



**Viviane Barbosa Mendonça**

**Avaliação da segurança do trabalhador em construções de  
edificações na fase de projeto através do uso do BIM**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil do Departamento de  
Engenharia Civil e Ambiental da PUC-Rio.

Orientadora: Profa. Elisa Dominguez Sotelino

Rio de Janeiro,

Setembro de 2022

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Viviane Barbosa Mendonça**

## **Avaliação da segurança do trabalhador em construções de edificações na fase de projeto através do uso do BIM**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

**Profa. Elisa Dominguez Sotelino**

Orientadora

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - PUC-Rio

**Prof. Luiz Fernando Campos Ramos Martha**

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - PUC-Rio

**Prof. Giuseppe Miceli Júnior**

IME

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial deste trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Viviane Barbosa Mendonça**

Graduada em Engenharia Civil, com ênfase em Estruturas, pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro – RJ – em 2020. Principais áreas de interesse: BIM; Prevenção através do Projeto; saúde e segurança ocupacional; métricas de segurança do projeto.

#### Ficha Catalográfica

Mendonça, Viviane Barbosa

Avaliação da segurança do trabalhador em construções de edificações na fase de projeto através do uso do BIM / Viviane Barbosa Mendonça ; orientadora: Elisa Dominguez Sotelino. – 2022.

138 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2022.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil e Ambiental - Teses. 2. BIM. 3. Prevenção através do projeto. 4. Saúde e segurança ocupacional. 5. Métricas de segurança do projeto. I. Sotelino, Elisa Dominguez. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. III. Título.

CDD: 624

## Agradecimentos

À minha família, aos meus pais, Valéria e Aredes, por todo carinho e dedicação. Obrigada por todo o esforço que fizeram ao longo dos anos para eu pudesse sempre ter uma formação de qualidade. À minha irmã Natália e ao meu irmão Weiler por me estimularem a querer sempre dar o meu melhor. À minha tia, Angelita, pelas diversas orações que fizemos juntas ao longo deste ano de 2022. Ao meu companheiro Daniel por estar sempre ao meu lado, me apoiando e me incentivando. Obrigada por ouvir todas as minhas reclamações, por ser paciente e me ajudar sempre a acreditar na minha capacidade de realização, transformando minha insegurança em segurança.

À minha orientadora por me estimular a buscar novos caminhos, novos conhecimentos e a ter uma perspectiva diferente do que é a engenharia e de como ensiná-la. Sem seu empenho constante esta pesquisa não teria o mesmo valor. Agradeço especialmente às reuniões semanais do grupo Rio-BIM, sem as quais esta pesquisa não teria tomado a forma que tomou.

Às amigas que o mestrado me deu: Gabrielle, Nábila e Natália Victória, que compartilharam comigo todos os momentos de dificuldade e de ansiedade ao realizar o curso em meio à pandemia. Com o curso na forma online, além da distância, vieram as inúmeras listas, exercícios, trabalhos, sem contar as provas que demoravam dias ou semanas para serem realizadas. Obrigada às várias horas de estudos que aprendemos umas com as outras pois, com certeza a jornada foi mais leve com vocês.

Aos meus colegas do grupo de pesquisa Rio-BIM, por contribuírem com esta pesquisa, Cristiano, Belarmino, William, Caio, Eduardo. Obrigada pelas dicas, pelos ensinamentos, pelos conselhos, pela troca. Obrigada Cristiano por me incentivar a continuar a pesquisa com tema em segurança. Obrigada Belarmino pelo modelo BIM e contribuições no questionário.

Ao meu supervisor de estágio André Luiz, por confiar na minha capacidade de fazer um mestrado em estruturas, por me explicar MEF ainda na graduação e me incentivar a ingressar no mestrado. Ao meu professor e orientador de graduação Rodolfo, pelo reconhecimento, pela didática, e por me inspirar a ser cada vez melhor como engenheira.

Obrigada a todos os professores da PUC-Rio pelos ensinamentos passados durante um período de incerteza mundial, pela forma como todos se adaptaram rapidamente ao ambiente virtual, mostrando o grande comprometimento com os alunos e com a educação de qualidade. Ao professor Daniel, por me fazer enxergar a disciplina de CA com outros olhos. Ao Marcello, pela paciência, por mostrar a grande alegria que tem por transmitir conhecimento, obrigada pelos ensinamentos. Ao pessoal da secretaria, sempre sanando nossas dúvidas.

Aos professores que participaram da comissão examinadora, professor Luiz Fernando Martha e Giuseppe Miceli Júnior, muito obrigada por terem aceitado o convite e pelas contribuições.

Ao CAPES e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## Resumo

Mendonça, Viviane Barbosa; Sotelino, Elisa Dominguez. **Avaliação da segurança do trabalhador em construções de edificações na fase de projeto através do uso do BIM.** Rio de Janeiro, 2022, 138p. Dissertação de mestrado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A indústria da construção civil tem grande impacto no desenvolvimento econômico e social de um país. Apesar de sua importância, é um dos setores que apresentam mais riscos aos seus trabalhadores. Diversos elementos de projetos de edificações podem apresentar riscos de acidentes aos trabalhadores durante a construção. Desta forma, é de grande importância a análise e planejamento da segurança ainda na fase de projeto, segundo o conceito prevenção através do projeto (*Prevention through Design - PtD*). Mesmo com os estudos nesta área, percebe-se ainda a necessidade de pesquisas voltadas para a análise quantitativa a fim de auxiliar projetistas, sem expertise em segurança do trabalho, no processo de verificação e análise da segurança do projeto, com o objetivo de reduzir riscos de acidentes aos trabalhadores da construção e, conseqüentemente, elaborar projetos mais seguros. Com esta finalidade, foi desenvolvido um questionário para avaliar a experiência e a opinião de profissionais do ramo da construção civil a respeito do planejamento da segurança da construção. Como resultado, pôde-se concluir que a prática atual diverge da opinião dos respondentes, uma vez que a prática enfatiza o planejamento da segurança na fase de construção, enquanto segundo a opinião dos respondentes, este planejamento também deveria ocorrer nas etapas anteriores à construção. Isto mostra a importância da análise da segurança na fase de projeto. Além disso, com o questionário foram mensurados os níveis de riscos de acidentes diversos para compor as métricas de segurança do projeto desenvolvidas nesta pesquisa que foram utilizadas na avaliação da nota de segurança do projeto. Com isso, foi possível definir processos bem estruturados por meio do uso da metodologia BIM, possibilitando apoiar o(a) projetista nos processos de decisão através da avaliação da segurança do projeto e ainda, na identificação dos elementos de projeto mais críticos para a segurança do trabalhador. Desta forma a metodologia desenvolvida contribui para a elaboração de um projeto mais seguro aos trabalhadores da construção de edificações.

## **Palavras-chave**

BIM; Prevenção através do Projeto; Saúde e segurança ocupacional; Métricas de segurança do projeto.

## Abstract

Mendonça, Viviane Barbosa; Sotelino, Elisa Dominguez. **Assesment of worker safety in building constructions in the design phase through BIM.** Rio de Janeiro, 2021. 138p. Dissertação de mestrado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The construction industry generates wealth and jobs, directly impacting the social and economic development of a country. Despite this positive impact, construction workers are exposed to many risks to their health and safety. Many elements in a project can present hazards to workers during the construction phase. With this in mind, it is of great importance to analyze and plan safety in the design phase, according to the Prevention through Design (PtD) concept. Despite the available studies on the subject, there is still a need for quantitative research, to help designers, without expertise in worker's safety, in the process of verification and analysis of project safety, with the purpose that construction workers' risks are reduced by designing a safer design. To achieve that, a questionnaire was developed to assess the experience and opinion of professionals in the construction industry regarding construction safety planning. As a result, it was possible to observe that the practice differs from the opinion of the professionals, once the practice emphasizes safety planning in the construction phase, while in the respondents' opinion, this planning should occur in the phases prior to construction, with emphasis on the executive design phase. This shows the importance of considering a safety analysis in the design phase. In addition, with the questionnaire, the levels of risk of various accidents were measured, composing the safety metrics of the project, developed in this research for the project's safety score evaluation. Thus, it was possible to define well-structured processes through the use of the BIM methodology, making it possible to support the designer in the decision processes through the evaluation of project safety, contributing to the development of a safer project for construction workers.

## Keywords

Building Information Modeling (BIM); Prevention through Design (PtD); Occupational Safety and Health; Project safety metrics.



## Sumário

<b>1 Introdução .....</b>	<b>17</b>
1.1. Motivação .....	17
1.2. Objetivo .....	18
1.3. Metodologia.....	19
1.4. Estrutura da pesquisa .....	20
<b>2 Conceitos básicos .....</b>	<b>21</b>
2.1. BIM .....	21
2.1.1. Definições, benefícios e barreiras.....	21
2.1.2. Modelo BIM .....	23
2.1.3. Processos .....	23
2.2. Segurança do trabalhador na construção .....	26
2.2.1. Importância da segurança do trabalhador na construção.....	26
2.2.2. Prevenção de acidentes através do projeto .....	29
2.2.3. Conquistas e barreiras da PtD.....	32
2.3. BIM e segurança do trabalhador.....	34
<b>3 Revisão sistemática da literatura e análise.....</b>	<b>36</b>
3.1. Metodologia de pesquisa da literatura .....	36
3.1.1. Formulação das perguntas .....	37
3.1.2. Localização dos estudos .....	37
3.1.3. Seleção dos estudos e avaliação .....	39
3.2. Resultados da RSL e conclusões .....	41
3.2.1. Análise quantitativa .....	41
3.2.2. Revisão dos artigos selecionados .....	44
<b>4 Metodologia proposta.....</b>	<b>51</b>

4.1. Fluxograma da estratégia de pesquisa .....	51
4.2. Avaliação da segurança .....	53
4.2.1. Identificação dos elementos PtD .....	53
4.2.2. Tipos de acidentes e avaliação do risco .....	55
4.2.3. Desenvolvimento do questionário .....	60
4.2.4. Análise estatística do questionário .....	63
4.3. Análise quantitativa do projeto .....	65
4.3.1. Indicadores de segurança .....	65
4.3.2. Nota do projeto .....	71
<b>5 Avaliação da metodologia proposta e resultados .....</b>	<b>73</b>
5.1. Análise do questionário .....	73
5.1.1. Análise do perfil dos profissionais .....	74
5.1.2. Análise do risco de acidente .....	78
5.1.3. Análise do planejamento da segurança .....	81
5.2. Mapa de processos proposto .....	86
5.3. Exemplo de aplicação da metodologia proposta .....	92
<b>6 Conclusões .....</b>	<b>98</b>
<b>7 Bibliografia .....</b>	<b>102</b>
Apêndice I – Questionário .....	111
Apêndice II - Gráficos com dados do questionário arquitetos .....	127
Apêndice III – Resultados alfa de Cronbach e K-S teste .....	130
Apêndice IV – Síntese do exemplo de aplicação .....	132

## Lista de Figuras

Figura 1: Exemplificação de mapa de processos.....	25
Figura 2: Linguagem BPMN .....	26
Figura 3: Curva de influência tempo/segurança de Szymberski, 1997 .....	31
Figura 4: Hierarquia de controle dos riscos.....	32
Figura 5: Árvore de palavras das buscas .....	38
Figura 6: Fluxograma do quantitativo de artigos filtrados .....	42
Figura 7: Ano de publicação dos artigos selecionados.....	43
Figura 8: Quantitativo de publicações por revista .....	43
Figura 9: Fluxograma da estratégia de pesquisa.....	52
Figura 10: Matriz de risco 5x5 .....	58
Figura 11: Fluxograma do questionário desenvolvido .....	61
Figura 12: Síntese do número de respondentes obtidos .....	73
Figura 13: Nível de escolaridade dos profissionais .....	74
Figura 14: Curso de formação dos profissionais .....	75
Figura 15: Área de atuação dos respondentes .....	76
Figura 16: Tempo de experiência [a], porte das empresas [b] e altura das edificações [c].....	77
Figura 17: Área de formação vs. Experiência em segurança do trabalho .....	78
Figura 18: Área de atuação vs. Experiência em segurança do trabalho .....	78
Figura 19: Demais riscos de acidentes em construções.....	80
Figura 20: Planejamento da segurança - experiência dos profissionais .....	82
Figura 21: Planejamento da segurança - opinião dos profissionais.....	82
Figura 22: Controle dos riscos - experiência dos profissionais .....	84
Figura 23: Controle dos riscos - opinião dos profissionais .....	84
Figura 24: Processo de decisão - experiência dos profissionais.....	85
Figura 25: Processo de decisão - opinião dos profissionais .....	86
Figura 26: Mapa de processos proposto .....	91
Figura 27: Modelo 3D do edifício exemplo .....	92
Figura 28: Planejamento da segurança - experiência dos arquitetos(as).....	127
Figura 29: Planejamento da segurança - opinião dos arquitetos(as) .....	128
Figura 30: Controle dos riscos - opinião dos profissionais .....	128

Figura 31: Influência na tomada de decisões - experiência dos projetistas.....	129
Figura 32: Influência na tomada de decisões - opinião dos projetistas .....	129
Figura 33: Capa inicial da planilha de cálculo .....	136
Figura 34: Planilha de cálculo de estrutura moldada no local.....	137
Figura 35: Planilha de cálculo de estrutura pré-moldada .....	138

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Variações da PtD .....	29
Tabela 2: Strings definidas na busca dos artigos .....	39
Tabela 3: Critérios de inclusão e exclusão dos artigos .....	40
Tabela 4: Influência dos critérios nos resultados de busca.....	41
Tabela 5: Abreviações das revistas científicas .....	43
Tabela 6: Recomendações PtD .....	54
Tabela 7: Síntese da avaliação.....	55
Tabela 8: Tipos de acidentes avaliados .....	56
Tabela 9: Níveis de gravidade .....	58
Tabela 10: Níveis de frequência .....	59
Tabela 11: Resumo dos níveis de gravidade e frequência.....	64
Tabela 12: Tipos de acidentes avaliados (repetição).....	66
Tabela 13: Síntese da avaliação de estruturas pré-moldadas.....	67
Tabela 14: Síntese da avaliação de estruturas moldadas no local .....	69
Tabela 15: Síntese da avaliação de especificações gerais do projeto .....	70
Tabela 16: Resumo dos níveis de gravidade e frequência (repetição) .....	79
Tabela 17: Resultados do questionário dos riscos de acidentes .....	79
Tabela 18: Descritivo no Revit® para análise quantitativa.....	94
Tabela 19: Comentários adotados.....	95
Tabela 20: Resultados das métricas do exemplo de aplicação .....	95
Tabela 21: Notas de projeto (de 0 a 10) do exemplo de aplicação .....	97
Tabela 22: Influência das modificações na Nota de Segurança do Projeto.....	97
Tabela 23: Resultados do Coeficiente Alfa .....	130
Tabela 24: Resultados coeficiente alfa e K-S teste questões 10 e 11 .....	130
Tabela 25: Resultados coeficiente alfa e K-S teste questões 18 a 23 .....	131
Tabela 26: Amostra dos dados de furos e aberturas .....	132
Tabela 27: Amostra dos dados de janelas.....	133
Tabela 28: Amostra dos dados do guarda-corpo .....	133
Tabela 29: Amostra dos dados de parede .....	133
Tabela 30: Amostra dos dados de escada .....	133
Tabela 31: Amostra dos dados de pilares .....	134

Tabela 32: Amostra dos dados de vigas .....	135
---	-----

## Lista de abreviações

AEAT	Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
BIM	Building Information Modeling
BPMN	Business Process Model Notation
CAD	Computer-Aided Design
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CHPtD	Construction Hazard Prevention through Design
DfCS	Design for Construction Safety
DfS	Design for Safety
EPCs	Equipamentos de Proteção Coletiva
EPIs	Equipamentos de Proteção Individual
HSE	Health and Safety Executive
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDM	Information Delivery Manual
KOM	Kickoff Meeting
K-S	Kolmogorov-Smirnov
ILO	International Labor Organization
LEED	Leadership in Energy Environmental Design
NBIMS	National Building Information Modeling Standard
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NR	Norma Regulamentadora
OIT	Organização Internacional do Trabalho
ONU	Organização da Nações Unidas
OSHA	Occupational Safety & Health Administration
PIB	Produto Interno Bruto
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PSSSP	Software de análise de dados estatísticos
PtD	Prevention through Design
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
USGBC	US Green Building Council
WSHC	Workplace Safety and Health Council

## Lista de símbolos

$\alpha$	Alfa de Cronbach
e	Altura dos espelhos das escadas
L	Comprimento
$\gamma_{SP}$	Contribuição à NSP referente ao sistema estrutural
$\gamma_{EGP}$	Contribuição à NSP referente às especificações gerais do projeto
$F_{Ai}$	Frequência do Acidente i
$GIP_{Ei}$	Grau de Insegurança do Projeto para o Elemento i
$GSP_{Ei}$	Grau de Segurança do Projeto para o Elemento i
$G_{Ai}$	Gravidade do Acidente i
l	Largura das vigas
p	Largura dos pisos das escadas
NIP	Nota de Insegurança do Projeto
NSP	Nota de Segurança do Projeto
N	Número de itens do questionário
P	Peso
$R_{Ei}$	Risco associado ao Elemento i
$R_{Ai}$	Risco do Acidente i
$\sigma_y^2$	Variância do item i
$\sigma_x^2$	Variância total dos itens observados



# 1

## Introdução

Neste capítulo são apresentados resumidamente a motivação para o desenvolvimento desta pesquisa, os principais objetivos que esta pesquisa busca alcançar, a metodologia adotada e desenvolvida, e a estruturação da dissertação.

### 1.1. Motivação

A construção civil tem grande importância mundial, tanto para o desenvolvimento econômico, quanto para o desenvolvimento social de um país. No Brasil, representa considerável parcela do PIB e dos empregos formais (CBIC, 2019), sendo responsável por empregar diretamente 5,86 milhões de trabalhadores no Brasil no ano de 2020, o que representa um total 6,8% da população empregada no país segundo dados obtidos pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua), conduzida pelo IBGE.

Apesar da grande importância da indústria da construção, devido à sua natureza multidisciplinar, em que diversos processos ocorrem ao mesmo tempo (Hire et al., 2021a), os trabalhadores da construção civil estão expostos aos mais diversos riscos de acidentes, sendo que a maioria de suas atividades envolvem um alto risco (CBIC, 2019). No Brasil, dos acidentes relacionados à construção civil, 47,86% são representados pela construção de edificações, segundo dados da RAIS, Relação Anual de Informações Sociais, entre 2014 a 2017 (CBIC, 2019).

Em contrapartida, a indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) vem, aos poucos, se beneficiando da implementação da metodologia BIM (*Building Information Modeling*) que consiste na aplicação de políticas, processos e tecnologias no gerenciamento e compartilhamento das informações do empreendimento, partindo de sua concepção inicial até a utilização final e sua possível demolição, auxiliando no processo de tomada de decisões (Wong & Zhou, 2015; M. Zhang et al., 2013). Desta forma, se faz necessário aproveitar os recursos tecnológicos desenvolvidos nas últimas décadas como aliados para a minimização dos impactos gerados à segurança do trabalhador.

Como o BIM auxilia em todo o ciclo de vida do empreendimento, tem-se utilizado esta metodologia para as mais diversas finalidades, inclusive na gestão dos problemas relacionados à segurança na construção, como na otimização do gerenciamento da segurança, inclusive durante a fase de projeto, e no gerenciamento de riscos (Fargnoli & Lombardi, 2020).

Portanto, vê-se a necessidade da integração dos temas BIM e segurança do trabalhador para a busca de projetos em que haja a redução dos impactos negativos causados ao trabalhador, para que se possa proporcionar um ambiente saudável e seguro não só para os ocupantes finais da edificação, como também para aqueles que a estão construindo.

## **1.2. Objetivo**

Esta pesquisa busca desenvolver uma metodologia com intuito de ajudar a prevenir acidentes aos trabalhadores de construções de edificações ainda na fase de projeto. Este objetivo é alcançado com a eliminação dos riscos ou substituição por riscos menores pautado no uso da metodologia BIM. A partir do modelo BIM elementos de projeto que possam apresentar riscos de acidentes aos trabalhadores são identificados. Pode-se também obter quantitativos desses elementos para auxiliar o processo de decisão dos arquitetos e engenheiros estruturais, ainda na fase de projeto conceitual. Finalmente, a utilização da metodologia BIM permite ainda o estabelecimento de processos bem definidos para o desenvolvimento de projetos mais seguros para o trabalhador.

Assim, os objetivos desta pesquisa são:

1. Identificar de forma objetiva elementos do projeto que trazem riscos à segurança do trabalhador, ainda nas fases iniciais;
2. Criar uma metodologia para auxiliar na identificação dos riscos que um projeto pode apresentar à segurança do trabalhador;
3. Quantificar a segurança do projeto com a utilização de um modelo BIM, auxiliando no processo de decisão dos projetistas quanto às alterações de projeto de forma que este seja mais seguro aos trabalhadores.

Espera-se que esta pesquisa sirva para conscientizar e educar os projetistas quanto aos riscos que os trabalhadores da construção estão expostos devido às características do projeto, e também, auxiliar na fase de concepção do projeto para que o projeto seja realizado pensando na prevenção de riscos aos trabalhadores e seja capaz de reduzir os impactos negativos gerados pela construção, preservando a equipe de obra através de um projeto mais seguro.

### **1.3. Metodologia**

A metodologia proposta por esta pesquisa visa guiar todas as partes envolvidas e interessadas em um determinado projeto de edificação e auxiliar no processo de tomada de decisões, desde a fase inicial, no que se refere a aspectos de segurança do trabalhador. Para isso, é utilizada a metodologia BIM, e como forma de reduzir as barreiras encontradas para sua utilização, é proposto um mapa de processos, cujo objetivo é auxiliar e orientar as equipes sobre como se comunicarem para se obter um projeto de qualidade e valor para o cliente e para a sociedade como um todo.

A partir da revisão de literatura foram identificados os elementos de projeto, arquitetônicos e estruturais, passíveis de causar riscos de acidentes ao trabalhador da construção de uma edificação, com isso, foi possível categorizar estes elementos e traduzir de forma clara para o projetista. Além disso, foram criadas métricas para que se possa avaliar de forma quantitativa a segurança do projeto. Através da análise quantitativa proposta é possível verificar a necessidade de modificações no projeto para se alcançar um projeto mais seguro ao trabalhador da construção.

Estas métricas tiveram a contribuição de dados obtidos através da realização de um questionário com profissionais das áreas de Construção Civil, Engenharia, Arquitetura e Saúde e Segurança do Trabalho. Com a obtenção do risco de diferentes acidentes, através de uma análise semiquantitativa, foi possível atribuir um peso às métricas desenvolvidas na análise quantitativa da segurança do projeto. Ademais, o questionário auxiliou na compreensão de como o planejamento da segurança da construção e a comunicação entre as equipes envolvidas no projeto é praticado atualmente e como deveria ser.

Desta maneira, é possível não apenas avaliar o projeto em si e tomar as decisões de forma mais assertiva, como também auxiliar os profissionais na comunicação inicial entre as equipes e na educação sobre a prevenção através do projeto. Além disso, busca-se tornar os profissionais, principalmente os projetistas, mais conscientes de seu papel na segurança dos trabalhadores da construção.

#### **1.4. Estrutura da pesquisa**

Esta pesquisa está dividida em sete capítulos. No capítulo 2 é apresentada uma revisão dos conceitos envolvendo os temas: BIM e segurança do trabalhador da construção civil, e a correlação entre os dois temas. Nesta revisão são abordados aspectos gerais, como definições, barreiras e benefícios. No capítulo 3 é apresentada a descrição dos passos envolvendo a revisão sistemática da literatura, os pontos-chaves dos artigos analisados, bem como uma análise quantitativa destes estudos. No capítulo 4 a metodologia desenvolvida nesta pesquisa é apresentada em detalhes, com o desenvolvimento do questionário e das métricas utilizadas na avaliação quantitativa. Já o capítulo 5 apresenta os resultados obtidos nesta pesquisa, além da proposta de um mapa de processos, e a aplicação da metodologia proposta em um exemplo de aplicação. No capítulo 6 as principais conclusões desta pesquisa, bem como as sugestões para o desenvolvimento de futuras pesquisas, são apresentadas. Já o último capítulo 7 apresenta toda a bibliografia utilizada no desenvolvimento desta pesquisa.

## 2

### Conceitos básicos

Este capítulo apresenta uma revisão dos dois temas abordados ao longo desta pesquisa: BIM e segurança do trabalhador na construção civil. O objetivo deste capítulo é trazer os conhecimentos fundamentais sobre cada um destes temas e mostrar qual a importância de seu estudo.

#### 2.1. BIM

Neste subcapítulo são mostradas as definições dadas ao BIM por instituições de renome, como ele tem se destacado das ferramentas tradicionais, com um comparativo entre modelos desenvolvidos em CAD e modelos BIM. Também são apresentados os benefícios que a metodologia apresenta, algumas barreiras enfrentadas e como os processos são definidos dentro da metodologia.

##### 2.1.1. Definições, benefícios e barreiras

O BIM é categorizado de três formas pelo documento da *National Building Information Modeling Standard* (NBIMS). Primeiro como um produto ou representação digital dos dados de um empreendimento, cujas ferramentas são utilizadas para reunir informações. Segundo como um processo colaborativo, com automatização de processos e padronização das informações para garantir sua fidelidade. E por último, o BIM é visto como uma ferramenta de gestão do ciclo de vida de um empreendimento através de troca de informações, procedimentos e fluxos de trabalho transparentes (NBIMS, 2007).

À vista disso, o BIM é definido como uma representação digital das características físicas e funcionais de um empreendimento com compartilhamento das suas informações, sendo assim uma fonte confiável (NBIMS, 2007) e sólida para auxiliar no processo de tomada de decisões durante todo o seu ciclo de vida, desde a concepção inicial até a demolição, incentivando a colaboração (Martínez-Aires et al., 2018).

Com isso, o BIM proporciona melhor visualização e avaliação do projeto ainda nas fases iniciais, permitindo assim, projetos mais funcionais, reduzindo a variabilidade frequente nas fases de construção, gerando maior qualidade ao produto final e conseqüentemente, maior valor para o cliente. Além disso, como o BIM concentra todas as informações no modelo, evita-se grande desperdício de retrabalho, de recursos e de pessoal, afetando indiretamente nos três pilares da sustentabilidade (Saieg et al., 2018).

Ademais, o uso da tecnologia BIM possibilita grande controle, gerenciamento e confiança dos processos, contribuindo também para o planejamento e segurança durante a construção (Erusta & Sertyesilisik, 2020). Além disso, durante as fases iniciais dos projetos de construção, é possível utilizar regras de verificação de segurança, para identificar perigos ou riscos específicos, como por exemplo riscos de quedas (Yuan et al., 2019); e guiar a gestão da segurança de acordo com as necessidades do projeto reduzindo os custos e economizando tempo (Yi et al., 2015). Assim, a aplicação do BIM promove uma melhor avaliação do projeto garantindo o melhor desempenho durante a fase de operação, sendo assim, de extrema importância e contribuição para a tomada de decisões nos estágios iniciais do projeto e pré-construção (Solla et al., 2019).

Apesar dos grandes benefícios destacados, a implantação da metodologia BIM e suas tecnologias enfrentam alguns obstáculos. No Brasil, por exemplo, entre as principais dificuldades e barreiras para a adoção do BIM destacam-se: a má interpretação do conceito do BIM como metodologia e processo de trabalho; a falta de profissionais capacitados; a resistência à adoção de novas tecnologias e alterações nos processos de trabalho; além do grande investimento financeiro em treinamento e tecnologia (Arrotéia et al., 2021).

Desta forma, percebe-se a necessidade de se realizar estudos e propor metodologias cada vez mais didáticas, de modo a conscientizar estudantes, educadores e profissionais da indústria AEC da importância e benefícios da utilização da metodologia BIM, bem como servir como fonte de capacitação.

### **2.1.2. Modelo BIM**

Um projeto realizado com a metodologia BIM e suas ferramentas se diferenciam em muitos aspectos de um projeto tradicional, realizado em ferramenta CAD. Conforme comparação realizada por Eastman et al. (2009), o BIM é uma melhoria significativa em relação ao CAD tradicional, pois descreve uma atividade em vez de um objeto.

Diferente dos projetos CAD em que as informações são representadas por meio de linhas, em um modelo BIM, existe a parametrização. Isso é importante, pois fornece a um objeto informações inteligentes, geométricas (largura, comprimento, espessura, volume, etc.) ou não-geométricas, como por exemplo: custo, resistência, o que permite a atualização automática no modelo durante os processos de modificações (Díaz et al., 2017 apud Carmo, 2018).

Um modelo BIM possibilita a realização de outras atividades que envolvem o projeto além do desenho. Por exemplo, através de um modelo é possível obter todas as informações necessárias para realizar a quantificação dos materiais e um orçamento de forma mais precisa. Além disso, permite a interação com outras ferramentas, como é o caso do Excel®. É possível gerar tabelas com as características necessárias e exportar os dados para uma planilha de Excel® para que sejam feitas as análises e cálculos necessários. E o mais importante, à medida que se altera alguma características no modelo, basta atualizar os dados, de forma simples. Assim, evita-se erros que aconteceriam em uma modificação manual, como acontece com modelos CAD, em que diversos arquivos teriam que ser atualizados.

### **2.1.3. Processos**

Diferente das metodologias mais tradicionais, onde a comunicação entre as equipes é escassa e o processo é linear, (M. M. Hossain & Ahmed, 2019), o BIM é um sistema que facilita o compartilhamento e troca de informações entre os participantes do empreendimento durante todo o seu ciclo de vida (Okpala et al., 2020), integrando todas as suas fases. Conforme expresso por Antwi-Afari et al.

(2018), o BIM não é apenas uma representação digital, e sim uma troca de paradigmas no processo de entrega de uma edificação.

Tendo isto em mente, para que a colaboração e troca de informações seja eficiente no BIM, é necessário que haja a integração entre o processo e os dados requeridos pelo BIM (Wu & Issa, 2015), esta função é desempenhada pelo manual de entrega de informações (*IDM - Information Delivery Manual*), ferramenta normalizada pela ISO 29481-1: 2016. De acordo com a BuildingSMART, o IDM deve especificar os processos e onde eles se encaixam, mostrando sua importância; os atores que criam, utilizam e se beneficiam das informações; quais são as informações trocadas e utilizadas; e como estas informações podem ser integradas aos softwares (Wix & Karlshøj, 2010). Este processo traz benefícios como: maior confiabilidade na troca de informações entre os envolvidos no empreendimento; maior qualidade da informação; melhor ambiente para a tomada de decisão e maior eficiência (Wix & Karlshøj, 2010).

Dentre os principais componentes do IDM está o mapa de processos, cuja função é resumida em quatro objetivos (Wix & Karlshøj, 2010):

- definir os limites de informação que estão inclusas em um determinado processo;
- estabelecer de forma lógica quais são as atividades dentro dos processos;
- identificar as trocas necessárias para determinar se uma atividade é necessária;
- permitir que os processos de referência sejam determinados.

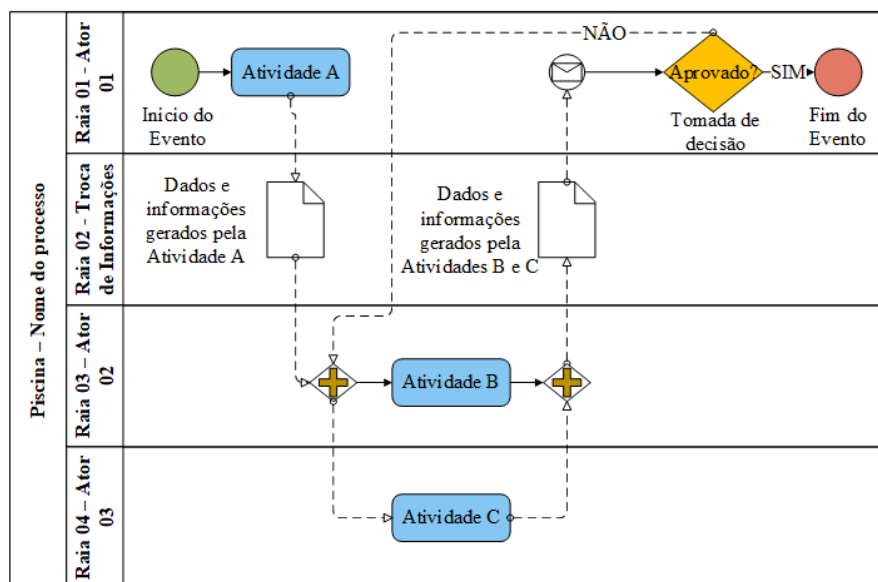
Com esses objetivos, o mapa de processos identifica o início e término de uma atividade mostrando o fluxo de informações trocadas entre as disciplinas e suas equipes, auxiliando na comunicação entre as equipes, de modo que não haja falhas de comunicação e que o processo seja eficiente (Lima, 2021).

Antes da elaboração do mapa, é necessário pensar qual fase da vida do empreendimento deve ser mapeada. A depender da situação, a fase de pré-projeto é mais adequada, em outras, a fase de projeto, ou até mesmo demolição. Tendo isto em vista, a proposta de um mapa deve analisar como os processos são realizados, qual a sua contribuição, quais são os envolvidos em cada fase, bem como suas responsabilidades.



Após estas definições, faz-se a representação do mapa através de técnicas da linguagem BPMN (*Business Process Model Notation*). Esta linguagem é uma representação gráfica e possui quatro elementos principais: os atores, aqueles que realizam os processos, por exemplo: o cliente, a equipe de projetos, um departamento, dentre outros; os processos que são as atividades a serem realizadas; as conexões que descrevem a sequência lógica dos processos, mostrando o fluxo de informação; e os artefatos, utilizados para descrever uma informação adicional. Cada mapa de processo é desenvolvido com pelo menos uma piscina cujo nome identifica o processo. Esta piscina é dividida em raias individuais, onde cada raia mostra os processos e as trocas de informações entre os atores (Wix, 2007). A Figura 1, abaixo, mostra um exemplo de mapa de processos.

