

UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

SABRINA SANTIAGO OLIVEIRA

**ACIDENTES FATAIS POR QUEDA DE ALTURA: TRATAMENTO
ESTATÍSTICO COM A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO HUMAN FACTORS
ANALYSIS AND CLASSIFICATION SYSTEM - HFACS**

Recife, PE
2023



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

SABRINA SANTIAGO OLIVEIRA

**ACIDENTES FATAIS POR QUEDA DE ALTURA: TRATAMENTO
ESTATÍSTICO COM A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO HUMAN FACTORS
ANALYSIS AND CLASSIFICATION SYSTEM - HFACS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Bianca M. Vasconcelos Valério

Coorientador: Prof. Dr. Willames de Albuquerque Soares

Recife, PE
2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco

O48a Oliveira, Sabrina Santiago
Acidentes fatais por queda de altura: Tratamento estatístico com a utilização do método Human Factors Analysis and Classification System - HFACS. / Sabrina Santiago Oliveira. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2023.

85 f. il.

Orientadora: Profa. Dra. Bianca M. Vasconcelos
Coorientador : Prof. Dr. Willames de A. Soares

Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2023.

1. Acidente de Trabalho. 2. Fatalidade. 3. Regressão Logística. 4. Causas de Acidentes. 5. Segurança na Construção. I. Construção Civil – Dissertação. II. Vasconcelos, Bianca M. (orient.). III. Soares, Willames de A. Soares (coorient.). IV. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. V. Título.

CDD: 690.028

SABRINA SANTIAGO OLIVEIRA

**ACIDENTES FATAIS POR QUEDA DE ALTURA: TRATAMENTO
ESTATÍSTICO COM A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO HUMAN
FACTORS ANALYSIS AND CLASSIFICATION SYSTEM - HFACS**

BANCA EXAMINADORA:

Orientadora



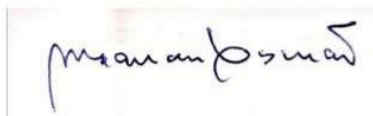
Prof. Dra. Bianca Maria Vasconcelos Valério
Universidade de Pernambuco

Coorientador



Prof. Dr. Willames de Albuquerque Soares
Universidade de Pernambuco

Examinadores



Prof. Dr. Alexandre Duarte Gusmão
Universidade de Pernambuco



Prof. Dr. Pedro Miguel Ferreira Martins Arezes
Universidade do Minho

Recife-PE
2023

DEDICATÓRIA

Ao Prof. Dr. Béda Barkokebas Junior (*In Memoriam*)
por acreditar e sempre me incentivar a ser melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por tudo.

À minha mãe agradeço o amor, o apoio, o esforço, o incentivo, mesmo nos piores momentos, as noites sem dormir e a toda a paciência em todas os momentos da minha vida, sem ela nada disso seria possível. Ao meu pai por todo amor, carinho e apoio.

Ao meu irmão que, apesar de distante, está sempre presente em todos os momentos e mesmo não entendendo esse meu caminho está sempre disposto a ajudar.

Ao meu eterno professor Doutor Béda Barkokébas Junior (*in memoriam*), por me trazer para o mundo acadêmico e ajudar a me tornar quem sou hoje. Obrigada por acreditar em mim.

Aos meus amigos e prima por entenderem a minha ausência em determinados momentos e me tirarem do meu “mundinho”, quando necessário.

À Rafael, por todo o amor, incentivo, apoio, paciência e por sempre me motivar a querer e ser mais. Esta jornada foi longa, mas não se compara a nossa.

À minha professora e orientadora Doutora Bianca M. Vasconcelos, pela orientação, não apenas deste trabalho, mas da vida. Por me mostrar, nesse curto período, que nem tudo é como a gente imagina e por me incentivar a sempre correr atrás dos meus objetivos.

Ao meu professor e coorientador, Doutor Willames de Albuquerque Soares, pela oportunidade de conhecimento e por toda orientação, suporte, incentivo e apoio durante essa jornada.

E por fim, agradeço a todos os professores e amigos do Laboratório de Segurança e Higiene do trabalho, que me auxiliaram a chegar até aqui.

EPÍGRAFE

“Nenhuma alta sabedoria pode ser atingida
sem uma dose de sacrificio”

C.S. Lewis

RESUMO

A indústria da construção civil é apontada como um dos setores mais perigosos, apresentando taxas relativamente elevadas de acidentes de trabalho. Estudos realizados em diversos países mostram que acidentes de trabalho por queda de altura são uma das principais causas de acidentes nesta indústria nos últimos anos. Este trabalho teve como objetivo analisar a contribuição dos fatores individuais referente aos acidentes e dos fatores causais pertencentes ao The Human Factors Analysis and Classification System – HFACS para a ocorrência de um acidente de trabalho fatal de queda em altura. A metodologia utilizada neste artigo foi dividida em cinco etapas: coleta dos acidentes, análise dos acidentes, determinação da probabilidade, obtenção da curva teórica de distribuição de probabilidade dos acidentes e regressão logística a partir do HFACS, dos acidentes fatais por queda em altura ocorridos no período compreendido entre os anos de 1990 e 2020, nos Estados Unidos da América - EUA. Os resultados mostram que as características individuais que mais se destacam como as de maior frequência nos acidentes fatais são as funções carpinteiro, com idade entre 31 e 44 anos (41,0%), trabalhando em telhado (34,8%), entre as 10:00 e 10:59 (13,0%), 11:00 e 11:59 (13,0%) ou 14:00 e 14:59 (13,0%), em edificações comerciais (51,9%), executando obras de manutenção ou reparo (48,6%), com vínculo em uma microempresa (36,7%) e com alguma falha ligada ao cinto de segurança (33,3%). Para estes dados, o cálculo da probabilidade mostrou que as chances de um acidente fatal com a presença dessas 8 características individuais, simultaneamente, são de 0,014%. Com relação aos fatores causais do HFACS, os três fatores causais mais presentes nos acidentes foram processos organizacionais de operações – planejamento deficiente (94,8%), processos organizacionais de supervisão – gerenciamento de riscos (94,3%) e falha ao identificar um trabalhador em risco (91,9%). A partir da curva de distribuição de probabilidade, foi visto que em 68% dos casos os acidentes fatais ocorreram entre 20 e 38 fatores causais presente nas categorias do HFACS. A regressão logística mostrou que, dentre os 101 fatores causais, 93 possuem pesos que impactam na probabilidade de ocorrência dos acidentes fatais, possibilitando identificar quais destes impactam mais para a ocorrência de uma fatalidade por queda de altura.

Palavras-chave: Acidente de trabalho. Fatalidade. Regressão logística. Causas de acidentes. Segurança na construção.

ABSTRACT

The civil construction industry is identified as one of the most dangerous sectors, with relatively high rates of accidents at work. Studies carried out in several countries show that accidents at work due to falls from heights are one of the main causes of accidents in this sector in recent years. This study aimed to analyze the contribution of individual factors related to accidents and causal factors belonging to the System of Analysis and Classification of Human Factors - HFACS that contribute to the occurrence of fatal accidents at work due to falls from heights. The methodology used in this article was divided into five stages: collection of accidents, analysis of accidents, determination of probability, obtaining the theoretical curve of distribution of probability of accidents and logistic regression of the HFACS, of fatal accidents due to falls from heights that occurred in the period comprised between the years 1990 and 2020, in the United States of America - USA. The results show that the individual characteristics that most stand out as the most frequent in fatal accidents are carpenter functions, aged between 31 and 44 years (41.0%), working on roofs (34.8%), among 10:00 am and 10:00 am Time: 59:00 (13.0%), 11:00 am and 11:59 am (13.0%) or 2:00 pm and 2:59 pm (13.0%), in commercial buildings (51.9%), carrying out maintenance or repair work (48.6%), working in a small business (36.7%) and having a seat belt failure (33.3%). For these data, the probability calculation showed that the chances of a fatal accident with the presence of these 8 individual characteristics, simultaneously, are 0.014%. With regard to the causal factors of the HFACS, the three causal factors most present in the accidents were organizational processes - operations - poor planning (94.8%), organizational processes - supervision - risk management (94.3%) and failure to identify a worker at risk (91.9%). From the probability distribution curve, it was seen that in 68% of the cases fatal accidents occurred between 20 and 38 causal factors present in the categories of the HFACS. Logistic regression showed that, among the 101 causal factors, 93 have weights that impact the probability of fatal accidents, making it possible to identify which of these have the greatest impact on the occurrence of a fatality due to a fall from a height.

Keywords: *Occupational accident. Fatality. Construction safety. Logistic regression. Causes of accidents.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Os cinco dominós da teoria de Heinrich	18
Figura 2: Modelo do Queijo Suíço	19
Figura 3: Categoria de Atos Humanos	21
Figura 4: Categorias de Condições Prévias para Atos Humanos	22
Figura 5: Categorias de Supervisão Insegura	24
Figura 6: Categorias de Influências Organizacionais	25
Figura 7: Faixa Etária dos trabalhadores acidentados	41
Figura 8: Função dos trabalhadores acidentados	42
Figura 9: Hora que os acidentes fatais aconteceram.....	43
Figura 10: Locais dos acidentes encontrados nos relatórios.....	45
Figura 11: Tipo de Edificação onde ocorreu o acidente	46
Figura 12: Porte da Empresa envolvida no acidente	47
Figura 13: Tipo de Obra que ocorreu o acidente	48
Figura 14: Causas diretas dos acidentes	49
Figura 15: Acidentes que possuem como fatores as categorias de Atos Humanos	52
Figura 16: Acidentes que possuem como fatores as categorias de Condições Prévias para Atos Humanos	54
Figura 17: Acidentes que possuem como fatores as categorias de Supervisão Insegura	56
Figura 18: Acidentes que possuem como fatores as categorias de Influências Organizacionais	57
Figura 19: Probabilidade de ocorrência maiores que 70% dos fatores causais	59
Figura 20: Probabilidade de ocorrência por grupo de dados das 8 características individuais	63
Figura 21: Probabilidade de ocorrência por grupo de dados das 5 características individuais	65
Figura 22: Curva de distribuição de Probabilidade	67
Figura 23: Probabilidade mínima, teórica e máxima para os acidentes com até 27 fatores causais.....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Relatórios de Acidentes coletados	33
Quadro 2: Classificação do HFACS	36
Quadro 3: Grupos para determinação de probabilidade para 8 características individuais	62
Quadro 4: Grupos para determinação de probabilidade para 5 características individuais	65
Quadro 5: Fatores Causais com maior peso na regressão logística	72

LISTA DE SIGLAS

AD	Anderson-Darling
CI	Característica Individual
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EUA	Estados Unidos da América
FACE	Fatality Assessment and Control Evaluation Program
FC	Fatores Causais
IC	Indústria da Construção
HFACS	The Human Factors Analysis and Classification System
KS	Kolmogorov-Smirnov
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
QA	Queda em Altura
RL	Regressão Logística
SOC	Classificação Ocupacional Padrão
SST	Saúde e Segurança do trabalho
X²	Qui-Quadrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Justificativa.....	13
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Acidentes de Trabalho na Construção Civil	15
2.2 Acidentes de Queda em Altura (QA)	16
2.3 Análise e Investigação de Acidentes de Trabalho	17
2.3.1 The Domino Theory (Teoria do Dominó)	18
2.3.2 Swiss Cheese Model (Modelo do Queijo Suíço).....	19
2.3.3 The Human Factors Analysis and Classification System (Sistema de Análise e Classificação de Fatores Humanos) – HFACS.....	20
2.4 Probabilidade e Estatística.....	26
2.4.1 Determinação da Probabilidade.....	26
2.4.2 Distribuição de Probabilidade	27
2.4.3 Distribuição de Probabilidade Normal	27
2.4.4 Testes de Aderência.....	28
2.4.5 Regressão Linear (RL).....	30
3 METODOLOGIA.....	32
3.1 Coleta dos acidentes	32
3.2 Análise dos acidentes.....	33
3.2.1 Escolha do método de análise.....	33
3.2.2 Análise das características individuais	34
3.2.3 Análise a partir do The Human Factors Analysis and Classification System - HFACS	35

3.3	Determinação da Probabilidade.....	37
3.4	Obtenção da Curva Teórica de Distribuição de Probabilidade dos Acidentes	38
3.4.1	Representação a partir do Gráfico Boxplots.....	38
3.4.2	Aplicação da Equação de Padronização de Escore à Curva de Probabilidade	39
3.5	Regressão Logística a partir do HFACS e determinação de diretrizes.....	39
4	RESULTADOS	40
4.1	Análise dos acidentes.....	40
4.1.1	Análise das características individuais	40
4.1.2	The Human Factors Analysis and Classification System - HFACS.....	52
4.2	Determinação da Probabilidade.....	61
4.3	Curva Teórica de Distribuição de Probabilidade.....	66
4.4	Regressão Logística dos fatores causais do HFACS e determinação de diretrizes	69
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
	REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem a finalidade de descrever as justificativas da pesquisa e os objetivos traçados para colaborar com a sociedade no contexto de segurança para os trabalhadores da construção civil envolvidos em atividade que os expõe ao risco de queda de altura.

1.1 Justificativa

A indústria da construção civil, quando relacionada à Saúde e Segurança do Trabalho (SST), é indicada como um dos setores mais perigosos, apresentando taxas relativamente elevadas de acidentes de trabalho e fatalidades (GUNDUZ; AHSAN, 2018; JO et al., 2017; SHI *et al.*, 2019). Um estudo realizado pela Occupational Safety and Health Administration (OSHA) indicou que em 2019 ocorreram 5.333 acidentes fatais na indústria privada e 20% deles foram especificamente em tal indústria (OSHA, 2022). Isso se deve não apenas pela necessidade do mundo em elevar suas infraestruturas, mas também pelo setor empregar uma grande quantidade de trabalhadores (CHOI et al., 2019; ARIFUDDIN; LATIEF; SURAJI, 2020).

