ser desenvolvidas com informações levantadas a partir do modelo tridimensional da edificação, ou seja, informações que podem ser obtidas a partir do modelo como dimensões, área, volume, quantidade de ocupantes, uso da edificação, propriedade dos materiais, orientação solar etc. O dimensionamento pode ser feito dentro do ambiente do software de projeto BIM ou com uso de outras ferramentas contidas nesse ambiente, as quais podem importar as informações diretamente do modelo de arquitetura. Há ainda a possibilidade de utilizar softwares próprios para dimensionamento, necessitando a importação das informações resultantes do dimensionamento para dentro do modelo BIM.

4.2.3.3 Representação

As atividades de representação se referem à exibição, como projetados, dos elementos dos sistemas de AVAC, como dutos, tubos, equipamentos mecânicos e terminais de ar. A representação desses componentes deve incluir desde as mais simples, como a representação unifilar dos encaminhamentos de dutos e tubos, até aquelas de todos os componentes em verdadeira grandeza, incluindo isolamentos e acessórios, sempre que houver. Também faz parte

da representação, a inclusão das informações do componente em sua própria instância do modelo tridimensional, de forma que tais informações possam ser recuperadas durante o desenvolvimento do projeto de AVAC, e pelos outros envolvidos, incluindo aqueles das atividades pós projeto.

4.2.3.4 Documentação

As atividades de geração de documentos típicos de projeto como pranchas contendo plantas baixas e de forro, cortes, elevações vistas e detalhamentos, memoriais descritivos, memoriais de cálculo e listas de materiais fazem parte do último grupo de atividades. A documentação deve conter as informações do responsável técnico pelo projeto, os dados do cliente e do empreendimento em questão e deve ser apresentada nos formatos padrão previstos nas normas locais.

4.3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS SOFTWARES USANDO O AHP

Antes da aplicação do AHP para avaliação de desempenho dos softwares de desenvolvimento de projetos em BIM, é importante descrever o decisor, responsável pelos julgamentos do desempenho dos softwares segundo cada critério. Por se tratar de uma demanda específica, convém detalhar a formação e habilitação desse decisor, que atua com desenvolvimento de projetos de AVAC.

4.3.1 Caracterização do decisor

O decisor do presente trabalho se trata do próprio autor que atua como projetista de sistemas de AVAC e possui formação em Técnico em Refrigeração e Ar Condicionado (RAC) pelo Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). Começou a atuar com projetos em 2008, desenvolvendo projetos para escolas, hospitais, residencial e comercial, e desde 2016 utiliza a metodologia BIM no desenvolvimento de projetos e está interessado em escolher um software para atender às atividades previstas no manual de escopo.

O profissional que desenvolve o projeto de climatização deve ser habilitado e qualificado em conhecimentos específicos em Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos, Transferência de Calor e Massa, Máquinas de Fluxo e demais disciplinas específicas de Ar Condicionado (POZZA et al., 2018). No Brasil, os engenheiros mecânicos e técnicos em

refrigeração e ar condicionado são os profissionais habilitados para desenvolver projetos de AVAC. Os engenheiros estão enquadrados na Lei nº 5194 (CONFEA CREA), que informa quais são os profissionais habilitados a projetar, instalar e manter sistemas de climatização, no caso são os engenheiros mecânicos e os que comprovarem conhecimento nas disciplinas específicas citadas no item anterior.

A entidade que regula as atividades dos engenheiros mecânicos é o Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA) em nível federal, e pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) em nível regional.

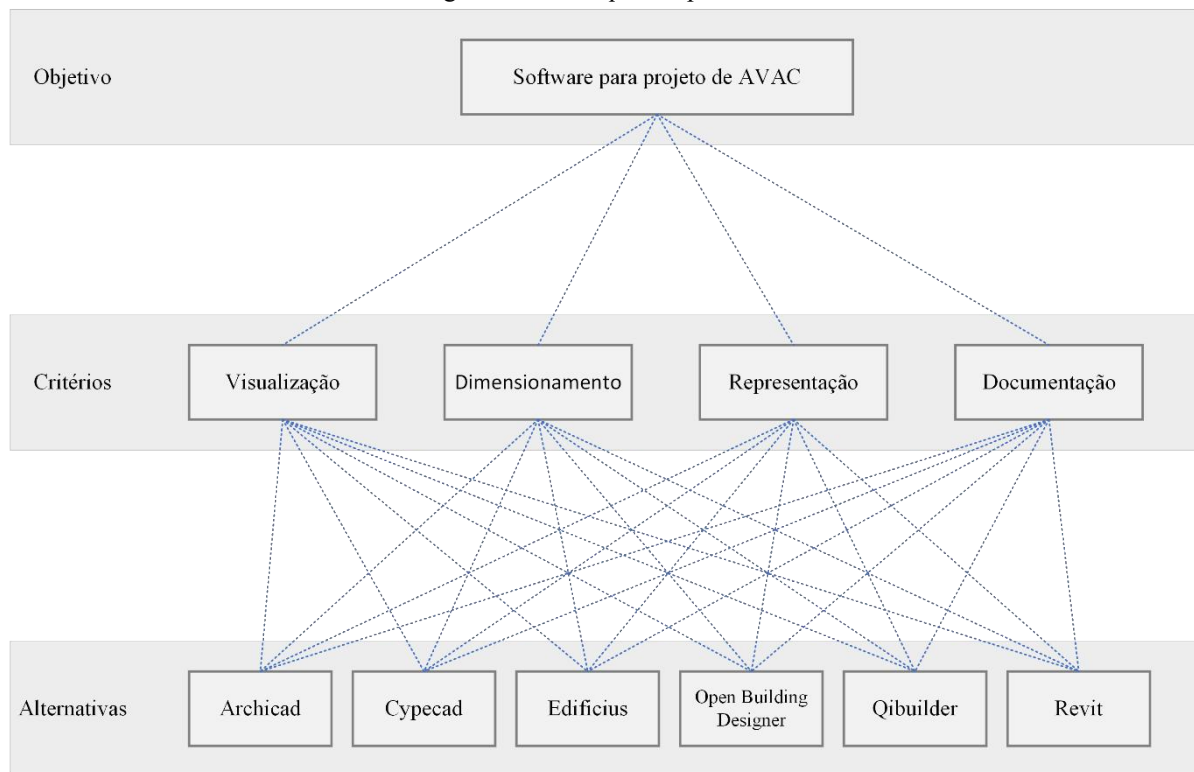
Os técnicos industriais também têm habilitação quando formados em refrigeração e ar condicionado. A entidade reguladora dessa categoria é o Conselho Federal do Técnicos Industriais (CFT), constituída pela Lei nº 13.639.