Figura 1: Exemplificação de mapa de processos

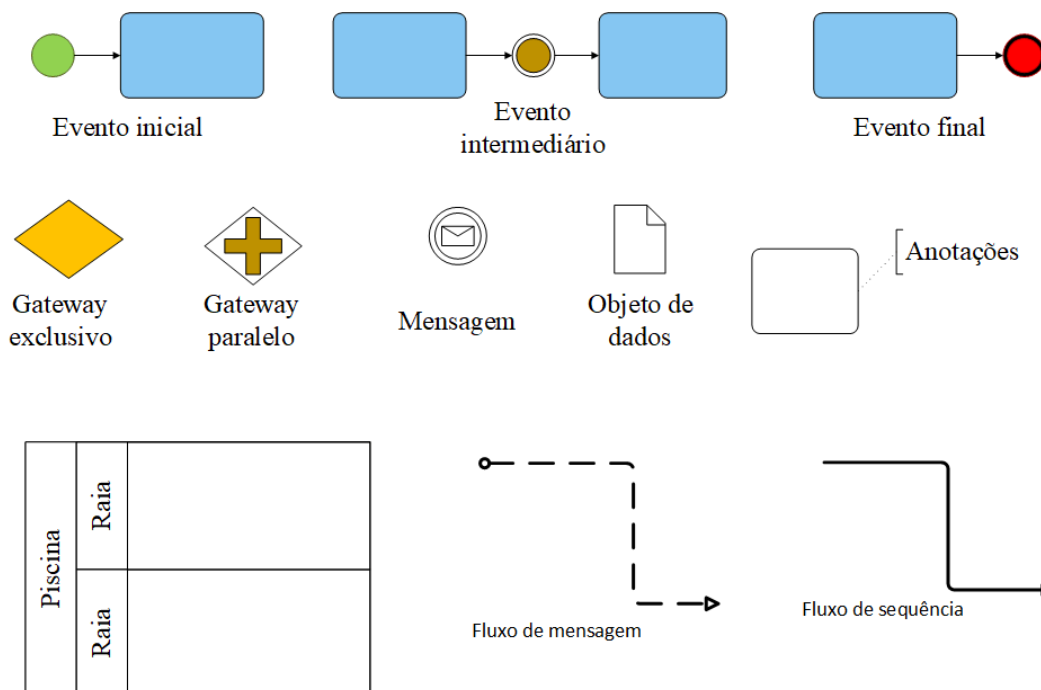


Fonte: Elaborada pela autora

Para a representação do mapa são padronizadas algumas simbologias. De forma simplificada, são descritas as principais simbologias para esta pesquisa. Círculos representam início, fim de um processo ou um evento intermediário; retângulos representam as tarefas; folhas representam os dados e as informações; losangos representam as tomadas de decisões, mostrando a convergência ou divergência de um fluxo, geralmente depende de uma aprovação de algum ator para dar prosseguimento às demais tarefas, como por exemplo a aprovação do cliente; e as setas, onde setas cheias indicam o fluxo de trabalho das tarefas e as tracejadas o fluxo das mensagens. A combinação do losango com um sinal de "+" representam

que todos os caminhos são possíveis ou que os caminhos se juntam para se obter um resultado (Wix, 2007). A linguagem BPMN é mostrada no mapa de processo da Figura 1 e pode ser visto de forma detalhada na Figura 2, abaixo.

Figura 2: Linguagem BPMN



Fonte: Adaptado (Miceli Jr, 2019; Wix, 2007)

## 2.2. Segurança do trabalhador na construção

Nesta subseção é abordada a importância e o impacto da construção civil na economia e no meio ambiente, a saúde e segurança dos trabalhadores e seus impactos, bem como a prevenção através do projeto como forma de mitigação dos riscos, sua importância, conquistas e barreiras para implantação.

### 2.2.1. Importância da segurança do trabalhador na construção

A construção apresenta grande importância social, econômica e ambiental, sendo uma grande fonte de geração de empregos. Em 2019, no Brasil a indústria da construção gerou 288 bilhões de reais em incorporações, obras e/ou serviços da construção e empregou 1,9 milhão de pessoas. O setor da construção está presente principalmente na construção de edifícios, com geração de valor em 127,3 bilhões

de reais e representando 44,2% das atividades do setor, ao mesmo tempo emprega 34,9% dos trabalhadores da construção (IBGE, 2021).

Apesar dessa grande importância, o setor da construção civil é um dos setores com maior risco de acidentes de trabalho. Segundo o Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho (AEAT) de 2017, o setor representou 5,46% (30.025) dos acidentes de trabalho no país, sendo o primeiro setor em número de incapacidade permanente e o segundo no número de mortes, com uma taxa de mortalidade 2,25 vezes a taxa de mortalidade no Brasil, representando 11,76 mortes para cada 100 mil habitantes (ANAMT, 2019)

Esta falta de segurança aos trabalhadores da construção não demonstra apenas a realidade do Brasil. Nos Estados Unidos, a indústria da construção apresenta a maior taxa de acidentes, sendo responsável por 19% das fatalidades ocorridas no setor da indústria no ano de 2016 (Hallowell & Hansen, 2016 apud Yuan et al. 2019).

Este fato não é observado apenas nos países mencionados acima e representa uma tendência da construção civil em todo o mundo. De acordo com a Organização Internacional do Trabalho (OIT) (*International Labor Organization – ILO*) diariamente são registradas 6500 mortes por doenças ocupacionais e 1000 por acidentes do trabalho (Hire et al., 2021a).

Sintetizando estes dados e comprovando mais uma vez a grande quantidade de acidentes envolvendo os trabalhadores da construção, Alizadehsalehi et al. (2020) relatam que os trabalhadores da construção têm uma probabilidade três vezes maior de serem mortos durante o trabalho e duas vezes maior de sofrerem algum tipo de lesão do que em qualquer outro tipo de trabalho.

Tendo isto em mente, a OSHA (*Occupational Safety & Health Administration*) elenca que as quatro principais causas de fatalidade nos canteiros de obras estão associadas aos riscos de queda (Hire et al., 2021a), à movimentação de materiais e objetos, ao contato com eletricidade e também às atividades de escavações (OSHA, 2007). Do total dos acidentes fatais, cerca de 40% são representados por quedas, no Brasil e no mundo (CBIC, 2019). Estas constatações e estatísticas mostram que a segurança na construção representa um grande problema para o setor e para toda a sociedade, havendo sempre a necessidade de pesquisas voltadas para esta área a fim de alterar esta realidade.

As principais causas de acidentes na construção são relatadas em diversas pesquisas como: a falta de informações sobre os riscos à saúde e segurança do trabalho (Widiastuti et al., 2020); a falta de treinamento voltado para a segurança (Smita Bhole, 2016); a negligência por parte das empresas contratadas na gestão da segurança (Hire et al., 2021a); a falta de padronização e sequenciamento dos métodos para a realização das tarefas (Smita Bhole, 2016); e Kanchana et al. (2015) enfatiza que a falta de comunicação entre os setores envolvidos é uma das principais razões de acidentes.

Acidentes e condições precárias de saúde e segurança em uma obra além de apresentarem grandes danos à vida e dignidade do trabalhador, também podem impactar negativamente o empreendimento e a empresa como um todo. Isto se deve ao fato de que as condições de saúde e segurança são vistas como um dos principais parâmetros que afetam a produtividade do trabalho, impactando consequentemente, no tempo, custo e qualidade da construção (Kazaz et al., 2016). Além disso, condições insalubres ou de risco podem afetar o comportamento e entusiasmo dos trabalhadores (J. A. Gambatese et al., 2017), interromper a construção, atrasando o processo e consequentemente o prazo da obra, e ainda impactar negativamente na reputação da empresa (Smita Bhole, 2016), gerar litígios (J. Gambatese & Hinze, 1999; Kanchana et al., 2015), bem como representar elevados custos diretos e indiretos (Smita Bhole, 2016).

O planejamento da segurança antes e durante a fase de construção é essencial para reduzir o número de acidentes na obra, como a realização de treinamentos constantes, o monitoramento e investigação da segurança e a utilização de equipamentos de proteção individuais (EPIs). Porém alguns estudos apontam que o grande número de acidentes e fatalidades em obras podem estar relacionadas ao desenvolvimento do projeto (Behm, 2005; Karakhan & Gambatese, 2017a; Toole & Gambatese, 2008). Logo, se a segurança for pensada desde o início do projeto diversos riscos poderão ser eliminados, o que é representado pela PtD (*Prevention through Design*), sendo defendido por Karakhan & Gambatese como o método mais eficaz e confiável para prevenir lesões, doenças e fatalidades (Karakhan & Gambatese, 2017a, 2017b).

### 2.2.2. Prevenção de acidentes através do projeto

As considerações de segurança durante o projeto e planejamento, a comunicação mais eficiente entre projetistas e construtores, e o planejamento e gestão da segurança durante a construção são de suma importância para o gerenciamento de riscos (Dewlaney et al., 2012). Dentro deste pensamento, surge o conceito da Prevenção através do Projeto (*Prevention through Design* - PtD), onde é definido por Schulte (2008) como “uma prática para antecipar e eliminar do projeto potenciais perigos à saúde e segurança do trabalhador” (Ho et al., 2020).

Ao longo da evolução dos estudos, a PtD ganhou algumas variações como: Projeto para a Segurança (*Design for Safety* - DfS), Projeto para a Construção Segura (*Design for Construction Safety* - DfCS) e Prevenção de Perigos da Construção através do Projeto (*Construction Hazard Prevention through Design* – CHPtD). A abrangência destas nomenclaturas pode ser vista na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Variações da PtD

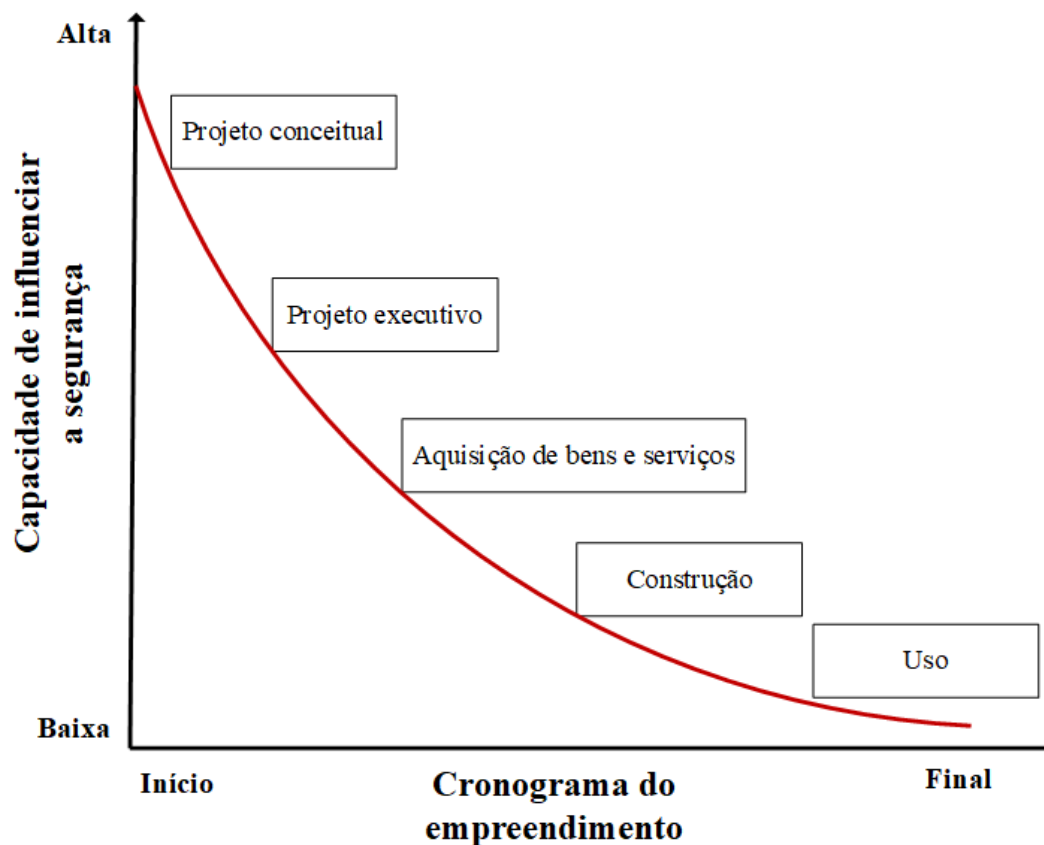
Nomenclatura	Tradução	Objetivos e abrangência
<i>Prevention through Design</i> (PtD)	Prevenção através do Projeto	Redução dos riscos dos projetos de construção através da identificação e mitigação dos riscos durante a fase de projeto (Lee et al. (2020); Tymvio & Gambatese (2016))
<i>Design for Safety</i> (DfS)	Projeto para a Segurança	Redução dos riscos durante todo o ciclo de vida do empreendimento através da redução ou eliminação de riscos e perigos durante a fase de projeto (Lee et al., 2020)
<i>Design for Construction Safety</i> (DfCS)	Projeto para a Segurança da Construção	Redução dos riscos dos projetos de construção durante a fase de projeto, com o objetivo de reduzir os riscos aos trabalhadores da construção (Toole et al., 2006)
<i>Construction Hazard Prevention through Design</i> (CHPtD)	Prevenção de Riscos da Construção através do Projeto	Explícita consideração da segurança do trabalhador durante a fase de projeto. Envolve riscos relacionados a equipamentos, ferramentas, produtos, tecnologias, métodos de trabalho, operações e processos. Inclui todo o ciclo de vida, da construção à demolição. (Hardison & Hallowell, 2019)

A prevenção através do projeto é um processo em que arquitetos e engenheiros, desde a fase de projeto, consideram a segurança dos trabalhadores da construção (Toole & Gambatese, 2014), já que as decisões tomadas durante as fases iniciais de projeto e planejamento influenciam o desempenho de segurança na fase de construção, uma vez que são nestas etapas que os métodos construtivos e elementos permanentes do projeto são definidos (Yuan et al., 2019). Portanto, a eliminação dos perigos inerentes ao projeto pode prevenir acidentes na obra.

A mitigação dos riscos através do projeto foi constada por diversos autores. Haslam et al. (2005) ao analisarem 100 acidentes, afirmaram que mais de 50% poderiam ter sido mitigados através de modificações no projeto. Behm (2005) ao investigar mais de 200 registros de fatalidades em construções constatou que 42% deles estavam ligados ao projeto, sendo possível a redução ou eliminação do risco se a abordagem de projeto para a segurança fosse utilizada. Este estudo foi validado por um painel de especialistas na pesquisa realizada por Gambatese et al. (2008), mostrando, desta forma, a importância da avaliação da segurança ainda na fase de projeto.

Além destes estudos, conforme proposto por Szymberski (1997) através da curva da influência tempo-segurança, o momento ideal para a consideração da segurança é durante as fases conceitual e preliminares de projeto, já que a capacidade de influenciar a segurança cai drasticamente durante as fases seguintes (Behm, 2005), como pode ser visto na Figura 3. À vista disso, é preciso alterar o modo como o planejamento da segurança é realizado, posto que atualmente é um dos aspectos mais subvalorizados, e na maioria dos casos, deixado de lado nos estágios iniciais de projeto (Rodrigues et al., 2021), sendo pensado apenas nas etapas próximas à construção ou já durante a fase de construção, onde a capacidade de influenciar a segurança é reduzida.

Figura 3: Curva de influência tempo/segurança de Szymberski, 1997

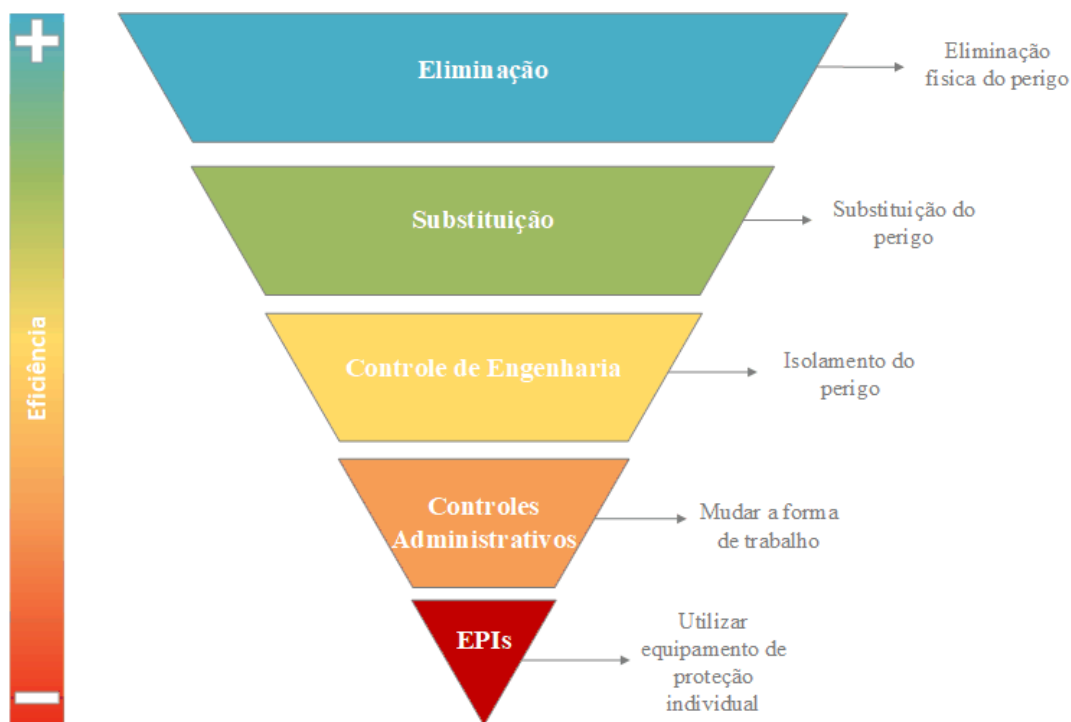


Fonte: Behm (2005), traduzida e adaptada pela autora

A importância do planejamento da segurança nas etapas iniciais do projeto também pode ser relacionada com a capacidade de eliminação ou substituição de um perigo ou risco sendo mais efetiva, segura, confiável e econômica. Conforme mostrado pela hierarquia de controle de riscos, e exemplificado pela Figura 4 abaixo, onde no topo da hierarquia está a eliminação física do risco; seguido pela substituição do perigo, geralmente por um de menor gravidade ou frequência; o controle através de métodos de engenharia pelo isolamento do trabalhador da área de risco, geralmente pela utilização de equipamentos de proteção coletiva (EPCs); por controles administrativos através da mudança na forma de trabalho; e por fim pela utilização de equipamentos de proteção individual (EPIs).

A utilização de um dos métodos mostrados acima não elimina a necessidade do outro, apenas correlacionam com a eficiência apresentada. Deste modo, a hierarquia mostra mais uma vez a importância da prevenção através do projeto, uma vez que representa os níveis do topo da hierarquia (eliminação e substituição).

Figura 4: Hierarquia de controle dos riscos



Fonte: Adaptado (Behm et al., 2018; Jin et al., 2019)

### 2.2.3. Conquistas e barreiras da PtD

A prevenção através do projeto ganhou grande destaque no trabalho de Gambatese (1996), onde o autor elaborou um checklist com “boas práticas” durante a fase de projeto a fim de eliminar ou reduzir os perigos durante a fase de construção. Continuou ganhando destaque com os subsequentes estudos de Gambatese & Hinze (1999), Behm (2005), Dewlaney & Hallowell (2012), S. Zhang, Sulankivi et al. (2015). No Brasil, este tema foi foco de pesquisas de Saurin & Formoso (2008).

Além dos estudos mencionados, este foco na PtD também vem crescendo, cada vez mais, através de organizações como a Administração de Saúde e Segurança do Trabalhador (*Occupational Safety and Health Administration* – OSHA) e o Instituto Nacional de Saúde e Segurança do Trabalhador (*National Institute for Occupational Safety and Health* - NIOSH) dos EUA com a busca constante em aumentar a segurança para os trabalhadores em seus ambientes de trabalho. Outra instituição que também incorporou esta análise de PtD foi o Conselho dos Estados Unidos de Edificações Verdes (*US Green Building Council*



- USGBC), onde desde 2009 incorporou à certificação de sustentabilidade LEED um crédito referente à PtD, onde é avaliada operações e manutenções e a construção desde a fase de pré-projeto (Behm et al., 2017).

Além dos Estados Unidos, Singapura se tornou grande referência com o Conselho WSH (*Workplace Safety and Health Council*), onde instituiu a avaliação de risco na fase de projeto para alguns tipos de empreendimentos. Aliado a este interesse das instituições na avaliação da segurança na fase de projeto, pode-se contar ainda com o avanço das ferramentas tecnológicas e metodologias, como a aplicação do BIM.

Apesar da grande importância na identificação de zonas de risco e do pensamento voltado para a segurança ainda nas fases iniciais do projeto, diversas barreiras são constatadas. Destacam-se: a separação dos projetos de construção dentro do seu ciclo de vida (Yuan et al., 2019); a segurança do trabalhador não ser abordada formalmente pelos projetistas que se concentram apenas no usuário final (Rajendran & Gambatese, 2013), aqueles cujo foco da segurança do projeto é voltado (J. A. Gambatese, 2000); a falta de conhecimento em segurança por parte dos projetistas (M. A. Hossain et al., 2018); a limitação da liberdade de criação dos projetistas em decorrência das ferramentas disponíveis (Jin et al., 2019); a falta de ferramentas automatizadas e eficientes que auxiliem os projetistas com conhecimentos de segurança (Xiaer et al., 2016) e a falta de análises quantitativas que suportem a gestão da segurança (Fagnoli & Lombardi, 2020).

E ainda barreiras como a subjetividade na análise dos elementos de projeto que podem causar riscos ao trabalhador da construção, sem a definição clara dos critérios; sua análise manual, muitas vezes baseados em checklists; e a desproporcionalidade na quantidade de elementos analisados na fase inicial do projeto, em comparação com as fases mais avançadas, onde há mais elementos que podem ser analisados, porém a modificação do projeto se torna mais complexa.

Além destas barreiras, pode-se perceber que algumas delas seriam eliminadas com o uso da metodologia BIM, como: a falta de comunicação e ineficiência na troca de informações; e a falta de colaboração entre os envolvidos no projeto, como clientes, projetistas e construtores (Xiaer et al., 2016).

Apesar dos projetistas não terem obrigatoriedade, nem responsabilidade legal pela segurança dos trabalhadores da construção, Gambatese (2019) alega que uma das etapas para alcançar a segurança através do projeto é através do estabelecimento

de valor, sendo necessário ter responsabilidade ética e moral para considerar a saúde e segurança dos trabalhadores e demais aspectos que compõe o desenvolvimento sustentável. Portanto, há a necessidade de pesquisas que auxiliem na diminuição ou eliminação destas barreiras para a abrangência da PtD, podendo ser aliada ao uso do BIM.

### **2.3. BIM e segurança do trabalhador**

A gestão e planejamento da segurança em canteiros de obras é realizado de forma tradicional através de documento em papel baseada em desenhos 2D. Este tipo de abordagem além de não conter informações completas e precisas sobre os riscos da construção e ser muito dependente de observações e inspeções para a identificação de áreas de risco, ainda é trabalhoso, demorado, e de difícil atualização à medida que o projeto sofre alterações (Alizadehsalehi et al., 2020).

Desta forma, o BIM tem um papel fundamental na gestão e planejamento da segurança. Como descrito por Rebelo et al. (2019), diversos autores mostram como o BIM é benéfico para a implementação da PtD, associando a diminuição das taxas de acidentes à sua aplicação nas fases iniciais do ciclo de vida do projeto. Esta observação é justificada pelo fato de o BIM modificar o processo do projeto, proporcionando uma melhora no projeto, na comunicação e na gestão da construção. Portanto, o uso do BIM na segurança, facilita a identificação dos riscos e sua mitigação precocemente (Zou et al., 2017a).

Além destes pontos, o BIM auxilia no planejamento da segurança, pois é capaz de formar uma fundamentação sólida nos processos de tomadas de decisão ao longo de todo o ciclo de vida dos projetos (Martínez-Aires et al., 2018). Isto se deve, pois facilita o compartilhamento e propagação de informações entre os diferentes atores (Okpala et al., 2020).

Assim sendo, o BIM não só pode auxiliar os projetistas na elaboração de um projeto mais seguro através da identificação e eliminação de riscos, como também guiar construtores e gestores a adotar medidas de prevenção de acidentes antes mesmo da fase de construção, melhorar a comunicação auxiliando no planejamento, gestão e controle de práticas de segurança no ambiente de trabalho. Com base nisso, o uso do BIM e o planejamento da segurança nas fases iniciais do projeto, tornam-

se imprescindíveis, pois nestas fases, os projetistas podem influenciar a segurança da construção através das escolhas realizadas para os projetos (Marefat et al., 2019).

### 3

## Revisão sistemática da literatura e análise

Este capítulo apresenta a metodologia de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) cujo objetivo está na identificação de lacunas do conhecimento nos temas de interesse, de modo a revelar as áreas que necessitam ser estudadas para contribuição. Para o presente estudo, as áreas de interesse abrangem os temas: BIM e segurança do trabalhador na construção civil na fase de projeto. Neste capítulo será realizada uma descrição da metodologia adotada na pesquisa de revisão, a apresentação das perguntas que esta pesquisa pretende responder, a localização, seleção e avaliação dos artigos de estudo, bem como as descobertas obtidas através da RSL.

### 3.1.

#### Metodologia de pesquisa da literatura

Anualmente, uma grande quantidade de pesquisas é publicada sobre os mais diversos temas. Para que haja uma contribuição real da pesquisa é necessário que as lacunas do conhecimento sejam estudadas, permitindo novas abordagens e análises, de modo a reduzir os conflitos entre as pesquisas. Dessa forma, é importante que se adote uma metodologia de pesquisa (Saieg, 2017; Siddaway, 2014).

A revisão da literatura desempenha importantes papéis como: a delimitação da pesquisa; a busca por novas linhas de pesquisa separando o que foi feito do que precisa ser feito; a identificação das principais metodologias e técnicas de pesquisa; e também na fundamentação da teoria (Randolph, 2009), sendo um excelente método para a compreensão detalhada de uma área específica (Vigneshkumar & Salve, 2020). Além dos pontos mencionados acima, Siddaway (2014) sintetiza que uma boa revisão da literatura deve ser capaz de mostrar um ponto de vista ao invés de apenas resumir as pesquisas realizadas, comentar, avaliar ou desenvolver uma teoria, fornecer implicações práticas e mostrar as direções para futuras pesquisas.

Ou seja, a revisão da literatura é um guia para a estruturação da pesquisa, como também deve apontar um direcionamento para futuras pesquisas. Através dela

são descobertos os principais tópicos, conceitos, autores, tendências, lacunas e todas as demais informações relevantes para o desenvolvimento de uma boa pesquisa.

Para que a revisão da literatura seja clara, objetiva, transparente e possa ser replicada, deve-se adotar uma padronização, um sistema (Siddaway, 2014). Assim, adota-se a revisão sistemática da literatura (RSL). Conforme sugerido por Saieg (2017), a RSL é dividida em cinco estágios: (1) formulação de uma ou mais perguntas abrangendo os temas escolhidos de forma a guiar a pesquisa; (2) localização dos artigos através de ferramentas de buscas específicas; (3) seleção e avaliação dos artigos; (4) análise e interpretação; e (5) resultados e descobertas da pesquisa. Vale ressaltar que todo este processo de RSL pode ser cíclico e, inclusive, as perguntas podem ser alteradas à medida que os artigos são analisados.

### **3.1.1. Formulação das perguntas**

A primeira etapa da RSL é a formulação das perguntas, que devem abranger os tópicos em estudo de forma clara a fim de guiar a revisão estruturada da literatura. Para esta pesquisa foi formulada uma pergunta abordando os temas BIM e segurança do trabalhador da construção civil, na fase de projeto.

Questão 1: Como o BIM pode contribuir para reduzir os riscos à segurança dos trabalhadores da construção civil ainda nas fases iniciais do projeto?

Questão 2: Como a segurança do projeto pode ser avaliada?

### **3.1.2. Localização dos estudos**

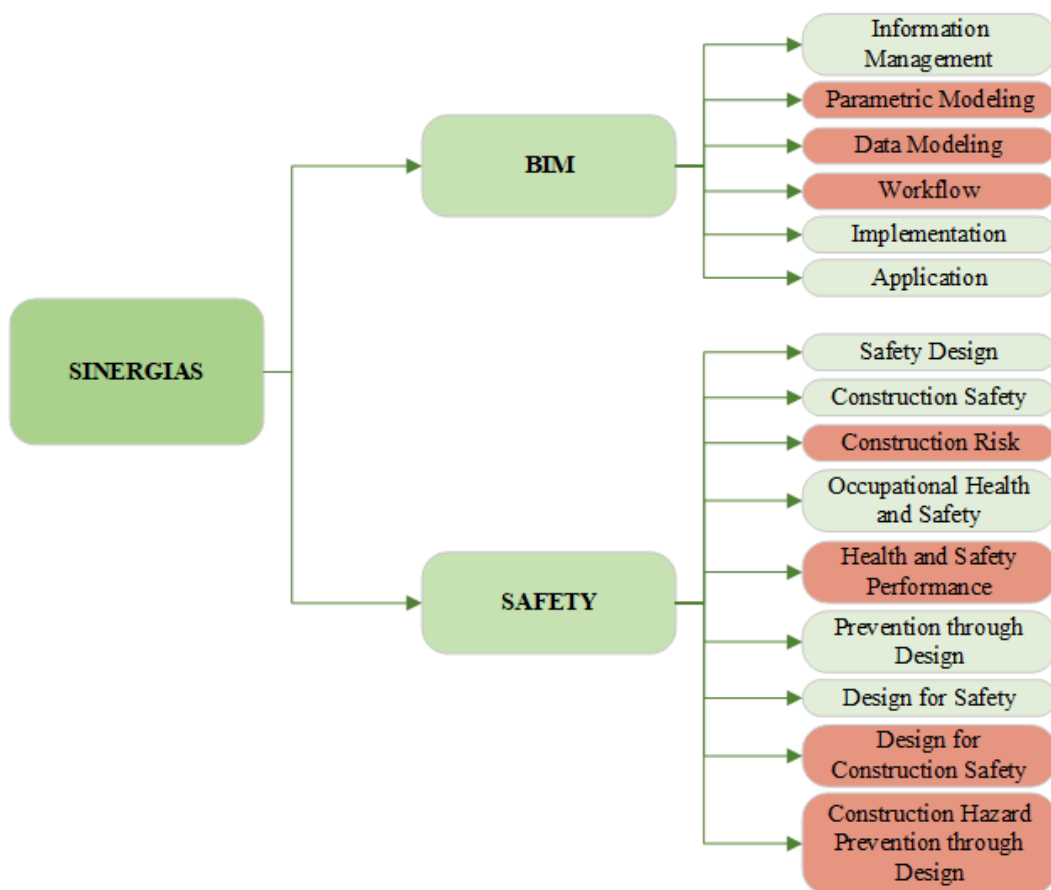
A próxima etapa da RSL é a localização dos estudos. Esta fase consiste na identificação das ferramentas de busca, bem como na seleção dos termos que serão pesquisados. Além dos termos principais que compõem o tema da pesquisa, é importante selecionar termos alternativos (Siddaway, 2014), como sinônimos ou termos que abrangem os temas abordados para alcançar um maior número de estudos.

Os termos desta busca foram analisados cuidadosamente, avaliando palavras-chave de referências conhecidas nas áreas de pesquisa, bem como a verificação de

siglas, como é o caso do termo “BIM”, onde constatou que não havia necessidade em utilizar o termo “Building Information Modeling” ou o termo equivalente adotado no Reino Unido “Building Information Modelling”. E também, percebeu-se que não fez diferença na busca utilizar “safe\*” ao invés de “safety”, por exemplo.

Algumas palavras inicialmente consideradas, mas que não obtiveram resultados quando pesquisas em pares foram descartadas, como é o caso da combinação de “BIM” e “Safety” com os respectivos conjuntos de termos “*parametric modeling*”, “*data modeling*”, “*workflow*” e “*construction risk*”, “*health and safety performance*”, “*construction hazard prevention through design*”, “*design for construction safety*”. Desta forma, as palavras descartadas são mostradas em vermelho na árvore de palavras, enquanto as utilizadas, são mostradas em verde, conforme Figura 5.

Figura 5: Árvore de palavras das buscas



Para esta busca em pares foram utilizados os operadores booleanos “AND” e “OR” para definir as expressões (*strings*) de busca dentro das plataformas de busca, conforme Tabela 2, em inglês e adaptadas para o português. Vale ressaltar que não

foram realizadas buscas dos temas separadamente em decorrência da vasta quantidade de pesquisas.

Tabela 2: Strings definidas na busca dos artigos

Inglês	Safety AND ("Safety Design" OR "Construction Safety" OR "Occupational Health and Safety" OR "Prevention through Design" OR "Design for Safety") AND BIM AND ("Information Management" OR "Implementation" OR "Application")
Português	Segurança AND ("Projeto Seguro" OR "Construção Segura" OR "Saúde e Segurança do Trabalhador" OR "Prevenção através do Projeto" OR "Projeto para a Segurança") AND BIM AND (MIC OR "Gestão da Informação" OR "Implementação" OR "Aplicação")

Para a localização das pesquisas é necessário utilizar ferramentas de busca confiáveis. Inicialmente, para esta pesquisa foram utilizadas as plataformas Scopus (scopus.com), Engineering Village (engineeringvillage.com) e Web of Science (webofscience.com). Durante o processo de seleção dos artigos referentes aos termos BIM e Segurança, percebeu-se que a ferramenta de busca Scopus continha todos os artigos presentes no Engineering Village e mais alguns. A fim de evitar um grande número de artigos duplicados, optou-se por adotar apenas as plataformas Scopus e Web of Science.

Também foram utilizadas as plataformas do Google Scholar (scholar.google.com) e do CAPES Periódicos (periodicos-capes.gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br) apenas para ter acesso aos artigos encontrados nas buscas, já que o sistema de filtros destas duas plataformas se difere muito das demais.

### 3.1.3. Seleção dos estudos e avaliação

De acordo com Butler & Visser (2006) apud Vigneshkumar & Salve (2020) os artigos de conferência não apresentam tanta informação quanto os artigos publicados em periódicos, e ainda Saunders et al. (2008) apud Secondo (2020) afirmam que os artigos de periódicos são as fontes mais utilizadas e confiáveis, sendo assim, nesta revisão considera-se apenas os artigos de periódicos. Inicialmente, o ano para a pesquisa foi limitado de 2015 a julho de 2021 de modo a

abraner a grande maioria de artigos publicados relacionando os temas BIM e segurança. Porém, após a aplicação das demais restrições, percebeu-se que haviam apenas dois artigos publicados nos períodos anteriores, um em 2011 e outro em 2013, deste modo, optou-se por analisar todos os artigos publicados até julho de 2021. Além disso, na busca dos termos utilizados foi considerada apenas títulos, palavras-chave e resumos.

Para filtrar a quantidade de artigos foram utilizados outros critérios de inclusão e exclusão. Estes critérios foram selecionados de forma a serem objetivos, claros, consistentes, explícitos e detalhados o suficiente de forma que fossem imparciais e que possam ser replicados por outro pesquisador (Randolph, 2009; Saieg, 2017; Siddaway, 2014). Todos os critérios de inclusão e exclusão adotados nesta pesquisa são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: Critérios de inclusão e exclusão dos artigos

Avaliações	Inclusão	Exclusão
Tipo de publicação	Artigos de periódicos	Todos os outros (artigos de conferência, etc.) Artigos indisponíveis
Período de publicação	Até julho de 2021	Artigos publicados após julho de 2021
Idiomas	Inglês e Português	Todos os outros idiomas
Área	Indústria AEC	Outras áreas (medicina, ambiental, etc.)
Filtro Scopus	<i>Engineering</i>	Demais filtros
Filtro Web of Science	<i>Engineering Civil, Construction Building Technology</i>	Demais filtros

Primeiramente, foi feita uma pré-seleção dos artigos com base na leitura dos títulos e resumos de cada artigo encontrado nas buscas, esta etapa teve o objetivo de filtrar apenas os artigos que abrangem a temática proposta. Para a filtragem dos artigos que abrangem a temática, foram definidos alguns critérios de aceite e eliminação dos artigos. Com relação à segurança, foram eliminados aqueles que não tinham o foco no trabalhador, citando-se como exemplo os artigos que abordavam o planejamento contra incêndios e a estabilidade e segurança física da edificação. Também foram eliminados artigos que não abordavam a segurança aplicada a construção de edificações, como foi o caso de artigos com ênfase em túneis, ambientes confinados, metrô, infraestrutura e geotecnia. E ainda, aqueles



artigos que abordavam o tema BIM e segurança do trabalhador de maneira superficial e artigos nos quais a segurança não abordava a fase de projeto ou pré-construção.