Ao observar um estudo realizado na Turquia, que analisou 3.517 acidentes de trabalho nos anos de 2012 a 2019, as ocorrências referentes à construção civil seguem na seguinte ordem: queda de altura (41,65%); tráfego (11,09%); máquinas (9,04%) (OLCAY et al., 2021). Outros estudos realizados em diversos países também apresentam o acidente por queda em altura como uma das principais causas de lesões e mortes na construção civil nos últimos anos (SAFEWORK, 2019; NAVEEN KUMAR; JAGANNATHA; VENKATESHA, 2019; HOLA A; HOLA B; SZÓSTAK, 2017). Tais estudos reforçam que o trabalho em altura em canteiros de obras está associado ao maior índice de acidentes de trabalho e precisa ser gerenciado de maneira adequada para evitar ferimentos e mortes (NEWAZ et al., 2022).

Desse modo, é notada a necessidade de mais estudos voltados para a análise e o entendimento sobre as causas e fatores que levam a ocorrência de acidentes fatais por queda de altura, para assim, determinar maneiras capazes de alterar as chances de

fatalidades nas atividades que envolvem este risco, diminuindo ou evitando os acidentes por queda em altura.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a contribuição dos fatores individuais referente aos acidentes e dos fatores causais pertencentes ao The Human Factors Analysis and Classification System – HFACS para a ocorrência de um acidente de trabalho fatal de queda em altura.

1.2.2 Objetivos específicos

- 1) Avaliar os possíveis fatores individuais contribuintes para a ocorrência dos acidentes fatais;
- 2) Observar os fatores causais, presentes no método HFACS, que contribuíram para a ocorrência dos acidentes fatais;
- 3) Criar uma curva teórica de distribuição de probabilidade a partir da frequência dos fatores causais do HFACS;
- 4) Obter a probabilidade de ocorrência de acidentes semelhantes para as combinações dos fatores contribuintes individuais dos acidentes;
- 5) Estimar a probabilidade de ocorrência para acidentes com quantidades semelhantes de fatores causais do HFACS;
- 6) Identificar, a partir de uma regressão logística, quais fatores causais do HFACS mais impactaram para ocorrência das fatalidades;
- 7) Apresentar diretrizes para evitar os fatores causais de maior peso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, o referencial teórico irá abordar uma revisão referente aos temas acidentes de trabalho na construção civil, acidentes de queda em altura, análise e investigação de acidentes de trabalho e probabilidade e estatística, de forma que forneça um entendimento mais abrangente em relação a essa dissertação.

2.1 Acidentes de Trabalho na Construção Civil

Além de ser uma das maiores indústrias do mundo em fornecer capacidade de emprego, produtividade e contribuir para a economia (OIT, 2015), a indústria da construção (IC) é dinâmica e inovadora, fornecendo infraestrutura para todos os aspectos da atividade comercial e doméstica, sendo única entre outras indústrias, já que seus trabalhadores estão expostos a constantes mudanças como o tipo de trabalho e a sua (HOLA A; HOLA B; SZÓSTAK, 2017). Os trabalhos de construção são organizados em projetos com duração limitada, passando por diferentes fases, desde o estabelecimento e escavação do local até a instalação e conclusão, e as condições no local e as atividades mudam de acordo com as fases (KJELLÉN, 2018). Contudo, esse dinamismo da IC faz com que seus trabalhadores estejam constantemente expostos a condições de trabalho inseguras, tendo que lidar com vários tipos de perigos (HOLA A; HOLA B; SZÓSTAK, 2017). Estes podem acarretar acidentes de trabalho.

O acidente de trabalho é considerado um dos agentes obstrutivos das atividades da construção, pois sua ocorrência interrompe as obras do canteiro, incapacita os trabalhadores da construção, reduz o lucro das empreiteiras, destrói equipamentos e prolonga o prazo de entrega da obra (WILLIAMS; HAMID; MISNAN, 2019). Este é definido legalmente como o que venha a ocorrer pelo exercício do trabalho a serviço da empresa, que pode provocar lesão corporal ou perturbação funcional que venha causar morte, perda ou redução, seja ela permanente ou temporária, da capacidade de desenvolver o trabalho (BRASIL, 1991).

Inúmeras causas de acidentes de trabalho resultam do desconhecimento e violação das normas de saúde e segurança do trabalho (HOLA A; HOLA B; SZÓSTAK, 2017). E na

indústria da construção não é diferente. Sendo este um setor bastante perigoso, apresentando taxas elevadas de acidentes de trabalho e fatalidades (GUNDUZ; AHSAN, 2018; JO *et al.*, 2017; OSHA, 2017; SHI *et al.*, 2019; NENONEN, 2013). Um estudo realizado por Olcay *et al.* (2021), que analisou 3.517 acidentes de trabalho ocorridos na Turquia nos anos de 2012 a 2019, observou que as ocorrências referentes à construção civil seguem na seguinte ordem: queda de altura (41,65%); tráfego (11,09%); máquinas (9,04%). Em concordância, o estudo realizado por Kjellén (2018), que analisou 63 mortes por acidente de trabalho na indústria da construção civil, mostrou que a principal causa foi queda de altura (28%), seguido por acidentes que envolveram veículos, incluindo máquinas móveis de construção, (23%).

Estudos realizados na Índia, Austrália, Escócia, Turquia, Malásia e Polônia corroboram ao apresentar o acidente por queda de altura como uma das principais causas de lesões e mortes na construção civil, nos últimos anos (SAFEWORK, 2019; NAVEEN KUMAR; JAGANNATHA; VENKATESHA, 2019; HOLA A; HOLA B; SZÓSTAK, 2017; CAMERON; HARE; DAVIES, 2008; OLCAY *et al.*, 2021; AYOB *et al.*, 2018).

2.2 Acidentes de Queda em Altura (QA)

Alguns trabalhadores da construção civil destinam-se a realizar trabalhos em andaimes, escadas, janelas e telhados, denominados trabalho em altura (HASMORI; SALLEH; SAMAD, 2022). Estes trabalhos em canteiros de obras estão associados ao maior índice de acidentes de trabalho (NEWAZ *et al.*, 2022). E sua causalidade é um fenômeno de alta complexidade que deve ser entendido adequadamente para melhorar as atividades de prevenção e controle (FARINA *et al.*, 2018). Deste modo, objetivando entender as principais causas dos acidentes de QA, Hasmori, Salleh e Samad (2022), realizaram um estudo onde foi aplicado questionários aos funcionários da construção sobre o conhecimento de tais causas, identificando a de maior incidência como a negligência em relação às regras de segurança, seguida por não uso de equipamento de proteção individual (EPI), inadequação de equipamentos e uso de equipamentos danificados.

Com o mesmo objetivo, Zermane *et al.* (2020) indicam em seu estudo que os principais fatores que levam a quedas fatais estão ligados a fatores gerenciais, que incluem

subfatores como: envolvimento da gestão em segurança, sistemas de gestão de segurança, comunicações de segurança, compra de equipamentos de segurança para trabalho em altura, supervisão de funcionários, treinamento e cultura de segurança dentro da empresa. Já o estudo realizado por Olcay *et al.* (2021), indicou que os fatores mais comuns na Turquia, entre os anos de 2012 e 2019, que ocasionaram acidente de QA estão relacionados à queda de telhado e plataformas (32,42%), vão estrutural (25,32%) e andaimes (22,87%). O estudo realizado por Zermane *et al.* (2020), as quedas de telhado são o tipo de acidente mais comum nos Estados Unidos, com 43 de 101 acidentes (42%) em 6 meses, seguida por andaimes e escadas com 22 (21%) e 18 (17%) respectivamente.

O acidente por queda de altura é um problema que o setor da construção vem sofrendo em todo o mundo (ZERMANE *et al.*, 2020). As fatalidades ocorridas devido este tipo de acidente estão aumentando anualmente, pois muitas atividades de trabalho envolvem trabalho em altura (DONG *et al.*, 2017; HASMORI; SALLEH; SAMAD, 2022). Atualmente, existem muitas estratégias de segurança que podem mitigar o risco de acidentes de queda em altura, como prevenção por meio do projeto, equipamentos de proteção coletiva (barreiras de segurança, andaimes, redes e guarda-corpos) e equipamentos de proteção individual (por exemplo, cintos de segurança) (LÓPEZ-ARQUILLOS *et al.*, 2014; REY-MERCHÁN *et al.*, 2020). Contudo, apesar das exigências legais, algumas vezes os trabalhadores escolhem não utilizar de forma adequada as medidas de segurança por motivos como: desconforto, restrição de movimentos ou baixa percepção de risco (REY-MERCHÁN *et al.*, 2020). Possibilitando o aumento do índice de accidentalidade para este tipo de acidente, o que indica que a falta de conscientização sobre SST pode levar a mais lesões e reforça a importância do fornecimento de treinamento de prevenção de acidentes ocupacionais na IC (BARRIUSO *et al.*, 2018). Deste modo, as atividades expostas a este perigo devem ser gerenciadas de maneira adequada para evitar ferimentos e mortes (NEWAZ *et al.*, 2022).

2.3 Análise e Investigação de Acidentes de Trabalho

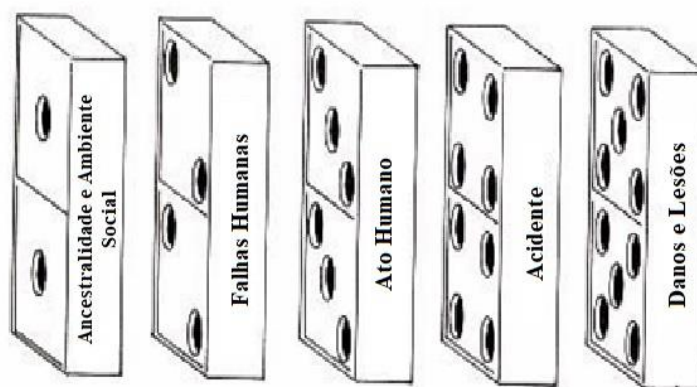
Os modelos de causalidade de acidentes trazem diferentes visões e áreas de enfoque ao investigar acidentes, e tais investigações mostram que as causas dos acidentes se concentram na mecânica que leva à ocorrência do acidente com referência a fatores

humanos, organizacionais, físicos e técnicos (ETEIFA; EL-ADAWAY, 2018). Entre os métodos investigativos estão a Teoria do Dominó, o Modelo do Queijo Suíço e o Sistema de Análise e Classificação de Fatores Humanos.

2.3.1 *The Domino Theory (Teoria do Dominó)*

A teoria do dominó, criada por Heinrich (1969), modela a causalidade dos acidentes a partir de cinco dominós (fatores sequenciais), que interagem entre si levando ao acidente e ao dano ou lesão. As peças do dominó representam: ancestralidade e ambiente social; falha do trabalhador; ato humano e/ou perigo mecânico ou físico; acidente; dano ou lesão (ilustrados na Figura 1). Segundo Heinrich, cada peça do dominó gera a próxima peça e para interromper a ocorrência de um acidente basta apenas retirar qualquer um dos cinco dominós (WONG *et al.*, 2016).

Figura 1: Os cinco dominós da teoria de Heinrich



Fonte: Adaptado de Heinrich (1941).

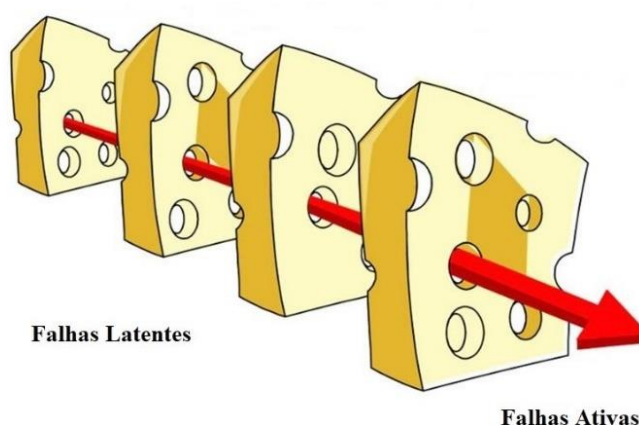
Na Figura 1, a Ancestralidade e ambiente social (primeira peça), que se refere aos traços de caráter indesejáveis que pode ser hereditário ou não, como teimosia e descuido, gera a Falha Humana (segunda peça), relacionada ao temperamento violento, imprudência, falta de cuidado. Esta, por sua vez, é geradora da terceira peça, conhecida como Ato Humano e Condição insegura, que estão ligados a utilização de equipamentos defeituosos ou a exposição ao ruído excessivo. A terceira peça é geradora da quarta peça, denominada Acidente,

que por sua vez, é causadora da quinta peça, representada por Dano Pessoal, que é referente a ferimentos, contusões e fraturas sofridas. Contudo, Heinrich afirma que a eliminação do dominó central, Ato Humano e/ou Condição Insegura, é a base para realizar a prevenção de um acidente.

2.3.2 Swiss Cheese Model (Modelo do Queijo Suíço)

Baseado no modelo do dominó de Heinrich (1969), o Modelo do Queijo Suíço, criada por Reason (1990), faz uma análise do acidente “voltando no tempo”, de modo a obter os fatos (falhas) que ocorreram antes do acidente acontecer. O autor descreve a teoria em quatro níveis de falha, expressas como fatias do queijo suíço, uma ativa e três latentes, cada um influenciando o próximo. As falhas ativas são ações cometidas pelos trabalhadores com consequências imediatas. As falhas latentes estão relacionadas às falhas do empregador, sistema de trabalho e seu funcionamento. Estas não são imediatistas e podem permanecer não detectadas por horas, dias, semanas ou até meses, até um dia afetar os trabalhadores (TETI, 2020; SHAPPELL; WIEGMANN, 2000). Tais falhas estão ilustradas na Figura 2.