4.3.2 Modelo hierárquico de decisão

Em um modelo de decisão, após a definição do objetivo do problema, é preciso estruturar o problema de decisão e, nesse caso, é utilizado o método AHP. A estrutura do método identifica o objetivo principal, que ocupa o topo na hierarquia, seguido dos critérios, e subcritérios, quando houver, e na base da estrutura hierárquica estão as alternativas.

Conforme mostra a Figura 9, o objetivo do problema é avaliar os softwares de projetos BIM para o desenvolvimento de projetos de AVAC. No segundo nível da hierarquia estão dispostos os critérios de análise estabelecidos no item 4.2.3, e no último nível as alternativas de escolha, ou seja, os softwares a serem comparados.

Figura 9 - Hierarquia do problema



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.3 Avaliação das alternativas segundo os critérios

As alternativas a serem avaliadas, quais sejam os seis softwares, são avaliados segundo cada um dos quatro critérios. A comparação é feita par a par e utiliza-se uma matriz de comparação. Na avaliação da preferência das alternativas, na comparação par a par segundo cada critério, são atribuídos valores que representam as preferências do decisor, conforme a escala de Saaty apresentada no Quadro 3.

Esse procedimento é aplicado de forma a permitir que todas as alternativas sejam comparadas aos pares considerando os quatro critérios definidos. Conforme mencionado na Seção 4.2.2, os softwares foram testados em suas versões gratuitas para testes e o material didático disponibilizado por cada desenvolvedor foi consultado para apoiar os julgamentos apresentados nas matrizes mostradas nas Tabelas 2, 3, 4 e 5.

Tabela 2 - Matriz de comparação par a par - Visualização

Visualização	Archicad	Cypecad	Edificius	OBD	Qibuilder	Revit
Archicad	1	7	5	3	3	1
Cypecad	1/7	1	1	1/5	1/3	1/5
Edificius	1/5	1	1	1/3	1/3	1/5
OBD	1/3	5	3	1	3	1
Qibuilder	1/3	3	3	1/3	1	1
Revit	1	5	5	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3 - Matriz de preferência - Dimensionamento

Dimensionamento	Archicad	Cypecad	Edificius	OBD	Qibuilder	Revit
Archicad	1	1/3	1/3	1/3	7	1/3
Cypecad	3	1	1	1	7	1
Edificius	3	1	1	1	7	1
OBD	3	1	1	1	7	1
Qibuilder	1/7	1/7	1/7	1/7	1	1/7
Revit	3	1	1	1	7	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4 - Matriz de preferência - Representação

Representação	Archicad	Cypecad	Edificius	OBD	Qibuilder	Revit
Archicad	1	3	3	1	5	1
Cypecad	1/3	1	1	1/3	5	1/3
Edificius	1/3	1	1	1/3	5	1/3
OBD	1	3	3	1	5	1
Qibuilder	1/5	1/5	1/5	1/5	1	1/5
Revit	1	3	3	1	5	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 5 - Matriz de preferência - Documentação

Documentação	Archicad	Cypecad	Edificius	OBD	Qibuilder	Revit
Archicad	1	3	3	1	5	1
Cypecad	1/3	1	1	1	5	1/3
Edificius	1/3	1	1	1/3	5	1/3
OBD	1	1	3	1	5	2
Qibuilder	1/5	1/5	1/5	1/5	1	1/5
Revit	1	3	3	1/2	5	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas Tabelas 6, 7, 8 e 9 são apresentados os vetores prioridade das alternativas de softwares, comparados par a par em relação à cada critério. O vetor de preferência de cada matriz está apresentado na coluna w de cada tabela.

Na Tabela 6 os softwares preferidos sob o critério “visualização” foram o Archicad, Revit e Open Building Designer, os três apresentaram uma interface bastante amigável e

diversos recursos para manipular os vínculos com outros projetos, podendo atribuir cores, e sobreposições de forma fácil e intuitiva.