Em seguida, foi feita uma leitura da metodologia e conclusões dos artigos remanescentes, filtrando ainda mais os artigos por relevância para a pesquisa. Geralmente, a necessidade desta análise é característica de artigos que não deixam claro no título e no resumo se o conteúdo tem relação direta com o tema de estudo ou se é tratado apenas de forma secundária, exigindo uma leitura das demais partes do artigo. E finalmente, foi realizada uma leitura cuidadosa dos artigos selecionados na etapa anterior de modo a absorver todas as informações necessárias para uma revisão minuciosa da literatura.

### 3.2.

#### Resultados da RSL e conclusões

Nesta seção, é feita uma análise quantitativa dos resultados encontrados e também uma análise descritiva dos 24 artigos selecionados para a RSL segundo os critérios apresentados anteriormente. Para cada artigo selecionado são apresentados os objetivos da pesquisa, o que foi proposto, bem como os resultados obtidos. Além deste breve resumo, pretende-se mostrar as tendências abordadas nas pesquisas e sugestões para futuras pesquisas.

#### 3.2.1.

##### Análise quantitativa

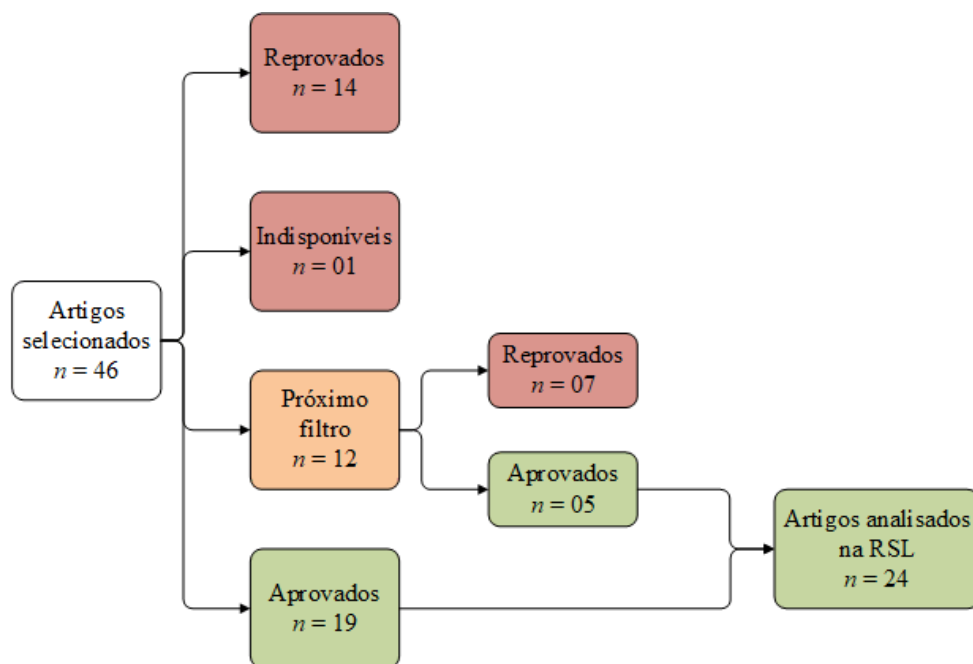
Com a aplicação dos critérios definidos na Tabela 3 foi possível reduzir significativamente o número de artigos a serem analisados e consequentemente, direcionar melhor a pesquisa para o tema de análise, conforme mostrado na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4: Influência dos critérios nos resultados de busca

Site de busca	Artigos sem restrição até julho de 2021	Com restrição: Artigo de periódico e idioma	Com restrição de área (filtro)
Scopus	117	48	37
Web of Science	67	54	22

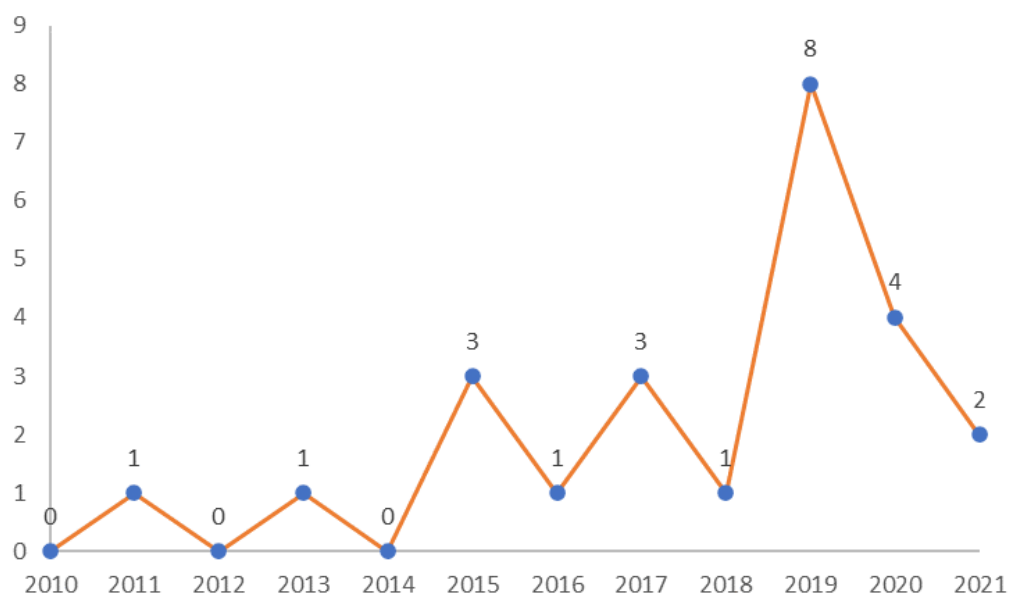
Além disso, percebeu-se que dos 22 artigos resultantes da busca realizada no site Web of Science, apenas 09 não apareciam nos resultados do site Scopus. Com a eliminação dos artigos duplicados, restaram 46 artigos para serem analisados segundo o processo de seleção de artigos proposto por Saieg et al. (2018). Como resultado, a filtragem dos artigos encontrados nos sites de busca Scopus e Web of Science, obteve-se como resultado a seleção de 24 artigos, conforme pode ser visto no fluxograma da Figura 6, onde  $n$  representa o número de artigos avaliados ou categorizados em cada etapa.

Figura 6: Fluxograma do quantitativo de artigos filtrados



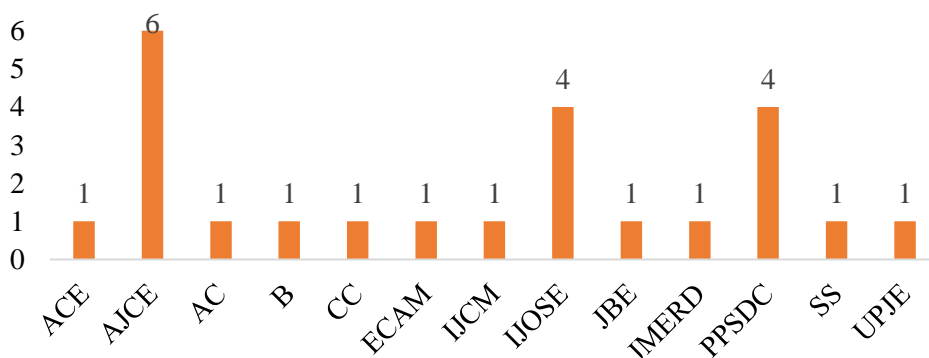
Analisando-se os 24 artigos de forma quantitativa, pode-se perceber através da Figura 7 que as publicações ocorreram majoritariamente no ano de 2019, com um total de 8 artigos publicados, sendo que em 2011, 2013, 2016 e 2018 apenas 01 artigo foi selecionado. Apesar do número baixo para 2021, vale lembrar que o levantamento dos artigos ocorreu até julho de 2021.

Figura 7: Ano de publicação dos artigos selecionados



Analisando-se os jornais de publicação, a revista *Safety Science* ganha destaque com seis publicações, seguida pela *Automation in Construction* e *Engineering, Construction and Architectural Management* com quatro publicações cada uma. As demais publicações foram em revistas diversas, conforme Figura 8.

Figura 8: Quantitativo de publicações por revista



Do gráfico mostrado na Figura 8 acima, tem-se a seguinte correspondência para as abreviações das revistas científicas, conforme Tabela 5.

Tabela 5: Abreviações das revistas científicas

Abreviações	Revistas
ACE	Advances in Civil Engineering
AJCE	Asian Journal of Civil Engineering
AC	Automation in Construction
B	Buildings
CC	Construction Innovation

ECAM	Engineering, Construction and Architectural Management
IJCM	International Journal of Construction Management
IJOSE	International Journal of Occupational Safety and Ergonomics
JBE	Journal of Building Engineering
JMERD	Journal of Mechanical Engineering Research and Developments
PPSDC	Practice Periodical on Structural Design and Construction
SS	Safety Science
UPJE	U.Porto Journal of Engineering

---

### 3.2.2. Revisão dos artigos selecionados

Nesta análise são observados os objetivos da pesquisa, a proposta apresentada, bem como os resultados obtidos. Além deste breve resumo, pretende-se mostrar as tendências abordadas nas pesquisas e sugestões para futuras pesquisas.

S. Zhang et al. (2013) e S. Zhang, Sulankivi, et al. (2015) utilizaram o BIM ainda na fase de planejamento para a identificação de possíveis riscos de queda na etapa de construção e sua prevenção. Este processo foi desenvolvido através da integração do modelo 3D com o cronograma (BIM 4D) e um sistema de regras e práticas de segurança para checagem automática, de forma a identificar e mitigar os riscos de queda através da utilização de sistemas de proteção, à medida que a construção evoluía. Além disso, S. Zhang, Sulankivi, et al. (2015) constataram que a checagem de zonas de risco de queda e aplicação de barreiras de forma automática, apesar de apresentar menos detalhes, é a mais recomendada devido ao menor tempo, ao pouco conhecimento necessário, e à facilidade em modificações quando comparadas com a aplicação manual. Uma das expectativas dos autores foi que esta avaliação se torne uma boa prática no planejamento da segurança.

Com o mesmo objetivo de reduzir os riscos de quedas, principal tipo de acidente que ocasionam a morte dos trabalhadores das construções de Bangladesh, Hossain & Ahmed (2019) implementaram uma verificação automática de segurança baseada em regras com a utilização de normas da OSHA e melhores práticas da construção, avaliando a segurança na fase de pré-construção. A checagem das regras de segurança, em geral desempenhada pelos projetistas, foi realizada através de um modelo em formato IFC importado para o *software* Solibri onde a verificação foi efetuada. Esta análise possibilitou identificar a necessidade de instalação de

guarda-corpos nas regiões de bordas e furos para que se alcance a segurança do trabalhador. Este tipo de pesquisa mostra que a segurança não precisa ser pensada apenas quando a construção está prestes a iniciar ou durante a construção. Ela pode ser pensada, estudada, planejada, ainda na fase de projeto de modo a minimizar os riscos aos quais os trabalhadores da construção estão diariamente expostos.

Yi et al. (2015) focaram no estudo do planejamento da construção na fase de projeto através da integração do modelo BIM (3D) com o cronograma, realizando uma simulação 4D voltada para o uso de guindastes no canteiro de obras. Esta análise permitiu otimizar os elementos do projeto, ao mesmo tempo que serviu como base e guia para a gestão da segurança durante a construção, onde identificou-se áreas perigosas e de possíveis colisões, possibilitando a comparação e otimização de diferentes configurações de construção para a escolha da configuração mais segura. Já Rebelo et al. (2019) realizaram uma revisão da literatura sobre o uso do BIM para a prevenção de riscos de quedas de andaimes. Como conclusão destacaram a importância do BIM na prevenção de acidentes através do projeto, bem como a aplicação do BIM na melhoria da comunicação entre as equipes, principalmente na gestão da segurança, percebida como uma das maiores falhas de comunicação ao longo do projeto.

S. Zhang, Boukamp, et al. (2015) desenvolveram estudo para a análise dos perigos do trabalho<sup>1</sup> nas construções com objetivo de organizar, armazenar e reutilizar o conhecimento da segurança na construção para a identificação dos perigos na etapa de projeto. Para tal fim, realizaram entrevista com especialistas e propuseram um aplicativo protótipo através da integração de três modelos ontológicos: os elementos que compõem a edificação (vigas, pilares, lajes, paredes, telhados, etc); o cronograma da obra com os seus recursos (equipamentos, mão de obra, materiais); e o conhecimento de segurança (normas, riscos potenciais, recomendações de mitigação e também os recursos destinados à construção). Assim, foi possível a identificação automática dos riscos associados ao trabalho de construção e a visualização no modelo BIM, ao reunir conhecimentos de segurança com o planejamento e execução do projeto.

---

<sup>1</sup> Termo *Job Hazard Analysis* (JHA) em inglês e consiste nas seguintes etapas: (1) identificação de todas as etapas de uma atividade de trabalho; (2) identificação dos riscos potenciais destas etapas; e (3) propor ações que eliminem, reduzam ou controlem os perigos (S. Zhang, Boukamp, et al., 2015).

Malekitabar et al. (2016) ao avaliarem documentações de instituições americanas, como NIOSH e OSHA, e dados Iranianos sobre os acidentes fatais relacionados à indústria da construção, constataram, através do modelo proposto por Behm (2005), que 46,8% dos acidentes estão relacionados com o conceito do DfS. Na investigação realizada pela pesquisa o foco foi avaliar como os acidentes podem estar relacionados ao projeto. Com o auxílio do BIM foi possível detectar os objetos e suas relações com o projeto de forma a identificar potenciais riscos. Os autores identificaram diferentes tipos de “*drivers de risco*”<sup>2</sup> de: quedas e quedas de objetos; operações inseguras; asfixia em locais confinados; choques elétricos; dentre outros. Para cada “*driver*” foram estabelecidas regras de checagem, por exemplo, no caso do sistema de proteção contra quedas seriam verificados: a geometria das aberturas, a presença de coberturas, grades, parapeitos e sinais de aviso e até mesmo a resistência e remoção dos elementos de proteção.

Lin et al. (2017) desenvolveram uma ferramenta chamada IPASS (*Intelligent Productivity and Safety System*) com o objetivo de avaliar a produtividade e segurança dentro de um projeto de construção, analisando principalmente os sistemas estruturais e sistemas de paredes através das informações obtidas pelo modelo BIM. Foram identificados, através de entrevistas e questionários, os diferentes elementos presentes nos sistemas, bem como seus perigos. Além disso, desenvolveram uma análise quantitativa. Para a produtividade foi desenvolvido o índice de trabalho economizado e para a segurança o índice de redução de perigos.

Jin et al. (2019) desenvolveram uma ferramenta, cujo objetivo é auxiliar os projetistas nas tomadas de decisão nas fases de projeto e planejamento de construções de edifícios de múltiplos pavimentos. A ferramenta avalia os riscos da construção através da análise do risco total do projeto de acordo com cada elemento de projeto. Com a incorporação do cronograma ao modelo 3D, BIM 4D, foi possível identificar o nível de risco para um determinado período, tarefa ou zonas de trabalhos específicas. Desta forma, a metodologia propõe que projetistas e construtores trabalhem em equipe desde as fases iniciais do projeto avaliando a tolerância de risco e verificando o risco total obtido pelo projeto, com discussões de alterações no projeto ou no cronograma de modo a gerenciar melhor a segurança na obra, reduzir problemas de construtibilidade, e aumentar a qualidade do projeto.

---

<sup>2</sup> Termo *Risk Driver* em inglês: evento ou condição, erro ou não, que estimula ou desencadeia um risco potencial.

Marefat et al. (2019) através de questionários no Irã identificaram os problemas encontrados na adoção de medidas de segurança, bem como benefícios do BIM no que tange a segurança, sendo os principais: a identificação e reconhecimento do risco; o treinamento e educação sobre segurança e o planejamento do canteiro de obras, respectivamente. Além disso, determinaram como principais barreiras enfrentadas para a adoção do BIM para a segurança da construção a falta de: expertise local; colaboração e treinamento.

Similarmente, Hire et al. (2021b) também analisaram, através de questionários, a utilização do BIM para a gestão da segurança no setor da construção, porém na Índia. O questionário além de apresentar e ranquear os benefícios e barreiras para a adoção do BIM, também avaliou a familiaridade e facilidade do uso do BIM, as práticas de segurança atuais e os benefícios da utilização do BIM para a gestão da segurança e seu uso futuro. Apesar das grandes vantagens de utilização do BIM, a maioria das empresas não aproveita ou reconhece seu potencial, restringindo-se ao desenho. Além disso, a determinação de áreas de risco é feita através de inspeções, enquanto poderiam ser investigadas antes da fase de construção e reduzir o número de acidentes com a utilização do BIM.

Alizadehsalehi et al. (2020) propõem uma metodologia de gestão da segurança da construção civil na fase de projeto e na fase de construção. Na fase de projeto um modelo BIM juntamente com o cronograma e normas de segurança foram utilizados para a identificação dos riscos potenciais, e um sistema de verificação das regras de segurança foi utilizado para o planejamento da segurança e eliminação dos riscos. Na fase de construção realizaram o monitorando do desempenho da segurança com a utilização de UAVs<sup>3</sup> (drones) para verificação da aplicação de elementos de proteção como barreiras, utilização de EPIs, etc e se necessário, aplicação de ações corretivas.

Vigneshkumar & Salve (2020) adotaram uma abordagem de mapeamento científico composta por pesquisa bibliométrica, avaliação cienciométrica e análise qualitativa de pesquisas voltadas para a queda em altura na construção, tema de grande influência nos Estados Unidos. Dentre os termos mais citados foram encontrados: “verificação de regras”, BIM e PtD. Sendo a grande maioria dos estudos voltados para a identificação e gestão de riscos e também para o uso de

---

<sup>3</sup> Sigla para o termo em inglês “*Unmanned Aerial Vehicles*” ou popularmente conhecido como drones.

computação e tecnologias da informação para a segurança, como é o caso do BIM, utilizado na identificação de zonas de queda, inspeção de medidas de prevenção e proteção contra quedas. Apesar da grande importância do BIM para a prevenção de quedas ainda na fase de projeto, os autores constataram a necessidade do desenvolvimento de um processo de gestão do conhecimento voltado para a segurança.

Okpala et al. (2020) identificaram diferentes tecnologias utilizadas a fim de mitigar os riscos presentes nas construções, em pesquisas de 2009 a 2019, avaliando tanto a hierarquia de controle como a aplicação das tecnologias de acordo com a fase do ciclo de vida da construção. Foram identificadas tecnologias como: inteligência artificial, realidade virtual e realidade aumentada, internet das coisas e também o BIM. A utilização do BIM, além de abranger todo o ciclo de vida de um empreendimento, se mostrou uma das tecnologias mais úteis para se alcançar o topo da hierarquia de controle, diminuindo a exposição dos trabalhadores aos riscos através de sua eliminação ou substituição. Mostrando a grande vantagem da utilização do BIM para a PtD.

Rodrigues et al. (2021) desenvolveram dois plugins para o software Revit® nomeados “*Job Hazard Analysis*” e “*Safeobject*” para melhorar a segurança da construção. O primeiro é um *plugin* baseado na checagem de regras, incluindo critérios da regulamentação Portuguesa, cujo objetivo é identificar os riscos no canteiro de obras e mostrar os procedimentos de segurança a serem utilizados. Já o segundo tem o objetivo de aplicar elementos de proteção aos locais de risco de quedas em altura, devido à constatação da escassez de objetos BIM com função de proteção durante a fase de construção.

Seguindo a mesma ideia de utilizar a tecnologia BIM para a gestão da segurança de riscos da construção, Deng et al. (2019) identificaram e sinalizaram as áreas de potenciais riscos da obra através de um plugin no Revit® e aplicaram medidas de proteção. Além disso, utilizaram o Navisworks® e ferramentas de animação para simular o acidente e posterior resgate do trabalhador. Sendo possível auxiliar na criação de um plano de resgate para os casos de emergência.

Zou et al. (2017b) analisaram a gestão de diversos tipos de riscos auxiliada pelo uso do BIM e demais tecnologias associadas ao BIM, durante todo o ciclo de vida do projeto, com o objetivo de auxiliar: na identificação dos riscos nas etapas iniciais do projeto, na prevenção de acidentes e na comunicação de riscos. Dentre



as diferentes tecnologias apontadas na pesquisa citam-se: a realidade virtual; CAD 4D; Sistema de Informação Geográfica (SIG); sistemas baseados em conhecimento; checagem automática de regras. Apesar dos mais variados estudos envolvendo estas tecnologias, os autores acreditam que estes temas ainda têm estudos em fase inicial devido às suas limitações, especialmente na gestão de riscos por ser um processo naturalmente complexo.

Através da revisão da literatura realizada por Akram et al. (2019) sobre a utilização do BIM para se alcançar a segurança da construção, pôde-se concluir que o planejamento da segurança é essencial para o sucesso de qualquer projeto, isto envolve a identificação de potenciais perigos e a adoção de medidas de prevenção, já que a maior parcela dos acidentes se deve à falta de planejamento e projetos ineficientes.

Martínez-Aires et al. (2018) avaliaram a utilização do BIM na gestão da segurança destacando como principais áreas: construção ou gestão da segurança; cronograma e planejamento 4D; visualização/simulação; colaboração e comunicação; e identificação de perigos. Além disso, apontaram que os riscos de quedas são os riscos mais analisados pelos autores. E apesar do crescente uso do BIM para a segurança a partir de 2014, com grande ênfase nos Estados Unidos e China, mais de 60% dos estudos adotaram o BIM durante a fase de construção, e apenas 13,70% durante a fase de projeto, mesmo valor quando o BIM foi utilizado para a construção e para o projeto em conjunto. Destacaram ainda que uma das principais barreiras no setor é a falta de comunicação, principalmente no que se refere aos dados de segurança. Desta forma, fundamentaram a necessidade da utilização do BIM voltado para a prevenção ainda nas fases de projeto, a determinação de processos bem definidos para a avaliação da segurança e a análise de mais riscos de acidentes além dos riscos de queda.

Além disso, Fargnoli & Lombardi (2020) destacaram a necessidade de mais ferramentas voltadas para a análise quantitativa e a utilização do BIM voltado para o treinamento e educação de segurança. Adicionalmente, Vigneshkumar & Salve (2020) destacaram a necessidade de um processo de gestão do conhecimento voltado para a segurança, da mesma forma que S. Zhang, Boukamp, et al. (2015) apontaram a necessidade de pesquisas futuras explorarem o BIM como uma interface para aquisição e transferência de conhecimento integrando todo o ciclo de vida do projeto.

Como síntese da RSL, conclui-se que a grande maioria tem foco voltado para a identificação de perigos aos quais os trabalhadores da construção estão expostos, e utilizam o BIM, principalmente para a prevenção de riscos de quedas através do planejamento da segurança da construção com o uso de EPCs, como é o caso do uso de barreiras como forma de isolar o trabalhador dos riscos de queda.

Além desse tema, outra linha de pesquisa identificada consiste na utilização do BIM juntamente ao cronograma para realização de simulações da fase de construção e checagem automática de regras, normas e boas práticas adotadas em construções. Com isso, percebe-se como benefícios a identificação e o reconhecimento do risco, o treinamento e a educação sobre segurança ainda na fase de projeto.

Como lacunas de conhecimento destaca-se a necessidade de análises quantitativas, bem como de estudos que auxiliem na comunicação da segurança ainda na fase de projeto. Desta forma, percebe-se a grande necessidade de estudos que avaliem a segurança na fase de projeto e auxiliem os projetistas nos processos de decisão, sendo o BIM um ótimo instrumento para se alcançar a segurança do projeto.

## 4

### Metodologia proposta

Nesta seção é apresentada a metodologia desenvolvida nesta pesquisa. Com base na revisão da literatura, mostrada no capítulo anterior, percebeu-se a necessidade em avaliar de forma quantitativa a segurança do trabalhador da construção ainda na fase de projeto e de definir processos claros para que isso ocorra. Para isso, primeiramente, foi realizada uma avaliação da segurança, onde são identificados elementos de PtD que possam ser observados em um modelo BIM e os acidentes associados a estes elementos. Desta forma, fez-se necessário desenvolver um questionário para auxiliar na avaliação desta necessidade e também para que ajudasse na obtenção dos riscos associados aos acidentes identificados. A necessidade de uma análise quantitativa é importante para as tomadas de decisão durante a fase de projeto, principalmente pelo fato de muitos projetistas não possuírem conhecimentos mínimos e suficientes de segurança, e na grande maioria, não considerarem a segurança do trabalhador como um fator no desenvolvimento do projeto. Sendo assim, foram desenvolvidas métricas para possibilitar a avaliação da segurança do projeto de acordo com os elementos inseguros presentes no projeto com a correlação dos riscos de acidentes associados.

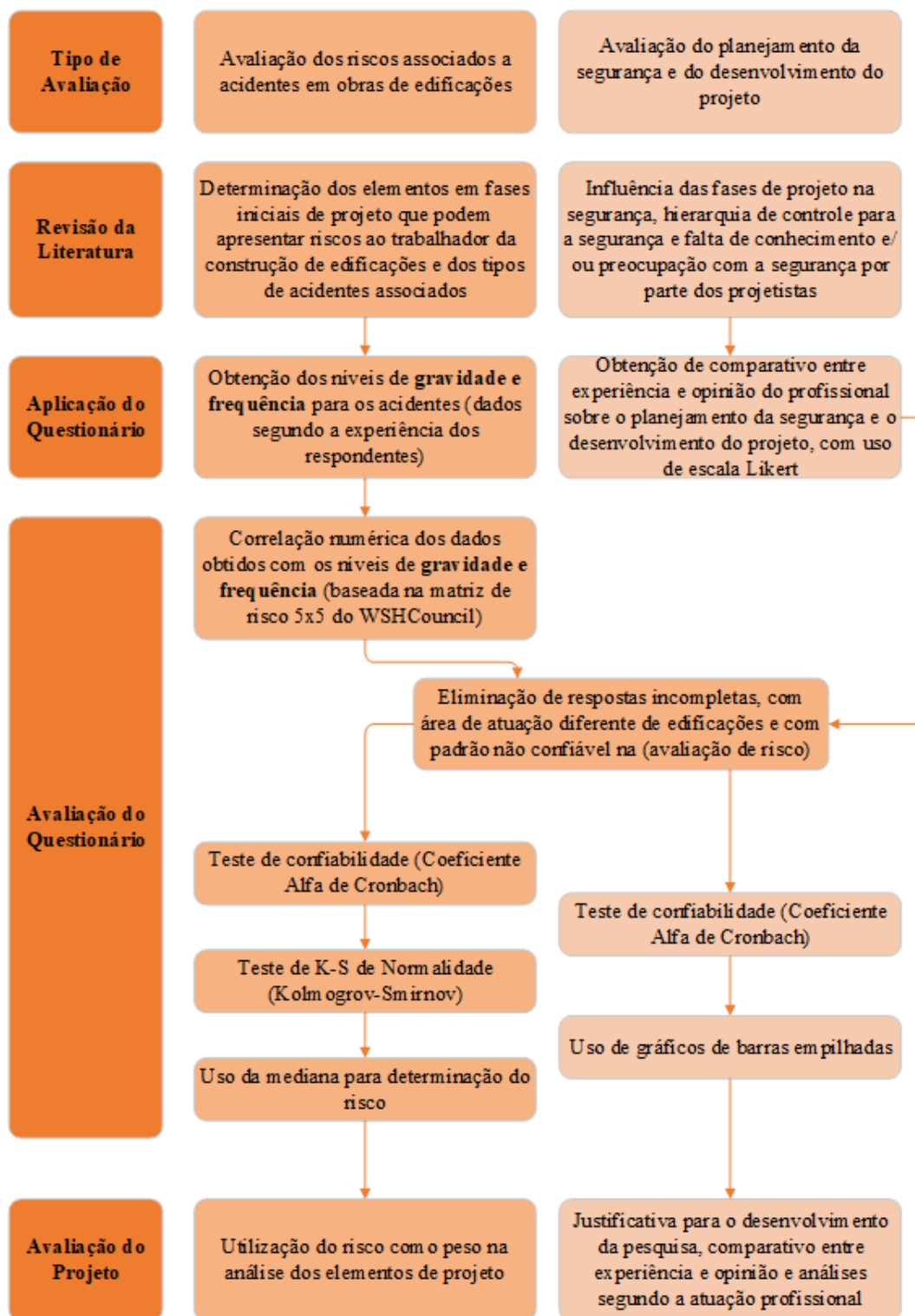
#### 4.1.

##### Fluxograma da estratégia de pesquisa

O desenvolvimento da metodologia de pesquisa é exemplificado através do fluxograma da estratégia de pesquisa mostrado na Figura 9. Esta pesquisa foi dividida em dois tipos de avaliação.

A primeira consistiu na avaliação dos riscos em obras de edificações, que através da revisão da literatura foi possível identificar quais elementos de projeto podem estar associados aos acidentes nas construções. Assim, com a aplicação do questionário, foi possível mensurar os riscos associados aos acidentes identificados. Servindo, desta forma, como peso na constituição das métricas de avaliação da segurança do projeto. Toda a avaliação do questionário e a análise quantitativa é abordada nos subcapítulos seguintes.

Figura 9: Fluxograma da estratégia de pesquisa



A segunda constituiu na avaliação do planejamento da segurança e do desenvolvimento do projeto. Com a revisão da literatura foi possível observar o impacto e poder de influência na segurança de acordo com a sua fase de planejamento, as formas de controle de riscos, bem como a falta de conhecimento

dos projetistas em segurança. Portanto, o questionário objetiva realizar um comparativo entre o que é realizado na prática e a opinião dos respondentes sobre como deveria ser realizado o planejamento da segurança e o desenvolvimento do projeto. Servindo, assim, como justificativa para a realização da pesquisa. Todo o detalhamento da estratégia de pesquisa (Figura 9) é visto nos subcapítulos seguintes.

## **4.2.**

### **Avaliação da segurança**

Esta seção apresenta a metodologia utilizada para a identificação dos elementos de projeto passíveis de acidentes ao trabalhador da construção, os tipos de acidentes associados a estes elementos e seus riscos. Além disso, mostra o desenvolvimento do questionário, seus objetivos e considerações e, por fim, as análises necessárias para a validação do questionário.

#### **4.2.1.**

##### **Identificação dos elementos PtD**

Para a identificação de elementos do projeto que pudessem apresentar riscos à saúde e segurança do trabalhador durante a construção, foram utilizados relatórios técnicos de instituições como: NIOSH, OSHA, HSE (*Health and Safety Executive*), WSHC (*Workplace Safety and Health Council*) e diferentes recomendações presentes em estudos da literatura. Foram utilizadas referências da literatura internacional em PtD como: Gambatese (1996); Hossain et al. (2018); Yuan et al. (2019), além de trabalhos relacionados como Vasconcelos (2013); e também trabalhos realizados no Brasil como Saurin & Formoso (2008) e Araújo (2018).

Apesar de haver diversas referências e recomendações de PtD, notou-se uma grande quantidade de recomendações voltadas para a parte mecânica, elétrica, hidráulica, sistemas de refrigeração/aquecimento e também para a organização e cronograma da obra. Além disso, muitas recomendações não traziam características específicas que pudessem ser avaliadas facilmente por um profissional sem conhecimentos em segurança, exigindo assim uma experiência do projetista e conhecimentos muitas vezes distantes de sua realidade e, em alguns casos, que exigiam que o projeto já estivesse em uma fase mais avançada de desenvolvimento.

Desta forma, dentre as recomendações avaliadas, as selecionadas para verificação nesta pesquisa restringiram-se à parte estrutural e arquitetônica e são mostradas na Tabela 6, abaixo.

Tabela 6: Recomendações PtD

Indicações de perigos e recomendações de PtD	Referências
O comprimento elevado de elementos pré-moldados, como vigas, colunas e lajes pode apresentar riscos de colisão contra objetos. Recomenda-se o comprimento de até 5,0 m	Hossain et al. (2018)
O peso elevado de elementos pré-moldados, como vigas, colunas e lajes, pode causar risco de queda do elemento estrutural. Recomenda-se o uso de elementos leves e de fácil manipulação	Gambatese (1996); Hossain et al. (2018)
Recomenda-se que vigas tenham largura mínima de 6 polegadas (15,24 cm) de modo a permitir uma superfície de caminhada para os trabalhadores	Gambatese (1996)
Recomenda-se que o projeto de elementos estruturais seja simples, de dimensões consistentes, fáceis de manipular e executar e leves	Gambatese (1996); Behm (2005); Vasconcelos (2013); Araújo (2018)
Furos e aberturas em lajes devem ser localizados distante de áreas de trabalho, passagens e perímetros estruturais (bordas), recomenda-se o agrupamento reduzindo a quantidade	Gambatese (1996)
As dimensões das escadas, como altura do espelho e largura do piso, devem ser consistentes e mantidas constantes durante todo o projeto, de modo a evitar tropeços e quedas do trabalhador. Recomenda-se ainda que os degraus sejam unidos ao piso	Gambatese (1996); Yuan et al. (2019)
O peitoril de janelas deve servir como guarda-corpo para o trabalhador da construção. Com recomendação de altura mínima de 1,20 m segundo a Norma Regulamentadora NR-18 (2020) (NR-18, 2020)	Gambatese (1996); Gambatese (2000); Saurin & Formoso (2008); Hollingsworth (2011) apud Gambatese (2019); Yuan et al. (2019)
O projeto do acesso permanente ao telhado deve ser feito por meio de escadas definitivas, com isolamento da área para acesso apenas por pessoal autorizado	Saurin & Formoso (2008); Vasconcelos (2013)
Recomenda-se que a inclinação do telhado não seja muito elevada	Yuan et al. (2019); Cooke et al. (2008)
O projeto de áreas com pés direitos não deve ser elevado (< 3,50 m)	Adaptado de Vasconcelos (2013)
Recomenda-se o uso de rampas com inclinações de até 7° de forma a prevenir os riscos de queda do trabalhador	Gambatese (1996)
Evitar a presença de subsolo, pois este aumenta a complexidade da obra e apresenta um maior risco de acidente ao trabalhador	Barros (2021)
Evitar a instalação de parede cortina, pois esta pode aumentar os riscos de queda do trabalhador e de lesões musculoesqueléticas	Adaptado de Dewlaney et al. (2012) e Fortunato et al. (2012)

Com isso, os elementos escolhidos para a verificação do projeto foram aqueles que poderiam ser analisados nas etapas iniciais do projeto e de forma objetiva dentro de um modelo BIM, considerando apenas os aspectos da arquitetura e estrutura. Não foram consideradas recomendações referentes à cronograma e planejamento de obra, fundações, instalações mecânicas, elétricas e hidrossanitárias. Com isso, os elementos avaliados foram separados em dois tipos de avaliação, estrutural e geral, conforme Tabela 7.

Tabela 7: Síntese da avaliação

<b>Tipo de Avaliação</b>	<b>Elementos avaliados</b>
Sistema Estrutural - Pré-moldado ou Moldado no local	Colunas; Escadas; Lajes; Vigas
Especificações gerais do projeto	Guarda-corpos; Janelas; Níveis; Paredes cortinas; Pés-direitos; Rampas; Telhados

Além das recomendações presentes na Tabela 6, vale ainda lembrar que o uso de uma ferramenta com modelagem 3D e paramétrica não só auxilia na identificação de elementos que possam apresentar riscos ao trabalhador a serem prevenidos durante a fase inicial de projeto, como também melhora a visualização e auxilia o projetista na modelagem de alguns elementos. Como exemplo pode-se citar as sugestões mostradas, no *software* Autodesk Revit® (2020), onde durante a modelagem de escadas, a altura do espelho e largura do piso podem ser geradas automaticamente de modo a permitir um melhor desempenho ergonômico tanto para o usuário como para o trabalhador durante o uso da escada permanente, e de forma a garantir a altura dos espelhos, degraus e pisos constantes. A dimensão destes elementos é importante para a prevenção de riscos ao trabalhador da construção e durante o uso da edificação.