Figura 2: Modelo do Queijo Suíço



Fonte: Adaptado de Reason (1990).

As falhas citadas são vistas por Reason como os “buracos no queijo”, que quando alinhados podem ser atravessados, gerando as perdas. Em específico, as falhas ativas

normalmente são as últimas ações cometidos pelo trabalhador antes do acidente. Deste modo, o que torna a Teoria do Queijo Suíço tão considerável é o fato de forçar a abordagem também das falhas latentes, dentro da sequência de causas do acidente. Segundo Reason (1990), O motivo para as falhas ocorrerem são a participação de três conjuntos de fatores: humano, técnico e organizacional.

2.3.3 The Human Factors Analysis and Classification System (Sistema de Análise e Classificação de Fatores Humanos) – HFACS

O método HFACS, criado por Shappell e Wiegmann (1997) com o objetivo de investigar e analisar acidentes de aviação, é um método qualitativo baseado no modelo do Queijo Suíço de Reason (1990), que utiliza as falhas latentes e ativas para descrever seus quatro níveis de falha: Atos Humanos, Condições Prévias para Atos Humanos, Supervisão insegura e Influências organizacionais. O método expande essas falhas em 17 categorias causais detalhadas: erro de decisão, erro baseado de habilidades, erro de percepção, violação rotineira, violação excepcional, estado mental adversos, estado fisiológico adversos, limitações física/mental, má gestão de recursos dos trabalhadores, prontidão pessoal, supervisão inadequada, operações planejadas inadequadamente, falha em corrigir um problema conhecido, violação de supervisão, gestão de recursos, clima organizacional e processos organizacionais (SHAPPELL; WIEGMANN, 2000). Mais tarde atualizada para 19 categorias, onde foram acrescentados, em condições prévias para atos inseguros, os fatores ambientais físicos e fatores ambientais técnicos (SHAPPELL; WIEGMANN, 2003).

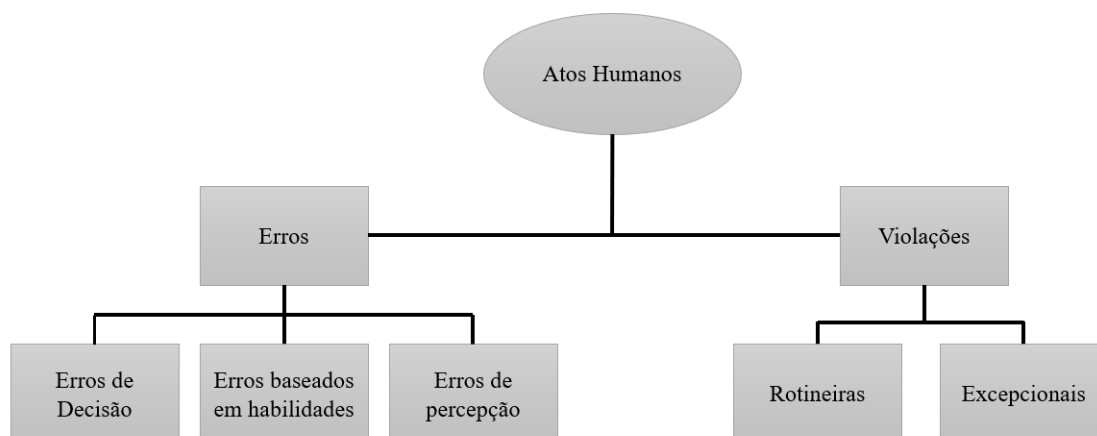
No decorrer dos anos, o método sofreu adaptações de modo a ser utilizado em diversos setores industriais, em várias análises, pesquisas e países, sendo aplicado também em acidentes de mineração, manutenção de helicóptero, acidente marítimo, acidente ferroviário, acidente cirúrgico, na indústria nuclear e na construção civil (LENNE *et al.*, 2012; PATTERSON; SHAPPELL, 2011; RASHID; PLACE; BRAITHWAITE, 2010; CELIK; CEBI, 2009; CHAUVIN *et al.*, 2013; REINACH; VIALE, 2006; ELBARDISSI *et al.*, 2007; ZHOU; ZHE-HUA; SUN, 2013; HALE *et al.*, 2012; WONG *et al.*, 2016; LUO; LIU; QIU, 2022; SONG *et al.*, 2022). Isso ocorre devido as suas vantagens de classificar as causas dos acidentes, com base em códigos hierárquicos consistentes, e de

seu sistema de classificação ser mais detalhado do que nos outros modelos de causalidade de acidentes (WONG *et al.*, 2016).

2.3.3.1 Atos Humanos

Os Atos Humanos podem ser classificados em duas categorias: erros e violações (Reason, 1990). Os erros representam uma escolha deliberada do indivíduo que obteve um resultado não esperado e violações referem-se ao desrespeito consciente das regras e regulamentos referentes a segurança (SHAPPELL; WIEGMANN, 2000). Como ilustrado na Figura 3, os erros foram divididos em três subcategorias (com base na habilidade, decisão e percepção) e as violações em duas categorias (rotineiras e excepcionais).

Figura 3: Categoria de Atos Humanos



Fonte: Adaptado de (SHAPPELL; WIEGMANN, 2000)

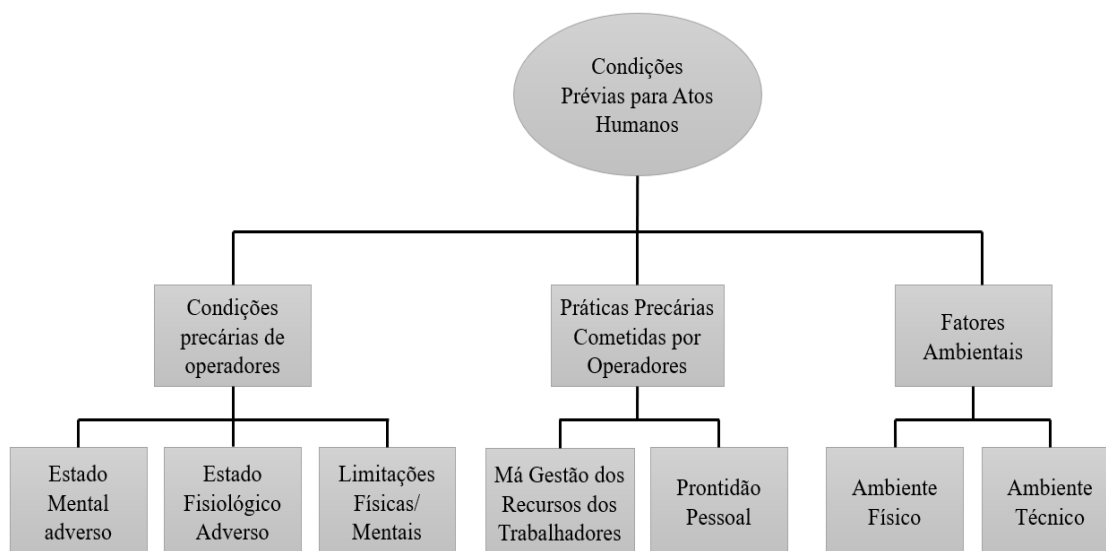
Referente aos erros ilustrados na Figura 3, os baseados em habilidades ocorrem de modo inconsciente e expressam atitudes como: avaria na varredura visual, falha ao priorizar a atenção, omitir etapa do processo, omitir item da lista de verificação, técnica pobre e controle excessivo. Já os erros de decisão é uma escolha realizada de forma planejada, mas que o resultado não saiu como esperado, dita como uma má escolha, e são compostos por: procedimento impróprio, emergência mal diagnosticada, reposta errada à emergência, habilidade inadequada e decisão ruim. Os erros de percepção ocorrem quando não há assimilação do que é realidade ou ilusão, compreendidos por: percepção incorreta de distância/altura, desorientação espacial e ilusão de óptica.

Com relação às violações, podem ser classificadas como rotineiras (o trabalhador está habituado a cometê-la) e excepcionais (um desvio isolado, normalmente não cometido pelo funcionário), ambas relacionadas a: falha ao cumprir regras, falha ao usar os equipamentos, manobra/ação não autorizada, regra de treinamento violada, falha ao se preparar para execução do serviço.

2.3.3.2 Condições Prévias para Atos Humanos

As Condições prévias para Atos Humanos antecedem a Atos Humanos, se caracterizando como meios de descobrir o motivo deles virem a acontecer. São divididas em três categorias: condições precárias de operadores, práticas precárias cometidas por operadores e fatores ambientais, presentes na Figura 4 (SHAPPELL; WIEGMANN, 2000; SHAPPELL; WIEGMANN, 2003).

Figura 4: Categorias de Condições Prévias para Atos Humanos



Fonte: Adaptado de (SHAPPELL; WIEGMANN, 2000; SHAPPELL; WIEGMANN, 2003)

Como ilustra a Figura 4, Condições Prévias para Atos Humanos possuem sete subcategorias, das quais três estão presentes em condições precárias de operadores. A primeira subcategoria refere-se a estados mentais adversos, que se trata do estado mental

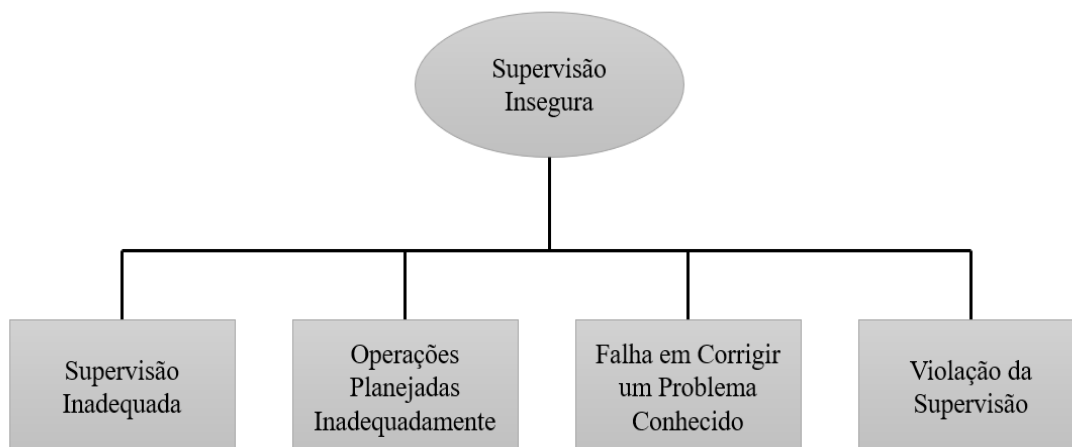
do trabalho, que podem apresentar como fator causal: atenção canalizada, complacência (atitudes perniciosas), distração, fadiga mental, pressa de voltar para casa, perda de consciência situacional, motivação mal colocada e saturação de tarefas. A segunda subcategoria, estado fisiológico adverso, refere-se às condições medicinais ou fisiológicas que impedem o trabalhador de atuar de modo seguro, sendo composta por: estado fisiológico prejudicado, doença médica, incapacidade fisiológica e fadiga física. Já a terceira subcategoria, limitações físicas/mentais, refere-se a trabalhadores que não atendem aos requisitos necessários para a realização da atividade específica, tendo os seguintes fatores presentes: tempo de reação insuficiente, limitação visual, aptidão incompatível e capacidade física incompatível.

Com relação a práticas precárias cometidas por operadores, esta é dividida em duas subcategorias. Má gestão dos recursos dos trabalhadores (gestão de RH) refere-se a má coordenação entre o pessoal envolvido na atividade, sendo relacionada a: falha ao comunicar/coordenar, falha em conduzir adequadamente o serviço, falha em usar os recursos disponíveis, falha de liderança e interpretação errônea de informações. Já a segunda, prontidão pessoal, se trata de quando os trabalhadores deixam de se preparar física ou mentalmente para a realização do serviço, sendo composta por: treinamento físico excessivo, automedicação, violação de requisitos de descanso e má alimentação. As duas subcategorias presentes em Fatores ambientais são: fatores ambientais físicos, relacionada ao clima e tempo ruim, e fatores ambientais técnicos, o espaço de trabalho afeta a condição do trabalhador.

2.3.3.3 Supervisão Insegura

Segundo Shappell e Wiegmann (2000), as decisões tomadas de modo falho pela administração de nível superior afetam diretamente as práticas de supervisão e as condições e ações dos operadores. Portanto, é importante investigar as falhas cometidas pelos superiores ou pessoas no mando. Supervisão Insegura refere-se às falhas cometidas pela cadeia de comando de supervisão (REASON, 1990). Esta falha é dividida em quatro categorias: supervisão inadequada, operações planejadas inadequadas, falha em corrigir um problema conhecido e violações da supervisão, presentes na Figura 5.

Figura 5: Categorias de Supervisão Insegura



Fonte: Adaptado de (SHAPPELL; WIEGMANN, 2000)

A categoria supervisão inadequada está relacionada ao não fornecimento, da cadeia de comando ao trabalhador, de orientações, oportunidades de treinamento e acompanhamento das atividades. Esta categoria apresenta como fatores causais (FC): falha em fornecer orientação, falha em fornecer doutrina operacional, falha em fornecer supervisão, falha em fornecer treinamento, falha em rastrear qualificação e falha em acompanhar o desempenho.