Tabela 6 - Matriz de preferência normalizada, vetor de preferência visualização

Visualização	Archicad	Cypecad	Edificius	OBD	Qibuilder	Revit	w
Archicad	0,332	0,318	0,278	0,511	0,346	0,227	0,336
Cypecad	0,047	0,045	0,056	0,034	0,038	0,045	0,044
Edificius	0,066	0,045	0,056	0,057	0,038	0,045	0,051
OBD	0,111	0,227	0,167	0,170	0,346	0,227	0,208
Qibuilder	0,111	0,136	0,167	0,057	0,115	0,227	0,136
Revit	0,332	0,227	0,278	0,170	0,115	0,227	0,225

Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando o critério “dimensionamento”, os softwares que apresentaram soluções completas para dimensionamento das vazões de ar, cálculo de carga térmica, dimensionamento de tubulações e dutos de ar demais elementos dos sistemas de AVAC ficaram muito próximos ou até tiveram o mesmo peso. O Qibuilder que não possui recursos para as atividades de dimensionamento dos sistemas de AVAC teve um peso menor.

Tabela 7 - Matriz de preferência normalizada, vetor dimensionamento

Dimensionamento	Archicad	Cypecad	Edificius	OBD	Qibuilder	Revit	w
Archicad	0,076	0,074	0,074	0,074	0,194	0,074	0,095
Cypecad	0,228	0,223	0,223	0,223	0,194	0,223	0,219
Edificius	0,228	0,223	0,223	0,223	0,194	0,223	0,219
OBD	0,228	0,223	0,223	0,223	0,194	0,223	0,219
Qibuilder	0,011	0,032	0,032	0,032	0,028	0,032	0,028
Revit	0,228	0,223	0,223	0,223	0,194	0,223	0,219

Fonte: Elaborado pelo autor

Sob o critério da representação dos componentes do projeto de AVAC os softwares que apareceram como prioritários na escolha foram os que possuíam bibliotecas de famílias mais completas e com recursos para modelagem e criação de novos elementos. Como o mercado da construção civil está se desenvolvendo rapidamente e com o desenvolvimento de novos equipamentos e materiais de construção, as ferramentas de projetos precisam acompanhar e permitir a inclusão de novos elementos. O vetor de preferência apresentado na Tabela 9 mostra três softwares empatados em primeiro lugar, sendo dois deles os softwares mais amplamente utilizados conforme a Figura 6.

Tabela 8 - Matriz de preferência normalizada, vetor de preferência representação

Representação	Archicad	Cypecad	Edificius	OBD	Qibuilder	Revit	w
Archicad	0,259	0,268	0,268	0,259	0,192	0,259	0,251
Cypecad	0,086	0,089	0,089	0,086	0,192	0,086	0,105
Edificius	0,086	0,089	0,089	0,086	0,192	0,086	0,105
OBD	0,259	0,268	0,268	0,259	0,192	0,259	0,251
Qibuilder	0,052	0,018	0,018	0,052	0,038	0,052	0,038
Revit	0,259	0,268	0,268	0,259	0,192	0,259	0,251

Fonte: Elaborado pelo autor

Com relação ao critério documentação, os softwares que desempenharam melhor nos critérios dimensionamento e representação também apareceram como prioritários. Isso se deve à toda informação gerada nos dois critérios anteriores e que o software vai utilizar para gerar as pranchas de projeto. Também foi considerada a facilidade de se criar uma prancha customizada com informações do responsável técnico e criação de pranchas em formatos diferentes do padrão e a geração de pranchas em diferentes extensões como o .pdf e o .dwg.

Tabela 9 - Matriz de preferência normalizada, vetor de preferência documentação

Documentação	Archicad	Cypecad	Edificius	OBD	Qibuilder	Revit	w
Archicad	0,259	0,326	0,268	0,248	0,192	0,205	0,250
Cypecad	0,086	0,109	0,089	0,248	0,192	0,068	0,132
Edificius	0,086	0,109	0,089	0,083	0,192	0,068	0,105
OBD	0,259	0,109	0,268	0,248	0,192	0,411	0,248
Qibuilder	0,052	0,022	0,018	0,050	0,038	0,041	0,037
Revit	0,259	0,326	0,268	0,124	0,192	0,205	0,229

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.4 Definição da importância dos critérios

Além de comparar as alternativas segundo cada critério, é feita a avaliação da importância dos critérios na visão do projetista ou decisor. Ou seja, é preciso definir a importância de cada um dos critérios pelos quais os softwares são avaliados. A matriz de comparação dos critérios par a par é mostrada na Tabela 10.

Tabela 10 - Matriz de preferência - Critérios

Critérios	Visualização	Dimensionamento	Representação	Documentação
Visualização	1	1/3	1/3	1/5
Dimensionamento	3	1	1/3	1/3
Representação	3	3	1	1
Documentação	5	3	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Na Tabela 11 estão apresentados os valores da matriz normalizada dos critérios de escolha dos softwares e o vetor preferência na coluna w. O critério preferido foi a documentação, seguido da representação, dimensionamento e por último a visualização. Entende-se que a documentação foi a preferida por ser a responsável por ocupar grande parte do esforço de projeto no fluxo de trabalho convencional (curva 3) conforme apresentado na Figura 2.

Tabela 11 - Matriz de preferência normalizada, vetor de preferência de critérios

	Visualização	Dimensionamento	Representação	Documentação	w
Visualização	0,083	0,045	0,125	0,079	0,083
Dimensionamento	0,250	0,136	0,125	0,132	0,161
Representação	0,250	0,409	0,375	0,395	0,357
Documentação	0,417	0,409	0,375	0,395	0,399

Fonte: Elaborado pelo autor

A “representação” aparece em segundo lugar, mas com um peso muito próximo do critério “documentação”, a explicação é que por estarmos comparando softwares BIM, a correta representação dos elementos de do projeto e seus atributos, é que permitem a geração de forma automatizada de toda a documentação do projeto. Além disso a correta representação permite a comunicação eficiente entre as outras equipes de projeto envolvidas na empreitada.