#### **4.2.2. Tipos de acidentes e avaliação do risco**

Juntamente com a identificação dos elementos de prevenção no projeto, foram identificados os perigos relacionados ao trabalhador da construção. Dentre os elementos PtD analisados ficou evidente que um grande número deles é voltado para a prevenção de riscos de quedas, sejam quedas de objetos leves e pequenos como é o caso de ferramentas, por exemplo, como também de elementos grandes e pesados, como é caso de estruturas pré-moldadas onde se observa o risco de quebra

do elemento durante o içamento, e consequentemente sua queda. Também foi identificado o risco de queda do próprio trabalhador, no mesmo nível ou em níveis diferentes.

Este fator é justificado por possuir um grande número de recomendações com parâmetros numéricos que podem ser facilmente obtidos através do modelo BIM e, em muitos casos, de forma automática. Apesar da importância dos riscos de queda, este estudo não se limita à avaliação destes riscos, conforme mostrado na Tabela 8.

Tabela 8: Tipos de acidentes avaliados

Categorização do acidente	Classificação do acidente	Sigla do risco de acidente
Quedas	Quedas de objetos leves, pequenos (ex.: ferramentas)	R <sub>A1</sub>
	Quedas de objetos grandes, pesados (ex.: elemento estrutural)	R <sub>A2</sub>
	Quedas do trabalhador até 2,0 m	R <sub>A3</sub>
	Quedas do trabalhador acima de 2,0 m	R <sub>A4</sub>
Abrasões/Perfurações	Abrasões/Perfurações	R <sub>A5</sub>
Colisões/Choques	Colisões/Choques entre o trabalhador e materiais ou objetos	R <sub>A6</sub>
	Colisões/Choques entre o trabalhador e maquinários	R <sub>A7</sub>
Lesões musculoesqueléticas	Lesões musculoesqueléticas	R <sub>A8</sub>
Desabamentos/Soterramentos	Desabamentos/Soterramentos	R <sub>A9</sub>
Esmagamentos	Esmagamentos	R <sub>A10</sub>

Estes riscos foram separados em categorias e classificados. Os riscos de queda do trabalhador, na literatura internacional, são classificados como queda no mesmo nível e queda em níveis diferentes. Porém, para maior clareza foi adotada a recomendação da Norma Regulamentadora NR-35 (2019) sobre trabalho em altura como sendo “toda atividade executada acima de 2,00 m (dois metros) do nível inferior, onde haja risco de queda”.

Da mesma forma que houve a distinção entre os tipos de quedas de objetos e do trabalhador, optou-se por fazer o mesmo com relação às colisões e choque mecânicos, podendo ocorrer tanto contra materiais e objetos, como contra maquinários. Além disso, percebeu-se que alguns dos elementos de projeto identificados possuem mais de um risco de acidente, por isso foram associados a estes elementos mais de um risco, porém considerando categorias diferentes.



Definidos os acidentes encontrados nos elementos de projeto, foi necessário obter o risco associado a estes acidentes, de modo que a avaliação da segurança fosse mais assertiva. O risco de acidente pôde ser obtido através da determinação do risco unitário ( $R_{Ai}$ ), definido pela multiplicação do nível de gravidade ( $G_{Ai}$ ) de determinado acidente  $i$ , podendo ser definido através das consequências à saúde do trabalhador, pela frequência ( $F_{Ai}$ ) ou probabilidade de ocorrência deste evento, conforme Equação 1, abaixo.

$$R_{Ai} = G_{Ai} \times F_{Ai} \quad (1)$$

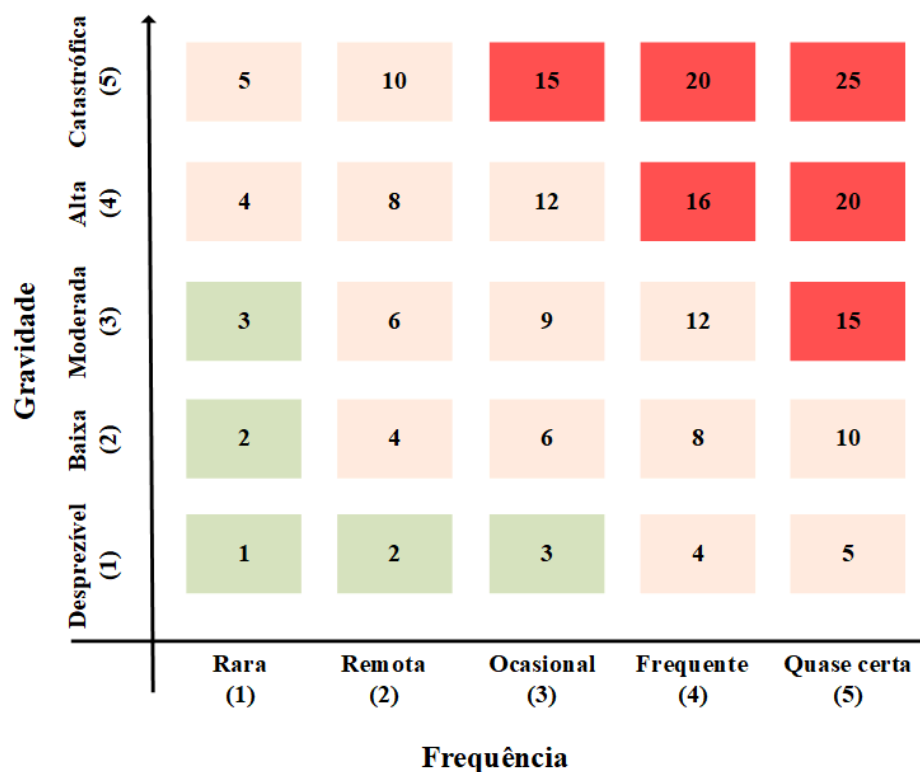
onde  $G_{Ai}$  é a gravidade associada a um determinado acidente  $i$ , e  $F_{Ai}$  é a frequência com que este acidente  $i$  ocorre.

A obtenção do risco unitário, em uma avaliação quantitativa, é uma análise que depende do registro de dados de acidentes, e pode variar de empresa para empresa segundo métodos de segurança adotados na fase de construção, bem como orientações e treinamento das equipes. Além disso, estes dados estão sujeitos a diferentes características da empresa, como a documentação de todos os registros de acidentes, inclusive os de menor gravidade e até mesmo de situações que poderiam levar a acidentes. Mesmo quando há um grande controle dos registros, estes dados não são divulgados, dificultando a análise quantitativa.

Desta forma, o risco também pode ser obtido através de uma análise semi-quantitativa, com a obtenção dos parâmetros de gravidade e frequência através da correlação realizada entre as classificações e definições dos níveis (Mendonça, 2013). Diferentes métodos são utilizados na literatura. Karakhan & Gambatese (2017a) ao avaliarem o nível de impacto dos créditos LEED nos trabalhadores, adotaram 3 pesos variando de 1 a 3 para a determinação da gravidade, para os respectivos níveis: baixo (1); médio (2) e alto (3) e a frequência foi obtida através da porcentagem de ocorrência dos créditos nos projetos. Outra forma bastante comum é a utilização de matrizes de risco, sendo as mais confiáveis as matrizes 4x5 e 5x5 (WSHC, 2011).

Nesta pesquisa, adotou-se como forma de avaliação de risco a mesma utilizada em Singapura, já que a região adota e exige a avaliação de PtD desde 2016 para alguns tipos de projeto. À vista disso, seguiu-se o recomendado pelo WSHC (2011), com avaliação de risco através de uma matriz 5x5, na qual apresenta 5 níveis de gravidade e 5 níveis de frequência, conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10: Matriz de risco 5x5



Fonte: Adaptada pela autora (WSHC, 2011)

A determinação da gravidade e da frequência geralmente é determinada com base na experiência dos especialistas, o que pode apresentar certa subjetividade (Mendonça, 2013) ou com históricos de acidentes das empresas. O WSHC (2011) sugere que a equipe de segurança da empresa responsável pelo projeto determine estes parâmetros e que se baseiem na Tabela 9 para a determinação da gravidade e na Tabela 10 para a frequência.

Tabela 9: Níveis de gravidade

Nível	Gravidade	Descrição
1	Desprezível	Lesão insignificante
2	Baixa	Lesões ou problemas de saúde que exijam apenas primeiros socorros (inclui pequenos cortes e hematomas, irritação, problemas de saúde com desconforto temporário)
3	Moderada	Lesões ou problemas de saúde que exijam tratamento médico (inclui lacerações, queimaduras, entorses, fraturas menores, dermatites e distúrbios dos membros superiores relacionados ao trabalho)
4	Alta	Lesões graves ou doenças ocupacionais com risco de vida (inclui amputações, fraturas graves, lesões múltiplas, cânceres ocupacionais, envenenamento agudo, deficiência e surdez)
5	Catastrófica	Morte, doenças fatais ou vários ferimentos graves

Fonte: Code of Practice on Workplace Safety and Health - Risk Management (WSHC, 2011), traduzida pela autora

A gravidade de um acidente varia de desprezível, quando não há a necessidade de primeiros socorros, à catastrófica, na qual o trabalhador possui ferimentos graves com possibilidade de morte. Já a frequência varia de rara até um evento que acontece de forma rotineira.

Tabela 10: Níveis de frequência

Nível	Frequência	Descrição
1	Rara	Não é esperado que ocorra
2	Remota	Não é provável que ocorra em circunstâncias normais
3	Ocasional	Possível ou conhecido por ocorrer
4	Frequente	Ocorrência comum
5	Quase certa	Experiência contínua ou repetitiva

Fonte: Code of Practice on Workplace Safety and Health - Risk Management (WSHC, 2011), traduzida pela autora

Desta forma, através da relação entre a gravidade e frequência é possível obter o nível do risco, conforme Figura 10. Para valores variando de 1 a 3 o risco é baixo, de 4 a 12 o risco é médio e de 15 a 25 o risco é alto. Conforme a recomendação do WSHC, os riscos baixos são aceitáveis e não necessitam de medidas adicionais de controle de risco, porém ainda se faz necessário o monitoramento de modo a garantir que não aumente com o tempo. Os riscos médios são toleráveis, porém necessitam de atenção, avaliação e planejamento para a redução destes riscos e ainda devem ser adotadas medidas provisórias de controle do risco, como uso de EPIs, até que medidas de longo prazo sejam implementadas. Já os riscos altos se caracterizam por serem inaceitáveis. Logo, como melhor forma de controle de risco segundo a hierarquia, os riscos de nível alto devem ser eliminados. Se isso não for possível, este tipo de risco deve ser reduzido para pelo menos ao nível médio antes do trabalho iniciar (WSHC, 2011).

Desse modo, o mais recomendável é que este tipo de análise seja realizado por uma equipe de segurança e se baseie em dados corretamente documentados durante anos de atuação da empresa. Porém, para que a obtenção desta análise fosse possível nesta pesquisa, uma vez que esses dados não estão disponíveis, optou-se pela realização de um questionário com profissionais com conhecimento e experiência na área de segurança do trabalho na construção civil.

### 4.2.3. Desenvolvimento do questionário

O questionário é uma ferramenta de estudo com uma série de questões cujo objetivo é a coleta de dados sobre um determinado tema (Hire et al., 2021b; Vieira, 2009). O questionário pode ter cunho quantitativo ou qualitativo. A pesquisa quantitativa contém informações numéricas, possibilitando a classificação, ordenação e medição para fins estatísticos, sendo generalizável. Já a pesquisa qualitativa é baseada em opiniões, crenças, tendo um caráter exploratório e não generalizável (Hartson & Pyla, 2012; Vieira, 2009). Esta pesquisa tem uma mescla desses dois tipos de questionários.

Um questionário pode conter diferentes tipos de questões. Questões abertas não sugerem um tipo de resposta, possibilitando diferentes tipos de respostas, porém apresenta maior dificuldade no pós-processamento. Já as questões fechadas possuem facilidade tanto para os respondentes quanto para análise dos dados, podendo ser do tipo binária, tendo apenas duas alternativas; múltipla escolha com várias opções de resposta; ou escalonada onde as alternativas estão organizadas em escala. Um tipo de escala muito conhecido é a escala de Likert<sup>4</sup>(Vieira, 2009).

O desenvolvimento de um questionário envolve diversos fatores, como o objetivo da pesquisa, a escolha do tipo de questão, a formulação e ordem das questões, a análise dos dados obtidos, etc. Conforme sugerido por Vieira (2009), as questões foram desenvolvidas de forma clara para que não houvesse dupla interpretação para os respondentes, eliminado perguntas com “e/ou”; as perguntas referentes à análise de perfil foram aplicadas na primeira seção de forma a estimular os respondentes, já que se trata de questões de resposta rápida e em seguida foram posicionadas as questões técnicas.

O questionário desenvolvido foi de autoaplicação, onde os próprios respondentes preenchem ao questionário, e foi elaborado através da ferramenta *Forms* da Microsoft Office disponível gratuitamente para os alunos da PUC-Rio. A

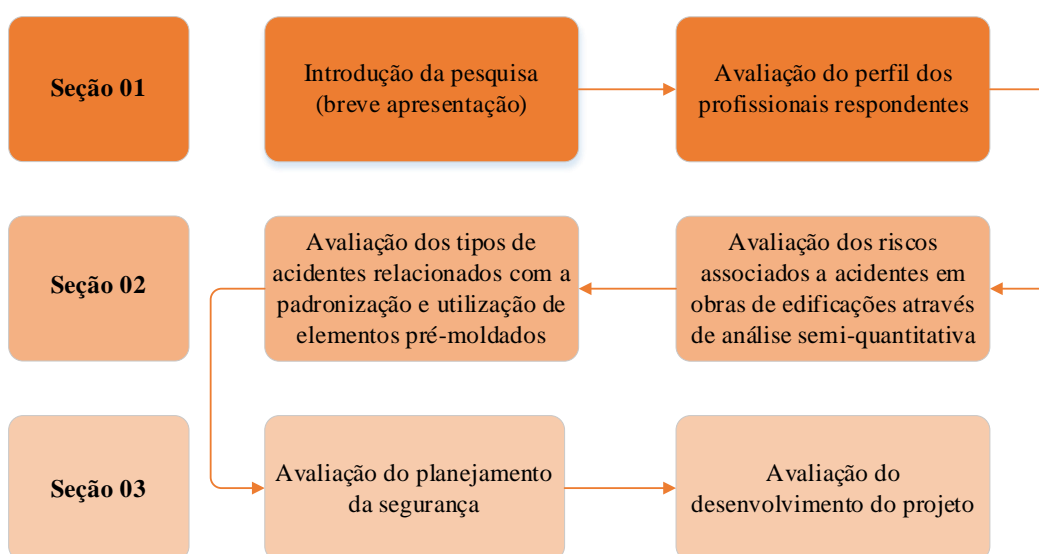
---

<sup>4</sup> Escala de Likert é o somatório dos escores conferidos aos vários itens de Likert que formam um conceito. O item de Likert mostra o grau de concordância ou discordância do respondente sobre uma afirmação, declaração, expressão (Vieira, 2009). Esta escala foi desenvolvida por Rensis Likert (1931) e geralmente é formada por cinco possíveis respostas: concordo totalmente; concordo parcialmente; nem concordo, nem discordo; discordo parcialmente; ou discordo totalmente. As respostas “nem concordo, nem discordo” são chamadas neutras ou indecisas. Já as demais respostas devem compor uma pontuação para que se verifique se as respostas são mais favoráveis (maior pontuação) ou menos favoráveis (menor pontuação) (Gliem & Gliem, 2003).

maioria das perguntas foram de cunho obrigatório, exceto onde foi solicitado o nome, o endereço de e-mail e a pergunta número 12, questão aberta que pedia para o respondente listar mais riscos além dos determinados na lista presente nas questões 10 e 11, conforme mostra a Tabela 8. Apesar da obrigatoriedade de resposta para envio do questionário, na grande maioria das questões, foi inserida a opção “Prefiro não responder/Não se aplica” para que o respondente que não tivesse domínio naquele item específico, não influenciasse no resultado.

Primeiramente, o questionário foi avaliado por participantes do grupo de pesquisas Rio-BIM, que apontaram algumas sugestões para melhorar a clareza das questões para o respondente. Desta maneira, algumas modificações foram realizadas. Após este teste inicial, foram realizados testes entre profissionais conhecidos para que novas sugestões de melhoria fossem apontadas. Com estas sugestões, o questionário foi revisado e seguiu-se à distribuição entre profissionais, professores e especialistas indicados, e profissionais da área de segurança. Também foi utilizada a plataforma LinkedIn para a divulgação do questionário em grupos da área de engenharia civil, construção civil, arquitetura e de saúde e segurança do trabalho e também de forma mais extensiva por contato direto com profissionais da área após análise prévia do perfil do profissional na plataforma. O questionário completo está no Apêndice I e foi dividido em seções conforme detalhado abaixo, e exemplificado pelo fluxograma da Figura 11, abaixo.

Figura 11: Fluxograma do questionário desenvolvido



A primeira seção do questionário explica brevemente do que se trata a pesquisa e analisa o perfil do respondente, com informações como escolaridade,

área de formação e atuação, tempo de experiência profissional, porte da empresa que trabalha e também para verificação da altura das edificações que costuma trabalhar. Esta análise é importante para avaliar se o perfil do respondente consiste com o perfil esperado para uma maior confiabilidade das respostas. Nesta primeira análise, espera-se que boa parte dos respondentes tenha ensino técnico, uma vez que a gestão e inspeção da segurança das obras muitas vezes é atribuída aos técnicos em saúde e segurança do trabalho.

Conforme mencionado, a determinação da frequência e da gravidade, em geral, é realizada pela equipe de avaliação de risco. Assim, a fim de trazer uma maior coerência nesta determinação esta segunda seção do questionário foi realizada apenas para profissionais com média e alta experiência em segurança do trabalho em construções de edificações com o objetivo de determinar os níveis destes parâmetros que compõem o risco, como visto na subseção anterior na Tabela 9 e Tabela 10, para os tipos de acidentes relacionados na literatura com os elementos de PtD, na Tabela 8.

Além disso, também foram avaliados se a padronização de seções de elementos estruturais, furos e aberturas podem minimizar algum tipo de acidente, bem como se a utilização de estruturas pré-moldadas pode minimizar ou maximizar acidentes, já que comumente, na literatura, o uso de estruturas pré-moldadas é apontado como menor riscos ao trabalhador em comparação com estruturas de concreto armado, por exemplo. Porém em muitos destes casos não há uma comprovação e a análise é realizada apenas através de estudos de casos, conforme realizado por Zhong & Wu (2015).

Já a terceira seção do questionário foi direcionada para todos os respondentes e pretendeu-se avaliar em que fase é realizado o planejamento da segurança da obra. Além disso, buscou-se identificar como é realizada a comunicação entre as equipes na fase de projeto em relação à segurança. Estas questões possuem o objetivo de avaliar se há o entendimento de que a fase em que o planejamento da segurança é realizado pode impactar na segurança do trabalhador e se este planejamento segue o recomendado pela hierarquia de controle, avaliando inclusive se há divergência entre o que é praticado, com base na experiência do profissional, e sua opinião de como deveria ser feito o planejamento. No caso da comunicação entre as equipes, o principal foco está em avaliar se as equipes de projeto (arquitetônico e estrutural)

se comunicam e se acreditam que deveriam se comunicar com a equipe de segurança.

Desta forma, com a obtenção da gravidade e frequência obtidas através do questionário, é possível através do projeto não apenas aumentar a segurança do trabalhador, como também auxiliar o projetista na identificação dos elementos que devem ser priorizados a fim de reduzir a possibilidade do número de acidentes. Além disso, vale ressaltar que os riscos atribuídos através do questionário podem ser adaptados por determinada empresa ou construtora caso seja constatado, através de um histórico de controle de riscos, diferentes situações.

#### **4.2.4. Análise estatística do questionário**

Em pesquisas que utilizam questionários, algumas análises podem ser feitas. A estratégia de pesquisa apresentada na Figura 9 mostra as análises realizadas neste questionário. A análise de confiabilidade verifica se o questionário foi respondido de forma consistente. Pode ser feita avaliando-se todo o questionário de forma geral, obtendo sua consistência interna, ou através da análise da consistência de cada pergunta individualmente, ou das duas formas como proposto por Marefat et al. (2019). A escolha da forma de análise irá variar com a forma e objetivos do questionário.

O método mais utilizado para esta análise é através do cálculo do coeficiente alfa ou coeficiente de Cronbach (Vieira, 2009), sendo inclusive extremamente recomendado para questionários com perguntas que utilizam escalas Likert (Gliem & Gliem, 2003), podendo ser calculado conforme mostrado pela Equação 2, abaixo.

$$\alpha = \frac{N}{N - 1} \left( 1 - \frac{\sum \sigma_y^2}{\sigma_x^2} \right) \quad (2)$$

Onde:

N é o número de itens do questionário (ou da questão);  $\sigma_y^2$  é a variância do item i e  $\sigma_x^2$  é a variância total de itens observados. Sendo que  $\alpha$  está no intervalo de 0 a 1 (ou de 0 a 100%).

Quanto mais próximo de 1, maior a consistência. Para Vieira (2009) as medidas são confiáveis para valores do coeficiente acima de 70% e para Gliem & Gliem (2003) o objetivo é alcançar um coeficiente de 80%. Porém, há uma escala que auxilia na classificação (Gliem & Gliem, 2003):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Excelente se } \alpha > 0,9 \\ \text{Bom se } \alpha > 0,8 \\ \text{Aceitável se } \alpha > 0,7 \\ \text{Questionável se } \alpha > 0,6 \\ \text{Pobre se } \alpha > 0,5 \\ \text{Inaceitável se } \alpha < 0,5 \end{array} \right.$$

Como este questionário foi dividido em seções, com avaliações diferentes umas das outras, inclusive tendo um número de respondentes diferentes entre as seções 2 e 3, e ainda perguntas de diferentes padrões, é mais adequado avaliar a consistência de acordo com o tipo de análise realizada nas questões.

Dessa forma, a análise foi dividida. Na seção 02 do questionário avaliou-se as questões 10 e 11, onde obtém-se a gravidade e a frequência dos acidentes, respectivamente. Cada uma destas questões possui 10 itens de análise, totalizando 20 itens, como o objetivo das questões é obter os riscos de acidentes estes itens foram analisados em conjunto. Para a realização da análise, utiliza-se a própria escala de nível de gravidade e frequência definida na Tabela 9 e na Tabela 10, respectivamente e mostrado na Tabela 11. Já na seção 03 todos os itens, das questões 18 a 23 puderam ser analisados em conjunto, uma vez que todas as questões possuem escala Likert.

Tabela 11: Resumo dos níveis de gravidade e frequência

Nível adotado	Gravidade	Frequência
1	Desprezível	Rara
2	Baixa	Remota
3	Moderada	Ocasional
4	Alta	Frequente
5	Catastrófica	Quase certa

Fonte: Code of Practice on Workplace Safety and Health - Risk Management (WSHC, 2011), traduzida pela autora

Além da confiabilidade do questionário, também se avalia o comportamento dos dados através de um teste de normalidade, cujo principal objetivo é a determinação da melhor escolha da medida representativa dos dados. Para isso, pode-se utilizar o teste de Kolmogorov Smirnov (K-S), onde obtém-se o índice de significância (valores-p).

Para valores maiores que 0,05 os dados são significantes, ou seja são paramétricos e bem distribuídos, seguem uma distribuição normal (Marefat et al., 2019), já para valores menores que 0,05 os dados são não paramétricos



(heterogêneos). Caso os dados sejam normalmente distribuídos, utiliza-se a média como tendência central, caso não sejam, a tendência central é melhor representada pelo uso da mediana (Ullah et al., 2018). Este teste foi realizado para as questões 10 e 11, onde obtém-se o valor de gravidade e frequência dos acidentes.

Para a realização destas análises foi utilizado o software gratuito de análise estatística PSPP (2013).

As questões 13 a 17 (seção 02), cuja finalidade é a verificação da minimização ou maximização dos riscos de acidentes em decorrência da padronização dos elementos ou pelo uso de elementos pré-moldados, não passaram pelas análises propostas acima. Isso ocorre porque estas perguntas diferem do formato das outras questões das seções 02 e 03, já que permitem a possibilidade de múltiplas respostas e não contém escala. A questão 12 também não passou por estas análises por se tratar de uma questão aberta, o que requer uma análise individual resposta por resposta.

#### **4.3.**

#### **Análise quantitativa do projeto**

A análise quantitativa do projeto tem como objetivo preencher uma lacuna de conhecimento e contribuir para o auxílio na tomada de decisão durante as fases iniciais do projeto. Durante a revisão da literatura ficou evidente a necessidade de estudos que tivessem uma análise quantitativa, sobretudo no que se refere à segurança na fase de projeto, uma vez que a maioria dos estudos voltados para esta fase está concentrada na identificação e mitigação dos riscos durante a construção, principalmente através da utilização de EPIs e EPCs. Desta forma, esta pesquisa propõe uma metodologia em que se avalia de forma quantitativa a segurança do projeto de modo a prevenir ou diminuir os riscos de acidentes dos trabalhadores da construção de edificações.

##### **4.3.1.**

##### **Indicadores de segurança**

Os indicadores de desempenho da segurança na construção podem ser divididos de acordo com o componente em que se enquadra, por exemplo: processo; cultura; pessoas; infraestrutura; tecnologia e indicadores métricos (Shaikh et al.,

2020). Os indicadores métricos encontrados na literatura, normalmente, são obtidos através de dados passados, como taxas de: acidentes; mortalidade; ferimentos em primeiros socorros; lesões; afastamentos; dentre outras.

Ou ainda podem ser classificados conforme proposto por López-Arquillos & Rubio-Romero (2015) através das categorias: registro de acidentes; avaliação de risco; carga de trabalho; treinamento em saúde e segurança; percepção da saúde e segurança; gestão da saúde e segurança; e ainda a contribuição de indicadores que avaliam a PtD, onde quantificam quanto o projeto foi pensando para a prevenção de acidentes. Tendo em vista estas métricas e a avaliação inicial, foram desenvolvidas diferentes métricas de acordo com as recomendações de PtD encontradas na literatura, tendo como referência a Tabela 6.

Com isso, de modo a atribuir uma nota de segurança ao projeto foram definidas métricas do Grau de Insegurança do Projeto (GIP) de acordo com os elementos de PtD identificados na literatura que podem apresentar perigos aos trabalhadores, como visto na Tabela 7 e também com atribuição dos pesos referentes aos riscos de acidentes (Tabela 8 e mostrados novamente na Tabela 12) associados a cada um destes elementos conforme os dados de gravidade e frequência de acidentes obtidos no questionário.

Tabela 12: Tipos de acidentes avaliados (repetição)

Categorização do acidente	Classificação do acidente	Sigla do risco de acidente
Quedas	Quedas de objetos leves, pequenos (ex.: ferramentas)	R <sub>A1</sub>
	Quedas de objetos grandes, pesados (ex.: elemento estrutural)	R <sub>A2</sub>
	Quedas do trabalhador até 2,0 m	R <sub>A3</sub>
	Quedas do trabalhador acima de 2,0 m	R <sub>A4</sub>
Abrasões/Perfurações	Abrasões/Perfurações	R <sub>A5</sub>
Colisões/Choques	Colisões/Choques entre o trabalhador e materiais ou objetos	R <sub>A6</sub>
	Colisões/Choques entre o trabalhador e maquinários	R <sub>A7</sub>
Lesões musculoesqueléticas	Lesões musculoesqueléticas	R <sub>A8</sub>
Desabamentos/Soterramentos	Desabamentos/Soterramentos	R <sub>A9</sub>
Esmagamentos	Esmagamentos	R <sub>A10</sub>

Desta forma, as métricas seguiram a classificação adotada conforme Tabela 7 avaliando-se os seguintes elementos estruturais: colunas, escadas, lajes e vigas

(pré-moldado e moldado no local) e as especificações gerais, como guarda-corpo, telhado, dentre outros. Estas métricas são mostradas adiante, onde  $R_{Ei}$  corresponde ao risco associado ao elemento  $i$  analisado e  $GIP_{Ei}$  corresponde ao Grau de Insegurança do Projeto do elemento  $i$ . Na maioria dos casos, as métricas são definidas como a taxa de ocorrência de elementos que apresentam configuração insegura e a quantidade total de elementos, porém em alguns casos, a análise se difere. A cada um dos elementos de projeto analisados estão associados um ou mais riscos, sendo, portanto, adotado o risco de maior valor.

Primeiramente são apresentadas as métricas referentes à avaliação do sistema estrutural, considerando as estruturas pré-moldadas, conforme Tabela 13. Com relação aos elementos estruturais pré-moldados a atenção é voltada ao peso destes elementos, que dependerá em muitos casos do tipo de equipamento de içamento utilizado; ao comprimento que em caso de elementos muito grandes podem provocar colisões; às especificações de escadas que após instaladas estarão em uso pelos funcionários; e também à largura de vigas, que deve ser suficientemente larga para permitir o caminhar do trabalhador durante suas atividades de trabalho, principalmente para a realização das conexões da estrutura.

Tabela 13: Síntese da avaliação de estruturas pré-moldadas

SISTEMA ESTRUTURAL - Estrutura Pré-Moldada			
Elementos	Análise de insegurança no projeto	Riscos associados	GIP
Colunas	Comprimento: $L > 5,00 \text{ m}$	$R_{E1} = R_{A6}$	$GIP_{E1} = \frac{n^\circ \text{ de colunas com } L > 5,0 \text{ m}}{n^\circ \text{ total de colunas}}$
	Peso: $P > 5000 \text{ kg}$	$R_{E2} = R_{A2}$	$GIP_{E2} = \frac{n^\circ \text{ de colunas com } P > 5000 \text{ kg}}{n^\circ \text{ total de colunas}}$
Escadas	Altura dos espelhos: $e > 17,50 \text{ cm}$	$R_{E3} = R_{A3}$	$GIP_{E3} = \frac{n^\circ \text{ de escadas com } e > 17,50 \text{ cm}}{n^\circ \text{ total de escadas}}$
	Largura dos pisos: $p \geq 26 \text{ cm}$	$R_{E4} = R_{A3}$	$GIP_{E4} = \frac{n^\circ \text{ de escadas com } p \geq 26,00 \text{ cm}}{n^\circ \text{ total de escadas}}$
Lajes	Peso $> 5000 \text{ kg}$	$R_{E5} = R_{A2}$	$GIP_{E5} = \frac{n^\circ \text{ de lajes com } P > 5000 \text{ kg}}{n^\circ \text{ total de lajes}}$
Vigas	Comprimento: $L > 5,00 \text{ m}$	$R_{E6} = R_{A6}$	$GIP_{E6} = \frac{n^\circ \text{ de vigas com } L > 5,0 \text{ m}}{n^\circ \text{ total de vigas}}$
	Peso $> 5000 \text{ kg}$	$R_{E7} = R_{A2}$	$GIP_{E7} = \frac{n^\circ \text{ de vigas com } P > 5000 \text{ kg}}{n^\circ \text{ total de vigas}}$
	Largura: $l < 15 \text{ cm}$	$R_{E8} = R_{A4}$	$GIP_{E8} = \frac{n^\circ \text{ de vigas com } l < 15 \text{ cm}}{n^\circ \text{ total de vigas}}$

Para estruturas moldadas no local as recomendações de PtD se alteram e com elas as métricas de análise, mostradas na Tabela 14. Em geral as recomendações estão voltadas tanto para a forma quanto à complexidade de execução. Para a classificação de colunas foram consideradas como estruturas complexas as colunas em V e L, aquelas com presença de console e também aquelas que se encaixam na definição de pilar-parede<sup>5</sup>. Esta complexidade advém, principalmente devido ao grande tamanho dos elementos e dificuldade no processo de construção, sendo colunas retangulares e circulares consideradas simples. Para as vigas foram consideradas simples as que não possuem inclinações e são retilíneas, sendo complexas as vigas curvas ou com presença de inclinação e as definidas como viga-parede<sup>6</sup>. Já para as escadas foram consideradas complexas as que possuem configuração leque, caracol, e aquelas com patamares e degraus desunidos, as simples correspondem aos demais tipos de escadas como linear, L e U (Vasconcelos, 2013).

Além disso, foi realizada uma distinção entre furos e aberturas. Os furos em pisos, segundo a OSHA 1910.21 (2005), tem sua menor dimensão maior do que 2,50 cm (1 in) e menor do que 30,50 cm (12 in), permitindo a queda de materiais e objetos, mas não a queda de pessoas. Já as aberturas em pisos são caracterizadas por ter sua menor dimensão maior ou igual a 30,50 cm, permitindo neste caso a queda de pessoas, inclusive. Esta distinção é importante para a avaliação uma vez que os riscos de queda associados a furos e aberturas são diferentes, e, portanto, permite uma avaliação mais adequada da segurança do projeto. Tendo em vista este risco de acidente, considerou-se necessária uma distância entre as aberturas e o perímetro estrutural, as bordas e as passagens. Nesta pesquisa foi adotado o valor de 2,00 m conforme proposto por Li et al. (2015). Também foi adotada uma distância para os furos, porém de 1,0 m em vez de 2,0 m.

Para a avaliação das escadas foram consideradas as dimensões de espelhos e pisos, conforme recomendado por Yuan et al. (2019) da mesma forma como foi avaliado para a estrutura pré-moldada. Estas recomendações são importantes para evitar que os pisos sejam muito estreitos e a altura dos espelhos seja muito elevada,

---

<sup>5</sup> Pilar-parede é definido quando maior dimensão do pilar é maior ou igual a cinco vezes a menor dimensão, (ABNT NBR 6118, 2014).

<sup>6</sup> Viga-parede é definição dada a vigas que apresentam a relação entre o comprimento e a altura menor ou igual a dois quando biapoiadas (ABNT NBR 6118, 2014).

melhorando a ergonomia ao se utilizar a escada e reduzindo os perigos de queda do trabalhador.

Tabela 14: Síntese da avaliação de estruturas moldadas no local

SISTEMA ESTRUTURAL - Estrutura moldada no local			
Elementos	Análise de insegurança no projeto	Riscos associados	GIP
Colunas	Design complexo	$R_{E9} > \{R_{A2}; R_{A5}\}$	$GIP_{E9} = \frac{n^{\circ} \text{ de colunas com design complexo}}{n^{\circ} \text{ total de colunas}}$
Escadas	Design complexo	$R_{E10} > \{R_{A2}; R_{A5}\}$	$GIP_{E10} = \frac{n^{\circ} \text{ de escadas com design complexo}}{n^{\circ} \text{ total de escadas}}$
	Altura dos espelhos: $e > 17,50$ cm	$R_{E11} = R_{A1}$	$GIP_{E11} = \frac{n^{\circ} \text{ de escadas com } e > 17,50 \text{ cm}}{n^{\circ} \text{ total de escadas}}$
	Largura dos pisos: $p \geq 26$ cm	$R_{E12} = R_{A4}$	$GIP_{E12} = \frac{n^{\circ} \text{ de escadas com } p \geq 26,00 \text{ cm}}{n^{\circ} \text{ total de escadas}}$
Lajes	Distância entre as aberturas e perímetro estrutural, bordas e passagens ( $d < 1,00$ m)	$R_{E13} > \{R_{A3}; R_{A5}\}$	$GIP_{E13} = \frac{n^{\circ} \text{ de aberturas com } d < 1,00 \text{ m}}{n^{\circ} \text{ total de aberturas}}$
	Distância entre os furos e perímetro estrutural, bordas e passagens ( $d < 2,00$ m)	$R_{E14} = R_{A3}$	$GIP_{E14} = \frac{n^{\circ} \text{ de furos com } d < 2,00 \text{ m}}{n^{\circ} \text{ total de furos}}$
Vigas	Design complexo	$R_{E15} = R_{A3}$	$GIP_{E15} = \frac{n^{\circ} \text{ de vigas com design complexo}}{n^{\circ} \text{ total de vigas}}$

Como especificações gerais do projeto foram inseridos elementos diversos relacionados, principalmente, às definições arquitetônicas. Propõe-se a análise de guarda-corpos e muretas presentes nas bordas das edificações quanto à sua altura, em telhados por exemplo, esta avaliação é de extrema importância já que reduz a possibilidade de quedas tanto durante a fase de construção, como também durante a manutenção, dispensando o uso guarda-corpo temporário; a análise da altura do peitoril de janelas de modo que sirvam como guarda-corpo em níveis acima de 2,0 m do térreo, diminuindo a possibilidade de queda do trabalhador; a verificação de elementos do telhado e rampas.