A segunda categoria, operações planejadas inadequadamente, refere-se ao planejamento das atividades a serem realizadas e dos trabalhadores envolvidos nelas, incluindo os que comandam a equipe. Esta categoria é referente a: falha em fornecer dados corretos, falha ao fornecer “tempo para pensar” adequado, trabalhadores impróprios para o serviço, trabalho que não se encontra de acordo com as normas/regulamentos e trabalhadores sem oportunidade de descanso.

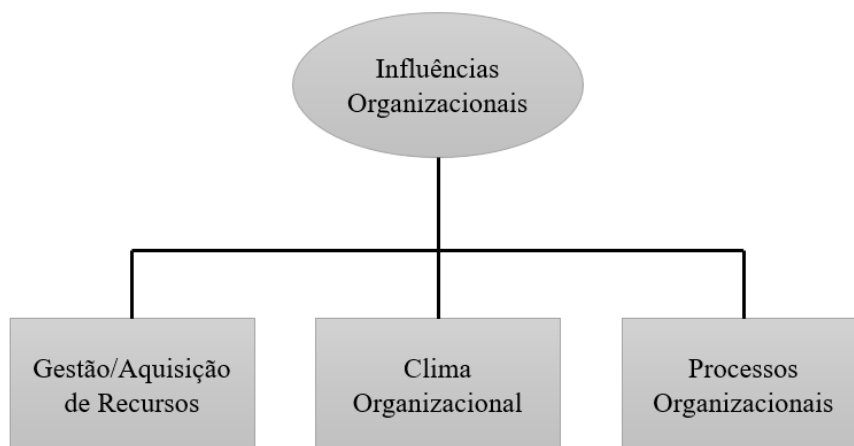
Já a categoria falha em corrigir um problema conhecido, se refere a comportamentos impróprios realizados por um trabalhador, os quais os supervisores têm ciência, mas não agem, mesmo podendo realizar treinamentos corretivos ou a retirada do transgressor da frente de serviço. São fatores causais desta categoria: falha ao corrigir um documento com erro, falha ao identificar um trabalhador em risco, falha ao iniciar uma ação corretiva e falha em relatar tendências inseguras. Para a categoria violação de supervisão, que se

trata do descumprimento deliberado das regras e regulamentos existentes pelos supervisores, possui três FC: perigo desnecessário autorizado, falha em aplicar regras e regulamentos e trabalhador não qualificado autorizado para o serviço.

2.3.3.4 *Influências Organizacionais*

Falhas relacionadas a Influências Organizacionais estão ligadas a erros vindos do topo da cadeia produtiva, pelos profissionais da segurança, que muitas vezes ocorrem antes mesmo do início das atividades exercidas pelos trabalhadores. Conforme ilustrado na Figura 6, suas categorias são gestão/aquisição de recursos, clima organizacional e processos organizacionais.

Figura 6: Categorias de Influências Organizacionais



Fonte: Adaptado de (SHAPPELL; WIEGMANN, 2000)

A categoria gestão/aquisição de recursos é referente a tomada de decisões, em nível corporativo, para os recursos da empresa, tanto materiais e equipamentos quanto recursos humanos. Esta é uma falha diretamente ligada ao valor monetário e ao valor dado a segurança pela empresa. Os fatores causais desta categoria são: recursos humanos (Seleção, trabalhador e treinamento), recursos monetários/orçamentos (cortes excessivos de custos e falta de fundos) e equipamentos/recursos de instalação (design pobre e compra de equipamento inadequado).

Clima organizacional é uma categoria que pode ser vista como a atmosfera de trabalho dentro da organização (SHAPPELL; WIEGMANN, 2000). Esta possui como FC (cadeia de comando, delegação de autoridade, comunicação e responsabilidade formal pela ação), política (contratação, promoção e drogas e álcool) e cultura (normas e regulamentos, valores e crenças e justiça organizacional).

Já a categoria processos organizacionais está ligada as decisões e regras que dominam as atividades cotidianas dentro da empresa. Esta inclui os procedimentos operacionais de uma empresa que podem afetar a segurança dos trabalhadores. Seus fatores causais são: operação (ritmo operacional, pressão de tempo, cotas de produção, incentivos, medição/avaliação, horários e planejamento deficiente), procedimentos (padrões, objetivos claramente definidos, documentação e instruções) e supervisão (gerenciamento de riscos e programas de segurança).

2.4 Probabilidade e Estatística

A probabilidade e a estatística estão ligadas a questões que envolvem populações e amostras, mas atuam inversamente uma à outra. Para a probabilidade as propriedades da população são conhecidas e o objetivo é responder às questões referentes a amostra, já a estatística possui o conhecimento das características da amostra e objetiva expandi-la de modo a tirar conclusões sobre a população (DEVORE, 2006).

Se define a teoria da probabilidade como o método de determinar as chances de ocorrência de um ou mais eventos, estes sendo qualquer conjunto de resultados de um experimento.

2.4.1 Determinação da Probabilidade

A determinação da probabilidade é referente as chances de dois ou mais eventos acontecerem de forma consecutiva, de modo a um evento interferir no outro. Esta envolve a multiplicação da probabilidade de um evento “A” pela probabilidade de um evento “B”. Contudo, para estes eventos acontecerem da forma prevista eles devem ser considerados

independentes. Segundo Triola (2017) dois eventos são considerados independentes se a ocorrência de um não afeta a probabilidade de ocorrência do outro.

2.4.2 Distribuição de Probabilidade

Distribuição de Probabilidade é a descrição dada a probabilidade para cada valor de uma variável aleatória (TRIOLA, 2017). Já variável aleatória é uma variável, que assume um valor numérico determinado pelo acaso a cada resultado de uma amostra (TRIOLA, 2017). Uma variável aleatória pode ser dividida em dois tipos: discreta e contínua. A primeira se refere a uma coleção de valores finita e enumerável, já a segunda é referente a infinitos valores e sua coleção não é enumerável (DEVORE, 2006).

A distribuição de probabilidade discreta, também conhecida como função probabilidade (f_p), estuda o comportamento das variáveis aleatórias discretas e deve satisfazer três requisitos, são eles: ter uma variável aleatória numérica “ x ” e seus valores estarem associados as correspondentes probabilidades; a soma de todas as probabilidades deve ser 1; cada valor de probabilidade deve estar entre 0 e 1, inclusive (TRIOLA, 2017). Quando as variáveis aleatórias discretas possuem grande número de possíveis resultados estas podem ser aproximadas de modo a serem consideradas como contínuas.

A distribuição de probabilidade contínua, também conhecida como função de densidade de probabilidade (f_{dp}) estuda o comportamento das variáveis contínuas atribuindo à probabilidade a determinados valores em um intervalo descrito como área de uma curva de função de densidade (DEVORE, 2006). Isso ocorre devido ao fato da existência de uma quantidade infinita de valores em um único ponto, impossibilitando a atribuição de probabilidades a valores específicos. Para que tal distribuição seja considerada legítima, ela deve satisfazer dois requisitos, são eles: ser maior ou igual a zero (não ser negativa) e sua probabilidade ser representada pela área sob a curva entre dois pontos.

2.4.3 Distribuição de Probabilidade Normal

A distribuição de probabilidade Normal é uma distribuição com variável aleatória contínua. Tal distribuição é composta por uma curva de densidade em formato de sino. Cada gráfico é simétrico em torno de média, de modo que o centro do sino (ponto de simetria) é tanto a média como a mediana da distribuição. O valor do desvio-padrão é a distância da média até os pontos de inflexão da curva (os pontos em que a curva muda de direção). Suas variáveis podem possuir qualquer média e desvio padrão.

Dentro de uma curva de distribuição normal é possível achar a probabilidade para determinados pontos relacionando-as a áreas do gráfico. Para obter tal probabilidade é necessário realizar a padronização dos dados da distribuição normal, utilizando a equação de padronização de escore (z) (Equação 1). Segundo Triola (2017), o escore é a distância horizontal de uma distribuição normal.

$$Z = \frac{x-\mu}{\sigma} \quad (\text{Equação 1})$$

Esta padronização, a partir da Equação 1, transformará os valores dos dados de modo à média ser igual a 0 e o desvio-padrão igual a 1, permitindo assim obter os valores da probabilidade referentes aos valores da distribuição. A probabilidade de ocorrência de cada valor da distribuição é representada pela área dentro da curva. Deste modo, é possível encontrar a probabilidade correspondentes aos valores de uma variável x , de uma distribuição normal não padronizada (TRIOLA, 2017).

2.4.4 Testes de Aderência

O teste de aderência, tem o objetivo de verificar se uma distribuição se ajusta bem ou não aos dados amostrais. Ele é feito através da comparação das frequências amostrais com as frequências teóricas esperadas para o modelo de probabilidade, de modo a julgar válido para descrever os dados obtidos. Deste modo ele fornece uma metodologia que permite verificar se os dados amostrais trazem evidências que apoiem ou não a hipótese ou teoria formulada previamente (ASSIS; SOUSA; LINHARES, 2020).

O nível de significância (α) de um teste de hipótese é a probabilidade de ocorrência do erro nos dados da distribuição. Esse valor geralmente é escolhido entre 0,01 e 0,05 (dentro de um intervalo de confiança de 99% e 95%, respectivamente). Já o valor p representa a probabilidade de o teste teórica ser igual ou menor que o valor da amostra, de modo a considerar a hipótese nula. Ao observar o valor p do teste de hipótese, em comparação ao α escolhido, se $p \leq \alpha$, os dados são de hipótese nula e pertencem a uma distribuição normal (TRIOLA, 2017).

2.4.4.1 Teste de Qui-Quadrado (X^2)

Criado pelo matemático e estatístico Pearson (1899), o teste de qui-quadrado (X^2) é utilizado para analisar as frequências absolutas e relativas (esperada). A frequência absoluta é obtida na amostra da pesquisa e a frequência esperada é o resultado da hipótese formulada. Para este teste ter a hipótese confirmada, o X^2 resultante deve ser menor que o X^2 crítico, obtido através da tabela de distribuição do teste. Se a diferença entre os dados absolutos e relativos for menor ou igual a 5% ($p \leq 0,05$) os dados são de uma distribuição normal.

Como exemplo de estudo que utilizou tal teste é possível citar Rey-Merchán et al. (2021) que analisou variáveis em acidentes de trabalho por queda em altura ocorridos na Espanha entre os anos de 2009 e 2019. Os autores utilizaram o X^2 para testar a independência de cada variável em relação à gravidade das quedas, deste modo as variáveis com significância estatística inferior a 95% foram rejeitadas e as variáveis não rejeitadas foram categorizadas e incluídas no estudo.

2.4.4.2 Teste Kolmogorov-Smirnov (KS)

O teste de Kolmogorov-Smirnov é geralmente aplicado para distribuição contínua, e pode ser aplicado a pequenas amostras. Este determina a distribuição da amostra dentro das populações. Tal teste se baseia na distância máxima (D_n) entre a distribuição amostral e a distribuição teórica de referência. Deste modo, se a hipótese for verdadeira o D_n deve apresentar um valor pequeno. Ao comprara o valor de D_n obtido e o valor $D_{n,\alpha}$ (crítico),

obtido através da tabela de valores críticos t , se $D_n \leq D_{n,\alpha}$ os dados são de uma distribuição normal, mostrando que a diferença entre as distribuições é menor ou igual a 5% ($p \leq 0,05$).

Um estudo realizado por Laal *et al.* (2018) utilizou este teste para conferir a normalidade dos dados de casos de vítimas de acidentes de trabalho antes e depois da implementação de um sistema integrado de gestão em uma usina de ciclo combinado, nele foram calculadas as taxas de frequência de acidentes, gravidade do acidente, índice de frequência – gravidade e índices T-Score (pontuação de segurança). Além deste teste, os autores também utilizaram o teste de Anderson-Darling com o mesmo objetivo.

2.4.4.3 Teste Anderson-Darling (AD)

O teste de aderência de Anderson-Darling, criado em 1954, tem a vantagem de ser mais sensível que o teste de Kolmogorov-Smirnov devido ao fato de atribuir pesos maiores às observações nas caudas da distribuição. Este mede o quão aderente os dados amostrais são em relação aos dados teóricos. Para isso ele utiliza o valor de p , se p for menor que o α escolhido (geralmente 0,05, equivalente a uma diferença máxima de 5%) os dados pertencem a uma distribuição normal.

Este teste foi utilizado no estudo de Love *et al.* (2015) que analisou o índice de retrabalho relacionado a incidentes e não conformidades em uma empresa de construção da Austrália, objetivando determinar a qualidade dos ajustes dos dados para saber se estes seguem uma distribuição normal. Este estudo também utilizou os testes de KS e X^2 .

2.4.5 Regressão Linear (RL)

A regressão logística é uma técnica estatística utilizada nas análises preditivas que usa a função logística, ou função logit, para mapear y como uma função de x , conforme Equação 2. Tal modelo nos permite estimar a probabilidade associada à ocorrência de determinado evento em face de um conjunto de variáveis explanatórias. Suas vantagens

estão na facilidade para lidar com variáveis independentes categóricas e no seu alto grau de confiabilidade.

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (\text{Equação 2})$$

Tal regressão vem sendo bastante utilizada em diversas áreas de estudo tais como: medicina, ciências sociais e construção civil (NARAYAN et al., 2003; LATTIMORE; VISHER, 2014; GHOLIZADEH; ESMAEILI, 2020; WOJCIECH DROZD, 2017; HALABI et al., 2022). Vários tipos de modelos de regressão logística foram utilizados em diversos estudos de SST para investigar possíveis associações no campo da análise de acidentes (GHOLIZADEH; ESMAEILI, 2020; WOJCIECH DROZD, 2017). Isso ocorre devido a ela ser indicada como um método adequado para testar a associação entre potenciais fatores de risco de acidentes e uma variável dependente, pois o modelo pode isolar os efeitos e indicar o peso de cada fator, explicando os acidentes com mais precisão (GHOLIZADEH; ESMAEILI, 2020; HARB *et al.*, 2008).