O critério dimensionamento apesar de fundamental para o projeto, apareceu em terceiro lugar na preferência dos critérios. Pode-se explicar isso pela existência de muitos softwares externos ao ambiente da metodologia BIM, que cumprem essa função. Porém cabe ao projetista embarcar as informações geradas no dimensionamento dentro do modelo BIM para que se possa utilizar em outras etapas.

Em último lugar no vetor de preferencias, aparece o critério visualização. A explicação é que todos os softwares BIM permitem a visualização do modelo, alguns com uma interface mais amigável, outros exigem menor capacidade de processamento, mas todos cumprem esse requisito de forma plena. Além disso a própria documentação gerada do projeto arquitetônico deve auxiliar as funções de visualização e compreensão do projeto.

4.3.5. Consistência dos julgamentos par a par

Como uma última etapa do método AHP é feita a verificação da consistência dos julgamentos par a par de cada matriz. Para tanto, é calculado o índice de inconsistência (IC) e razão de consistência (RC) conforme apresentado na seção 2.5.3. Os julgamentos são

considerados consistentes quando apresenta valores de CR iguais ou inferiores a 0,10. Caso contrário, o decisor deverá rever os valores atribuídos durante os julgamentos par a par. O resumo dos índices de inconsistência, consistência relativa e razão de consistência de cada matriz está apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Índice aleatório, índice de consistência e consistência relativa

	RI	IC	RC
Matriz - Critérios	0,580	0,039	0,043
Matriz - Visualização	1,240	0,052	0,042
Matriz - Dimensionamento	1,240	0,029	0,023
Matriz - Representação	1,240	0,043	0,034
Matriz - Documentação	1,240	0,075	0,061

Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se verificar que todas as matrizes apresentaram consistência na atribuição dos pesos nas comparações par a par nos comparativos das alternativas e dos critérios de seleção por apresentarem valores da razão de consistência (RC) menor do que 0,10.

4.3.5 Classificação dos softwares segundo o modelo hierárquico

Após obtidos os vetores prioridades das alternativas segundo cada critério (Tabela 13), assim como o vetor prioridade dos critérios (Tabela 14), é possível fazer a agregação das avaliações das alternativas e obter uma classificação das alternativas, ou os softwares, segundo as preferências do decisor.

Tabela 13 - Matriz prioridades alternativas

	Visualização	Dimensionamento	Representação	Documentação
Archicad	0,336	0,095	0,251	0,250
Cypecad	0,044	0,219	0,105	0,132
Edificius	0,051	0,219	0,105	0,105
OBD	0,208	0,219	0,251	0,248
Qibuilder	0,136	0,028	0,038	0,037
Revit	0,225	0,219	0,251	0,229

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 14 - Vetor prioridade critérios

	w
Visualização	0,083
Dimensionamento	0,161
Representação	0,357
Documentação	0,399

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao multiplicar o vetor prioridade dos critérios com cada elemento da matriz prioridade alternativas, obtém-se a matriz intermediária com os pesos finais de cada alternativa frente à cada critério (Tabela 15). Somando as componentes de cada linha é possível determinar o vetor prioridade final das alternativas (Tabela 16)

Tabela 15 - Matriz intermediária

	Visualização	Dimensionamento	Representação	Documentação
Archicad	0,028	0,015	0,090	0,100
Cypecad	0,004	0,035	0,037	0,053
Edificius	0,004	0,035	0,037	0,042
OBD	0,017	0,035	0,090	0,099
Qibuilder	0,011	0,004	0,014	0,015
Revit	0,019	0,035	0,090	0,091

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme mostrado na Tabela 16 o software com melhor desempenho segundo o modelo adotado é Open Building Designer, seguido do Revit, Archicad, Cypecad, Edificius e Qibuilder. Conforme visto na avaliação par a par, os softwares com melhor desempenho segundo os critérios de dimensionamento, representação e, conseqüentemente, documentação, de fato tiveram melhor avaliação global.

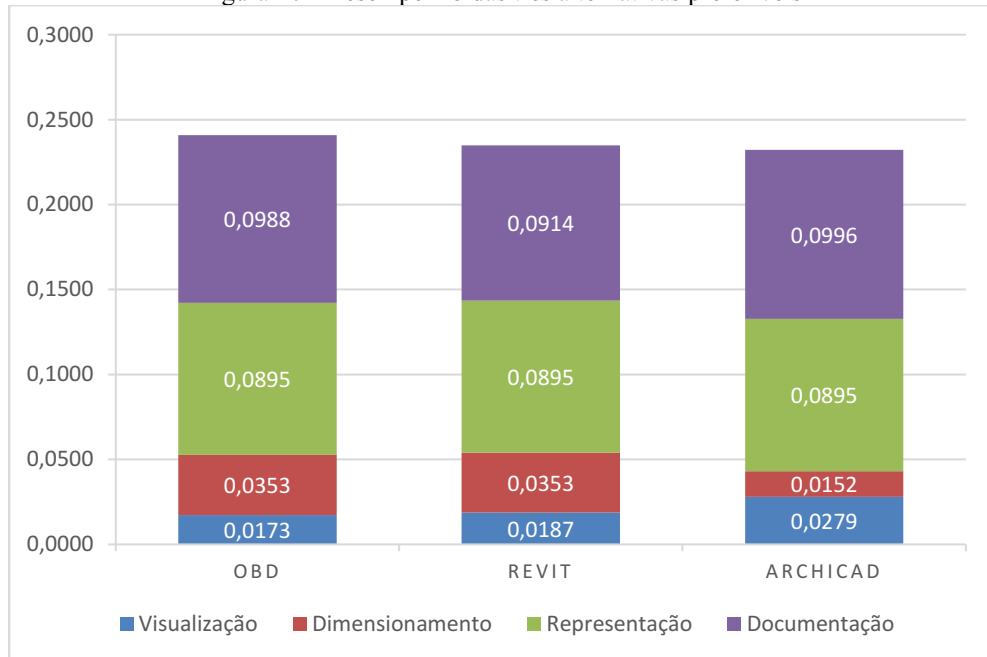
Tabela 16 - Prioridade final das alternativas