Também se propõe a verificação da presença de subsolo na edificação, já que este elemento está atrelado a acidentes graves; bem como a presença de parede cortina devido a sua complexidade de instalação, o que possibilita diferentes riscos

de acidentes ocupacionais; e a altura do pé-direito já que edificações com pé-direito muito alto aumenta o tempo de exposição do trabalhador em trabalhos em altura. As métricas são apresentadas na Tabela 15.

Para a análise da inclinação de rampas, foi utilizada a recomendação proposta por Gambatese (1996). Desta forma, foi verificada a inclinação de cada uma das rampas, atribuindo ao  $GIP_{i,rampa}$  o valor 1,0 quando a inclinação da rampa for maior que  $7^\circ$  e 0,0 quando a inclinação for menor do que este valor. Logo, o  $GIP_{E21}$  é obtido através da média encontrada ao se avaliar todas as rampas presentes no projeto. O mesmo foi feito para a inclinação do telhado, com o  $GIP_{i,telhado}$  segundo as recomendações de Cooke et al. (2008).

Tabela 15: Síntese da avaliação de especificações gerais do projeto

ESPECIFICAÇÕES GERAIS DO PROJETO			
Elementos	Análise de insegurança no projeto	Riscos associados	GIP
Guarda-corpo	Altura do guarda-corpo menor do que 1,20 m ( $h_p < 1,20$ m)	$R_{E16} = R_{A4}$	$GIP_{E16} = \frac{\text{comprimento linear } h_p < 1,20 \text{ m}}{\text{comprimento linear total}}$
Janelas	Peitoril de janelas menor do que 1,20 m ( $h_j < 1,20$ m)	$R_{E17} = R_{A4}$	$GIP_{E17} = \frac{n^\circ \text{ de janelas com } h_j < 1,20 \text{ m}}{n^\circ \text{ total de janelas}}$
Níveis	Presença de subsolo	$R_{E18} > \{R_{A7}; R_{A9}\}$	$GIP_{E18} = \begin{cases} 1, & \text{se houver subsolo} \\ 0, & \text{se não houver subsolo} \end{cases}$
Parede Cortina	Presença de parede cortina	$R_{E19} > \{R_{A4}; R_{A5}; R_{A8}\}$	$GIP_{E19} = \begin{cases} 1, & \text{se houver parede cortina} \\ 0, & \text{se não houver parede cortina} \end{cases}$
Pé direito	Pé direito com altura superior a 3,5 m ( $h > 3,50$ m)	$R_{E20} = R_{A4}$	$GIP_{E20} = \frac{n^\circ \text{ de pavimentos com } h > 3,50 \text{ m}}{n^\circ \text{ total de pavimentos}}$
Rampas	Inclinação de rampas superiores à $7^\circ$ ( $i_r$ )	$R_{E21} > \{R_{A3}; R_{A8}\}$	$GIP_{E21} = \text{média}(GIP_{i,rampa})$ $GIP_{i,rampa} = \begin{cases} 1, & \text{se } i_r > 7^\circ \\ 0, & \text{se } i_r \leq 7^\circ \end{cases}$
Telhado	Falta de acesso permanente e fixo ao telhado	$R_{A22} = R_{A4}$	$GIP_{E22} = \begin{cases} 1, & \text{sem acesso permanente} \\ 0, & \text{com acesso permanente} \end{cases}$
Telhado	Elevada inclinação (i) do telhado	$R_{E23} = R_{A4}$	$GIP_{E23} = \text{média}(GIP_{i,telhado})$

$$GIP_{i,telhado} = \begin{cases} 1 & \text{se } i > 25^\circ \\ 0,75 & \text{se } 14^\circ < i \leq 25^\circ \\ 0,50 & \text{se } 5^\circ < i \leq 14^\circ \\ 0,25 & \text{se } 2^\circ < i \leq 5^\circ \\ 0 & \text{se } 0^\circ < i \leq 2^\circ \end{cases}$$

Das tabelas detalhadas acima, é possível perceber que o  $GIP_{Ei}$  varia de 0 a 1. Assim, é possível obter o  $GSP_{Ei}$  (Grau de Segurança do Projeto do elemento i) através da relação apresentada na Equação 3 abaixo:

$$GSP_{Ei} = 1 - GIP_{Ei} \quad (3)$$

#### 4.3.2. Nota do projeto

Para que a avaliação do projeto auxilie os profissionais no processo de decisão é importante definir uma nota de projeto. Na subseção anterior, deu-se ênfase ao cálculo do GIP, já que é a este parâmetro que se relacionam os riscos de acidentes. Assim sendo, o GIP foi transformado em uma Nota de Insegurança do Projeto (NIP), variando de 0 a 10, para cada uma das categorias analisadas (sistema estrutural e especificações gerais do projeto), conforme Equação 4.

$$NIP_Y = 10 \times \frac{\sum_{i=m}^n (GIP_{Ei} \times R_{Ei})}{\sum_{i=m}^n R_{Ei}} \quad (4)$$

Do mesmo modo que o GIP se relaciona com o GSP, a NIP se relaciona com Nota de Segurança do Projeto (NSP), conforme Equação 5.

$$NSP_Y = 10 - NIP_Y \quad (5)$$

Das Equações 4 e 5, tem-se:

- Y assume SE para Sistema Estrutural e EGS para Especificações Gerais de Projeto;
- $GIP_{Ei}$  representa o GIP para o elemento de projeto i analisado;
- $R_{Ei}$  corresponde ao risco de acidente associado ao elemento i analisado;
- n é igual a 1 e m é igual a 8, para o sistema estrutural pré-moldado;
- n é igual a 9 e m é igual a 15, para o sistema estrutural moldado no local;
- n é igual a 16 e m é igual a 23, para as especificações gerais do projeto.

Com isso, é possível determinar o grau de insegurança total do projeto considerando a análise de todas as categorias detalhadas acima. Desta forma, NIP é dado pelo somatório dos resultados obtidos em cada etapa, podendo ou não ser acrescido de um peso ( $\gamma$ ) de acordo com a característica da empresa que irá executar a obra ou de acordo com as considerações dos projetistas. Portanto, obtém-se a NSP, de acordo com a Equação 6 abaixo:

$$NSP = NSP_{SE} * \gamma_{SE} + NSP_{EGP} * \gamma_{EGP} \quad (6)$$

Sendo:

$$\gamma_{SE} + \gamma_{EGP} = 1 \quad (7)$$

Onde:

- $\gamma_{SE}$  é a contribuição à NSP referente ao sistema estrutural e;
- $\gamma_{EGP}$  a contribuição à NSP referente às especificações gerais de projeto.

Para que a contribuição das parcelas seja igual, cada um dos coeficientes deve ser de valor igual a 0,50.



## 5

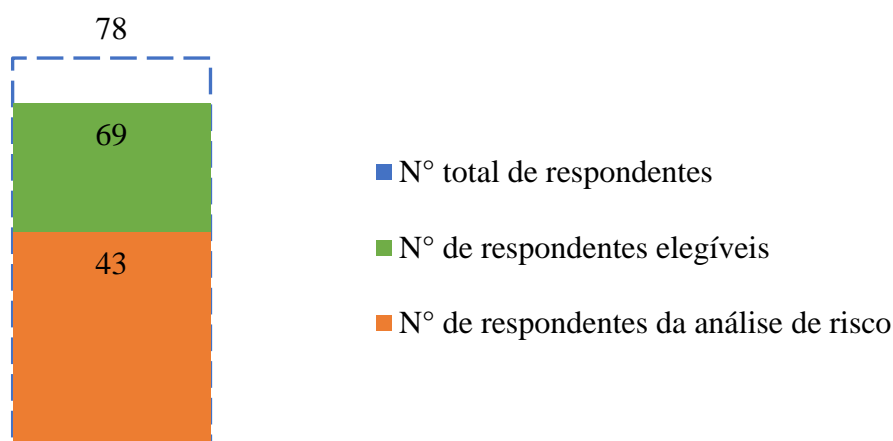
### Avaliação da metodologia proposta e resultados

Este capítulo apresenta a análise do questionário aplicado. E com base nos seus resultados, foi desenvolvido um mapa de processos como forma de auxiliar a colaboração entre todos os atores envolvidos no projeto. Além disso, mostra a metodologia aplicada a um modelo de edifício 3D, como exemplificação.

#### 5.1. Análise do questionário

O questionário foi divulgado extensivamente por dois meses, resultando em 78 respostas. Deste total 52 profissionais responderam a seção 02, que avalia o risco do acidente através da determinação da gravidade e da frequência dos acidentes, além das seções 01 e 03 comum a todos os respondentes, já que possuíam média ou alta experiência em segurança do trabalho. Dentre as respostas, 9 questionários respondidos foram descartados como é discutido a seguir. Como resultado 69 foram analisados, sendo que 43 contemplam todas as seções. Este detalhamento é visto na Figura 12.

Figura 12: Síntese do número de respondentes obtidos



A eliminação destas respostas foi justificada para maior coerência dos dados do questionário. Foram adotados alguns critérios de exclusão para as respostas obtidas.

Primeiramente, foi analisado o perfil profissional dos respondentes, sendo eliminadas as respostas de indivíduos cuja área de atuação é diferente da área de edificações. Com isso foi eliminada 01 resposta já que a atuação do profissional é na indústria de óleo e gás.

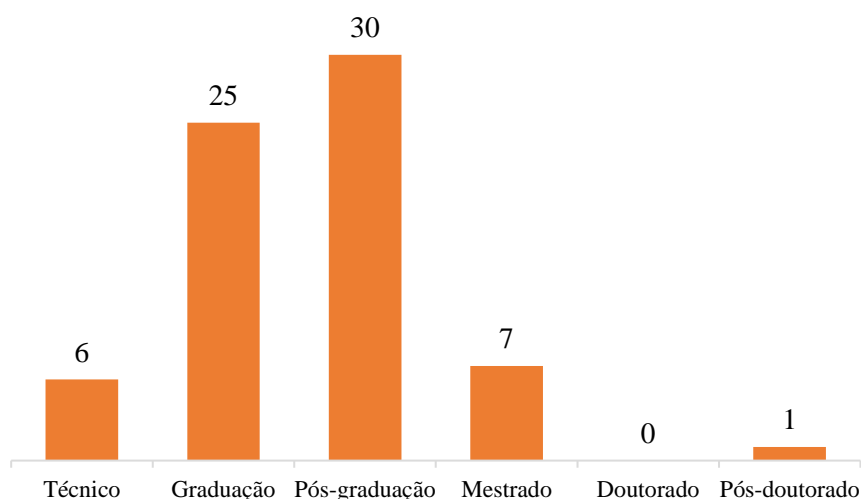
Também foram eliminados os dados de respondentes que optaram por não responder algum item da análise de risco (questões 10 e 11), de modo a facilitar a análise como um todo e possibilitar a verificação da consistência interna, totalizando 03 respostas.

E por último, foram identificados e analisados os 5% das respostas que estavam fora da curva de tendência para cada um dos 20 itens de gravidade e frequência de acidentes (perguntas 10 e 11, respectivamente). Através desta análise, foi possível notar que alguns respondentes apresentavam uma grande quantidade de respostas fora da tendência, mostrando que os dados não eram confiáveis, como resultado 05 respostas de questionários foram eliminadas.

#### 5.1.1. Análise do perfil dos profissionais

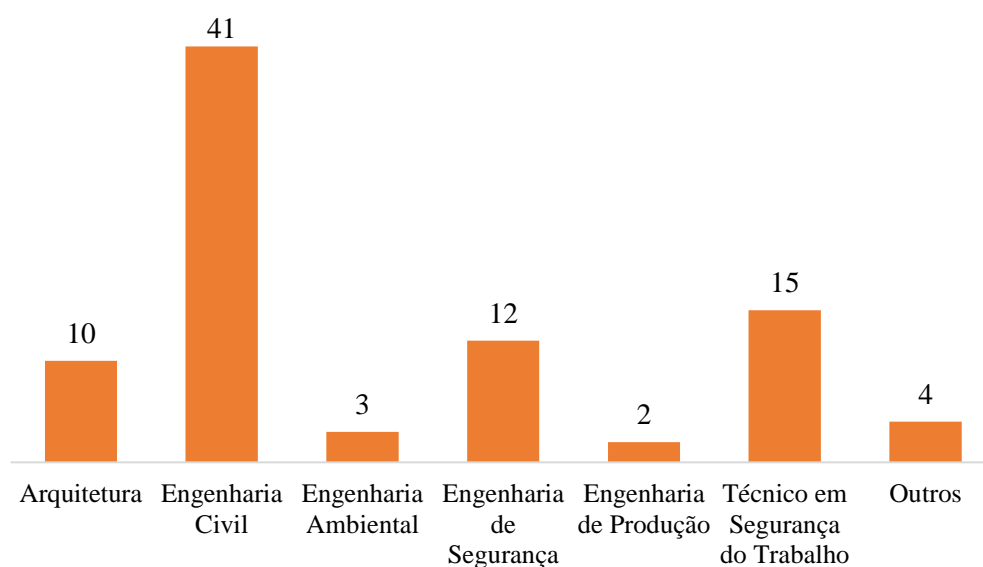
Apesar de se esperar que boa parte dos respondentes tivessem área de formação técnica em segurança do trabalho, a maior parte dos respondentes possuem nível de escolaridade de graduação e pós-graduação. Dos 69 respondentes elegíveis, os profissionais possuem majoritariamente nível de escolaridade de pós-graduação (43,5%), seguido por graduação (36,2%), conforme distribuição da Figura 13, abaixo.

Figura 13: Nível de escolaridade dos profissionais



No questionário, foi dada a opção de os profissionais colocarem todas as suas áreas de atuação e de formação. Desta forma, constatou-se que 78,3% dos respondentes possuíam apenas um curso de formação, 14,5% dois cursos e 7,2% três, sendo o curso mais representativo a engenharia civil com 41 participantes (59,4%). Porém, em menor número também tiveram cursos como técnico em segurança do trabalho, engenharia de segurança, arquitetura, dentre outros, conforme Figura 14.

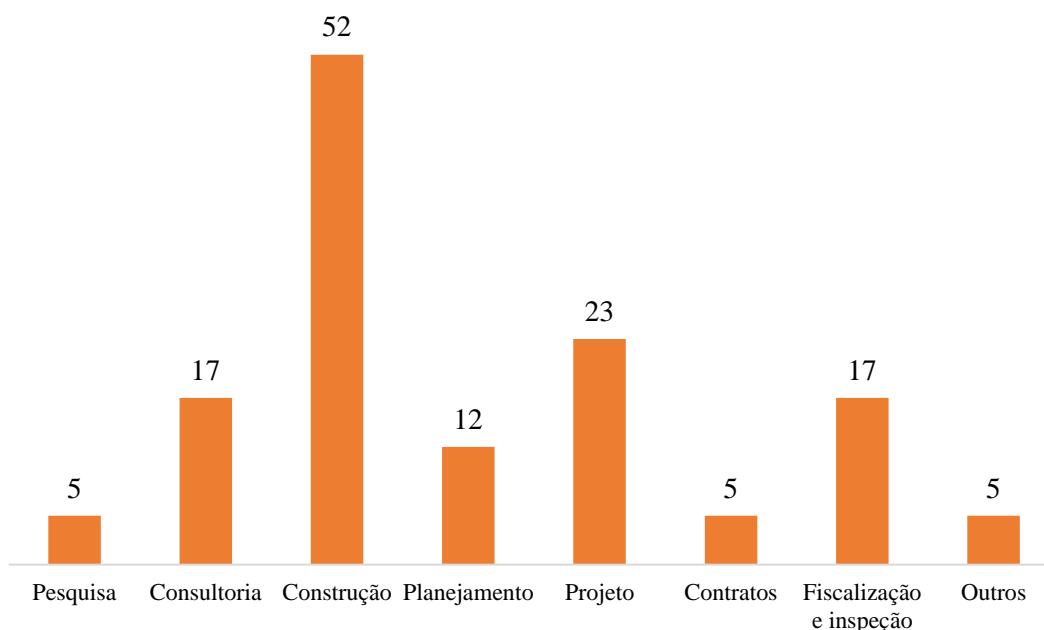
Figura 14: Curso de formação dos profissionais



Dentre os 69 respondentes, 15% possuem dois cursos de formação e 7% possuem três cursos de formação

Quanto à área de atuação, 52,2% dos profissionais atuam em apenas uma área, enquanto 23,2% atuam em duas áreas e 24,6% atuam em três ou mais áreas. O grande destaque foi para a construção com 52 participantes, seguido de projeto com 23, fiscalização e inspeção com 17, o mesmo para consultoria e planejamento com 12. Já as outras áreas como pesquisa, contratos e orçamentos, por exemplo, foram menos representativas, como visto na Figura 15.

Figura 15: Área de atuação dos respondentes



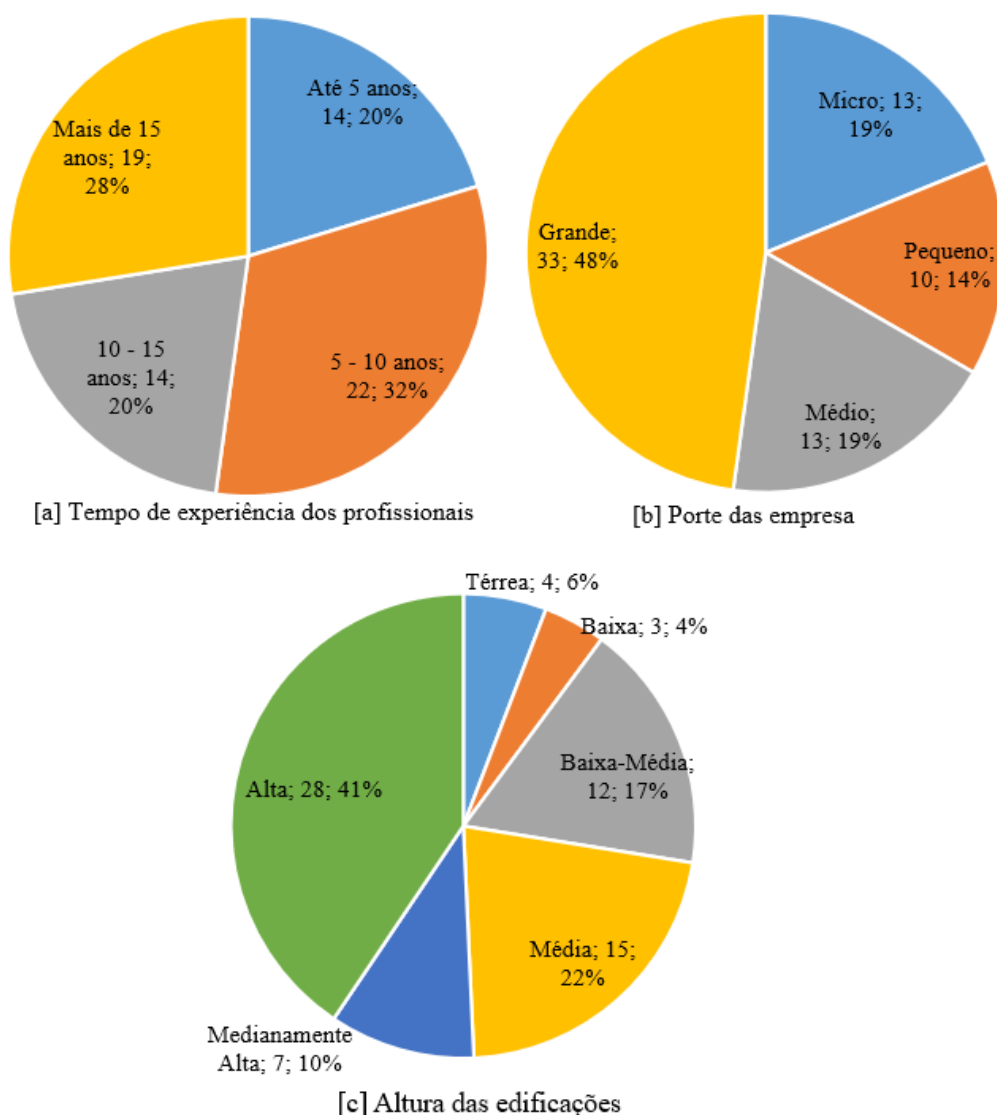
Dentre os 69 respondentes, 23% possuem mais de duas áreas de atuação e 25% possuem três ou mais áreas de atuação

Além disso, a pesquisa apontou que majoritariamente os respondentes possuem mais de 5 anos de experiência, correspondendo a 79,7% do total, e ainda, deste total 28% possuem mais de 15 anos de experiência, conforme Figura 16 [a]. Apontando uma visão holística.

Na análise de perfil do profissional também foi inserida questões sobre o porte da empresa em que trabalha e a altura das edificações onde comumente o profissional realiza seu trabalho. Estas questões possuem o objetivo de analisar se estes dois fatores podem influenciar a análise de risco de acidentes. Adicionalmente, a altura das edificações foi pedida para as respostas de edificação térrea e baixa pudessem ser filtradas, já que a pesquisa tem foco em edificações com altura elevada, porém como o índice de confiabilidade na análise de risco apresentou um ótimo resultado, como será visto adiante, estas respostas foram consideradas nas análises, já que mesmo em construções menores os trabalhadores estão constantemente expostos aos riscos avaliados.

Como resultado tem-se que 48% trabalham em grandes empresas e apenas 19% trabalham em micro empresa, Figura 16 [b]. Além disso, as obras em que trabalham são predominantemente edificações com 3 ou mais pavimentos (90%), sendo 41% altas e apenas 6% térreas, Figura 16 [c].

Figura 16: Tempo de experiência [a], porte das empresas [b] e altura das edificações [c]



De acordo com o perfil do profissional foi possível analisar que apenas 20% dos arquitetos(as) possuem média ou alta experiência em segurança do trabalho, enquanto que para engenheiros(as) civis esse número foi de 66% (Figura 17). Já quanto a área de atuação, percebe-se que a área de fiscalização e inspeção é a que possui mais profissionais com média ou alta experiência em segurança do trabalho (82%), e que a área de planejamento e projeto são as que menos se enquadram nesta categoria, com 50% e 57%, respectivamente (Figura 18). Este fator mostra a falta de conhecimento e experiência destes profissionais em segurança do trabalho.

Figura 17: Área de formação vs. Experiência em segurança do trabalho



Figura 18: Área de atuação vs. Experiência em segurança do trabalho



### 5.1.2. Análise do risco de acidente

Conforme mencionado anteriormente, a seção 02 que analisa o risco de acidente foi respondida apenas pelos profissionais com média ou alta experiência em segurança do trabalho, tendo como análise final a resposta de 43 respondentes.

Para as questões 10 e 11, cujo objetivo é a obtenção dos níveis de gravidade e frequência dos acidentes, realizou-se o teste de confiabilidade através da determinação do coeficiente alfa de Cronbach. A escala utilizada foram os valores correspondentes aos níveis destes parâmetros, como definido na Tabela 9 e na Tabela 10 e mostrado na Tabela 16, variando de 1 a 5 sendo que os 20 itens das

questões foram analisados de forma conjunta. A análise resultou em  $\alpha = 0,88$  caracterizado como um excelente resultado. Esta característica se deve, principalmente por esta etapa do questionário ter sido voltada para um público com conhecimento técnico específico.

Tabela 16: Resumo dos níveis de gravidade e frequência (repetição)

Nível adotado	Gravidade	Frequência
1	Desprezível	Rara
2	Baixa	Remota
3	Moderada	Ocasional
4	Alta	Frequente
5	Catastrófica	Quase certa

Fonte: Code of Practice on Workplace Safety and Health - Risk Management (WSHC, 2011), traduzida pela autora

Além disso, foi realizado o teste de normalidade K-S para verificar qual medida melhor representa os parâmetros de gravidade e frequência. Dos 20 itens, apenas 02 possuem uma distribuição normal, com isso, a medida que melhor representa estes dados é a mediana. Todos estes resultados podem ser vistos no Apêndice III.

Desta forma, os resultados obtidos para os níveis de gravidade e frequência são mostrados na Tabela 17, abaixo. Percebe-se que apesar da gravidade catastrófica (nível 5) obtida pelos acidentes de queda de objetos grandes; queda do trabalhador acima de 2,0 m; desabamentos e soterramentos e esmagamentos, suas frequências são de nível remoto (nível 2), contribuindo para que o risco destes acidentes fique menor do que abrasões/perfurações e lesões musculoesqueléticas.

Portanto, percebe-se a importância da avaliação em conjunto das consequências e das frequências de ocorrência do acidente. Ainda com relação a estes resultados, é possível observar que todos os tipos de acidente possuem risco médio, segundo a classificação do WSHC (2011) são toleráveis, porém necessitam de atenção, avaliação e planejamento para que sejam reduzidos.

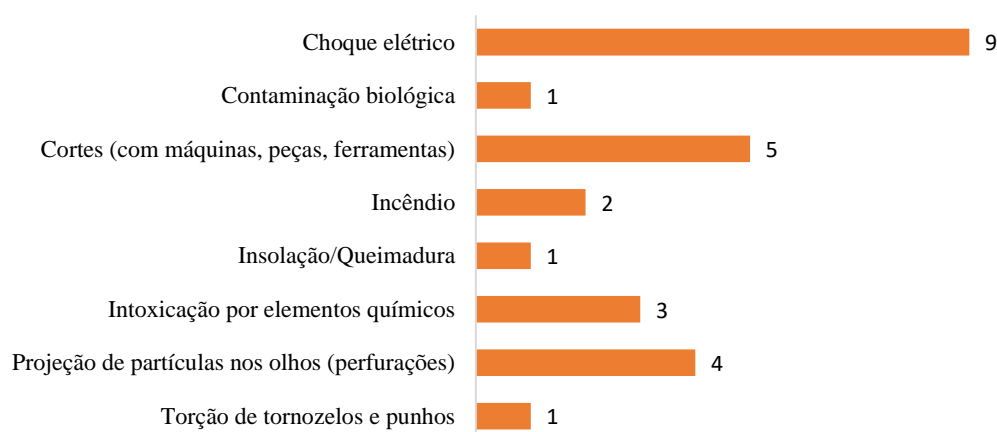
Tabela 17: Resultados do questionário dos riscos de acidentes

Classificação do acidente	Sigla do risco	Gravidade ( $G_{Ai}$ )	Frequência ( $F_{Ai}$ )	Risco ( $R_{Ai}$ )
Quedas de objetos leves, pequenos (ex.: ferramentas)	$R_{A1}$	3	3	9

Quedas de objetos grandes, pesados (ex.: elemento estrutural)	R <sub>A2</sub>	5	2	10
Quedas do trabalhador até 2,0 m	R <sub>A3</sub>	3	3	9
Quedas do trabalhador acima de 2,0 m	R <sub>A4</sub>	5	2	10
Abrasões/Perfurações	R <sub>A5</sub>	4	3	12
Colisões/Choques entre o trabalhador e materiais ou objetos	R <sub>A6</sub>	3	3	9
Colisões/Choques entre o trabalhador e maquinários	R <sub>A7</sub>	4	2	8
Lesões musculoesqueléticas	R <sub>A8</sub>	4	3	12
Desabamentos/Soterramentos	R <sub>A9</sub>	5	2	10
Esmagamentos	R <sub>A10</sub>	5	2	10

A pergunta 12, cujo objetivo consiste na obtenção de outros tipos de acidentes ocupacionais que ocorrem na construção de edificações além dos riscos definidos na pesquisa, apesar de ser aberta e não obrigatória, recebeu 29 respostas. A análise foi realizada uma a uma, em algumas situações o respondente descreveu uma situação, local ou uso de equipamento que pode ocasionar o acidente e não o acidente propriamente. Porém, a partir desta análise foi possível obter os riscos de acidentes da Figura 19. Pode-se perceber a indicação predominante de choque elétrico, seguido de cortes e projeção de partículas nos olhos, com os demais acidentes pouco citados. Apesar disso, os dados obtidos não são suficientes para serem inseridos na avaliação da pesquisa, já que em muitos casos os níveis de gravidade e frequência não foram inseridos e em alguns casos, quando contemplava esta informação, não seguiu os níveis sugeridos.

Figura 19: Demais riscos de acidentes em construções



Quanto às perguntas que visavam a avaliação sobre a minimização de riscos de acidentes através da padronização ou da utilização de pré-moldados, os



resultados não foram conclusivos de modo que pudessem ser utilizados no desenvolvimento desta pesquisa. Porém, diferente do que se esperava, todos os riscos listados foram assinalados, com destaque para as quedas. Já para a maximização dos riscos com a utilização de pré-moldados, houve menos atribuições, com destaque para a choques e colisões entre o trabalhador e objetos.

### 5.1.3.

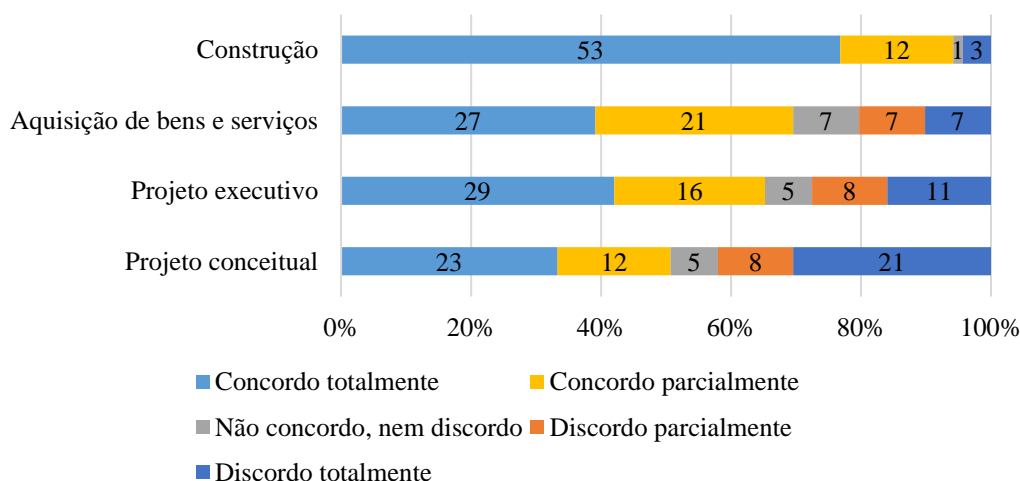
#### **Análise do planejamento da segurança**

A terceira seção do questionário teve como objetivo principal verificar se a prática se difere da opinião dos profissionais de como o planejamento da segurança deveria ser realizado. Para isso, as questões foram estruturadas de forma que fossem avaliados a fase do planejamento da segurança, o controle de riscos e o envolvimento das equipes nas tomadas de decisões.

A seção 03 é composta de 06 questões com o mesmo padrão de resposta, segundo a escala Likert: “Concordo totalmente”; “Concordo parcialmente”; “Não concordo, nem discordo”; “Discordo parcialmente”; “Discordo totalmente”, e com a opção de deixar sem responder “Prefiro não responder/Não se aplica”, assumido na análise como um posicionamento neutro. O objetivo é analisar o planejamento da segurança da construção e seguiram uma sequência em que a primeira questão pede para o profissional basear-se na sua experiência, no que ocorre na prática e a segunda pede para levar em conta sua opinião, o que acredita que deveria ser feito. Para o índice de confiabilidade, todos os 26 itens das questões 18 a 23 foram analisados conjuntamente, retornando um valor de confiabilidade  $\alpha = 0,82$ . Vale ressaltar que esta seção foi respondida por todos os 69 profissionais que tiveram o questionário validado.

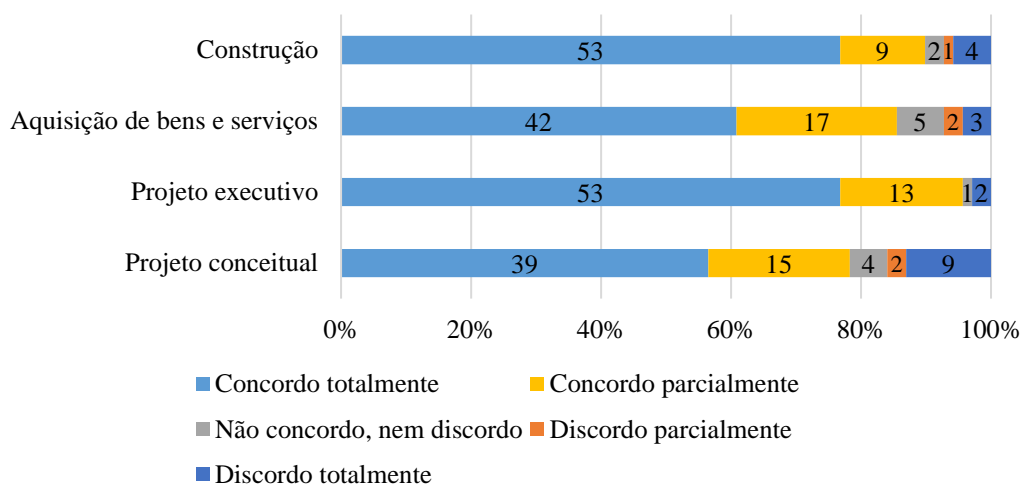
As questões 18 e 19 baseiam-se na Figura 3, em que mostra a influência na segurança segundo a fase do empreendimento: projeto conceitual; projeto executivo; aquisição de bens e serviços; construção. De acordo com o gráfico da Figura 20, mais de 77% dos respondentes concordam totalmente que o planejamento da segurança da obra é realizado durante a fase de construção, enquanto apenas 42% concordam totalmente que este planejamento é realizado durante a fase de projeto executivo e 33% na fase de projeto conceitual.

Figura 20: Planejamento da segurança - experiência dos profissionais



Porém, há uma mudança significativa quando se analisa a opinião destes profissionais de quando este planejamento da segurança deve ser feito. Mais de 77% dos respondentes concordam totalmente que o planejamento da segurança deve ocorrer durante a fase de projeto executivo e 57% na fase de projeto conceitual, conforme gráfico da Figura 21.

Figura 21: Planejamento da segurança - opinião dos profissionais



Analisando apenas os respondentes que trabalham na área de projetos também houve uma divergência entre o que é feito na prática para o que deveria ser feito, segundo suas opiniões, porém a diferença foi mais expressiva para o projeto executivo variando de 35% para 87%. O mesmo pode ser analisado considerando-se apenas os respondentes com formação em arquitetura, com esta porcentagem

variando de 20% para 70%, estes resultados podem ser vistos nos gráficos da Figura 28 e da Figura 29 do Apêndice II.