3 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em cinco etapas: coleta dos acidentes, análise dos acidentes, determinação da probabilidade, obtenção da curva teórica de distribuição de probabilidade dos acidentes e regressão logística a partir do HFACS e determinação de diretrizes, aplicada em acidentes fatais de queda em altura para o período compreendido entre os anos de 1990 e 2020, para os Estados Unidos da América - EUA.

3.1 Coleta dos acidentes

Devido à impossibilidade de obtenção de relatórios de acidentes, com informações abrangentes e significativas para esta pesquisa, referentes ao país de origem deste estudo, foi realizada uma busca a partir de páginas de órgãos e instituições governamentais e privadas no mundo que registram relatórios de acidentes de trabalho e abordam informações precisas sobre a descrição do ocorrido. Para obtenção da amostra, não foi pré-definida uma quantidade de acidentes, pois, poderia comprometer os resultados, uma vez que não é de fácil acesso à obtenção destes dados em todos os países, em virtude da maioria das bases de dados virtuais de acidentes de trabalho apenas citarem as causas imediatas (por exemplo: choque elétrico, queda de altura, soterramento), sem disponibilizar a descrição dos acidentes em seu conteúdo, considerado fundamental para a análise realizada em seguida.

Deste modo, foram coletados acidentes de trabalho fatais ocorridos nos EUA, utilizando a base de dados do National Institute for Occupational Safety and Health – NIOSH, a partir das informações coletadas pela Fatality Assessment and Control Evaluation Program (FACE), especificamente o States FACE reports. De início foram coletados relatórios dos acidentes referentes a construção civil, em seguida foi feita a leitura dos resumos objetivando identificar e incluir no estudo apenas os acidentes referentes a queda de altura que ocorreram entre os anos de 1990 a 2020, como ilustra o Quadro 1.

Quadro 1: Relatórios de Acidentes coletados

Tipo	Nº de acidentes coletados
Construção Civil	524
Queda de altura na Construção Civil	210

Fonte: Autor

Deste modo, foram incluídos 210 acidentes fatais por queda em altura para análise deste estudo.

Contudo, os EUA possuem um método construtivo diferente do Brasil, nele é mais comum a utilização da madeira e estruturas metálicas, além de materiais leves, incluindo os fechamentos em drywall, em sua construção. Já no Brasil, o método comum é a alvenaria com pilares e vigas em concreto.

3.2 Análise dos acidentes

Inicialmente, foram coletados e analisados nos relatórios dos acidentes, os dados referentes às características individuais do acontecimento. Em seguida, foi realizada a análise e investigação das causas que levaram as fatalidades dos acidentes contidos nos relatórios, utilizando o método Human Factors Analysis and Classification System - HFACS.

3.2.1 Escolha do método de análise

Para realizar a análise de forma precisa das causas que levaram os acidentes fatais a ocorrerem foi necessário escolher qual ferramenta ou método seria utilizado. Para isso foram testadas diversas ferramentas, objetivando identificar qual possuía uma melhor abordagem para os dados. Deste modo, o Método The Human Factors Analysis and

Classification System – HFACS foi escolhido devido a sua confiabilidade com foco na causa humana para os acidentes, a sua base de dados hierárquicos consistentes, e por possuir um sistema de classificação bastante detalhado.

3.2.2 Análise das características individuais

Nos relatórios, foram coletadas informação referentes as seguintes características individuais dos acidentes: idade do trabalhador, função do acidentado, hora em que ocorreu o acidente, local do acidente por queda de altura, tipo de edificação, tipo de obra, porte da empresa e causa direta da fatalidade. Tais dados foram tratados de modo a identificar a frequência de ocorrência de cada um deles.

Os dados relativos à função dos trabalhadores foram separados conforme a Classificação Ocupacional Padrão (SOC), que é um sistema do governo dos EUA que define as ocupações (funções) de acordo com as ações executadas pelo trabalhador (BLS, 2018). A partir dos relatórios analisados, a descrição referente as funções relevantes para este estudo são:

- Pedreiro (trabalha com tijolo, ladrilho estrutural, bloco de concreto);
- Carpinteiro (construí, ergue, instala ou repara estruturas e acessórios feitos de madeira);
- Telhador (cobre telhados de estruturas com telhas, ardósia, asfalto, alumínio, madeira ou materiais relacionados);
- Pintor (pinta paredes, equipamentos, edifícios, pontes e outras superfícies estruturais, usando escovas, rolos e pistolas de pulverização);
- Encanador (monta, instala, altera e repara tubulações ou sistemas de tubulação que transportam água, vapor, ar ou outros líquidos ou gases);
- Eletricista (instala, mantém e repara a fiação elétrica);
- Ferreiro (eleva, coloca e une vigas de ferro ou aço, colunas e outros membros estruturais para formar estruturas completas);
- Operador de máquina/equipamento pesado (opera equipamentos de construção como guindastes e carregadeiras frontais);

- Instalador de drywall (aplica gesso cartonado ou em tetos, paredes ou interiores de edifícios);
- Ajudante geral (ajuda os pedreiros ou assentadores de azulejos e mármore realizando tarefas que exigem menos habilidade);
- Engenheiro Civil (Desenvolve o planejamento, projeto e supervisão da construção e manutenção de estruturas e instalações de edifícios);
- Instalador de Carpete (Coloca e instala tapetes de rolos ou blocos no chão);
- Instalador e reparador de elevadores (Monta, instala, repara ou faz manutenção de elevadores);
- Removedor de Materiais Perigosos (Identifica, remove, embala, transporta ou descarta materiais perigosos, incluindo amianto, tinta à base de chumbo e outros);
- Outros trabalhadores relacionados a construção (Todos os trabalhadores da construção e relacionados não listados separadamente).

Para os dados referentes ao porte das empresas, foram classificados conforme a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), que consiste em uma organização internacional, que possui como um dos países membro os EUA. A OECD explica que, de modo internacional, o porte das empresas é dividido em pequenas e médias empresas (PMEs), que emprega menos de 250 pessoas, e grandes empresas, que empregam 250 ou mais pessoas. As PME são divididas em microempresas (menos de 10 trabalhadores), pequenas empresas (10 a 49 trabalhadores) e médias empresas (50 a 249 trabalhadores) (OECD, 2022).

3.2.3 Análise a partir do The Human Factors Analysis and Classification System - HFACS

Uma adaptação do método HFACS, indicado por Wong et al. (2016) como o modelo de causalidade mais detalhado, com uma base hierárquica de dados consistente, foi utilizado para a análise e investigação da causalidade dos acidentes coletados. Tal adaptação foi apenas uma reorganização dos dados, que ocorreu para um melhor entendimento da aplicação do método.

A adaptação do HFACS descreve 4 categorias de níveis de falha: Atos Humanos, Condições prévias para Atos Humanos, Supervisão insegura e Influências organizacionais. Esses quatro níveis se expandem em 25 subcategorias causais presentes na Tabela 2.

Quadro 2: Classificação do HFACS

NÍVEIS DE FALHAS	
Atos Humanos	Erro de decisão
	Erro baseado em habilidades
	Erro de Percepção
	Violações de Rotina
	Violação Excepcional
Condições Prévias para Atos Humanos	Fatores Ambientais Físico
	Fatores Ambientais Tecnológicos
	Condições Precárias de Operadores - Estado mental adverso
	Condições Precárias de Operadores - Estado Fisiológico Adverso
	Condições Precárias de Operadores - Limitações físicas ou mentais
	Práticas Precárias Cometida por Operadores - Má gestão de recursos dos trabalhadores
	Práticas Precárias Cometida por Operadores - Prontidão pessoal
Supervisão Insegura	Supervisão Inadequada
	Planejamento Inadequado de Operações
	Falhas Em corrigir um Problema Conhecido
	Violação da Supervisão
Influências Organizacionais	Gerenciamento de Recursos/Aquisição Humanos
	Gerenciamento de Recursos/Aquisição monetários/orçamento
	Gerenciamento de Recursos/aquisição de Equipamento/ recurso de instalação
	Clima Organizacional - Estrutura
	Clima Organizacional - Política
	Clima Organizacional - Cultura
	Processo Organizacional - Operações
	Processo Organizacional - Procedimentos
Processo Organizacional - Supervisão	

Fonte: Adaptado de Shappell e Wiegmann (2000; 2003).

Estas 25 subcategorias foram divididas e detalhadas nos 101 fatores causais, pertencentes ao método, que fornecem uma estrutura abrangente para a identificação dos erros envolvidos em um acidente. Esses 101 FC foram utilizados para a análise dos relatórios

de acidentes fatais coletados, de modo a avaliar a sua influência na ocorrência de cada um deles.

3.3 Determinação da Probabilidade

Após a análise dos acidentes, os dados referentes a frequência das características individuais (CI) foram utilizados de modo a determinar a probabilidade de cada categoria presente nas 8 CI. Estes foram utilizados para criar 5 grupos, utilizando uma categoria de cada uma das 8 características individuais presentes na análise. A escolha de apenas 5 grupos ocorreu devido a enorme quantidade de probabilidades ao correlacionar todos os dados obtidos. Tais grupos eram compostos pelas categorias de maior probabilidade, de modo a apresentar algumas variações para uma melhor visualização. Após a criação dos destes, foi aplicada a regra da probabilidade para determinar a probabilidade de ocorrência de acidentes fatais por queda de altura com características semelhantes às dos grupos elaborados. O modo de obter tal probabilidade está disposta na Equação 3, onde os valores de P_1 , P_2 , P_3 e P_4 correspondem as probabilidades de cada uma das circunstâncias utilizadas para a obtenção da probabilidade de ocorrência do acidente (P_0).

$$P_0 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \dots P_i \quad (\text{Equação 3})$$

Tal Equação pode ser utilizada para esses dados devido a estes não possuírem correlação entre si, podendo um trabalhador da função carpinteiro ter caído de um telhado, escada ou até de um andaime ou plataforma de trabalho. As características individuais presentes nos 5 grupos são:

- Grupo 1: carpinteiro, com faixa etária entre 31 e 44 anos, trabalhando no telhado, entre 10:00 e 10:59 da manhã, com alguma falha vinculada a utilização do cinto de segurança, vinculado a uma microempresa, em uma obra de manutenção ou reparo de uma edificação comercial.
- Grupo 2: ferreiro, com faixa etária entre 45 e 60 anos, trabalhando em estruturas, entre 11:00 e 11:59 da manhã, com alguma falha vinculada proteção contra queda, vinculado a uma pequena empresa, em uma obra de novo projeto ou adição de uma edificação residencial.

- Grupo 3: carpinteiro, com faixa etária entre 31 e 44 anos, trabalhando em estruturas, entre 14:00 e 14:59 da tarde, com alguma falha vinculada a proteção contra queda, vinculado a uma microempresa, em uma obra de novo projeto ou adição de uma edificação comercial.
- Grupo 4: telhador, com faixa etária entre 31 e 44 anos, trabalhando no telhado, entre 09:00 e 09:59 da manhã, com alguma falha vinculada a utilização do cinto de segurança, vinculado a uma microempresa, em uma obra de manutenção ou reparo de uma edificação residencial.
- Grupo 5: ferreiro, com faixa etária entre 21 e 30 anos, trabalhando no telhado, entre 10:00 e 10:59 da manhã, com alguma falha vinculada a utilização do cinto de segurança, vinculado a uma média empresa, em uma obra de novo projeto ou adição de uma edificação comercial.

3.4 Obtenção da Curva Teórica de Distribuição de Probabilidade dos Acidentes

Com a análise dos acidentes a partir do método HFACS foi obtida a distribuição de frequência da quantidade fatores causais necessários para o acontecimento de cada um dos 210 acidentes fatais. A fim de avaliar a normalidade dos dados obtidos, foi feito o teste da aderência utilizando o método Anderson-Darling. Para a representação desses dados, foi criada a curva teórica da distribuição de probabilidade dos acidentes, possibilitando indicar as chances de ocorrência de um acidente fatal a partir da quantidade de fatores causais que o antecedem.

3.4.1 Representação a partir do Gráfico Boxplots

O gráfico Boxplots foi usado para descrever as características de distribuição e dispersão do conjunto de dados obtidos. Consiste em uma linha que se estende do valor mínimo ao valor máximo, e em uma caixa com linhas traçadas no primeiro quartil, na mediana e no terceiro quartil. Os quartis representam medidas de localização que dividem o conjunto de dados em quatro grupos, com aproximadamente 25% dos valores em cada grupo, sendo 50% deles (dos 25% aos 75%) presentes dentro da caixa citada.

3.4.2 Aplicação da Equação de Padronização de Escore à Curva de Probabilidade

Para a determinação da probabilidade de ocorrência dos acidentes fatais para uma determinada quantidade de fatores causais, foi utilizada a equação de padronização de escore (Equação 1), sendo possível realizar a padronização da distribuição normal, de modo a identificar a probabilidade correspondente a relação de ocorrência de um acidente após atingir um determinado valor de fatores causais.

3.5 Regressão Logística a partir do HFACS e determinação de diretrizes

A regressão logística foi aplicada aos dados obtidos pela análise dos 210 acidentes com a utilização do método HFACS. Ela foi utilizada para obter um peso para cada um dos fatores causais, pertencentes ao método, para a probabilidade de ocorrência dos acidentes analisados. Deste modo, a regressão tornou possível identificar a probabilidade de ocorrência, para cada um dos 210 acidentes, utilizando os pesos dos fatores causais que os antecederam.