Alternativa	Importância relativa
Archicad	0,232
Cypecad	0,129
Edificius	0,119
OBD	0,241
Qibuilder	0,044
Revit	0,235

Fonte: Elaborado pelo autor

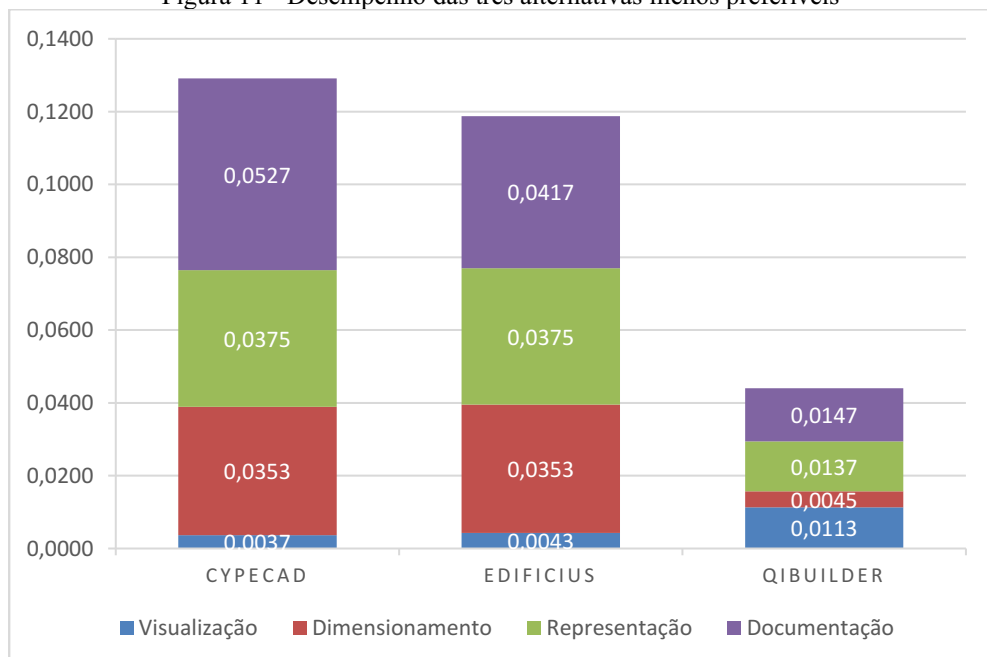
Nas Figuras 10 e 11 foram apresentados de forma gráfica o desempenho das três alternativas preferíveis e as três alternativas menos preferíveis respectivamente. Em cada alternativa estão apresentados os pesos de como cada alternativa desempenhou em relação aos critérios.

Figura 10 - Desempenho das três alternativas preferíveis



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 11 - Desempenho das três alternativas menos preferíveis



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Considerando que o presente trabalho avalia diferentes softwares de projeto em BIM para desenvolvimento de projetos de AVAC, considerando o atendimento desses às atividades previstas no manual de escopo da disciplina em questão, e que essa avaliação utiliza um modelo que contempla aspectos relevantes na visão de um projetista, pode-se afirmar que o modelo proposto se mostra adequado. Além disso, o AHP como ferramenta para avaliar o desempenho dos softwares segundo os critérios definidos permitiu obter uma ordem de preferência que reflete as preferências do decisor, corroborada pela interpretação dos resultados obtidos pode-se considerar os resultados consistentes. Os julgamentos também são considerados consistentes, de acordo com os valores das taxas de consistência obtidos para todas as matrizes de julgamento de comparação par a par.