Já as questões 20 e 21 possuem o objetivo de avaliar como se realiza o controle dos riscos de acidentes aos quais os trabalhadores da construção estão sujeitos e como este controle deveria ser realizado de acordo com a opinião dos profissionais. Estas questões têm como referência a Figura 4 que representa a hierarquia de controle, mostrando que a forma mais eficiente consiste na eliminação do risco, seguido por sua substituição do risco e o método menos eficiente consiste no uso de EPIs.

Com base nos resultados mostrados na Figura 22, é possível verificar que 77% dos profissionais concordam totalmente que o controle de riscos é utilizado através do uso de EPIs e 74% com o isolamento do risco, sendo o menor resultado para a substituição do risco (22%). Com base na opinião dos profissionais, Figura 23, percebe-se que ainda prevalece o uso de EPIs (87% concordam totalmente) como forma de controle, porém é possível perceber um aumento e todas as outras formas de controle. A mudança na forma de trabalho passa de 38% para 61%; o isolamento do risco de 74% para 81%; a substituição do risco de 22% para 35% e a eliminação do risco de 46% para 70%.

Estes resultados mostram que a prática difere bastante da crença dos profissionais e ainda que o percentual dos profissionais que concordam (totalmente e parcialmente) com as formas de controle de riscos é bem maior do que aqueles que discordam ou não possuem uma opinião definida sobre este assunto. Chegando a 99% para o uso de EPIs; 97% para o isolamento do risco; 90% para a mudança na forma de trabalho; 84% para a eliminação do risco e 62% para a sua substituição. Estes resultados podem ser vistos no gráfico da Figura 30 do Apêndice II. Desta forma, percebe-se a importância do uso conjunto de diversas medidas de controle de risco para uma maior segurança aos trabalhadores da construção e um melhor ambiente de trabalho.

Figura 22: Controle dos riscos - experiência dos profissionais

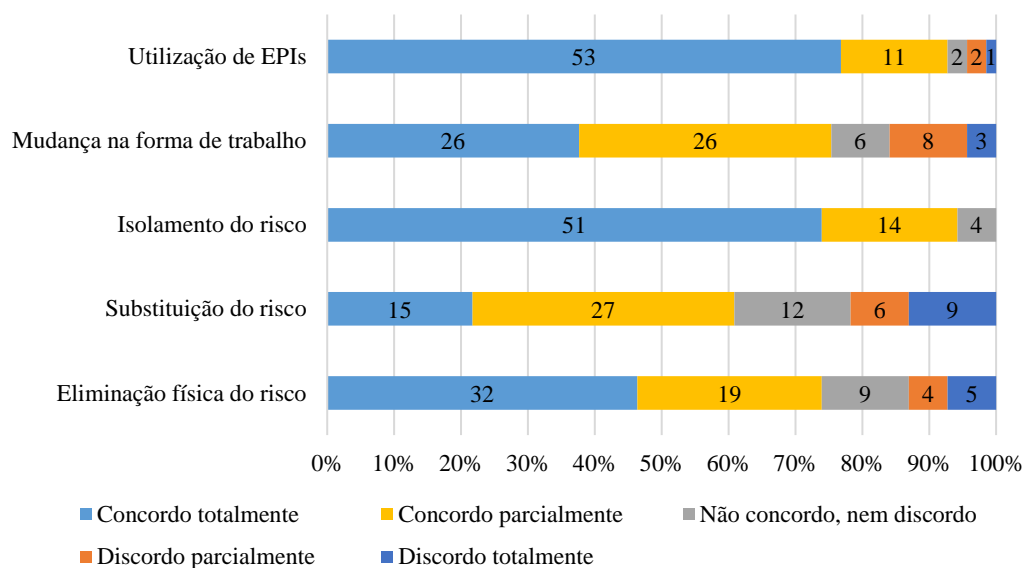
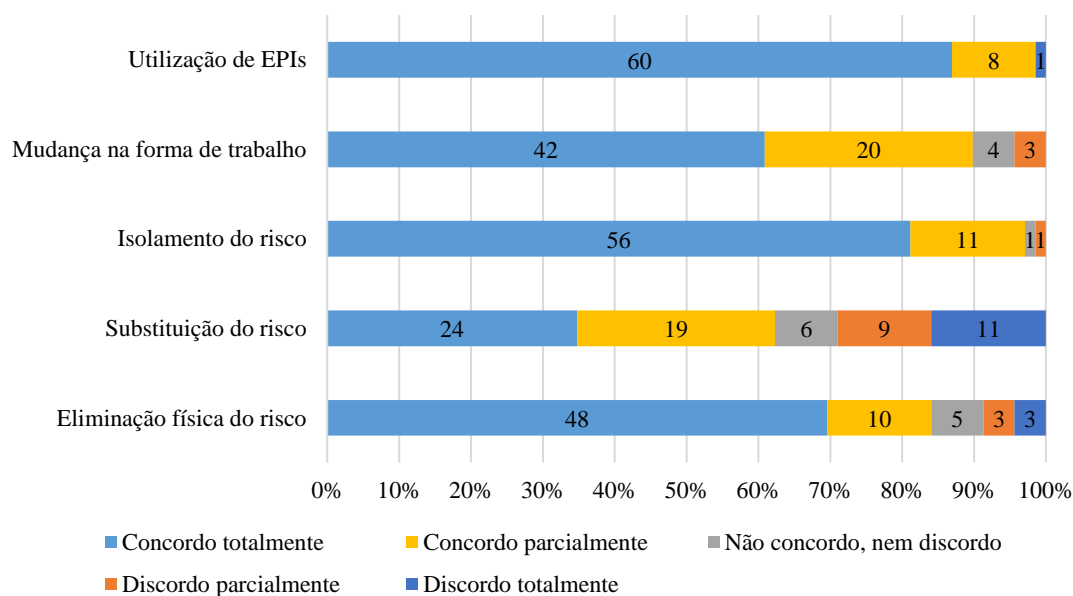


Figura 23: Controle dos riscos - opinião dos profissionais



As últimas questões (22 e 23) possuem o objetivo de avaliar se as tomadas de decisão durante a fase de projeto ocorrem ou deveriam ocorrer com o envolvimento da construtora, da equipe de planejamento da obra e de equipe de segurança do trabalho. Avaliando os profissionais que concordam totalmente com o envolvimento das partes nos processos de decisão a equipe de segurança tem o menor valor (46%), enquanto a equipe de planejamento o maior (57%), Figura 24. Porém este cenário muda substancialmente quando a opinião destes profissionais é avaliada: o envolvimento da equipe de segurança do trabalho passa para a primeira

posição com 84%; a construtora com 81% e a equipe de planejamento com 80%, Figura 25. Percebe-se ainda que apenas 3% dos respondentes assinalaram a opção discordo totalmente quanto à participação da equipe de segurança, mostrando que predominantemente a colaboração das equipes é primordial.

Avaliando-se apenas as respostas dos projetistas, constata-se que apenas 26% concordam totalmente que a equipe de segurança participa das tomadas de decisões na fase de projeto, enquanto para a construtora e a equipe de planejamento este valor foi de 43%, Figura 31 do Apêndice II. Mais uma vez esta visão se altera quando avaliada a opinião dos projetistas: 78% concordam totalmente que as decisões devem ser tomadas em conjunto com as equipes de segurança e de planejamento e 70% com o envolvimento da construtora, Figura 32 do Apêndice II.

Figura 24: Processo de decisão - experiência dos profissionais

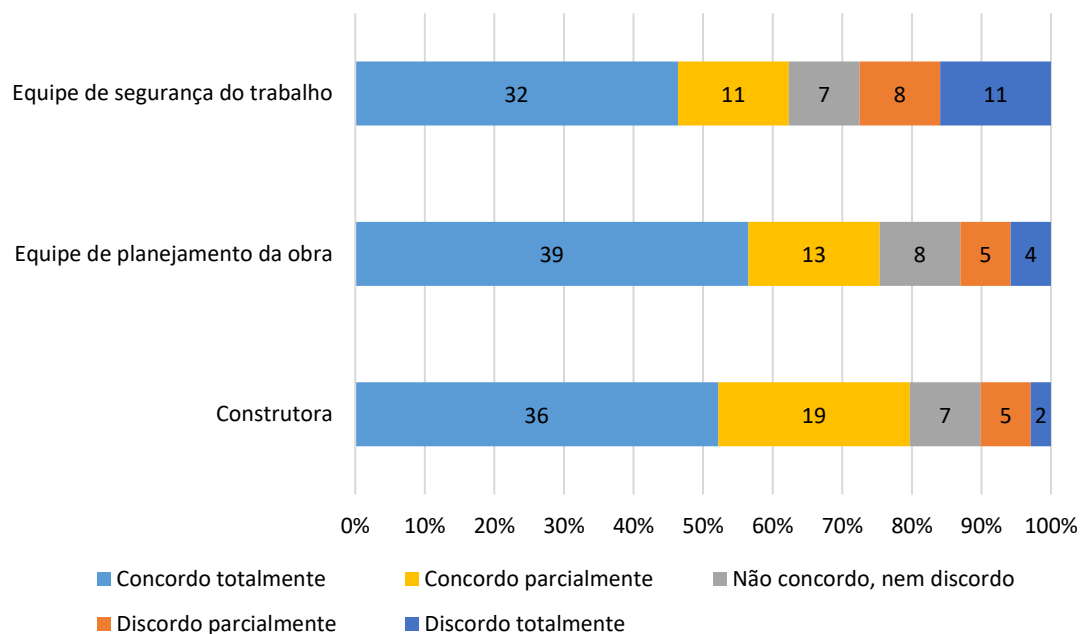
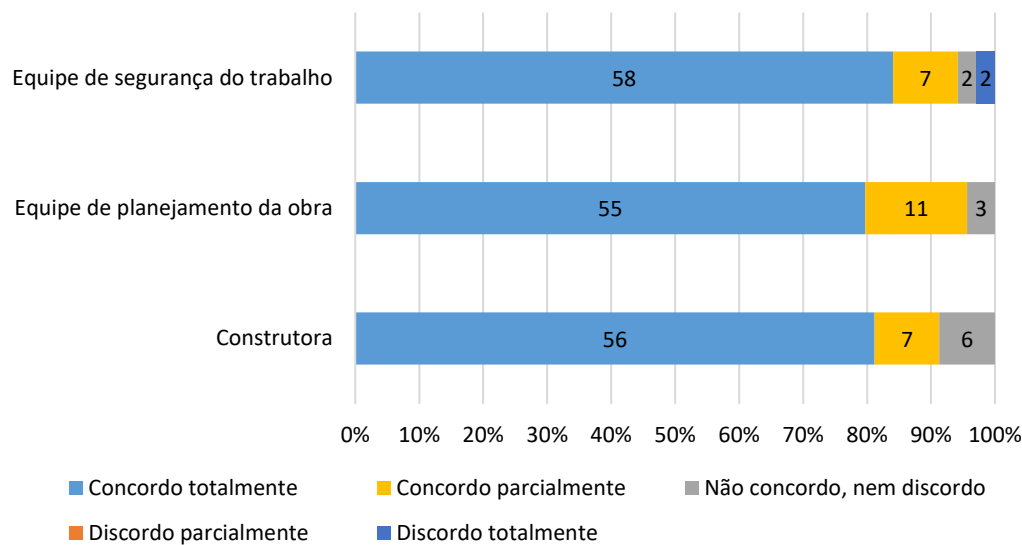


Figura 25: Processo de decisão - opinião dos profissionais



## 5.2.

### Mapa de processos proposto

Conforme discutido anteriormente, a maior parte dos projetistas da indústria da construção não avaliam a segurança do trabalhador na fase de projeto, preocupando-se apenas com a segurança do usuário final (Saurin & Formoso, 2008). Além disso, possuem conhecimento limitado no assunto, o que dificulta na identificação dos riscos que seus projetos podem apresentar durante o ciclo de vida do empreendimento (M. A. Hossain et al., 2018). Muitas das medidas adotadas nas fases mais avançadas do ciclo de vida consistem na utilização de EPIs e EPCs, uma vez que a construção já está iniciada, impossibilitando a eliminação do risco.

Assim, para ajudar a suprir a falta de conhecimento dos projetistas em segurança, além da identificação dos elementos de projeto que apresentam riscos de acidentes aos trabalhadores da construção, da estimativa de risco e da determinação de métricas que avaliem o projeto, propõe-se a definição de processos bem definidos para o uso da metodologia BIM. Desta forma, um mapa de processos é proposto para auxiliar os projetistas a alcançar o objetivo final: reduzir os riscos de acidentes aos trabalhadores da construção com a análise do projeto.

Assim sendo, o mapa de processos desta pesquisa aborda a fase inicial de projeto. E tem como objetivo auxiliar, guiar e orientar todos os envolvidos no

projeto, de modo que sejam avaliadas questões de segurança do trabalhador da construção civil desde o início do projeto para que se obtenha uma obra com menos riscos de acidentes. Este mapa tem início com as definições das necessidades e requisitos do cliente e tem seu fim com a prevenção de riscos ao trabalhador da construção na fase de projeto conceitual. Para isso, são definidos os atores que participam do processo e contribuem para o resultado final.

Os atores que participam deste mapa de processos são: cliente; coordenação de projetos BIM; e as equipes de: arquitetura, engenharia estrutural e segurança do trabalho.

O processo se inicia através da necessidade do(a) cliente em obter um projeto para a construção de seu empreendimento. Neste caso, o objetivo final do(a) cliente é obter uma construção mais segura com a minimização dos riscos à saúde e segurança do trabalhador através do uso da metodologia BIM. O(A) cliente pode ser representado por construtoras, empreendimentos imobiliários e até mesmo por seguradoras. Dentre os benefícios esperados pelo(a) cliente podem ser: gerar um ambiente de trabalho mais seguro e colaborativo; melhorar a imagem da empresa ou até mesmo visar à redução dos custos da construtora/empreendimento imobiliário na contratação do seguro ou por parte da seguradora com a possibilidade de redução de despesas com acidentes de trabalho através da análise da segurança na fase de projeto, onde os custos são menores. Deste modo o(a) cliente deve expressar seus objetivos e premissas do empreendimento à coordenação de projetos BIM.

A coordenação de projetos BIM desempenha um papel de extrema importância na gestão do projeto para alcançar os objetivos e os requisitos definidos pelo(a) cliente. A coordenação de projetos BIM é responsável na fase de projeto por gerir o projeto para que haja colaboração entre as equipes através de processos bem definidos, simples, claros e possíveis de serem realizados. Será através da coordenação BIM que ocorrerão as comunicações e aprovações pelo(a) cliente. Além disso será de sua responsabilidade a compatibilização dos projetos e a extração das planilhas definidas no *template* da ferramenta BIM para a análise da segurança do projeto. Neste caso, a coordenação irá desempenhar papel fundamental nos processos de decisões para a obtenção de um projeto que reduz os impactos negativos à saúde e segurança do trabalhador.

A equipe de arquitetura é responsável pelo projeto arquitetônico de modo que se possa obter um projeto que traga conforto ao usuário da edificação ao mesmo tempo que atenda aos requisitos e necessidades do(a) cliente. Para suprir tal demanda, esta equipe deve contar com a colaboração da equipe de segurança do trabalho, que irá auxiliar na tomada de decisão relativa a riscos de acidente através da identificação de elementos arquitetônicos no projeto que possam apresentar riscos aos trabalhadores durante a construção do empreendimento. Esta colaboração é de extrema importância, haja vista, a documentada falta de conhecimento dos projetistas nesta área.

A equipe de estruturas é responsável por projetar os elementos estruturais de modo que se obtenha um edifício seguro para os usuários, atenda às normas vigentes e aos requisitos do(a) cliente e do projeto arquitetônico. Para isso, é necessário que haja grande troca com a equipe de arquitetura, de modo que o empreendimento seja benéfico em diversos aspectos, como obedecer aos padrões arquitetônicos e reduzir os custos ao cliente através de soluções otimizadas. Além disso, de modo a atender aos objetivos do(a) cliente, com uma obra que apresente menos riscos aos trabalhadores, é necessário que a equipe estrutural também conte com o apoio da equipe de segurança, de modo a identificar quais elementos do sistema estrutural apresentam mais riscos aos trabalhadores da construção.

A compreensão, por parte das equipes de arquitetura e estrutura, dos elementos de projeto que podem apresentar riscos aos trabalhadores através da colaboração da equipe de segurança, auxiliam na concepção de um projeto mais seguro. Além disso, métricas que avaliem a segurança do projeto podem ser utilizadas para apoiar os processos de decisões e buscar soluções mais seguras dentro do projeto.

A equipe de segurança do trabalho, como já foi dito, dará suporte às equipes de projeto com a expertise necessária para a identificação dos elementos de projeto que apresentem riscos de acidentes aos trabalhadores da construção; na avaliação destes riscos e seus valores. Também serão responsáveis por calcular as métricas de segurança do projeto e apontar para as equipes de arquitetura e estrutura quais elementos influenciam mais para a insegurança do projeto de modo que os riscos associados a estes elementos possam ser eliminados ou minimizados através de uma readequação do projeto.



Caso haja outros requisitos do(a) cliente para o empreendimento e que envolva outras equipes, como por exemplo uma equipe de gestão ambiental, é necessário que a equipe de segurança do trabalho também avalie os sistemas adotados no empreendimento de modo que estes sistemas adicionais de redução dos impactos ambientais não tragam riscos à saúde e segurança do trabalhador (Dewlaney et al., 2012; Fortunato et al., 2012).

Como o desenvolvimento de projetos que buscam a implantação da PtD requer uma grande comunicação entre as equipes, é importante que haja uma metodologia, um processo para guiar as equipes, principalmente nas etapas iniciais do projeto, em que exige importantes tomadas de decisões. Desta forma, a metodologia irá auxiliar nas avaliações iniciais, facilitando a comunicação e otimização dos processos entre todos os envolvidos e interessados pelo projeto, de modo a desenvolverem um projeto de melhor qualidade, sem retrabalhos desnecessários e ao mesmo tempo mais seguro para o trabalhador da construção civil, segundo os requisitos do(a) cliente.

Com isso, propõe-se o mapa de processos mostrado na Figura 26, realizado de acordo com a linguagem BPMN. O mapa de processos começa com a reunião inicial com o cliente (KOM – *Kickoff Meeting*), onde são definidas as premissas do projeto e o(a) cliente expressa seu objetivo em obter um projeto de edificação mais seguro para os trabalhadores da construção, juntamente com o uso da metodologia BIM.

A partir das premissas e requerimentos estabelecidos na KOM, inicia-se o projeto. Desde o início, a equipe de segurança pode orientar os projetistas quanto aos riscos de acidentes que os elementos de projeto podem apresentar durante a construção da edificação. A equipe de arquitetura define o escopo do projeto e a equipe de estruturas estuda a viabilidade dos sistemas estruturais e define o melhor tipo de sistema para o projeto. Se o sistema estrutural for reprovado pela equipe de arquitetura, novo estudo é realizado. Caso seja aprovada a escolha do sistema estrutural, a construtora responsável pela obra é definida pelo(a) cliente, de modo que a equipe de segurança já pode iniciar o processo de coleta de dados de frequência de acidentes para determinação dos níveis de risco.

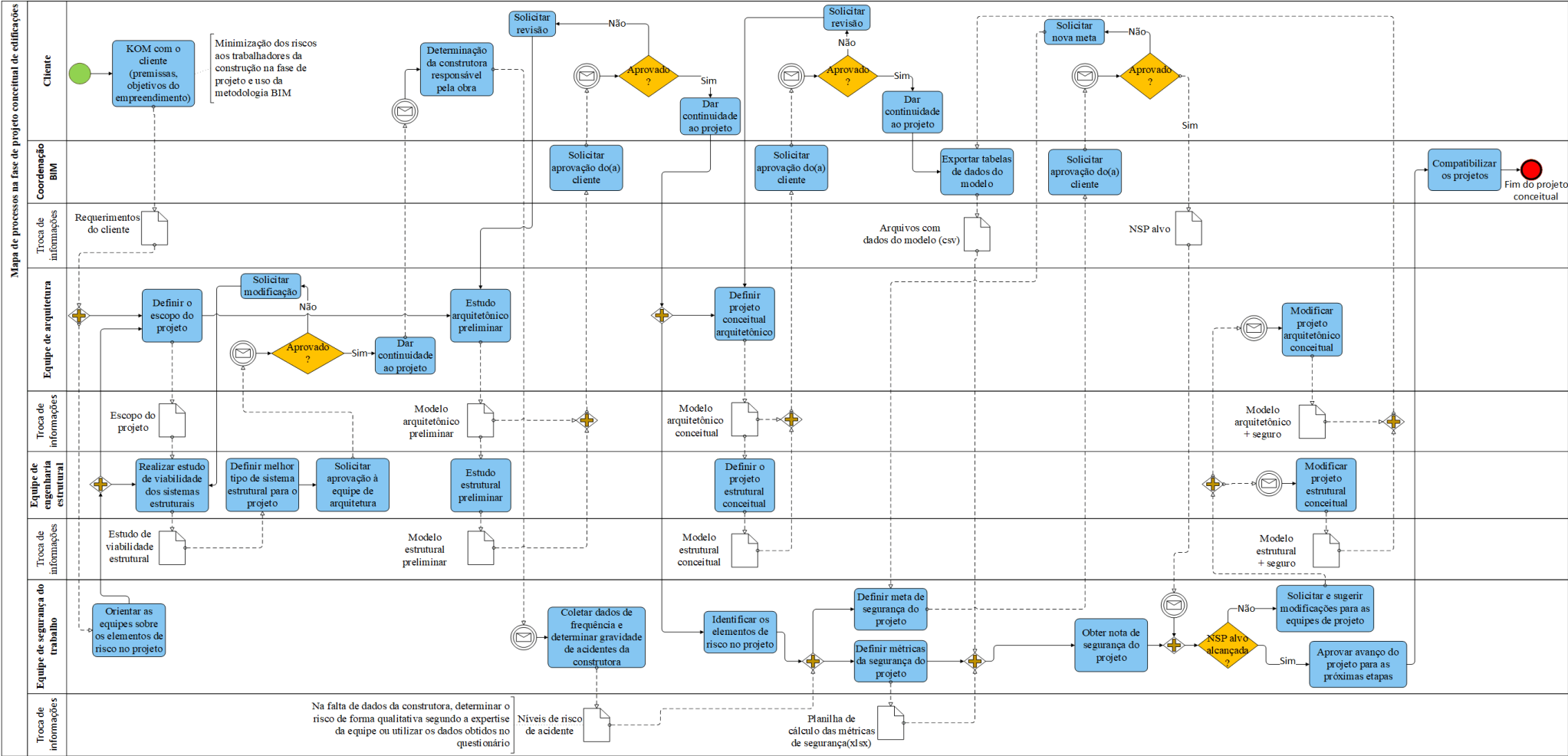
Ao mesmo tempo, o projeto avança com os estudos arquitetônico e estrutural preliminares, que após serem aprovados pelo(a) cliente, a equipe de segurança atua na identificação dos elementos de projeto que apresentam possibilidade de acidente,

e inicia o processo de avaliação da segurança através da definição das métricas e do estabelecimento da meta de segurança do projeto, por meio da NSP. Esta meta sendo aprovada pelo(a) cliente torna-se a nota alvo, ou NSP alvo.

Com a elaboração e aprovação do projeto conceitual arquitetônico e estrutural pelo(a) cliente, podem ser extraídos os dados do modelo que compõem as métricas de cálculo da NSP. Após este processo, a equipe de segurança avalia se a meta foi alcançada ou não. Caso a meta não seja alcançada, a equipe de segurança propõe às equipes de arquitetura e de engenharia estrutural modificações no projeto que possibilitem a concepção de um projeto mais seguro ao trabalhador da construção até que a NSP alvo seja alcançada. Por fim, a compatibilização dos projetos é realizada e encerra-se o processo de elaboração do projeto conceitual.

Em síntese, o mapa propõe processos bem estruturados para a tomada de decisão, desde a definição dos sistemas estrutura, bem como da construtora, uma vez que esta influencia diretamente nos riscos de acidentes ocupacionais até às modificações necessárias para que o projeto se torne mais seguro para os trabalhadores da construção. E ainda, tem como resultados principais os modelos arquitetônico e estrutural, bem como a avaliação quantitativa da segurança do projeto, obtida através de planilha no Excel® com dados obtidos pelo modelo BIM.

Figura 26: Mapa de processos proposto



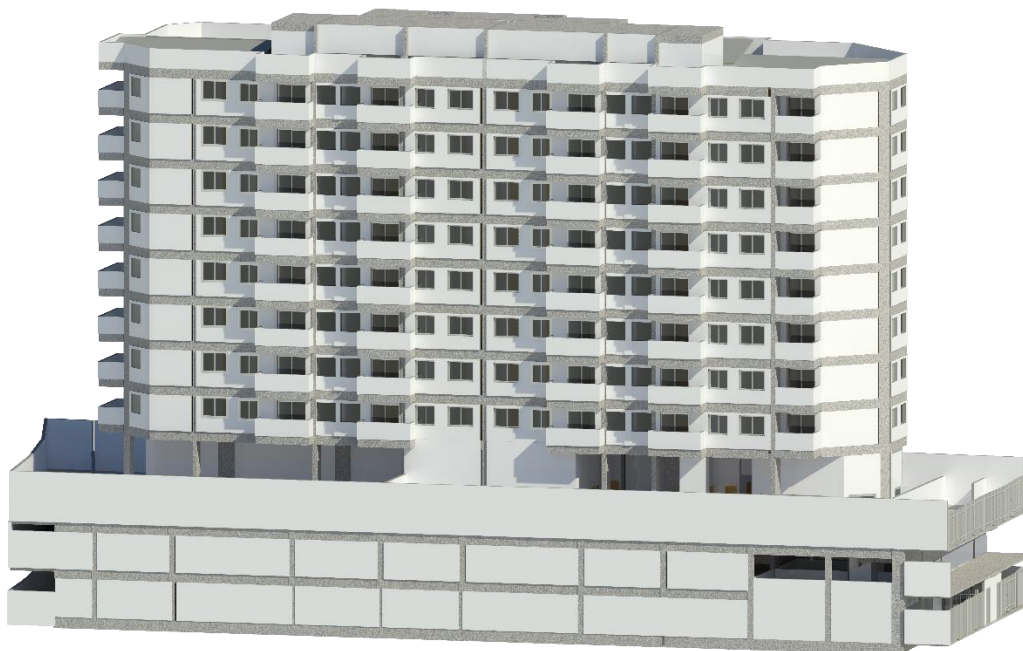
### 5.3.

#### Exemplo de aplicação da metodologia proposta

Para exemplificar a aplicação da metodologia proposta foi utilizado um modelo de edifício residencial no Revit®, concedido pelo engenheiro civil Belarmino Augusto Barros, construído na cidade do Rio de Janeiro. A edificação possui as seguintes características: piso térreo; pavimento de garagem (acima do térreo); pavimento de uso comum, com área de lazer completa (piscina, área gourmet, academia); 8 pavimentos tipo com 10 apartamentos por andar, com áreas variando de 50 a 62 m<sup>2</sup> de área útil; e cobertura de acesso restrito com reservatórios e casa de máquinas e pode ser vista na Figura 27.

No modelo do edifício consta apenas as partes arquitetônica e estrutural, disciplinas de interesse nesta análise. O modelo foi ajustado conforme as necessidades de avaliação, por exemplo, vigas e pilares foram remodeladas por trechos para que pudesse ser feita a análise das métricas de segurança tanto para o uso de concreto armado, como para o uso de pré-moldados.

Figura 27: Modelo 3D do edifício exemplo



Para a obtenção dos indicadores de segurança foi desenvolvido um template<sup>7</sup> para o Revit®. Neste template foram desenvolvidas tabelas com as informações

---

<sup>7</sup> Template é o nome dado a um modelo de projeto, com algumas características pré-definidas.

necessárias para a realização das métricas que compõem os indicadores, sendo estes últimos calculados em planilha de Excel® através da exportação dos dados das tabelas do modelo do Revit®, em formato .txt e importados através do Power Query ao Excel® para que os dados pudessem ser formatados segundo as determinações pré-estabelecidas quando houvessem alterações no modelo, e consequentemente nos arquivos .txt.

No Revit®, as planilhas foram desenvolvidas de acordo com os parâmetros necessários para a clareza dos dados e para o cálculo das métricas, todos estes parâmetros são mostrados na Tabela 18. As colunas de nível de base, nível superior e nível de referência foram utilizadas para guiar a visualização do modelo e não possuem fim quantitativo.

Para a “Família” foi adotada a seguinte nomenclatura para pilares e vigas respectivamente: Pilar-CA-Retangular, Viga-CA-Retangular. Sendo estabelecido primeiro o tipo de elemento estrutural (viga ou pilar), em seguida o tipo de estrutura (concreto armado) e por último o tipo de geometria, sendo inclusive considerada a presença de console em pilares. A nomenclatura destes elementos é importante para a avaliação da complexidade do design quando o sistema estrutural for de concreto armado moldado no local. Já na coluna “Tipo” foi inserida a dimensão dos elementos em cm (exemplo: 20x40).

Para vigas também foi considerado o comprimento final e o comprimento de corte, sendo o primeiro utilizado para quando a viga for moldada no local e o segundo para vigas pré-moldadas. Além disso, para a avaliação de furos e aberturas, é necessário obter suas dimensões, porém este tipo de tabela não está disponível no programa. Desta forma, foram criados modelos genéricos nas aberturas de elevadores, shafts de instalações hidrossanitárias, aberturas de visitas e de escadas, atribuindo-se os parâmetros comprimento e largura.

Para a análise do guarda-corpo foram utilizadas as tabelas de guarda-corpo e de parede. Isso se deve, pois no Brasil em muitos edifícios são utilizadas paredes mais baixas ou muretas como guarda-corpo, principalmente em varandas. Esta característica foi evidenciada, inclusive, no exemplo de aplicação.

Tabela 18: Descritivo no Revit® para análise quantitativa

Elementos avaliados	Nome da tabela no Revit®	Colunas no Revit®
Colunas	Tabela de pilar estrutural	Nível base; Nível superior; Família; Material estrutural; Tipo; Comprimento (m); Volume (m³); Peso (kg); Contagem
Escadas	Tabela de escada	Nível base; Nível superior; Família; Tipo de segmento de conexão; Tipo; Altura real do espelho (m); Profundidade real do piso (m); Número real de espelhos; Contagem; Comentários
Lajes	Tabela de piso	Família; Tipo; Material estrutural; Nível; Perímetro (m); Volume (m³); Peso (kg); Contagem
Lajes - aberturas e furos	Tabela de modelo genérico	Nível; Família; Tipo; Comprimento (m); Largura (m); Comentários
Vigas	Tabela de framing estrutural	Nível de Referência; Família; Tipo; Comprimento (m); Comprimento de corte (m); Volume (m³); Peso (kg); Contagem
Guarda-corpos	Tabela de guarda-corpo	Família; Tipo; Altura do guarda-corpo (m); Comprimento (m); Contagem; Comentários
	Tabela de parede	Família; Tipo; Altura desconectada (m); Comprimento (m); Contagem; Comentários
Janelas	Tabela de janela	Família; Nível; Altura (m); Largura (m); Altura do peitoril (m); Contagem
Pé direito/nível	Tabela de nível	Nome; Elevação (m); Contagem
Paredes-cortina	Tabela de painéis	Família; Tipo; Contagem; Comentários; Inclinação (°)
Rampas	Tabela de rampa	Família; Nível base; Nível superior; Contagem; Largura (m); Inclinação-Rampa (°)
Telhados	Tabela de telhado	Família; Área (m²); Inclinação (°); Contagem

A coluna “Contagem” foi extraída do Revit® apenas com a finalidade de auxiliar os processos de cálculo no Excel®. Já a coluna “Comentários” foi adicionada para alguns elementos quando não foi possível obter a informação de forma automática pelo modelo, como por exemplo: se a escada possui geometria simples ou complexa; se aberturas e furos ficam em passagem ou em bordas, próximas ao perímetro estrutural; se o guarda-corpo é interno à edificação ou se está presente em aberturas ou regiões com risco de queda (externo); e para o caso de paredes, se a parede está inserida com a função de guarda-corpo. Os comentários adotados são mostrados na Tabela 19.

Tabela 19: Comentários adotados

Tabela	Comentário	Objetivo
Tabela de escada	Simples ou Complexa	Determinar se o design da escada é simples (linear, L, U, patamar unido) ou complexo (caracol, leque, patamares desunidos)
Tabela de modelo genérico	Passagem ou Borda-PE	Determinar se furos e aberturas estão próximos a passagens ou bordas-perímetro estrutural
Tabela de guarda-corpo	Interno ou externo	Determinar se o guarda-corpo foi utilizado com a sua finalidade ou apenas para como restrição de acesso da área
Tabela de parede	Guarda-corpo	Determinar se a parede ou mureta tem a função de guarda-corpo

Segundo as recomendações PtD sugere-se a análise de furos e aberturas próximas às bordas, perímetro estrutural da edificação e de passagens, porém para este exemplo de aplicação, foram consideradas apenas as proximidades aos poços de elevadores, já que nesta fase do projeto ainda não há definição de toda a área de trabalho, nem do processo construtivo das paredes.

Com os dados das tabelas do Revit® em arquivos de texto, a planilha pode ser atualizada e o cálculo realizado. Como input do usuário fica apenas a escolha se a avaliação será feita para a estrutura pré-moldada ou moldada no local e se há acesso permanente ao telhado (Figura 33 do Apêndice IV), com isso, o grau de insegurança dos elementos de projeto pode ser analisado para cada elemento através das métricas definidas na Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15. Além disso, é possível obter as notas de segurança do projeto.

Como resultado das métricas e avaliação através de cálculos no Excel®, tem-se os resultados para o exemplo de aplicação, conforme mostrado na Tabela 20, abaixo. Foram inseridos a quantidade de elementos avaliados, bem como a quantidade de elementos inseguros, o GIP e GSP, bem como o valor do risco associado a cada elemento de projeto. Mais detalhes são mostrados no Apêndice IV.

Tabela 20: Resultados das métricas do exemplo de aplicação

$E_i$	Categoria	Quant. total $E_i$	Análise de insegurança do projeto	Quant. de $E_i$ inseguros	$GIP_{E_i}$	$GSP_{E_i}$	Risco
$E_1$	Coluna	947	Comprimento $L > 5$ m	36	0,04	0,96	9
$E_2$	Coluna	947	Peso $P > 5000$ kg	6	0,01	0,99	10

E <sub>3</sub>	Escada	12	Altura dos espelhos e > 17,50 cm	11	0,92	0,08	9
E <sub>4</sub>	Escada	12	Largura dos pisos: p < 26,00 cm	12	1,00	0,00	9
E <sub>5</sub>	Laje	389	Peso P > 5000 kg	206	0,53	0,47	10
E <sub>6</sub>	Viga	1241	Comprimento L > 5 m	330	0,27	0,73	9
E <sub>7</sub>	Viga	1241	Peso P > 5000 kg	3	0,00	1,00	10
E <sub>8</sub>	Viga	1241	Largura l < 15 cm	833	0,67	0,33	10
E <sub>9</sub>	Coluna	947	Design Complexo - Geometria, pilar-parede, presença de console	174	0,18	0,82	12
E <sub>10</sub>	Escada	12	Design complexo (caracol, leque, patamares sem conexão, escada flutuante)	0	0,00	1,00	12
E <sub>11</sub>	Escada	12	Altura dos espelhos e > 17,50 cm	11	0,92	0,08	9
E <sub>12</sub>	Escada	12	Largura dos pisos: p < 26,00 cm	12	1,00	0,00	10
E <sub>13</sub>	Laje	95	Aberturas próximas a passagens e perímetro estrutural (d < 2,0 m)	35	0,37	0,63	12
E <sub>14</sub>	Laje	204	Furos próximos a passagens e perímetro estrutural (d < 1,0 m)	65	0,32	0,68	9
E <sub>15</sub>	Viga	1241	Design complexo - Geometria, inclinada, curva, viga-parede	207	0,17	0,83	9
E <sub>16</sub>	Guarda-corpo	758,67	Guarda-corpo e mureta com altura inferior à 1,20 m	448,55	0,59	0,41	10
E <sub>17</sub>	Janela	272	Peitoril de janelas menor do que 1,20 m	245	0,90	0,10	10
E <sub>18</sub>	Níveis	14	Presença de subsolo	0	0,00	1,00	10
E <sub>19</sub>	Parede Cortina	0	Presença de parede cortina	Não	0,00	1,00	12
E <sub>20</sub>	Pé direito	14	Pé direito com altura superior às 3,5 m	1	0,07	0,93	10
E <sub>21</sub>	Rampas	2	Inclinação de rampas superiores à 7°	2	1,00	0,00	12
E <sub>22</sub>	Telhado	-	Ausência de acesso permanente ao telhado?	NÃO	0,00	1,00	10
E <sub>23</sub>	Telhado	6	Elevada inclinação (i) do telhado	6	0,50	0,50	10

Com os resultados da Tabela 20, é possível obter as notas de insegurança e segurança do projeto (NIP e NSP, respectivamente). Estes resultados são mostrados



na Tabela 21. Conforme pode-se perceber os resultados obtidos utilizando estrutura pré-moldada e estrutura moldada no local foram bem próximos, apesar das análises serem diferentes.