Além disso, a identificação dos pesos possibilitou indicar quais FC afetam mais na probabilidade de ocorrência dos acidentes, considerando o impacto de cada um destes. Após a obtenção dos pesos referentes aos fatores causais, foram determinadas diretrizes de segurança para diminuir ou evitar a existência dos 5 fatores causais de maior interferência para a ocorrência dos acidentes fatais.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados parciais referentes aos 210 relatórios de acidentes analisados para realização desta pesquisa. Estes foram divididos em 4 etapas, conforme apresentado anteriormente na metodologia, são Análise dos Acidentes, Aplicação da Regra da Multiplicação, Curva Teórica de Distribuição de Probabilidade e Regressão logística a partir do HFACS e determinação de diretrizes.

4.1 Análise dos acidentes

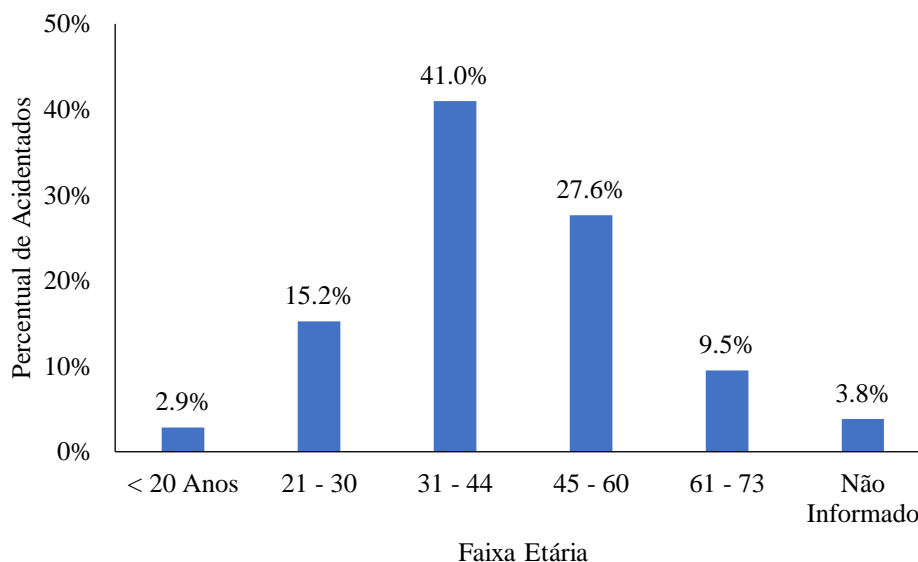
Cada relatório de acidente fatal obtido foi analisado de forma a separar as informações necessárias para compor as etapas desta pesquisa e posteriormente transforma-las em dados estatísticos necessários para a obtenção das probabilidades.

4.1.1 Análise das características individuais

A análise referente as características individuais que podem ser consideradas fatores contribuintes para a ocorrência dos acidentes englobaram fatores como faixa etária do colaborador (Figura 7), função do trabalhador (Figura 8), hora de ocorrência do acidente (Figura 9), local do acidente de queda em altura (Figura 10), tipo de Edificação onde ocorreu o acidente (Figura 11), porte da Empresa envolvida no acidente (Figura 12), tipo de obra do acidente (Figura 13) e causa direta da fatalidade (Figura 14). Nadhim *et al.* (2016) afirma que tais características desempenham um papel significativo nos acidentes de QA, pois a responsabilidade pela queda está parcialmente situada nelas.

Dentre as informações obtidas, a Figura 7 indica as classes de faixa etária dos 210 trabalhadores que sofreram um acidente fatal neste estudo, estas foram divididas conforme visto no estudo de Wong *et al.* (2016), objetivando uma melhor compreensão e comparação dos dados obtidos.

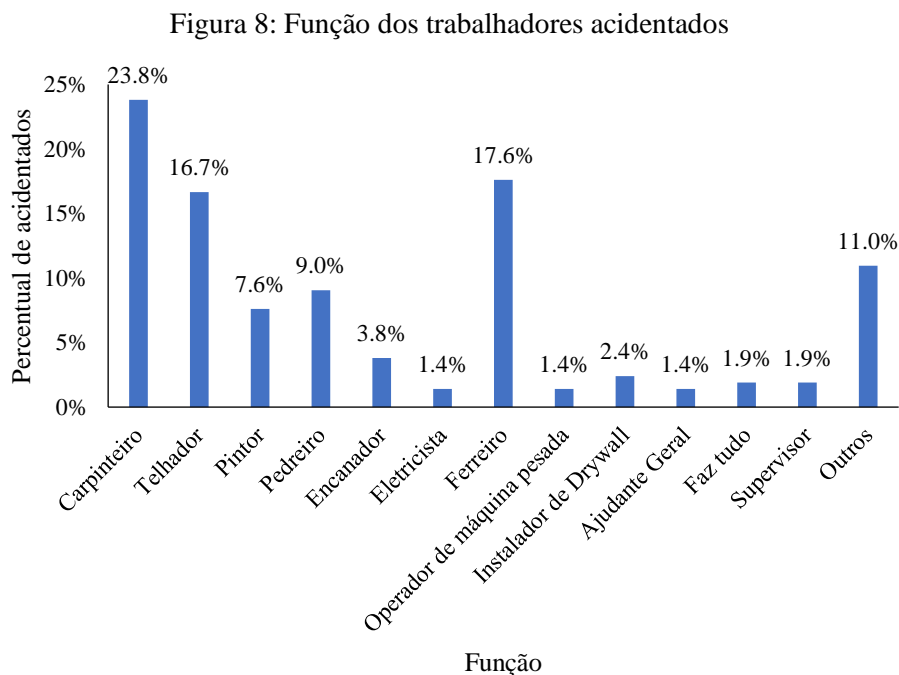
Figura 7: Faixa Etária dos trabalhadores acidentados



No estudo realizado por Wong *et al.* (2016), que analisou 52 acidentes fatais por queda de altura nos anos de 1999 a 2011, ocorridos em Hong Kong, a distribuição etária dos trabalhadores acidentados se concentrava entre 45 e 60 anos. Contudo, ao observar os dados expressos na Figura 8, a faixa etária de maior frequência deste estudo encontra-se entre 31 e 44 anos, com 41,0%, enquanto os acidentes com trabalhadores entre 45 e 60 anos ocorreram em 27,6% destes. Essa diferença ocorre devido à demografia dos trabalhadores da construção nos países estudados, pois a maioria dos colaboradores em Hong Kong, no período em que ocorreu o estudo, possuíam entre 50 e 54 anos (WONG *et al.*, 2016). Já nos EUA a idade média de tais trabalhadores é de 38 anos (DATA USA, 2022).

Ainda considerando os dados demográficos referentes a idade da população Norte Americana, o Bureau of Labor Statistics (2023) indica que a maior parte da população do país, em 2022, era composta por pessoas entre 60 e 75 anos (29,6%), seguida por 30 e 44 anos (24,9%). Já com relação à população trabalhadora, independente do setor, eles afirmam que a maioria se encontra entre 30 e 44 anos (33,3%), seguido por 45 e 59 anos (29,0%) (BLS, 2023).

A Figura 8 ilustra a função de cada um dos trabalhadores fatalmente feridos nos acidentes analisados.



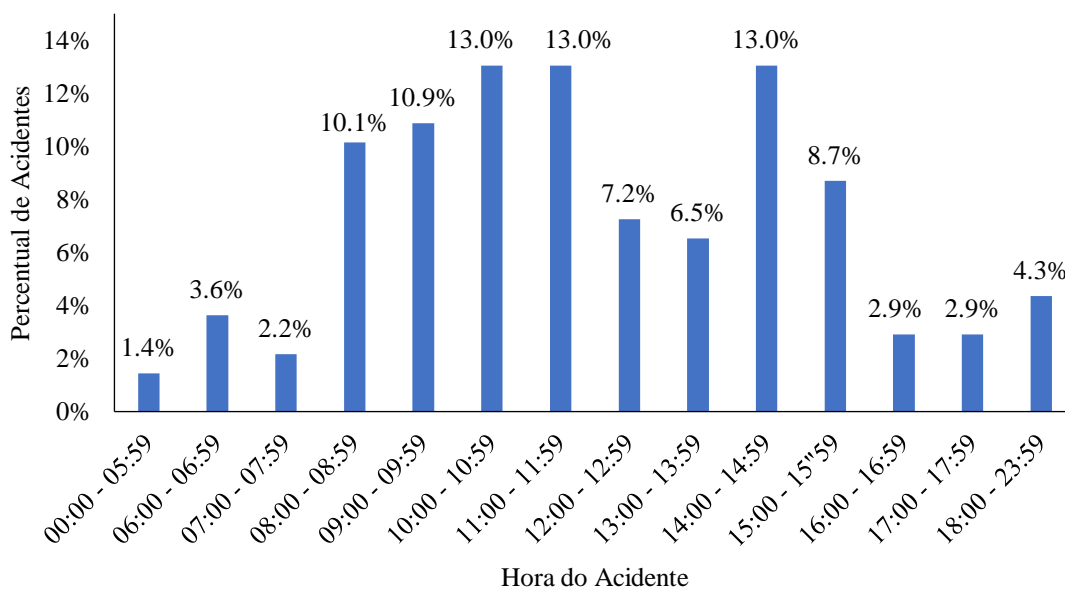
Ao examinar a Figura 8 é observado que, dentre as funções dos trabalhadores acidentados, as que mais se destacam são carpinteiro (23,8%), ferreiro (17,6%) e telhador (16,7%). Na função descrita como outros (11,0%), estão presentes as citadas até 2 vezes, como: removedor de materiais perigosos (amianto); impermeabilizador; supervisor de segurança, mecânico de elevadores, trabalhador de demolição, inspetor do governo, instalador de carpete, instalador de janelas, instalador de granito e empreiteiro. Nesta análise o carpinteiro destaca-se devido ao método construtivo do país possuir como base a utilização de madeira e drywall e da maioria dos trabalhos em altura nos EUA estarem ligados as atividades desta função: instalação e manutenção de coberturas e tapumes, atividades que, em grande parte, são executadas em altura.

Quando comparado a literatura, é notável a semelhança dos resultados, com o nos estudos presentes no de Nadhim et al. (2016), que realizou uma revisão de literatura sobre QA na indústria da construção. Os artigos analisados por eles citaram as funções de trabalhadores manuais e de alvenaria, aqui conhecidos como pedreiros, carpinteiros, telhadores e

eletricistas como as de maior índice de acidentes. Aqui tais funções estão representadas por 9,0%, 23,8%, 16,7% e 1,4%, respectivamente, mostrando uma elevada quantidade de ocorrências de acidentes fatais das funções carpinteiros e telhadores. Também corroborando com os dados, o estudo realizado por Halabi *et al.* (2022), indica o telhador, trabalhador de construção civil e carpinteiro como as funções com maior fatalidade nos EUA entre os anos de 2000 a 2020, representados juntos 52,7% dos acidentes fatais analisados.

Para representar o horário da ocorrência do acidente por queda, os dados foram filtrados de modo a apresentar apenas os acidentes que disponibilizaram tal informação, logo, dos 210 relatórios analisados apenas 138 estão presentes na Figura 9. Nela as horas foram separadas de modo a apresentar cada horário do turno de trabalho e os turnos extra (00 – 05:59 e 18 – 23:59).

Figura 9: Hora que os acidentes fatais aconteceram



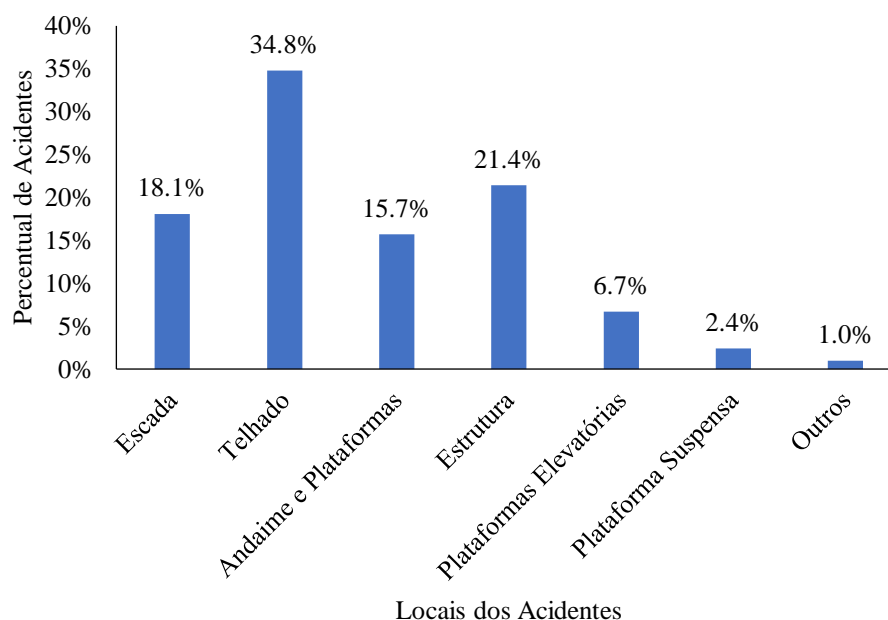
É possível notar, observando a Figura 9, que o turno da manhã (06:00 - 11:59) apresenta uma maior quantidade de acidentes, 52,9%, enquanto o da tarde (13:00 – 17:59) apresenta 41,3%. Os horários de maior incidência no turno da manhã (10:00 – 10:59 e 11:00 – 11:59) podem ser explicados pelo longo período trabalhando sem comer, que acarreta no

aumento da fadiga e da fome dos trabalhadores, visto que nos EUA, normalmente, o funcionário trabalha por 8 horas diárias e não possui um horário fixo para a refeição do almoço, apenas um intervalo de 15 à 30min. Também é observado que os horários de menor incidência encontram-se no início e no final da jornada de trabalho 06:00 – 06:59 (1,4%), 07:00 – 07:59 (2,2%), 16:00 – 16:59 (2,9%) e 17:00 – 17:59 (2,9%).