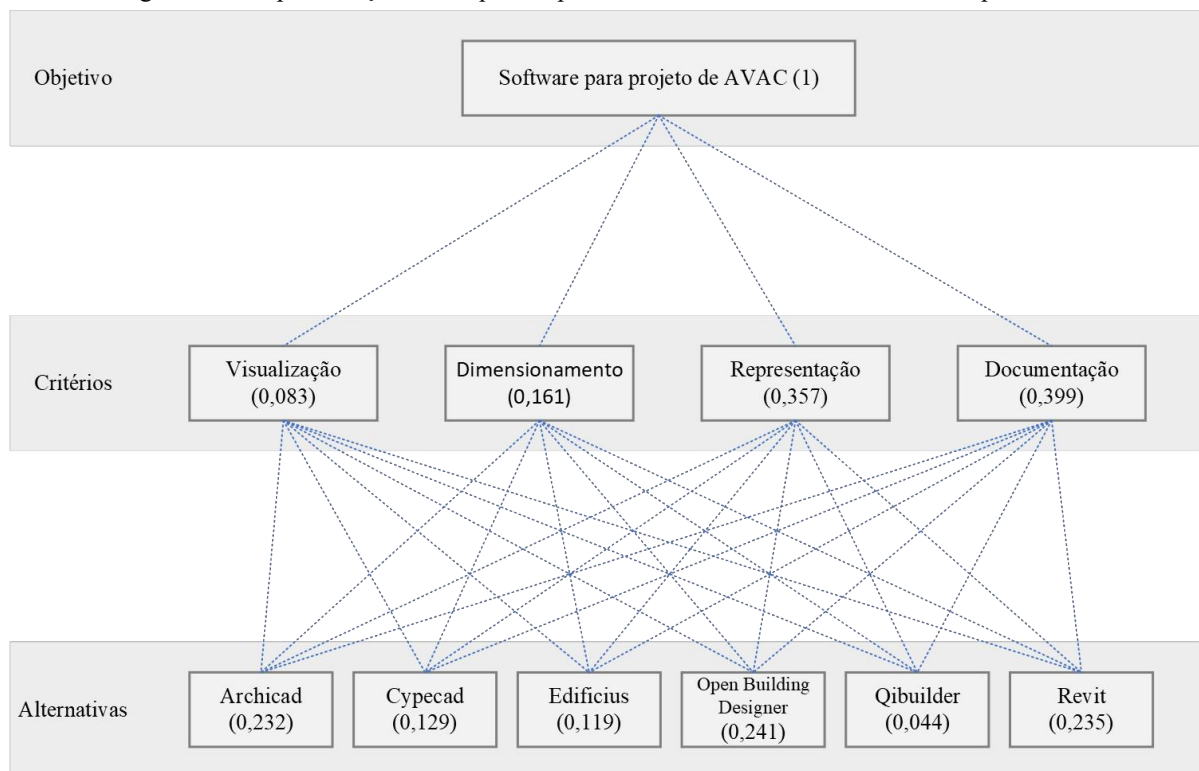
Em relação aos critérios considerados, parece claro que o grande esforço dispendido para a geração dos documentos de projeto – o que inclui todas as plantas, memoriais descritivos e de cálculo, e listas de materiais – torna mais importante o critério “documentação”. Isso reflete a preferência do projetista que os softwares BIM auxiliem na geração da documentação de forma integrada. Vale ressaltar que a geração da documentação, de forma integrada e automatizada, somente se torna possível com a representação dos elementos do projeto – não somente a representação visual dos elementos em si, mas a representação de forma precisa e, em sua verdadeira grandeza em três dimensões, com os vários atributos (peso, capacidade, consumo elétrico e de água etc.). Soma-se a isso, a possibilidade de o representar de forma simplificada, através de esquemas e diagramas unifilares. Portanto, sob esse raciocínio, a representação é indicada como segundo critério mais importante para o projetista de instalações de AVAC.

O terceiro critério de maior importância para o projetista diz respeito a capacidade e recursos disponibilizados no software para o dimensionamento dos sistemas de AVAC, apesar de ser a atividade chave do desenvolvimento do projeto, esse dimensionamento é realizado com uso de outros softwares dedicados a essa atividade ou com o auxílio de planilhas. Cabe ao projetista importar as informações geradas nos dimensionamentos para o modelo BIM para que se possa utilizá-las na geração da documentação e em outras etapas do ciclo de vida da edificação. Alguns softwares são capazes de realizar todas as atividades de dimensionamentos utilizando, inclusive, informações oriundas do modelo arquitetônico (volumes, área de superfícies translúcidas e opacas etc.). No entanto, cabe ao projetista de AVAC auditar as informações obtidas a partir dos demais projetos, para que seja feito um dimensionamento

adequado, isso se deve ao fato nem todas os modelos arquitetônicos serem desenvolvidos de forma precisa em relação ao emprego dos elementos e seus atributos. Portanto, por mais que seja desejável uma ferramenta de dimensionamento integrada ao modelo, as ferramentas disponibilizadas pelos softwares de projetos ainda não estão consolidadas e necessitam de conferência por parte do projetista, gerando outra atividade no desenvolvimento do projeto.

O quarto e último critério aborda os recursos do software relativos à visualização do modelo. Do ponto de vista do projeto de AVAC e leitura e interpretação do empreendimento é uma etapa que demanda pouco esforço intelectual e de tempo do projetista, corroborando com o menor valor do vetor prioridade. A preferência entre os softwares foi dada conforme o desempenho de cada software de representar o modelo, a velocidade do software e apresentação das informações contidas no modelo.

Figura 12 – Representação hierárquica do problema de decisão com os valores de prioridade



Fonte: Elaborado pelo autor

No que se refere às alternativas avaliadas, ou seja, os softwares, os resultados parecem consistentes na visão do projetista com três softwares tendo avaliação semelhante em termos de preferência: Open Building Designer (Bentley), Revit (Autodesk) e Archicad (Graphisoft). Esses três softwares são também os mais populares no contexto global. O Revit é usado por

mais da metade dos mais de 1.000 respondentes que participam de um *survey* anual conduzido pelo NBS no Reino Unido e que inclui profissionais de outros países (NATIONAL BUILDING SPECIFICATION, 2020), sendo o Graphisoft citado por 16% dos respondentes nessa pesquisa.

Os outros três softwares são indicados como menos preferidos principalmente por não ter uma solução de dimensionamento dos sistemas de AVAC, como é o caso do Qibuilder. O Cypecad e Edificius possuem soluções para dimensionamento, mas a interface dos dois softwares não é intuitiva e a geração de documentos possui recursos limitados.