Tabela 21: Notas de projeto (de 0 a 10) do exemplo de aplicação

<b>Avaliação</b>	<b>NIP<sub>Y</sub></b>	<b>NSP<sub>Y</sub></b>
Estrutura pré-moldada	4,22	5,78
Estrutura moldada no local	4,33	5,67
Especificações gerais do projeto	4,32	5,68
	<b>NIP</b>	<b>NSP</b>
Resultado com estrutura pré-moldada	4,27	5,73
Resultado com estrutura moldada no local	4,33	5,67

O resultado de segurança do projeto obtido foi baixo. Desta forma, seguindo o proposto pelo mapa de processos, a equipe de segurança do trabalho deveria orientar as equipes de arquitetura e engenharia estrutural sobre as modificações necessárias no projeto de modo que a NSP atinja a nota alvo.

Da Tabela 20 nota-se o alto valor obtido para o GIP na análise dos espelhos e pisos das escadas e da altura do peitoril das janelas. Sugerindo-se apenas estas modificações com maior impacto nos índices, a NSP com estrutura pré-moldada passa a ser de 7,57 e com estrutura moldada no local passa a ter o valor de 7,80. Tendo um aumento de mais 30% na NSP, como mostrado na Tabela 22. Um resultado tangível de ser alcançado, pois considera simples modificações no projeto e de fácil alteração com o uso de um modelo BIM.

Tabela 22: Influência das modificações na Nota de Segurança do Projeto

<b>Avaliação</b>	<b>NSP<sub>inicial</sub></b>	<b>NSP<sub>final</sub></b>	<b>Diferença</b>
Resultado com estrutura pré-moldada	5,73	7,57	Aumento de 32,1%
Resultado com estrutura moldada no local	5,67	7,80	Aumento de 37,6%

## 6 Conclusões

Através da revisão sistemática da literatura foi possível identificar que as principais áreas de atuação do BIM em conjunto com a Prevenção através do Projeto estão: na identificação de riscos, no uso do BIM 4D para simulações dos riscos aos trabalhadores; na checagem automática de regras de segurança para aplicação de EPCs, principalmente para as análises de riscos de quedas do trabalhador.

Além disso, pôde-se concluir que apesar do tema PtD ser bastante discutido e apresentar um grande volume de elementos que podem gerar riscos aos trabalhadores da construção, percebeu-se que as recomendações de PtD não são claras, objetivas e diretas, principalmente para profissionais sem conhecimento em segurança. Assim, o uso de métricas que avaliem de forma simples o projeto e de processos bem estabelecidos, possibilita um novo direcionamento para a PtD.

O desenvolvimento do questionário, de extrema importância para a abordagem do tema PtD na realidade brasileira, trouxe algumas conclusões importantes. Pôde-se concluir que todos os riscos de acidentes identificados na pesquisa apresentaram nível médio, ou seja, são riscos que necessitam de atenção para que não evoluam para o nível alto e medidas como planejamento da segurança, inclusive na fase de projeto, são importantes para a redução de sua frequência. Desta forma, é válida a verificação dos elementos de projeto que podem apresentar riscos aos trabalhadores da construção, de modo que estes elementos sejam modificados/substituídos ou eliminados ainda na fase de maior poder de influência (projeto), conforme os resultados obtidos sobre o planejamento da segurança.

Mesmo com os resultados obtidos pelo questionário, recomenda-se a verificação do risco de acordo com o histórico da construtora que irá executar a obra, conforme proposto no mapa de processos. Já que um determinado acidente pode ter maior ou menor frequência, impactando de forma diferente na NSP.

Além disso, conclui-se que ainda há um grande caminho a ser percorrido na avaliação da segurança na fase de projeto. Fato comprovado pela grande divergência entre o que acontece na prática e a opinião dos profissionais, inclusive

de projetistas, sobre o planejamento da segurança. Mostrando mais uma vez, a necessidade de se incluir equipes de segurança do trabalho para dar suporte às equipes de projeto com as expertises necessárias, a identificação dos riscos de acidentes e dos elementos de projeto que podem trazer estes riscos durante a obra, bem como na correta interpretação dos dados de segurança.

Além da importância da prevenção na fase de projeto, o que possibilita a eliminação ou substituição do risco, foi percebida a preocupação dos profissionais na adoção das outras formas de controle do risco. Desta forma, percebe-se que uma forma de controle não elimina a outra, e que para uma eficiente segurança dos trabalhadores se faz necessária a adoção de todas as formas de controle, uso de EPCs, EPIs, e mudança na forma de trabalho, com treinamentos e orientações.

Através do desenvolvimento das métricas de avaliação e da análise do exemplo de aplicação, percebeu-se que a verificação da segurança do projeto é muito simples e permite auxiliar no processo de tomada de decisão sobre quais elementos podem ser modificados para que haja uma maior segurança do projeto e consequentemente, atinja a NSP alvo. Além disso, o exemplo de aplicação mostrou como a utilização de um modelo BIM, diferente de um projeto desenvolvido em ferramenta CAD, facilita as modificações do projeto.

Assim sendo, a pesquisa consegue responder às perguntas que guiaram esta pesquisa:

- Como o BIM pode contribuir para reduzir os riscos à segurança dos trabalhadores da construção civil ainda nas fases iniciais do projeto?
- Como a segurança do projeto pode ser avaliada?

No entanto, incentiva-se que novas formas de avaliação da segurança do projeto e do uso do BIM para se alcançar esta segurança e consequentemente, a diminuição dos riscos que os trabalhadores estão expostos. Já que são temas que merecem atenção dos pesquisadores dada à grande importância do tema e à ampla possibilidade de desenvolvimento.

Logo, esta pesquisa cumpre com os objetivos propostos já que foi capaz de identificar os elementos de projeto que podem apresentar riscos aos trabalhadores durante a construção, podendo ser modificados nas fases iniciais do desenvolvimento dos projetos. Auxilia na conscientização e orientação aos projetistas quantos aos riscos que um projeto pode apresentar, já que apresenta os elementos de projeto identificados; a opinião de profissionais do ramo da

construção civil sobre o planejamento da segurança atual e como ele deveria ser; e a quantificação da segurança do projeto junto a processos estruturados e bem definidos que possibilitam uma maior facilidade no processo de tomada de decisões. Com isso espera-se mitigar os riscos ocupacionais aos quais estes trabalhadores estão expostos.

Ademais, conclui-se sobre a necessidade de mais pesquisas que avaliem os riscos de acidentes na construção na fase de projeto, principalmente com a integração de tecnologias.

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- Avaliar os riscos presentes em construções residenciais, onde há grande presença de trabalho informal no Brasil e consequentemente, diferente percepção da segurança ocupacional.
- Avaliar o risco de acordo com as etapas construtivas de obras em concreto armado, realizadas no Brasil.
- Avaliar, segundo a visão dos projetistas, as demais equipes envolvidas nos processos de decisões durante a fase de projeto.
- Verificar se a construtibilidade e padronização interferem na segurança das construções através de comparativos e dados de acidentes e propor métricas para avaliação na fase de projeto.
- Determinar mais riscos de acidentes associados aos elementos de projeto analisados, uma vez que a literatura destaca apenas o principal ou os mais relevantes e conforme os dados obtidos pelo questionário sobre a minimização de riscos de acordo com a padronização, foi possível perceber que para um único elemento de projeto diversos riscos foram associados.
- Definir processos e medidas para o planejamento da segurança durante a fase de construção através do modelo BIM na fase de projeto executivo com a determinação dos EPCs de acordo com o layout e cronograma da obra; treinamentos aos trabalhadores antes do início da construção; conscientização sobre o uso de EPIs; incentivos à atitude segura; bem como inspeções e registros de ocorrências inseguras e de quase acidentes.

- Automatizar o processo de análise da segurança do projeto através do desenvolvimento de ferramentas. Como exemplo o desenvolvimento de plug-in no Revit® para cálculo automático das métricas e notas de segurança do projeto.
- E ainda, ampliar a análise em projetos que mesclam o uso de estruturas pré-moldadas e moldadas no local.

## 7

## Bibliografia

- ABNT NBR 6118. (2014). NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. *Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento*.
- Akram, R., Thaheem, M. J., Nasir, A. R., Ali, T. H., & Khan, S. (2019). Exploring the role of building information modeling in construction safety through science mapping. *Safety Science*, 120 (December 2018), 456–470. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.07.036>
- Alizadehsalehi, S., Yitmen, I., Celik, T., & Arditi, D. (2020). The effectiveness of an integrated BIM/UAV model in managing safety on construction sites. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 26(4), 829–844. <https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1504487>
- ANAMT. (2019). *Construção civil está entre os setores com maior risco de acidentes de trabalho*. <https://www.anamt.org.br/portal/2019/04/30/construcao-civil-esta-entre-os-setores-com-maior-risco-de-acidentes-de-trabalho/>
- Antwi-Afari, M. F., Li, H., Pärn, E. A., & Edwards, D. J. (2018). Critical success factors for implementing building information modelling (BIM): A longitudinal review. *Automation in Construction*, 91(March), 100–110. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.010>
- Araújo, L. (2018). *Análise da atividade e identificação de fatores de melhoria na construtibilidade e segurança ocupacional em edificações*.
- Arrotéia, A. V., Freitas, R. C., & Melhado, S. B. (2021). Barriers to BIM Adoption in Brazil. *Frontiers in Built Environment*, 7(March), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.520154>
- Autodesk. (2020). *Revit*.
- Barros, B. A. (2021). *O estudo da construtibilidade e da sustentabilidade em projetos conceituais : uma abordagem em BIM*.
- Behm, M. (2005). *Linking construction fatalities to the design for construction safety concept*. 43, 589–611. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.04.002>
- Behm, M., Gambatese, J., Hallowell, M., Rajendran, S., Toole, T. M., & Tymvios,

- N. (2017). *History and Future of PtD*. <https://designforconstructionsafety.org/history-and-future-of-ptd/>
- Behm, M., Gambatese, J., Hallowell, M., Rajendran, S., Toole, T. M., & Tymvios, N. (2018). *The PtD Concept*. <https://designforconstructionsafety.org/ptd-concept/>
- Carmo, C. S. T. do. (2018). *Structural engineering and architecture collaboration in the conceptual design through structural optimization within the BIM methodology*. December.
- CBIC. (2019). *Segurança e saúde na indústria da construção Prevenção e Inovação*.
- Cooke, T., Lingard, H., Blismas, N., & Stranieri, A. (2008). *ToolSHeD TM The development and evaluation of a decision support tool for health and safety in construction design ToolSHeD e*. <https://doi.org/10.1108/09699980810886847>
- Deng, L., Zhong, M., Liao, L., Peng, L., & Lai, S. (2019). Research on safety management application of dangerous sources in engineering construction based on bim technology. *Advances in Civil Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7450426>
- Dewlaney, K. S., & Hallowell, M. R. (2012). Prevention through design and construction safety management strategies for high performance sustainable building construction. *Construction Management and Economics*, 30(2), 165–177. <https://doi.org/10.1080/01446193.2011.654232>
- Dewlaney, K. S., Hallowell, M. R., & Fortunato, B. R. (2012). Safety Risk Quantification for High Performance Sustainable Building Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(8), 964–971. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000504](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000504)
- Eastman, C., Lee, J. min, Jeong, Y. suk, & Lee, J. kook. (2009). Automatic rule-based checking of building designs. *Automation in Construction*, 18(8), 1011–1033. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.07.002>
- Erusta, N. E., & Sertyesilisik, B. (2020). An investigation into improving occupational health and safety performance of construction projects through usage of BIM for lean management. *Communications in Computer and Information Science*, 1188 CCIS, 91–100. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42852-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42852-5_8)

- Fargnoli, M., & Lombardi, M. (2020). Building information modelling (BIM) to enhance occupational safety in construction activities: Research trends emerging from one decade of studies. *Buildings*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS10060098>
- Fortunato, B. R., Hallowell, M. R., Behm, M., & Dewlaney, K. (2012). Identification of Safety Risks for High-Performance Sustainable Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(4), 499–508. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000446](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000446)
- Gambatese, J. A. (1996). *Addressing Construction Worker Safety in Project Design*. <https://search-proquest-com.proxy.mul.missouri.edu/docview/304370221/previewPDF/48F2E28EC13C424DPQ/1?accountid=14576>
- Gambatese, J. A. (2000). Safety Constructability: Designer Involvement in Construction Site Safety. *Construction Congress VI: Building Together for a Better Tomorrow in an Increasingly Complex World*, 650–660.
- Gambatese, J. A. (2019). *Prevention through Design (PtD) in the project delivery process: A PtD sourcebook for construction site safety*.
- Gambatese, J. A., Behm, M., & Rajendran, S. (2008). Design 's role in construction accident causality and prevention : Perspectives from an expert panel. 46, 675–691. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.06.010>
- Gambatese, J. A., Pestana, C., & Lee, H. W. (2017). Alignment between Lean Principles and Practices and Worker Safety Behavior. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(1), 04016083. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001209](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001209)
- Gambatese, J., & Hinze, J. (1999). *Addressing construction worker safety in the design phase Designing for construction worker safety*.
- Gliem, J. A., & Gliem, R. R. (2003). Calculating, Interpreting, and Reporting Cronbach's Alpha Reliability Coefficient for Likert-Type Scales. *Midwest Research to Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education*, 14(C), 349–372. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-88933-1.50023-4>
- GNU. (2013). *PSPP*. <https://www.gnu.org/software/pspp/>
- Hardison, D., & Hallowell, M. (2019). Construction hazard prevention through design : Review of perspectives , evidence , and future objective research



- agenda. *Safety Science*, 120(July), 517–526.  
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.08.001>
- Hartson, R., & Pyla, P. (2012). *The UX Book - Process and Guidelines for Ensuring a Quality User Experience* (R. Roumeliotis & D. Bevens (Eds.)). Elsevier, Inc.
- Haslam, R. A., Hide, S. A., Gibb, A. G. F., Gyi, D. E., Pavitt, T., Atkinson, S., & Duff, A. R. (2005). *Contributing factors in construction accidents*. 36, 401–415. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.12.002>
- Hire, S., Sandbhor, · Sayali, & Ruikar, · Kirti. (2021a). Bibliometric Survey for Adoption of Building Information Modeling (BIM) in Construction Industry—A Safety Perspective. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 1, 3. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09584-9>
- Hire, S., Sandbhor, S., & Ruikar, K. (2021b). BIM usage benefits and challenges for site safety application in Indian construction sector. *Asian Journal of Civil Engineering*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s42107-021-00379-8>
- Ho, C., Woo, H., & Gambatese, J. A. (2020). Application of Prevention through Design (PtD) to improve the safety of solar installations on small buildings. *Safety Science*, 125(January), 104633. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104633>
- Hossain, M. A., Abbott, E. L. S., Chua, D. K. H., Nguyen, T. Q., & Goh, Y. M. (2018). Design-for-Safety knowledge library for BIM-integrated safety risk reviews. *Automation in Construction*, 94(July), 290–302. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.010>
- Hossain, M. M., & Ahmed, S. (2019). Developing an automated safety checking system using BIM: a case study in the Bangladeshi construction industry. *International Journal of Construction Management*, 0(0), 1–19. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1686833>
- IBGE. (2021). *Pesquisa Anual Da Indústria da Construção*. 1–4. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?=&t=o-que-e>
- Jin, Z., Gambatese, J., Liu, D., & Dharmapalan, V. (2019). Using 4D BIM to assess construction risks during the design phase. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(11), 2637–2654. <https://doi.org/10.1108/ECAM-09-2018-0379>
- Kanchana, S., Sivaprakash, P., & Joseph, S. (2015). Studies on labour safety in

- construction sites. *Scientific World Journal*, 2015.  
<https://doi.org/10.1155/2015/590810>
- Karakhan, A. A., & Gambatese, J. A. (2017a). Identification, Quantification, and Classification of Potential Safety Risk for Sustainable Construction in the United States. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(7), 04017018. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001302](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001302)
- Karakhan, A. A., & Gambatese, J. A. (2017b). Integrating Worker Health and Safety into Sustainable Design and Construction: Designer and Constructor Perspectives. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(9), 04017069. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001379](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001379)
- Kazaz, A., Ulubeyli, S., Acikara, T., & Er, B. (2016). Factors Affecting Labor Productivity: Perspectives of Craft Workers. *Procedia Engineering*, 164(June), 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.588>
- Lee, Y., Kim, I., & Choi, J. (2020). Development of BIM-Based Risk Rating Estimation Automation and a Design-for-Safety Review System. *Applied Sciences (Switzerland)*.
- Li, H., Lu, M., Hsu, S., Gray, M., & Huang, T. (2015). Proactive behavior-based safety management for construction safety improvement. *Safety Science*, 75, 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.01.013>
- Lima, E. V. (2021). *Pré-projeto de reabilitação habitacional: uma abordagem baseada na lógica difusa em um ambiente BIM* Dissertação de Mestrado.
- Lin, E. T. A., Ofori, G., Tjandra, I., & Kim, H. (2017). Framework for productivity and safety enhancement system using BIM in Singapore. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(6), 1350–1371. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2016-0122>
- López-Arquillos, A., & Rubio-Romero, J. C. (2015). *Proposed Indicators of Prevention Through Design in Construction Projects*. 14(August).
- Malekitabar, H., Ardeshir, A., Sebt, M. H., & Stouffs, R. (2016). Construction safety risk drivers: A BIM approach. *Safety Science*, 82, 445–455. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.11.002>
- Marefat, A., Toosi, H., & Mahmoudi Hasankhanlo, R. (2019). A BIM approach for construction safety: applications, barriers and solutions. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(9), 1855–1877. <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2017-0011>

- Martínez-Aires, M. D., López-Alonso, M., & Martínez-Rojas, M. (2018). Building information modeling and safety management: A systematic review. *Safety Science*, 101(August 2017), 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.08.015>
- Mendonça, A. L. P. V. de. (2013). Métodos de avaliação de riscos: Contributo para a sua aplicabilidade da construção civil. *Dissertação de Mestrado, Universidade Do Algarve*, 225.
- Miceli Jr, G. (2019). Modelagem da Informação da Construção para Gestão de Projetos de Obras de Infraestrutura de Defesa. *Instituto Militar de Engenharia*, 263.
- National Building Information Modeling Standard. (2007). In *Version 1 - Part 1: Overview, Principles, and Methodologies*.
- NR-18. (2020). *NR-18 Condições de Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção* (Issue 18).
- NR-35. (2019). *NR-35 Trabalho em altura* (Issue 35). <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-35.pdf>
- Okpala, I., Nnaji, C., & Karakhan, A. A. (2020). Utilizing Emerging Technologies for Construction Safety Risk Mitigation. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 25(2), 04020002. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)sc.1943-5576.0000468](https://doi.org/10.1061/(asce)sc.1943-5576.0000468)
- OSHA. (2005). *OSHA 1910.21 - Scope and definitions*. OSHA. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2005-title29-vol5/pdf/CFR-2005-title29-vol5-sec1910-21.pdf>
- OSHA. (2007). *Top four construction hazards*. U.S. Department of Labor. <https://www.osha.gov/Publications/3216-6N-06-english-06-27-2007.html>
- Rajendran, S., & Gambatese, J. (2013). *Risk and Financial Impacts of Prevention through Design Solutions*. February, 67–73. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000129](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000129).
- Randolph, J. (2009). *A Guide to Writing the Dissertation Literature Review*. 14.
- Rebelo, M., Silveira, F., Czarnocka, E., & Czarnocki, K. (2019). Construction safety on scaffolding: Building information modeling (bim) and safety management-A systematic review. *U.Porto Journal of Engineering*, 5(2), 46–60. [https://doi.org/10.24840/2183-6493\\_005.002\\_0006](https://doi.org/10.24840/2183-6493_005.002_0006)

- Rodrigues, F., Antunes, F., & Matos, R. (2021). Safety plugins for risks prevention through design resourcing BIM. *Construction Innovation*, 21(2), 244–258. <https://doi.org/10.1108/CI-12-2019-0147>
- Saieg, P. (2017). *Evaluating the Interplay between Building Information Modeling , Lean and Sustainability Concepts in Building Design. February.*
- Saieg, P., Sotelino, E. D., Nascimento, D., & Caiado, R. G. G. (2018). Interactions of Building Information Modeling, Lean and Sustainability on the Architectural, Engineering and Construction industry: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 174, 788–806. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.030>
- Saurin, T. A., & Formoso, C. T. (2008). Guidelines for considering construction safety requirements in the design process. *Industrial Engineering and Transportation Department.*
- Secondo, A. S. R. D. S. (2020). *Proposta de fluxo de trabalho BIM considerando fabricação e montagem de elementos estruturais em projetos de edificações replicáveis em escala.*
- Shaikh, A. Y., Osei-kyei, R., & Hardie, M. (2020). *A critical analysis of safety performance indicators in construction.* <https://doi.org/10.1108/IJBPA-03-2020-0018>
- Siddaway, A. (2014). *What is a Systematic Literature Review and how do I do one? Ii*, 1–13.
- Smita Bhole, M. A. (2016). Safety Problems and Injuries on Construction Site: A Review. *International Journal of Engineering and Techniques*, 2(4), 24–35. <http://www.ijetjournal.org>
- Solla, M., Ismail, L. H., Shaarani, A. sharainon M., & Milad, A. (2019). Measuring the feasibility of using of BIM application to facilitate GBI assessment process. *Journal of Building Engineering*, 25(June), 100821. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100821>
- Toole, T. M., & Gambatese, J. (2008). *The Trajectories of Prevention through Design in Construction.* 39, 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2008.02.026>
- Toole, T. M., & Gambatese, J. A. (2014). *The Future of Designing for Construction Safety. June.*
- Toole, T. M., Hervol, N., & Hallowell, M. (2006). Designing for Construction

- Safety. *Modern Steel Construction*, 46(6), 55.
- Tymvios, N., & Gambatese, J. A. (2016). Perceptions about Design for Construction Worker Safety: Viewpoints from Contractors, Designers, and University Facility Owners. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(2), 04015078. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001067](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001067)
- Ullah, W., Noor, S., & Tariq, A. (2018). The development of a basic framework for the sustainability of residential buildings in Pakistan. *Sustainable Cities and Society*, 40(April), 365–371. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.009>
- Vasconcelos, B. M. (2013). *Segurança no trabalho na construção - modelo de gestão de prevenção de acidentes para a fase de concepção*.
- Vieira, S. (2009). *Como elaborar questionários*.
- Vigneshkumar, C., & Salve, U. R. (2020). A scientometric analysis and review of fall from height research in construction. *Construction Economics and Building*, 20(1), 17–35. <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v20i1.6802>
- Widiastuti, I. E., Purba, H. H., & Purba, A. (2020). *Identification of Safety Risk in Construction Project : A Systematic Literature Review*. 2(3), 24–40.
- Wix, J. (2007). Quick Guide Business Process Modeling Notation, BuildingSMART Norway. *BuildingSMART Norway*, January.
- Wix, J., & Karlshøj, J. (2010). Information Delivery Manual Guide to Components and Development Methods, buildingSMART International. *BuildingSMART International*, 5, 1–84.
- Wong, J. K. W., & Zhou, J. (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. *Automation in Construction*, 57, 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>
- WSHC. (2011). Code of Practice on Workplace Safety and Health (WSH) Risk Management. In *Workplace Safety and Health Council* (Issue February).
- Wu, W., & Issa, R. R. A. (2015). BIM Execution Planning in Green Building Projects: LEED as a Use Case. *Journal of Management in Engineering*, 31(1), 1–18. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000314](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000314)
- Xiaer, X., Dib, H., Yuan, J., Tang, Y., & Li, Q. (2016). Design for Safety (DfS) and Building Information Modeling (BIM): A Review. *ICCREM*, 2005, 97–102.
- Yi, S. L., Zhang, X., & Calvo, M. H. (2015). Construction safety management of building project based on BIM. *Journal of Mechanical Engineering Research*

*and Developments*, 38(1), 97–104.

- Yuan, J., Li, X., Xiahou, X., Tymvios, N., Zhou, Z., & Li, Q. (2019). Accident prevention through design (PtD): Integration of building information modeling and PtD knowledge base. *Automation in Construction*, 102(August 2018), 86–104. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.015>
- Zhang, M., Tan, D., & Zhang, Y. (2013). Analysis of bim application relationship with integration degree of construction environment. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*, 11(1), 92–96. <https://doi.org/10.1080/10042857.2013.777527>
- Zhang, S., Boukamp, F., & Teizer, J. (2015). Ontology-based semantic modeling of construction safety knowledge: Towards automated safety planning for job hazard analysis (JHA). *Automation in Construction*, 52, 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.005>
- Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, C. M., & Teizer, J. (2015). BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. *Safety Science*, 72, 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>
- Zhang, S., Teizer, J., Lee, J., Eastman, C. M., & Venugopal, M. (2013). Building Information Modeling ( BIM ) and Safety : Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules. *Automation in Construction*, 29, 183–195. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.006>
- Zhong, Y., & Wu, P. (2015). Economic sustainability, environmental sustainability and constructability indicators related to concrete- and steel-projects. *Journal of Cleaner Production*, 108, 748–756. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.095>
- Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. W. (2017a). A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. *Safety Science*, 97, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.12.027>
- Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. W. (2017b). A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. *Safety Science*, 97, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.12.027>

## Apêndice I – Questionário

### **Apresentação do questionário**

#### **Questionário sobre saúde e segurança do trabalhador na construção civil**

Estamos desenvolvendo uma pesquisa com o objetivo de avaliar a prevenção de riscos ao trabalhador em obras de edificações na fase de projeto com o uso da metodologia BIM.

Para isso pedimos a colaboração de profissionais com experiência em saúde e segurança do trabalhador na construção civil para a determinação dos níveis de risco, obtidos através da frequência e gravidade de acidentes em uma análise semi-quantitativa e também para a avaliação do planejamento da segurança e controle de riscos, bem como a interação entre diferentes equipes.

O preenchimento é rápido, no máximo 15 minutos, e será uma grande ajuda para esta etapa do processo. Se você tiver alguma dúvida ou comentário sobre o questionário, envie um e-mail para: [vivianebm@aluno.puc-rio.br](mailto:vivianebm@aluno.puc-rio.br)

Agradecemos sua colaboração!

### **Seção 01**

**Nesta seção será caracterizado o perfil do(a) respondente**

#### **01- Qual é o seu nome?**

Essa informação será utilizada apenas para controle das respostas recebidas e não será divulgada nos resultados da pesquisa.

---

#### **02- Qual é o seu email?**

Essa informação será utilizada apenas para controle das respostas recebidas e não será divulgada nos resultados da pesquisa.

---

#### **03- Qual é o seu nível de escolaridade?\***

- ☐ Técnico
- ☐ Graduação
- ☐ Pós-Graduação
- ☐ Mestrado
- ☐ Doutorado

☐ Pós-doutorado

**04- Qual é a sua área de formação?\***

Marque todas as suas áreas de formação, caso tenha mais de uma.

☐ Arquitetura

☐ Engenharia Civil

☐ Engenharia Ambiental

☐ Engenharia de Segurança

☐ Engenharia de Produção

☐ Técnico em Segurança do Trabalho

**05- Possui quanto tempo de atuação no mercado?\***

☐ Até 5 anos

☐ 5 – 10 anos

☐ 10 – 15 anos

☐ Mais de 15 anos

**06- Qual é a sua área de atuação?\***

Marque todas as suas áreas de formação, caso tenha mais de uma.

☐ Pesquisa

☐ Consultoria

☐ Construção

☐ Planejamento

☐ Projeto

☐ Contratos

☐ Fiscalização e inspeção

☐ Outra \_\_\_\_\_

**07- Qual é o porte da sua empresa?\***

☐ Micro (até 19 empregados)

☐ Pequeno (de 20 a 99 funcionários)

☐ Médio (de 100 a 499 funcionários)

☐ Grande (mais de 500 funcionários)

**08- Qual é a altura (H) das construções em que frequentemente trabalha?\***

☐ Térrea (1 pavimento)

☐ Baixa ( $H < 6,00$  m)

☐ Baixa-Média ( $6,00 \text{ m} < H < 12,00$  m)



- ☐ Média (12,00 m < H < 23,00 m)
- ☐ Medianamente Alta (23,00 m < H < 30,00 m)
- ☐ Alta (H > 30,00 m)

## Seção 02

Nesta seção será abordada a Avaliação de Risco

**09- Qual é a sua experiência em saúde e segurança do trabalhador na construção civil?\***

- ☐ Nenhuma experiência (nunca trabalhei)
- ☐ Baixa experiência (trabalhei em raras ocasiões)
- ☐ Média experiência (tenho experiência, mas não trabalho com frequência)
- ☐ Alta experiência (tenho pleno conhecimento e trabalho com frequência)

**10- De acordo com a sua experiência, defina o nível de GRAVIDADE para cada um desses acidentes em construções de edificações, se baseie na referência da imagem abaixo:\***

Gravidade	Descrição
Desprezível	Lesão insignificante
Baixa	Lesões ou problemas de saúde que requeiram apenas primeiros socorros
Moderada	Lesões ou problemas de saúde que requerem tratamento médico
Alta	Lesões graves ou doenças ocupacionais com risco de vida
Catastrófica	Morte, doenças fatais ou vários ferimentos graves

WSH Council, Code of Practice on Workplace Safety and Health - Risk Management (2011)

**Quedas de objetos leves, pequenos (ex.: ferramentas)**

- ☐ Desprezível
- ☐ Baixa
- ☐ Moderada
- ☐ Alta
- ☐ Catastrófica
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Quedas de objetos grandes, pesados (ex.: elementos estruturais)**

- ☐ Desprezível
- ☐ Baixa
- ☐ Moderada
- ☐ Alta

- ☐ Catastrófica
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Quedas do trabalhador até 2,0 m**

- ☐ Desprezível
- ☐ Baixa
- ☐ Moderada
- ☐ Alta
- ☐ Catastrófica
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Quedas do trabalhador acima de 2,0 m**

- ☐ Desprezível
- ☐ Baixa
- ☐ Moderada
- ☐ Alta
- ☐ Catastrófica
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Abrasões/Perfurações**

- ☐ Desprezível
- ☐ Baixa
- ☐ Moderada
- ☐ Alta
- ☐ Catastrófica
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Colisões/Choques entre o trabalhador e materiais ou objetos**

- ☐ Desprezível
- ☐ Baixa
- ☐ Moderada
- ☐ Alta
- ☐ Catastrófica
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Colisões/Choques entre o trabalhador e maquinários**

- ☐ Desprezível
- ☐ Baixa
- ☐ Moderada

- ☐ Alta
- ☐ Catastrófica
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Lesões musculoesqueléticas**

- ☐ Desprezível
- ☐ Baixa
- ☐ Moderada
- ☐ Alta
- ☐ Catastrófica
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Desabamentos/Soterramento**

- ☐ Desprezível
- ☐ Baixa
- ☐ Moderada
- ☐ Alta
- ☐ Catastrófica
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Esmagamentos**

- ☐ Desprezível
- ☐ Baixa
- ☐ Moderada
- ☐ Alta
- ☐ Catastrófica
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**11- De acordo com a sua experiência, defina o nível de FREQUÊNCIA para cada um desses acidentes em construções de edificações, se baseie na referência da imagem abaixo:\***

Frequência	Descrição
Rara	Não é esperado que ocorra
Remota	Não é provável que ocorra em circunstâncias normais
Ocasional	Possível ou conhecido por ocorrer
Frequente	Ocorrência comum
Quase certa	Experiência contínua ou repetitiva

WSH Council, Code of Practice on Workplace Safety and Health - Risk Management (2011)

**Quedas de objetos leves, pequenos (ex.: ferramentas)**

- ☐ Rara
- ☐ Remota
- ☐ Ocasional
- ☐ Frequente
- ☐ Quase certa
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Quedas de objetos grandes, pesados (ex.: elementos estruturais)**

- ☐ Rara
- ☐ Remota
- ☐ Ocasional
- ☐ Frequente
- ☐ Quase certa
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Quedas do trabalhador até 2,0 m**

- ☐ Rara
- ☐ Remota
- ☐ Ocasional
- ☐ Frequente
- ☐ Quase certa
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Quedas do trabalhador acima de 2,0 m**

- ☐ Rara
- ☐ Remota

- ☐ Ocasional
- ☐ Frequente
- ☐ Quase certa
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Abrasões/Perfurações**

- ☐ Rara
- ☐ Remota
- ☐ Ocasional
- ☐ Frequente
- ☐ Quase certa
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Colisões/Choques entre o trabalhador e materiais ou objetos**

- ☐ Rara
- ☐ Remota
- ☐ Ocasional
- ☐ Frequente
- ☐ Quase certa
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Colisões/Choques entre o trabalhador e maquinários**

- ☐ Rara
- ☐ Remota
- ☐ Ocasional
- ☐ Frequente
- ☐ Quase certa
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Lesões musculoesqueléticas**

- ☐ Rara
- ☐ Remota
- ☐ Ocasional
- ☐ Frequente
- ☐ Quase certa
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Desabamentos/Soterramento**

- ☐ Rara

- ☐ Remota
- ☐ Ocasional
- ☐ Frequente
- ☐ Quase certa
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

### **Esmagamentos**

- ☐ Rara
- ☐ Remota
- ☐ Ocasional
- ☐ Frequente
- ☐ Quase certa
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**12- De acordo com sua experiência, identifique outros acidentes a serem considerados em construções de edificações. Atribua os níveis de gravidade e frequência.**

---

**13- De acordo com sua experiência, identifique se algum destes acidentes pode ser minimizado através da padronização de seções de elementos estruturais (vigas e pilares).\***

Selecione quantas alternativas forem necessárias. Para a opção "outra" atribua o tipo de acidente, sua gravidade e frequência.