Esses resultados corroboram com o estudo realizado por Zermane *et al.* (2020), que estuda acidentes fatais de QA, onde mostra o turno da manhã como de maior incidência de acidentes, com aproximadamente 42% dos casos, seguido pela tarde, como 29%, e noite, com 20%. O estudo de Halabi *et al.* (2022), que analisou acidentes por queda de altura nos EUA, também indica que a maioria dos acidentes ocorre no turno da manhã com o pico de ocorrência entre 10:00 – 11:59. Além disso, estudos realizados apenas sobre acidentes na IC também corroboram com o fato de que o horário que antecede o almoço é um dos de maior incidência de acidentes com 12,3% dos acidentes, para Tözer, Çelik e Gürcanlı (2018) e 7,1% dos acidentes para Gürcanlı e Müngen (2013). Para o estudo de Tözer, Çelik e Gürcanlı (2018) no turno da manhã ocorre mais acidentes que o no da tarde, contudo a diferença no percentual é muito pequena para ser considerada (manhã com 46,1% e tarde com 45%).

A Figura 10 ilustra os locais onde ocorreram os acidentes. Para este estudo os acidentes relacionados à periferia e abertura de piso são classificados com estrutura, por ambos estarem ligados a ausência de proteções contra queda de altura em ambientes estruturais das obras. Em plataformas elevatórias estão presentes as designadas a elevação de pessoas e elevação de materiais (empilhadeiras), devido à existência de casos com utilização da última para carregar pessoas.

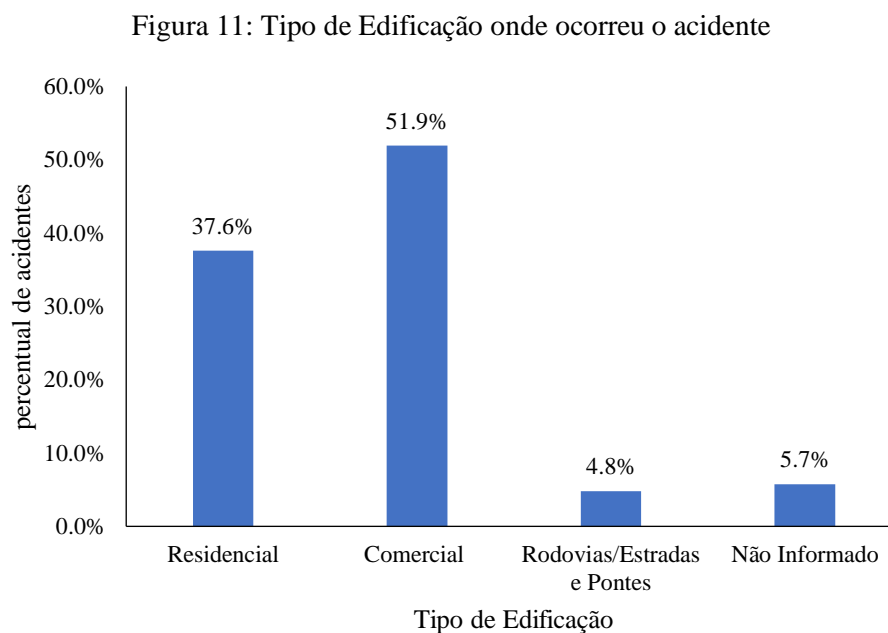
Figura 10: Locais dos acidentes encontrados nos relatórios



Ao observar a Figura 10 é visto que os acidentes envolvendo telhados (34,8%), estruturas (21,4%), escadas (18,1%) e andaimes e plataformas (15,7%), foram os de maior frequência entre os encontrados nos relatórios analisados. Resultados semelhantes foram encontrados no estudo de Zlatar *et al.* (2019), que analisou 144 acidentes por queda de altura, neste os acidentes ocorreram principalmente em trabalhos em telhados (26,3%) e andaimes e plataformas (22,8%). Já o estudo de Nadhim *et al.* (2016) indica que cair de andaime, cair de escada e cair de telhado são os acidentes que mais ocorreram nos estudos analisados por eles, apresentados em, respectivamente, 23%, 17% e 16% dos artigos. E o estudo realizado por Güranlı e Müngen (2013) indica como os locais de acidentes de maior incidência os Andaimes e estruturas.

Da mesma forma que os estudos citados anteriormente, o realizado por Halabi *et al.* (2022) também indica que os telhados (32,8%), escadas (16,0%), estruturas (9,5%) e andaimes (9,2%) são os locais de maior ocorrência de fatalidades ocorridas nos EUA entre os anos de 2000 e 2020. Comprovando que os trabalhadores que atuam nesses locais de trabalho são os mais ameaçados, principalmente nos telhados. Isso ocorre devido ao método construtivo das residências do país, que possui uma grande quantidade de casas com telhados inclinados.

A Figura 11 apresenta os tipos de edificações as quais ocorreram os acidentes fatais. Ela está dividida em edificações residenciais, comerciais e rodovias/estradas e pontes.

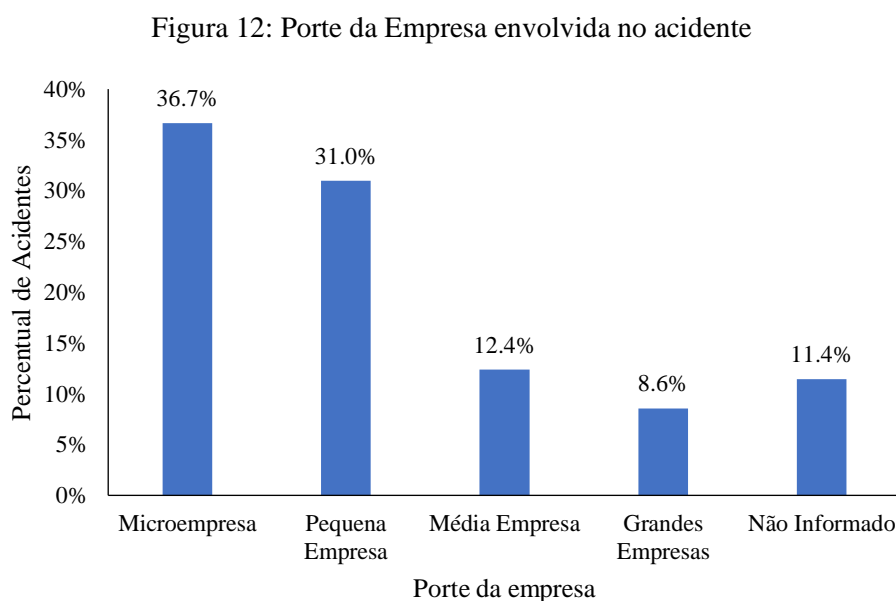


Ao observar a Figura 11 é possível ver que as edificações as quais ocorreram mais acidentes fatais foram as comerciais (51,9%) e as Residenciais (37,6%). Contudo, quando é considerado o fato de a categoria comercial apresentar uma maior variedade de edifícios, envolvendo edifícios não residenciais, lojas, shopping centers, edifícios públicos, galpões, fabricas, entre outros, então a maior quantidade de acidentes ocorre, em específico, em edificações residenciais, sendo 43,0% delas de edifícios unifamiliares (casas), 11,4% de edifícios multifamiliares (prédios de apartamentos), o percentual restante, 45,6%, não apresentaram identificação quanto ao tipo de edificação residencial. No estudo realizado por Nadhim *et al.* (2016), onde foi feita uma revisão de literatura referente a quedas de altura na indústria da construção, 41% das literaturas analisadas apresentam edificações residenciais com as de maior ocorrência de acidentes, seguida por edificações comerciais (21%), que apresenta a mesma variedade de edifícios citada anteriormente.

O mesmo ocorre no estudo de Halabi *et al.* (2022), que cita que, dentre os acidentes fatais por queda de altura analisados por ele, 31,4% eram em edificações comerciais, seguido

por 18,1% em residências unifamiliares e 14,2% em residências multifamiliares. Contudo, o autor apresenta outros tipos de edificações, como outros prédios (16,2%), torres, tanques e elevadores de armazenamento (6,3%), fábricas (3,2%) e outros (5,0%). No presente estudo tais edificações estão contidas na categoria de comerciais, deste modo é notável que o percentual de edificações comerciais, se somado com esses outros tipos, é ainda maior do que o indicado por eles, representando 62,1% das fatalidades analisadas pelos autores.

A Figura 12 apresenta os portes das empresas relacionadas nos acidentes fatais, as quais o trabalhador acidentado estava vinculado.



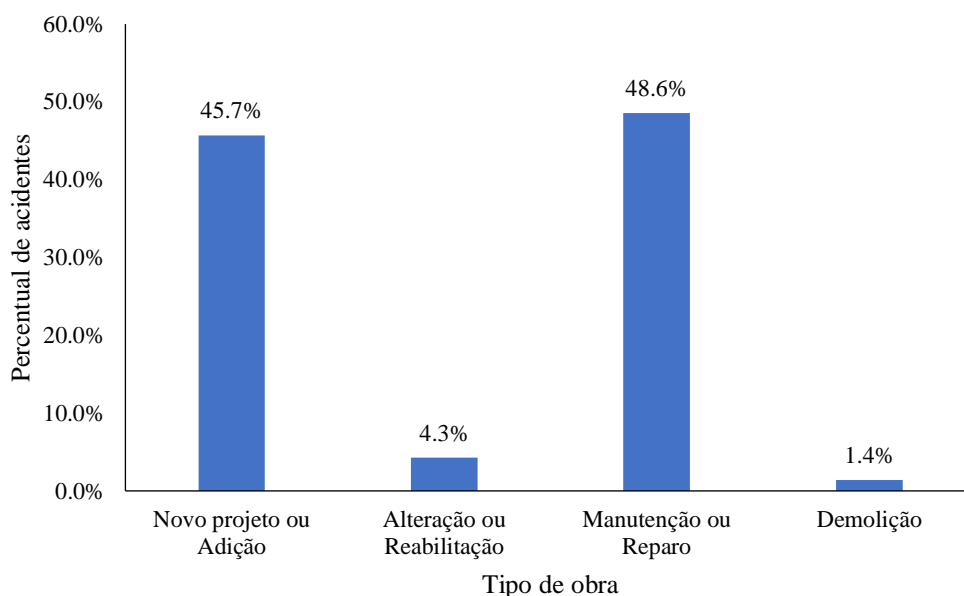
Conforme a Figura 12, a maior parte dos acidentes analisados ocorrem em trabalhadores de microempresas, que possuem no máximo 9 funcionários, está esteve presente em 36,7% das fatalidades de QA. Já as grandes empresas, compostas por mais de 250 funcionários, esteve ligada a apenas 8,6% dos acidentes. Contudo, 11,4% dos relatórios não identificou o porte da empresa contratante do acidentado.

Em confirmação ao que foi dito, o estudo realizado por Campo *et al.* (2020), que realizou uma análise de lesões ocupacionais em diversos setores industriais da Itália, identificou

que mais de 90% delas eram vinculadas a pequenas e médias empresas, em particular, 56% eram microempresas, 35% empresas de médio porte e 9% grandes empresas.

A Figura 13 apresenta o tipo de obra executada na qual ocorreu o acidente, ela foi dividida em novo projeto ou adição, alteração ou reabilitação, manutenção ou reparo, demolição e outros.

Figura 13: Tipo de Obra que ocorreu o acidente

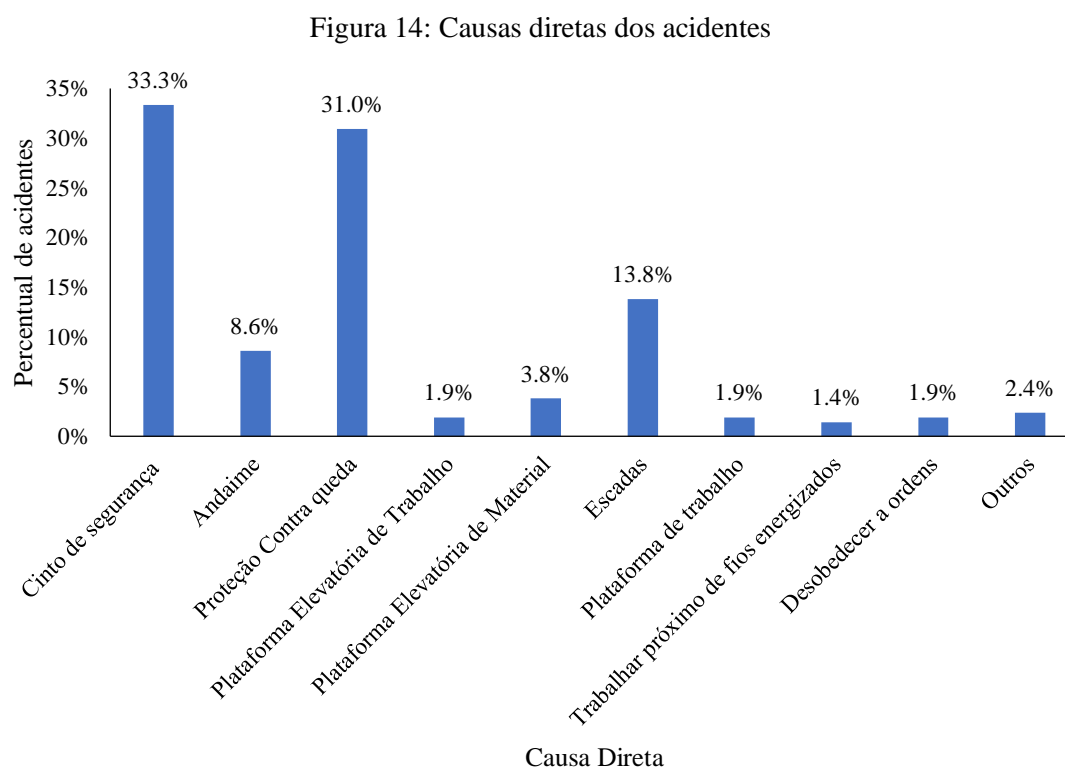


Na Figura 13 é possível identificar que a maior parte dos acidentes ocorreram em obras de manutenção ou reparo (48,6%) e obras de novos projetos ou adições (45,7%). Contudo, por serem valor bem próximos, com um intervalo de confiança de apenas 3,5%, a diferença entre os dois tipos de projetos mais citados não é tão significativa, os tornando semelhantes. As obras de alteração ou reabilitação (4,3%) e demolição (1,4%) foram as que menos apareceram, constando apenas em 9 e 3 dos 210 acidentes analisados, respectivamente.