Cabe ressaltar que os resultados aqui apresentados refletem as preferências de um projetista de sistemas de AVAC, ou seja, as funções de valor podem ser diferentes para outro decisor. Além disso, outros critérios podem influenciar a avaliação dos softwares alterando a ordem de preferência aqui apresentada. Como citado na seção 4.1, o custo de aquisição e manutenção, a acessibilidade dos profissionais à empresa, a oferta de serviços de apoio e treinamentos, os requisitos de hardware, a interoperabilidade são exemplos de critérios que podem ser considerados em um modelo de avaliação dos softwares.

5 CONCLUSÃO

O objetivo principal do presente trabalho foi analisar softwares que operem segundo a metodologia *Building Information Modeling* (BIM) para desenvolvimento de projeto da disciplina de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC). Para o cumprimento do objetivo principal foi necessário realizar um levantamento visando a identificação dos principais softwares BIM disponíveis no mercado por meio de consulta a relatórios e anuários de instituições que fomentam o uso do BIM ao redor do mundo.

Dentre os softwares identificados foram selecionados aqueles voltados ao desenvolvimento de projetos de instalações. Muitos softwares BIM citados na literatura em geral desempenham funções relacionadas à compatibilização, coordenação de projeto e obra, simulação etc. os quais estão fora do escopo do presente estudo.

Para analisar os softwares de desenvolvimento de projetos listados, buscou-se basear nas atividades previstas no Manual de Escopo de Projetos e Serviços de Ar Condicionado e Ventilação, elaborado pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA). Os serviços essenciais previstos no manual foram apresentados e observou-se que alguns concentravam mais de uma atividade e com funções diferentes, como exemplo cita-se o item “VAC-C 004 Definição do dimensionamento e caminhamento da rede de dutos e tubulações, em formato unifilar” que concentra diversas atividades de dimensionamento, representação e de elementos diferentes dos sistemas de AVAC. Portanto foi proposta uma separação dessas atividades com o objetivo de categorizar as atividades previstas no escopo do manual.

Com a separação das atividades foi possível visualizar cada item do escopo como uma única atividade, e, sem seguida, foi possível agrupar as atividades por afinidade. Com base nesses agrupamentos quatro critérios foram propostos para comparação dos softwares, os critérios propostos foram: visualização, dimensionamento, representação e documentação. Essa proposição foi feita com o objetivo de mensurar o desempenho do software e sua capacidade de apoiar o projetista no desenvolvimento das atividades previstas no escopo.

Essa separação das atividades se mostra conveniente para a análise dos softwares pois também são funções que o software pode desempenhar em maior ou menor grau, segundo a visão do projetista. Como a forma que o software desempenha determinada função é baseada, de certa forma, em uma avaliação subjetiva, o modelo proposto para a análise desses critérios

foi o *Analytic Hierarchy Process* (AHP). O AHP é uma ferramenta de análise multicritério em que o decisor, através de comparação aos pares das alternativas, atribui pesos às escolhas, e através de um modelo matemático as alternativas são organizadas em um vetor de preferência, onde todas as alternativas são ranqueadas com base nos critérios estabelecidos.

Os softwares analisados foram utilizados em sua versão gratuita para testes e suas funções foram testadas para verificação do cumprimento das atividades e posteriormente atribuição da preferência da comparação aos pares. Foram utilizados os materiais de apoio disponíveis pelos desenvolvedores de cada software, como tutoriais, apostilas e vídeos para dar apoio a avaliação dos softwares.

A ordem de preferência das alternativas informações apresentadas na análise dos resultados reflete a avaliação do decisor e, de fato, os softwares melhor avaliados são aqueles mais amplamente utilizados com maior tempo no mercado (item 4.1.1). Com isso entende-se que o presente trabalho cumpriu com o objetivo proposto, analisando seis softwares de projeto em BIM.

Embora os resultados dessa avaliação não possam ser generalizados pois refletem as preferências do decisor, no caso deste trabalho, o projetista de AVAC, a estrutura de avaliação pode ser usada para analisar outros softwares de projeto de sistemas de AVAC. Além disso, por estar limitado a critérios relacionados ao desenvolvimento das atividades do projetista, uma análise que considere outros critérios pode alterar as preferências do decisor. Assim, sugere-se para trabalhos futuros a construção de um modelo de avaliação de softwares que considere aspectos não constantes no manual de escopo de projetos da disciplina, como custos de aquisição e manutenção, suporte técnico etc.

Outra sugestão é a aplicação do modelo aqui proposto com outros softwares, ou versões mais recentes dos mesmos softwares apresentados, de forma a verificar a evolução das ferramentas de desenvolvimento de projeto em BIM, em um estudo longitudinal. Além disso é possível aplicar com mais de um decisor, e dessa forma verificar a percepção dos usuários em relação à ferramenta.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024**: informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento escrito: apresentação. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

ACCA SOFTWARE. **Quem somos - softwares para arquitetura, orçamento de obras, engenharia e construção**. Disponível em: <<https://www.accasoftware.com/ptb/quem-somos>>. Acesso em: 21 set. 2022a.

_____. **Software de análise e simulação energética da construção - Termus Plus**. Disponível em: <<https://www.accasoftware.com/ptb/software-analise-e-simulacao-energetica-da-construcao>>. Acesso em: 21 out. 2022b.

ALMEIDA, Paulo Pereira de. **Aplicação do Método AHP - Processo Analítico Hierárquico à Seleção de Helicópteros para Apoio Logístico à Exploração e Produção de Petróleo “Offshore”**. 2002. 1–101 f. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

ALTOQI. **Conheça o módulo Climatização do AltoQi Builder**. Disponível em: <<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360057399134-Conhe%C3%A7a-o-m%C3%B3dulo-Climatiza%C3%A7%C3%A3o-do-AltoQi-BUILDER>>. Acesso em: 21 out. 2022a.