- ☐ Quedas de objetos leves, pequenos (ex.: ferramentas)
- ☐ Quedas de objetos grandes, pesados (ex.: elementos estruturais)
- ☐ Quedas do trabalhador até 2,0 m
- ☐ Quedas do trabalhador acima de 2,0 m
- ☐ Abrasões/Perfurações
- ☐ Colisões/Choques entre o trabalhador e materiais ou objetos
- ☐ Colisões/Choques entre o trabalhador e maquinários
- ☐ Lesões musculoesqueléticas
- ☐ Desabamentos/Soterramento
- ☐ Esmagamentos
- ☐ Outra \_\_\_\_\_

**14- De acordo com sua experiência, identifique se algum destes acidentes pode ser minimizado através da padronização da altura do pé**

**direito.\***

Selecione quantas alternativas forem necessárias. Para a opção "outra" atribua o tipo de acidente, sua gravidade e frequência.

- ☐ Quedas de objetos leves, pequenos (ex.: ferramentas)
- ☐ Quedas de objetos grandes, pesados (ex.: elementos estruturais)
- ☐ Quedas do trabalhador até 2,0 m
- ☐ Quedas do trabalhador acima de 2,0 m
- ☐ Abrasões/Perfurações
- ☐ Colisões/Choques entre o trabalhador e materiais ou objetos
- ☐ Colisões/Choques entre o trabalhador e maquinários
- ☐ Lesões musculoesqueléticas
- ☐ Desabamentos/Soterramento
- ☐ Esmagamentos
- ☐ Outra \_\_\_\_\_

**15- De acordo com sua experiência, identifique se algum destes acidentes pode ser minimizado através da padronização das dimensões de furos e aberturas.\***

Selecione quantas alternativas forem necessárias. Para a opção "outra" atribua o tipo de acidente, sua gravidade e frequência.

- ☐ Quedas de objetos leves, pequenos (ex.: ferramentas)
- ☐ Quedas de objetos grandes, pesados (ex.: elementos estruturais)
- ☐ Quedas do trabalhador até 2,0 m
- ☐ Quedas do trabalhador acima de 2,0 m
- ☐ Abrasões/Perfurações
- ☐ Colisões/Choques entre o trabalhador e materiais ou objetos
- ☐ Colisões/Choques entre o trabalhador e maquinários
- ☐ Lesões musculoesqueléticas
- ☐ Desabamentos/Soterramento
- ☐ Esmagamentos
- ☐ Outra \_\_\_\_\_

**16- De acordo com sua experiência, identifique se algum destes acidentes pode ser minimizado através da utilização de elementos estruturais pré-moldados e metálicos (lajes, vigas, colunas, escadas).\***

Selecione quantas alternativas forem necessárias. Para a opção "outra" atribua o tipo de acidente, sua gravidade e frequência.

- ☐ Quedas de objetos leves, pequenos (ex.: ferramentas)
- ☐ Quedas de objetos grandes, pesados (ex.: elementos estruturais)
- ☐ Quedas do trabalhador até 2,0 m
- ☐ Quedas do trabalhador acima de 2,0 m
- ☐ Abrasões/Perfurações
- ☐ Colisões/Choques entre o trabalhador e materiais ou objetos
- ☐ Colisões/Choques entre o trabalhador e maquinários
- ☐ Lesões musculoesqueléticas
- ☐ Desabamentos/Soterramento
- ☐ Esmagamentos
- ☐ Outra \_\_\_\_\_

**17- De acordo com sua experiência, identifique, se algum destes acidentes pode ser maximizado através da utilização de elementos estruturais pré-moldados e metálicos (lajes, vigas, colunas, escadas).\***

Selecione quantas alternativas forem necessárias. Para a opção "outra" atribua o tipo de acidente, sua gravidade e frequência.

- ☐ Quedas de objetos leves, pequenos (ex.: ferramentas)
- ☐ Quedas de objetos grandes, pesados (ex.: elementos estruturais)
- ☐ Quedas do trabalhador até 2,0 m
- ☐ Quedas do trabalhador acima de 2,0 m
- ☐ Abrasões/Perfurações
- ☐ Colisões/Choques entre o trabalhador e materiais ou objetos
- ☐ Colisões/Choques entre o trabalhador e maquinários
- ☐ Lesões musculoesqueléticas
- ☐ Desabamentos/Soterramento
- ☐ Esmagamentos
- ☐ Outra \_\_\_\_\_

### **Seção 03**

**Nesta seção será avaliado o planejamento da segurança e a comunicação na fase de projeto**

**18- De acordo com a sua experiência, o planejamento para a segurança do trabalhador da obra é realizado durante a(s) fase(s) de:\***

Sua resposta deve ser baseada em como o planejamento da segurança é elaborado na construção civil, e não em como deveria ser.



**Projeto conceitual**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Projeto executivo**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Aquisição de bens e serviços**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Construção**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**19- De acordo com a sua opinião, o planejamento para a segurança do trabalhador da obra deveria ser realizado durante a(s) fase(s) de:\***

Agora, sua resposta deve ser baseada na sua opinião de como o planejamento da segurança deveria ser elaborado na construção civil.

**Projeto conceitual**

- ☐ Concordo totalmente

- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Projeto Executivo**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Aquisição de bens e serviços**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Construção**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**20- De acordo com a sua experiência, o controle de riscos de acidentes envolvendo o trabalhador da obra é feito através da:\***

Sua resposta deve ser baseada em como o controle de riscos é praticado na construção civil, e não em como deveria ser.

**Eliminação física do risco**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo

- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Substituição do risco (por um de menor gravidade)**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Isolamento do risco (uso de barreiras, telas, etc)**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Mudança na forma de trabalho**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Utilização de EPIs**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**21- De acordo com a sua opinião, o controle de riscos de acidentes envolvendo o trabalhador deveria ser praticado na obra através da:\***

Agora, sua resposta deve ser baseada na sua opinião de como o controle de riscos deveria ser praticado na construção civil.

**Eliminação física do risco**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Substituição do risco (por um de menor gravidade)**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Isolamento do risco (uso de barreiras, telas, etc)**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Mudança na forma de trabalho**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Utilização de EPIs**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo

- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**22- De acordo com a sua experiência, durante as tomadas de decisões nas fases de projeto, as equipes de projetos trabalham com a colaboração da:\***

Sua resposta deve ser baseada em como a tomada de decisões é realizada na construção civil, e não em como deveria ser.

**Construtora**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Equipe de planejamento da obra**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Equipe de segurança do trabalho**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**23- De acordo com a sua opinião, durante as tomadas de decisões nas fases de projeto, as equipes de projetos deveriam trabalhar com a colaboração da:\***

Agora, sua resposta deve ser baseada na sua opinião de como a tomada de decisões deveria ser realizada na construção civil.

**Construtora**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Equipe de planejamento da obra**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

**Equipe de segurança do trabalho**

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Não concordo, nem discordo
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Prefiro não responder/ Não se aplica

## Apêndice II - Gráficos com dados do questionário arquitetos

O gráfico mostrado na Figura 28 se refere à questão 18 os resultados obtidos sobre a fase de planejamento da segurança segundo a experiência dos profissionais com formação em arquitetura. Já o gráfico da Figura 29, referente à questão 19, mostra a opinião destes profissionais, mostrando a variação da experiência com a opinião, principalmente na fase de projeto executivo e aquisição de bens e serviços.

Na avaliação de controle do risco ao analisar a concordância e discordância total ou parcial em conjunto, segundo a opinião dos respondentes (pergunta 21), percebe-se um alto nível de concordância para todas as formas de controle do risco, conforme mostrado no gráfico da Figura 30.

Avaliando-se a participação dos envolvidos no processo de decisão (perguntas 22 e 23), segundo a visão dos profissionais que atuam na área de projetos, também se percebe uma mudança de posicionamento segundo a prática e opinião, conforme Figura 31 e Figura 32.

Figura 28: Planejamento da segurança - experiência dos arquitetos(as)

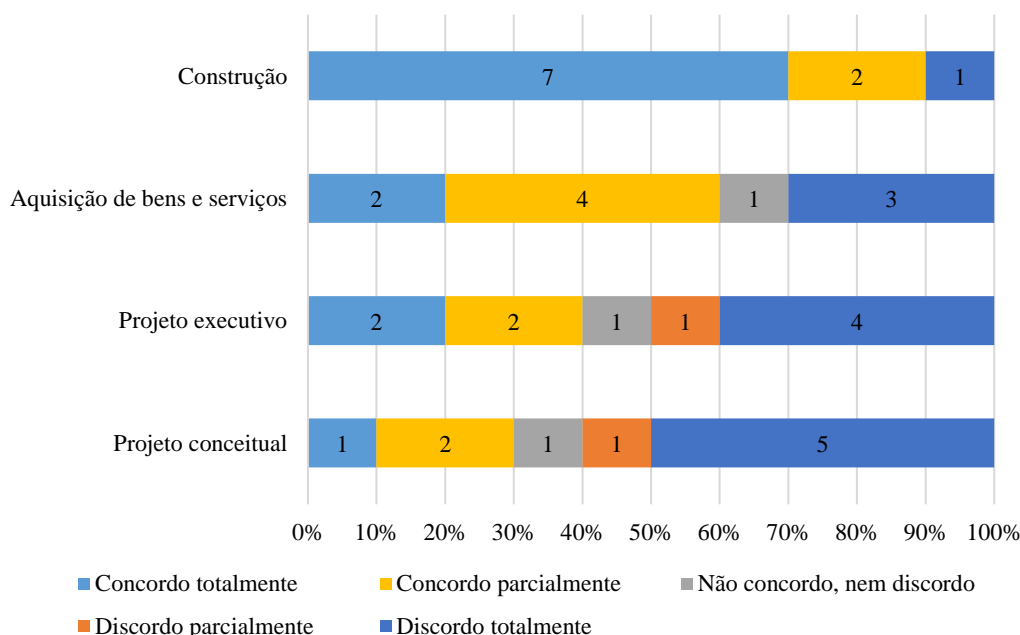


Figura 29: Planejamento da segurança - opinião dos arquitetos(as)

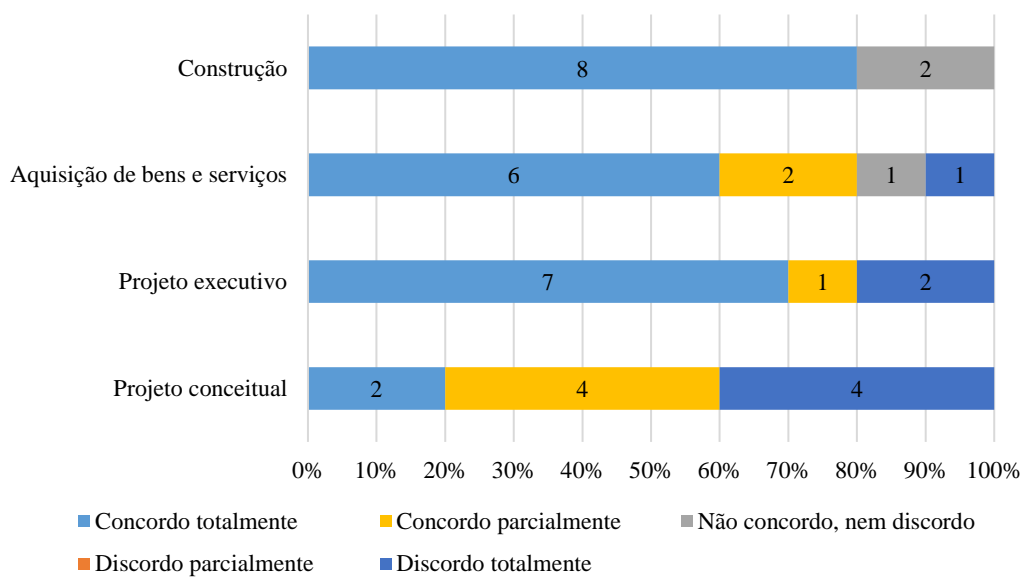


Figura 30: Controle dos riscos - opinião dos profissionais

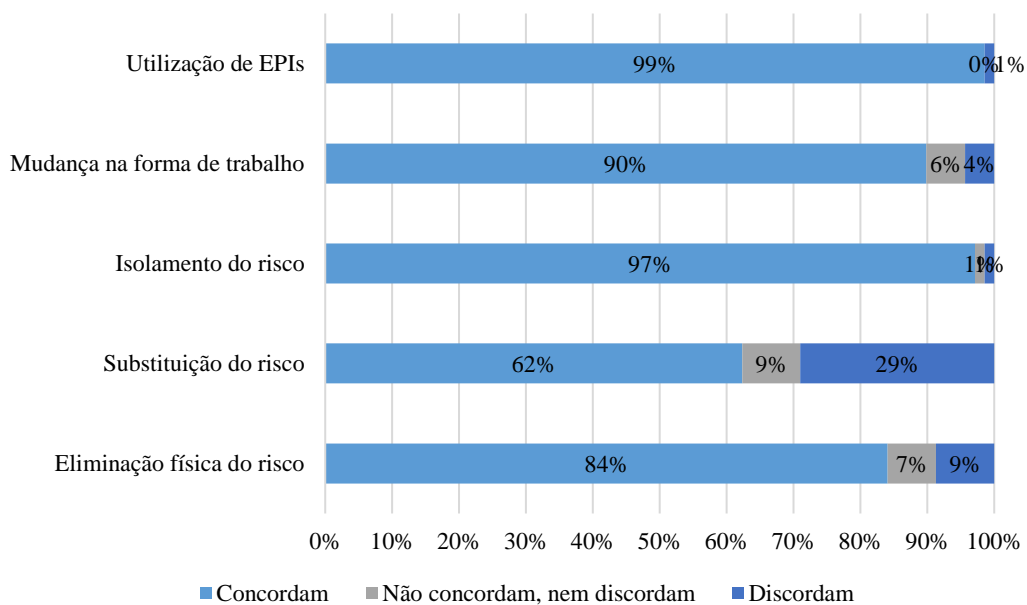




Figura 31: Influência na tomada de decisões - experiência dos projetistas

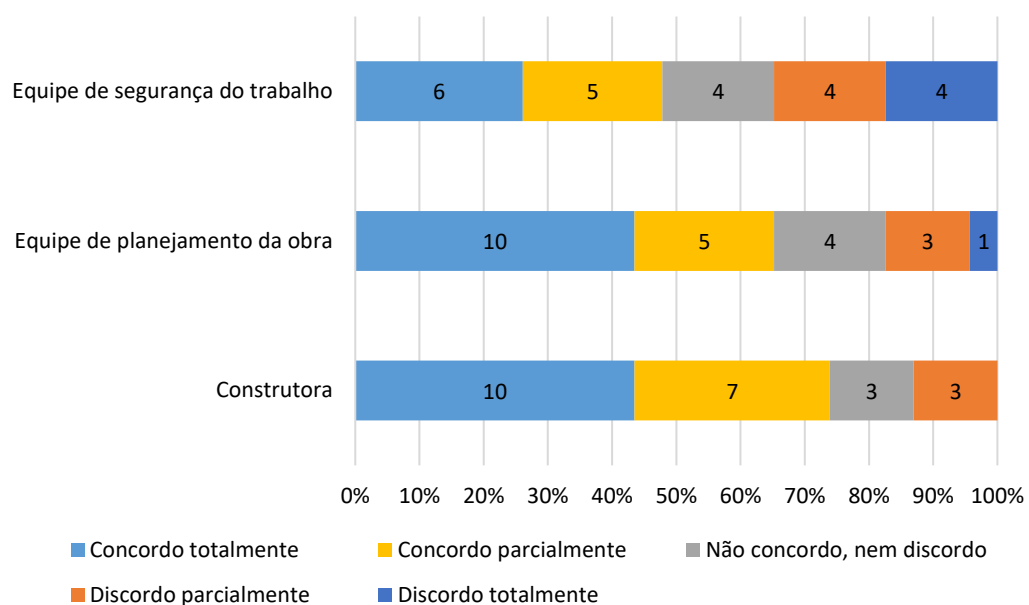
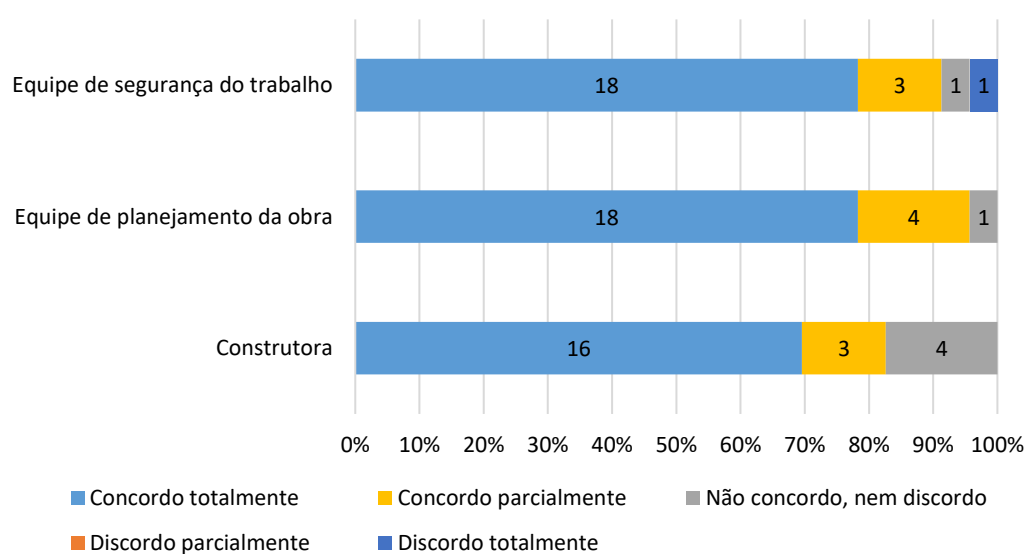


Figura 32: Influência na tomada de decisões - opinião dos projetistas



## Apêndice III – Resultados alfa de Cronbach e K-S teste

Os resultados do coeficiente alfa ou alfa de Cronbach são mostrados de forma resumida na Tabela 23. e podem ser vistos de forma mais detalhada na Tabela 24 para as questões 10 e 11 e na T para as questões de 18 a 23. Nestas tabelas também são mostrados os resultados encontrados no teste K-S.

Tabela 23: Resultados do Coeficiente Alfa

Referência	Nº de itens analisados	Coeficiente Alfa
Questões 10 e 11 do questionário	20	<b>0,88</b>
Questões 18 a 23 do questionário	26	<b>0,82</b>

Tabela 24: Resultados coeficiente alfa e K-S teste questões 10 e 11

	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item	Cronbach's Alpha if Item Deleted	Kolmogoro v-Smirnov Z	Asymp. Sig. (2-tailed)
Questão e item	Média se o item for deletado	Variância se o item for deletado	Índice de correlação	Coeficiente alfa se o item for deletado	K-S	Índice de significância
Q10.1	59,29	107,86	0,41	0,87	1,33	0,04
Q10.2	57,88	106,66	0,50	0,87	1,91	0,00
Q10.3	58,83	106,20	0,53	0,87	1,45	0,02
Q10.4	57,95	104,00	0,60	0,87	1,82	0,00
Q10.5	58,83	106,00	0,46	0,87	1,48	0,02
Q10.6	59,02	104,62	0,52	0,87	1,22	0,08
Q10.7	58,32	108,42	0,36	0,87	1,93	0,00
Q10.8	58,49	106,71	0,53	0,87	1,67	0,00
Q10.9	57,59	103,75	0,66	0,86	2,82	0,00
Q10.10	57,80	101,06	0,60	0,87	2,55	0,00
Q11.1	59,02	109,27	0,35	0,87	1,62	0,01
Q11.2	60,15	108,28	0,49	0,87	1,53	0,01
Q11.3	59,73	105,25	0,60	0,87	1,64	0,01
Q11.4	60,05	107,05	0,51	0,87	1,58	0,01
Q11.5	59,32	107,67	0,39	0,87	1,47	0,02
Q11.6	59,24	106,69	0,42	0,87	1,37	0,03
Q11.7	59,85	109,93	0,30	0,88	1,55	0,01
Q11.8	59,68	106,42	0,47	0,87	1,25	0,07
Q11.9	60,29	109,16	0,42	0,87	1,71	0,00
Q11.10	60,37	108,14	0,48	0,87	1,89	0,00

Fonte: Elaborada pela autora, *output software PSPP*

Tabela 25: Resultados coeficiente alfa e K-S teste questões 18 a 23

	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted	Kolmogorov- Smirnov Z	Asymp. Sig. (2- tailed)
Questão e item	Média se o item for deletado	Variância se o item for deletado	Índice de correlação	Coeficiente alfa se o item for deletado	K-S	Índice de significância (valores- p)
Q18.1	31,29	127,86	0,54	0,80	1,71	0,003
Q18.2	30,77	128,09	0,61	0,80	2,05	0,000
Q18.3	30,62	134,09	0,50	0,81	2,16	0,000
Q18.4	29,78	142,82	0,36	0,81	3,59	0,000
Q19.1	30,35	137,79	0,35	0,81	2,62	0,000
Q19.2	29,74	144,90	0,31	0,81	3,60	0,000
Q19.3	30,06	142,20	0,32	0,81	2,85	0,000
Q19.4	29,87	141,23	0,36	0,81	3,64	0,000
Q20.1	30,41	136,04	0,48	0,81	2,13	0,000
Q20.2	30,93	141,51	0,26	0,82	2,21	0,000
Q20.3	29,72	146,14	0,34	0,81	3,72	0,000
Q20.4	30,48	137,08	0,47	0,81	2,31	0,000
Q20.5	29,77	146,33	0,22	0,82	3,67	0,000
Q21.1	30,00	139,41	0,41	0,81	3,35	0,000
Q21.2	30,88	144,49	0,13	0,82	2,07	0,000
Q21.3	29,64	147,59	0,25	0,82	3,95	0,000
Q21.4	29,94	147,50	0,16	0,82	2,98	0,000
Q21.5	29,58	150,60	0,02	0,82	4,07	0,000
Q22.1	30,22	137,88	0,48	0,81	2,46	0,000
Q22.2	30,28	139,88	0,34	0,81	2,71	0,000
Q22.3	30,75	133,48	0,43	0,81	2,27	0,000
Q22.4	30,96	134,01	0,46	0,81	1,91	0,001
Q23.1	29,68	145,99	0,33	0,81	4,02	0,000
Q23.2	29,65	147,11	0,30	0,82	3,97	0,000
Q23.3	29,68	145,72	0,26	0,82	3,97	0,000
Q23.4	30,10	142,39	0,28	0,82	3,17	0,000

Fonte: Elaborada pela autora, *output software* PSPP

## Apêndice IV – Síntese do exemplo de aplicação

Através do modelo BIM, extraídos das tabelas do Revit®, os dados foram importados através do Power Query ao Excel®. Desta forma, os principais dados utilizados no Excel® para os cálculos das métricas do projeto e por fim, o cálculo da NSP, são mostrados nas Tabelas 26 a 32 por meio de amostras para alguns tipos de elementos. Os quantitativos totais dos elementos estão no subcapítulo 5.3.

Vale lembrar que foram consideradas outras características além das mostradas a seguir, já que está sendo mostrado apenas o que foi aplicável para o modelo de aplicação. Por exemplo, apesar do cálculo da NSP considerar o design de pilares com console mais complexo, neste modelo não houve nenhum pilar com console, desta forma, a coluna correspondente a esta análise estava vazia e, portanto, foi ocultada, apesar de estar presente nas formulações da planilha de cálculo.

Além disso, é mostrado na Figura 33 a capa da planilha com os riscos de acidentes e também os campos de seleção, nos quais o usuário escolhe o tipo de estrutura (moldada no local ou pré-moldada) e se há ou não acesso permanente ao telhado. A Figura 34 mostra os resultados obtidos nos cálculos para estrutura moldada no local, e a Figura 35 para a estrutura pré-moldada considerando o modelo inicial, sem as alterações propostas.

Tabela 26: Amostra dos dados de furos e aberturas

Tipo	Comprimento (m)	Largura (m)	Comentários	Classificação
Abertura	1,99	1,83		Abertura
Shaft	0,5	0,25		Furo
Elevador-PNE	1,89	1,87	Passagem	Abertura
Shaft	0,61	0,16		Furo
Shaft	0,94	0,26	Passagem	Furo
Shaft	0,5	0,26	Passagem	Furo
Shaft	0,4	0,36		Abertura
Shaft	1,22	0,15	Passagem	Furo
Shaft	1,22	0,15		Furo
Shaft	0,96	0,21	Passagem	Furo
Shaft	0,7	0,2	Passagem	Furo
Shaft	0,7	0,2	Borda-PE	Furo

Tabela 27: Amostra dos dados de janelas

Altura (m)	Largura (m)	Altura do peitoril (m)	Nível
1,2	1,2	0,9	TETO PUC
1,2	1,2	0,9	TETO 2° PAV
1,2	1,2	0,9	TETO 3° PAV
1,2	1,2	0,9	TETO 4° PAV
1,2	1,2	0,9	TETO 5° PAV
1,2	1,2	0,9	TETO 6° PAV
1,2	1,2	0,9	TETO 7° PAV
1,2	1,2	0,9	TETO 1° PAV
1,2	1,2	0,9	PAV 2a GARAGEM
1,2	1,6	0,9	TETO PUC
1,2	1,6	0,9	TETO 2° PAV
1,2	1,6	0,9	TETO 3° PAV
1,2	1,6	0,9	TETO 4° PAV

Tabela 28: Amostra dos dados do guarda-corpo

Família	Altura do guarda-corpo (m)	Comprimento (m)	Comentários
Guarda-corpo	1,2	5,07	Interno
Guarda-corpo	1,2	3,5	Interno
Guarda-corpo	1,2	9,04	Escada
Guarda-corpo	1,2	4,45	Escada

Tabela 29: Amostra dos dados de parede

Família	Tipo	Altura desconectada (m)	Comprimento (m)	Comentários
Parede básica	Parede Interna 17 cm	3,21	7,59	
Parede básica	Parede Interna 22 cm	3,87	4,66	
Parede básica	Mureta 22 cm	1,2	7,14	Interna
Parede básica	Mureta 22 cm	1,2	6,04	Interna
Parede básica	Mureta 17 cm	1,1	1,19	Guarda-corpo
Parede básica	Mureta 17 cm	1,1	3,33	Guarda-corpo
Parede básica	Parede Externa 18 cm	2,52	2,88	

Tabela 30: Amostra dos dados de escada

Família	Tipo de segmento de conexão	Altura real do espelho (m)	Profundidade real do piso (m)	Número real de espelhos	Comentários
Escada montada	Patamar não monolítico	0,19	0,25	16	Simples
Escada montada	Patamar não monolítico	0,15	0,25	16	Simples

Tabela 31: Amostra dos dados de pilares

Família	Tipo	Compri-mento (m)	Peso kg	Tipo de estrutura	Geometria	b (cm)	h (cm)	Pilar-parede
Pilar-CA-Retangular	20x40	3,06	612	CA	Retangular	20	40	NÃO
Pilar-CA-Retangular	20x215	3,06	3266,77	CA	Retangular	20	215	SIM
Pilar-CA-Retangular	25x50	3,06	951,01	CA	Retangular	25	50	NÃO
Pilar-CA-Retangular	25x80	3,06	1529,61	CA	Retangular	25	80	NÃO
Pilar-CA-Retangular	30x90	3,06	2052,92	CA	Retangular	30	90	NÃO
Pilar-CA-Retangular	30x100	3,06	2285,03	CA	Retangular	30	100	NÃO
Pilar-CA-Retangular	20x80	2,88	1140,17	CA	Retangular	20	80	NÃO
Pilar-CA-Retangular	20x100	2,88	1429,25	CA	Retangular	20	100	SIM
Pilar-CA-Retangular	20x100	2,88	1439,1	CA	Retangular	20	100	SIM
Pilar-CA-Retangular	20x215	2,88	3096	CA	Retangular	20	215	SIM
Pilar-CA-Retangular	20x215	2,88	3096	CA	Retangular	20	215	SIM
Pilar-CA-Retangular	25x50	2,88	886,09	CA	Retangular	25	50	NÃO
Pilar-CA-Retangular	30x87,5	2,88	1826,41	CA	Retangular	30	875	SIM
Pilar-CA-Retangular	30x87,5	2,88	1819,31	CA	Retangular	30	875	SIM
Pilar-CA-Retangular	30x90	2,88	1897,2	CA	Retangular	30	90	NÃO

Tabela 32: Amostra dos dados de vigas

Família	Tipo	Comprimento (m)	Comprimento do corte (m)	Peso (kg)	Largura (cm)	Altura (cm)	Design	Viga- parede $l/h < 2$
Viga-CA-Retangular	12x40	2,01	1,87	224,06	12	40	Retangular	NÃO
Viga-CA-Retangular	14x50	1,78	1,78	307,08	14	50	Retangular	NÃO
Viga-CA-Retangular	14x160	3,9	3,9	2184	14	160	Retangular	NÃO
Viga-CA-Inclinada	25x60	3,56	3,64	1306,32	25	60	Inclinada	NÃO
Viga-CA-Retangular	20x40	0,32	0,16	26,39	20	40	Retangular	SIM
Viga-CA-Retangular	14x118	1,25	1,26	496,08	14	118	Retangular	SIM
Viga-CA-Inclinada	15x196	3,92	4	2756,22	15	196	Inclinada	SIM
Viga-CA-Retangular	30x60	9,11	9,19	3451,67	30	60	Retangular	NÃO
Viga-CA-Inclinada	14x100	7,2	7,2	2323,47	14	100	Inclinada	NÃO
Viga-CA-Retangular	30x186	5,72	5,75	8024,23	30	186	Retangular	NÃO
Viga-CA-Curva	15x156	1,93	2,12	1129,35	15	156	Curva	SIM

Figura 33: Capa inicial da planilha de cálculo

Informações do projeto			
<b>Tipo de projeto</b>	Edificação Residencial		
<b>Estrutura</b>	Moldada no local		
<b>Ausência de acesso permanente ao telhado</b>	NÃO		

Acidentes e riscos associados			
Categorização do risco	Classificação do risco	Sigla do risco de acidente	Risco obtido
<b>Quedas</b>	Quedas de objetos leves, pequenos (ex.: ferramentas)	Ra1	9
	Quedas de objetos grandes, pesados (ex.: elemento estrutural)	Ra2	10
	Quedas do trabalhador até 2,0 m	Ra3	9
	Quedas do trabalhador acima de 2,0 m	Ra4	10
<b>Abrasões/Perfurações</b>	Abrasões/Perfurações	Ra5	12
<b>Colisões/Choques</b>	Colisões/Choques entre o trabalhador e materiais ou objetos	Ra6	9
	Colisões/Choques entre o trabalhador e maquinários	Ra7	8
<b>Lesões musculoesqueléticas</b>	Lesões musculoesqueléticas	Ra8	12
<b>Soterramento/Deslizamento</b>	Desabamentos/Soterramentos	Ra9	10
<b>Esmagamento</b>	Esmagamentos	Ra10	10



Figura 34: Planilha de cálculo de estrutura moldada no local

Tipo de avaliação	Nº elemento de projeto	Elemento avaliado	Quantidade de total	Análise de insegurança do projeto	Quantidade de elementos	GIP	GSP	Risco	NIP	NSP
			avaliada		inseguros					
Avaliação Estrutural - Estrutura Moldada no local	9	Coluna	947	Design Complexo - Geometria, pilar-parede, presença de console	174	0,18	0,82	12,00	4,33	5,67
	10	Escada	12	Design complexo (caracol, leque, patamares sem conexão, escada flutuante)	0	0,00	1,00	12,00		
	11	Escada		Altura dos espelhos e > 17,50 cm	11	0,92	0,08	9,00		
	12	Escada		Largura dos pisos: p < 26,00 cm	12	1,00	0,00	10,00		
	13	Laje	95	Aberturas próximas a passagens e perímetro estrutural (d < 2,0 m)	35	0,37	0,63	12,00		
	14	Laje	204	Furos próximos a passagens e perímetro estrutural (d < 1,0 m)	65	0,32	0,68	9,00		
	15	Viga	1241	Design complexo - Geometria, inclinada, curva, viga-parede	207	0,17	0,83	9,00		
Especificações Gerais do Projeto (Telhado, pé direito, guarda-corpo, níveis, rampas, janelas)	16	Guarda-corpo	758,67	Guarda-corpo e mureta com altura inferior à 1,20 m	448,55	0,591232024	0,408768	10,00	4,32	5,68
	17	Janela	272	Peitoril de janelas menor do que 1,20 m	245,00	0,90	0,10	10,00		
	18	Níveis	14	Presença de subsolo	0	0	1	10,00		
	19	Parede Cortina	0	Presença de parede cortina	Não	0	1,00	12,00		
	20	Pé direito	14	Pé direito com altura superior às 3,5 m	1,00	0,07	0,93	10,00		
	21	Rampas	2	Inclinação de rampas superiores à 7°	2	1	0	12,00		
	22	Telhado		- Ausência de acesso permanente ao telhado?	NÃO	0,00	1,00	10,00		
	23	Telhado	6	Elevada inclinação (i) do telhado	6	0,50	0,50	10,00		
NOTA DE INSEGURANÇA TOTAL DO PROJETO								NIP total	4,33	
NOTA DE SEGURANÇA TOTAL DO PROJETO								NSP total	5,67	

Figura 35: Planilha de cálculo de estrutura pré-moldada

Tipo de avaliação	Nº elemento de projeto	Elemento avaliado	Quantidade de total avaliada	Análise de insegurança do projeto	Quantidade de elementos inseguros	GIP	GSP	Risco	NIP	NSP
<b>Avaliação Estrutural - Estrutura Pré-Moldada</b>	<b>1</b>	Coluna	947	Comprimento L > 5 m	36,00	0,04	0,96	9,00	<b>4,22</b>	<b>5,78</b>
	<b>2</b>	Coluna		Peso P > 5000 kg	6,00	0,01	0,99	10,00		
	<b>3</b>	Escada	12	Altura dos espelhos e > 17,50 cm	11	0,92	0	9,00		
	<b>4</b>	Escada		Largura dos pisos: p < 26,00 cm	12	1,00	0	9,00		
	<b>5</b>	Laje	389	Peso P > 5000 kg	206,00	0,53	0,47	10,00		
	<b>6</b>	Viga	1241	Comprimento L > 5 m	330,00	0,27	0,73	9,00		
	<b>7</b>	Viga		Peso P > 5000 kg	3,00	0,00	1,00	10,00		
	<b>8</b>	Viga		Largura l < 15 cm	833,00	0,67	0,33	10,00		
<b>Especificações Gerais do Projeto (Telhado, pé direito, guarda-corpo, níveis, rampas, janelas)</b>	<b>16</b>	Guarda-corpo	758,67	Guarda-corpo e mureta com altura inferior à 1,20 m	448,55	0,591232024	0,408768	10,00	<b>4,32</b>	<b>5,68</b>
	<b>17</b>	Janela	272	Peitoril de janelas menor do que 1,20 m	245,00	0,90	0,10	10,00		
	<b>18</b>	Níveis	14	Presença de subsolo	0	0	1	10,00		
	<b>19</b>	Parede Cortina	0	Presença de parede cortina	Não	0	1,00	12,00		
	<b>20</b>	Pé direito	14	Pé direito com altura superior às 3,5 m	1,00	0,07	0,93	10,00		
	<b>21</b>	Rampas	2	Inclinação de rampas superiores à 7°	2	1	0	12,00		
	<b>22</b>	Telhado		- Ausência de acesso permanente ao telhado?	NÃO	0,00	1,00	10,00		
	<b>23</b>	Telhado	6	Elevada inclinação (i) do telhado	6	0,50	0,50	10,00		
<b>NOTA DE INSEGURANÇA TOTAL DO PROJETO</b>								<b>NIP total</b>	<b>4,27</b>	
<b>NOTA DE SEGURANÇA TOTAL DO PROJETO</b>								<b>NSP total</b>	<b>5,73</b>	