_____. **Transformação digital na construção civil - Altoqi**. Disponível em: <<https://www.altoqi.com.br/institucional>>. Acesso em: 20 out. 2022b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA). **Manual de Escopo de Projetos e Serviços de Ar Condicionado e Ventilação**. São Paulo: SECOVI, 2019

AUTODESK. **Produtos Autodesk**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products?page=2>>. Acesso em: 16 nov. 2022.

BENTLEY. **Product Data Sheet - Open Buildings Designer**. [S.l: s.n.], 2020. Disponível em: <<https://www.bentley.com/openbuildings-designer/>>.

BUILDING SMART INTERNATIONAL. **Industry Foundation Classes (IFC)**. Disponível em: <<https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>>. Acesso em: 19 out. 2022a.

_____. **Industry Foundation Classes (IFC)**.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

CYPE. **Grupos de programas CYPETHERM e MEP**. Disponível em: <<http://www.cypetherm.cype.pt/>>. Acesso em: 21 set. 2022.

_____. **Manual do Utilizador - CYPECAD MEP Climatização**. [S.l: s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.topinformatica.pt/>>.

DA SILVA BARROS, Magno; SOUZA MARINS, Cristiano; SOUZA, Daniela de Oliveira. **O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais - Um estudo de caso**. Salvador: [s.n.], out. 2009.

ERNANI FRIES, Carlos. **Teoria da Decisão - Apostila da disciplina EPS7009**. Florianópolis: [s.n.], 2019.

GAO, Hao; KOCH, Christian; WU, Yupeng. Building information modelling based building energy modelling: A review. **Applied Energy**, v. 238, p. 320–343, 15 mar. 2019.

GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Caderno de especificações de projetos em BIM**. [S.l: s.n.], 2018.

GRAPHISOFT. **Archicad 26**. Disponível em: <<https://graphisoft.com/br/solucoes/archicad>>. Acesso em: 19 nov. 2022.

H2S MEDIA. **13 Free Trial & Open source BIM Software List**. Disponível em: <<https://www.how2shout.com/tools/best-free-open-source-bim-software-list.html>>. Acesso em: 9 out. 2022.

L5194. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L5194.htm>. Acesso em: 13 dez. 2022

L13639. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Lei/L13639.htm>. Acesso em: 13 dez. 2022.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: [s.n.], 2003. Disponível em: <www.atlasnet.com.br>.

MCKINSEY & COMPANY. **The MGI Industry Digitization Index The productivity opportunity Reinventing organizations DIGITAL AMERICA: A TALE OF THE HAVES AND HAVE-MORES**. [S.l: s.n.], 2015. Disponível em: <www.mckinsey.com/mgi>.

MELLO, João Marcos Seraphim. **Método AHP para auxílio na formação de carteiras através de indicadores fundamentalistas**. Florianópolis: [s.n.], 2020.

NATIONAL BUILDING SPECIFICATION. **National BIM Report 2020**. [S.l: s.n.], 2020.

NBS ENTERPRISES. **What is Building Information Modelling (BIM)?** Disponível em: <<https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim>>. Acesso em: 21 nov. 2022.

NEMETSCHEK GROUP. **Our story**. Disponível em: <<https://graphisoft.com/why-graphisoft/our-story>>. Acesso em: 21 out. 2022.

PORTAL EA. Desafios na adoção do BIM. p. 1–7, 31 jan. 2019.

POZZA, Fernando et al. **Guia de climatização de ambientes fechados não residenciais**. Porto Alegre: [s.n.], 2018. Disponível em: <www.asbrav.org.br>.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: FEEVALE, 2013. Disponível em: <www.feevale.br/editora>.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)**. 4. ed. Pennsylvania: ANSI, 2008.

RUSCHEL, Regina Coeli; ANDRADE, Max Lira Veras Xavier de; MORAIS, Marcelo de. O ensino de BIM no Brasil: onde estamos? **Ambiente Construído**, v. 13, n. 2, p. 151–165, 2013.

SAATY, Thomas L. **Decision making with the analytic hierarchy process**. **Int. J. Services Sciences**. [S.l.: s.n.], 2008.

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

SACKS, Rafael et al. **Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2021.

SAKA, Abdullahi B.; CHAN, Daniel W.M.; WUNI, Ibrahim Y. Knowledge-based decision support for BIM adoption by small and medium-sized enterprises in developing economies. **Automation in Construction**, v. 141, 1 set. 2022.

SHEN, Jialei et al. A systematic approach to estimating the effectiveness of multi-scale IAQ strategies for reducing the risk of airborne infection of SARS-CoV-2. **Building and Environment**, v. 200, 1 ago. 2021.

SOARES, Adriana et al. **Metodologia da pesquisa científica**. Santa Maria: [s.n.], 2018.

THÓRUS ENGENHARIA. Relatório Cenário Construtivo Brasileiro 2019. p. 1–61, 2019.

_____. Relatório Cenário Construtivo Brasileiro 2020. p. 1–51, 2020.

UNDERWOOD, Jason; ISIKDAG, Umit. **Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies**. [S.l: s.n.], 2009.

UNIVERSITY OF TORONTO. **3rd BIM Report 2020 - A Benchmark of BIM use in Canada**. [S.l: s.n.], 2020.