No estudo de Kang *et al.* (2017), que analisaram as tendências em acidentes por queda de altura na construção civil nos EUA, é indicado que as obras de novos projetos e adições são as de maior ocorrência de acidentes, presentes em 59,0% dos acidentes analisados por eles, contudo, no estudo dos autores, as obras de alteração ou reabilitação apresentam

uma maior recorrência que as de manutenção e Reparo, 18,2% e 16,2% respectivamente. Já no estudo realizado por Halabi *et al.* (2022), que também realizou uma análise de acidentes nos EUA, as obras de novos projetos ou adição também se destacam, sendo responsável por 48,7% dos acidentes fatais do estudo, mas no estudo dos autores as obras com segunda maior recorrência são as de manutenção ou reparo (24,6%), seguidas por alteração ou reabilitação (20,2%). Contudo, ambos os estudos mostram uma diferença significativa entre os tipos de obras, diferente deste estudo.

A Figura 14 Apresenta as causas diretas relacionadas aos acidentes analisados, podendo ser: cinto de segurança, andaime, proteção contra queda, plataforma elevatória de trabalho, plataforma elevatória de material, escadas, plataforma de trabalho, trabalhar próximo de fios energizados, desobedecer a ordens e outros.



As causas relacionadas ao Cinto de segurança estão ligas a fatores como a ausência de sua utilização, a inexistência de ancoragem ou linha de vida e equipamentos de proteção individual velhos ou danificados, está esteve presente em 33,3% dos acidentes. Já a categoria proteção contra queda engloba a inexistência de guarda-corpo ou barreiras de

proteção em áreas de risco de queda, incluindo telhados com claraboias, apresentada em 31,0% das fatalidades. A categoria escadas está vinculado a não fixação da mesma a estrutura, a ausência do antiderrapante e a subir carregando objetos (sem o apoio dos 4 pontos), este foi causa direta de 13,8%.

As plataformas elevatórias de materiais, conhecidas como empilhadeiras, onde ocorre a realização da adaptação na máquina de forma a acoplar uma plataforma improvisada de madeira para poder elevar pessoas, esta representa 3,8% dos casos. Este processo não é permitido pelas normas de segurança do país, mas ocorre bastante, devido a isso as fabricantes de tais máquinas criaram e comercializaram um componente, devidamente estruturado, para acoplar as empilhadeiras objetivando evitar que os trabalhadores realizem essa adaptação, mas mesmo com a existência deste componente, ainda é possível encontrar essas adaptações irregulares. Já plataformas elevatórias de trabalho, presente em 1,9%, está representada pela utilização de forma incorreta do equipamento que serve para elevar pessoas, entre elas há a movimentação da mesma com ela elevada ou a utilização de plataformas pequenas para atividades que necessitam de mais espaço.

As causas referentes a andaime estão presentes em 8,6% dos acidentes e estão ligadas a andaime montado incompleto ou inadequadamente e a não fixação dos rodízios em andaimes moveis. Já a categoria plataformas de trabalho engloba a não utilização da plataforma correta e utilização de uma escada ao invés de um andaime ou plataforma de trabalho correta, presente em 1,9% dos casos analisados. Com relação à categoria trabalhar próximo de fios energizados está ligado a trabalhos que a elevação deixa o funcionário próximo a fios que deveriam ser desenergizados antes da execução do serviço, ocorreu em 1,4% dos acidentes. Relacionado a desobedecer a ordens estão as ações deliberadas dos trabalhadores feitas após algum superior ter dito para não fazer ou não ter dado a devida permissão para o serviço, essa foi causa direta de 1,9% dos acidentes. Na categoria outros, estão presentes as causas referentes a atividade realizada incorretamente, falha de comunicação entre equipes e ausência de delimitação de área de risco, representados por 2,4% dos casos.

Segundo o estudo realizado por Williams, Hamid e Misnan (2019), ausência de sinalização na zona de risco, problemas relacionados ao cinto de segurança e falhas

relacionadas a estabilidade da escada são os fatores mais recorrentes nas causas dos acidentes por queda de altura nos estados do sudoeste da Nigéria, corroborando com os resultados encontrados aqui que indicam cinto de segurança (33,3%), proteção contra queda (31,0%) e escadas (13,8%) como as principais causas diretas para os acidentes. No entanto, o presente estudo não apresenta o fator ausência de sinalização na zona risco, isso ocorreu devido aos relatórios não abordarem informações acerca das sinalizações dispostas nos locais dos acidentes.

Após a análise destes dados, referentes as características individuais, é possível notar que as categorias das CI que mais se destacam como as de maior frequência nos acidentes fatais são as funções carpinteiro (23,8%) ou ferreiro (17,6%), com idade entre 31 e 44 anos (41,0%) ou entre 45 e 60 anos (27,6%), trabalhando em telhado (34,8%) ou estruturas (21,4%), entre as 10:00 e 10:59 (13,0%) ou 11:00 e 11:59 (13,0%), em edificações comerciais (51,9%) ou residências (37,6%), executando obras de manutenção ou reparo (48,6%) ou novo projeto ou adição (45,7%), com vínculo em empresa com porte de microempresa (36,7%) ou pequena empresa (31,0%) e com alguma falha ligada ao cinto de segurança (33,3%) ou na proteção contra queda (31,0%). Contudo, dos dados citados acima, os relacionados a tipo de obra (manutenção ou reparo e novo projeto ou adição) possuem percentual tão próximo, que ao analisar o seu intervalo de confiança é notado que chegam a se assemelhar.

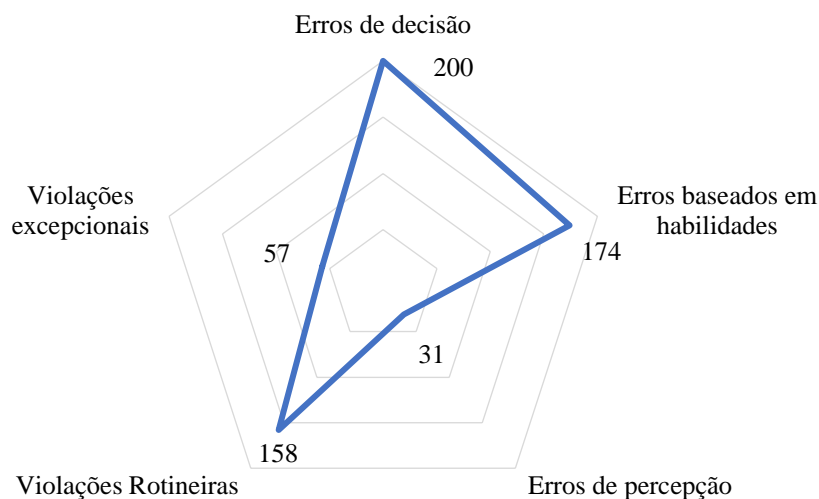
Ao observar tais dados também é possível identificar que as características individuais aqui presentes não possuem dependência entre si para a ocorrência de uma fatalidade, sendo possível encontrar um acidente que ocorreu com uma determinada função em diversos turnos do dia, e de diversos locais de ocorrência. Como exemplo, é possível identificar acidentes com telhadores que caíram do telhado em ambos os turnos de trabalho, ou até carpinteiros, independente da faixa etária, que caíram de escada, plataforma elevatória de trabalho ou estrutura, mostrando que os dados coletados são mutuamente independentes.

4.1.2 The Human Factors Analysis and Classification System - HFACS

A partir da análise dos 210 acidentes utilizando o HFACS e realizando a separação das informações pelas suas 25 categorias, foi possível obter as Figuras 15, 16, 17 e 18, que apresentam os 4 gráficos das categorias do método (Atos Humanos, Condições Prévias para Atos Humanos, supervisão insegura e influências organizacionais), representado a quantidade de acidente que possuíam suas subcategorias como fatores causais para a ocorrência.

A Figura 15 apresenta a quantidade de acidentes referentes a Atos Humanos e suas subcategorias.

Figura 15: Acidentes que possuem como fatores as categorias de Atos Humanos



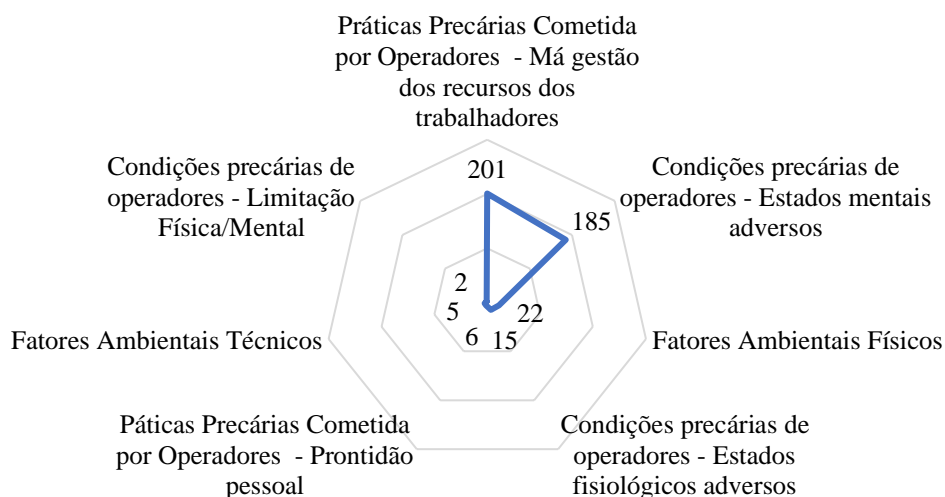
Observando a Figura 15 é visto que Erros de decisão, Erros baseados em habilidades e Violação rotineira estão presentes em mais de 74% dos acidentes, estando a subcategoria Erro de Decisão presente em 95,2% deles. Quando se compara estes dados ao estudo realizado no estudo de Wong *et al.* (2016), feito em Hong Kong, é possível notar uma semelhança significativa, visto que em seu estudo, das 5 subcategorias, erro baseado em

habilidades e violação rotineira são os mais citados, ambos estão presentes em 44,2% dos 52 acidentes. Os fatores causais referentes a erros de decisão são: procedimento impróprio (83,3%); emergência mal diagnosticada (5,2%); resposta errada à emergência (7,1%); habilidade inadequada (18,1%); decisão ruim (88,1%). Já os FC da subcategoria erros baseados em habilidades são: avaria na varredura visual (38,6%); falha em priorizar a atenção (26,7%); omitir etapa no processo (35,7%); omitir item na lista de verificação (14,8%); técnica pobre (40,0%); controle excessivo (3,3%).

Um exemplo de um acidente ocorrido que envolve esta categoria foi o caso em que um trabalhador caiu de uma escada móvel ao tentar cortar uma plataforma de madeira e painéis de espuma com uma serra movida a compressor, o mesmo teve o erro de decisão e erro baseado em habilidade quando decidiu se apoiar na plataforma de madeira que estava cortando e esta caiu o derrubando da escada. Também, neste acidente, o falecido cometeu a violação rotineira de utilizar uma escada para fazer serviços onde seria necessário a utilização de uma plataforma de trabalho, atitude que, segundo os colegas de trabalho, ele tomava com frequência.

A Figura 16 Ilustra as informações relacionadas a categoria de nível de falha definida como Condições Prévias para Atos Humanos.

Figura 16: Acidentes que possuem como fatores as categorias de Condições Prévias para Atos Humanos



Em Condições Prévias para Atos Humanos, é possível notar que suas subcategorias são fatores pouco comuns nas causas dos acidentes, contudo, apenas duas, Práticas Precárias Cometida por Operadores - má gestão de recursos dos trabalhadores e condições precárias de operadores - estados mentais adversos, estão presentes em 95,7% e 88,1%, respectivamente. A primeira subcategoria engloba os seguintes fatores causais: falha de comunicação (23,8%); falha em conduzir adequadamente o serviço (90,0%); falha em usar os recursos disponíveis (41,0%); falha de liderança (53,3%); interpretação errônea de informações (5,2%). Já na segunda estão presentes: atenção canalizada (38,6%); complacência (26,2%); distração (25,7%); fadiga mental (2,4%); voltar para casa logo (1,4%); perda de consciência situacional (74,3%); motivação mal colocada (50,0%); saturação de tarefas (0,0%).

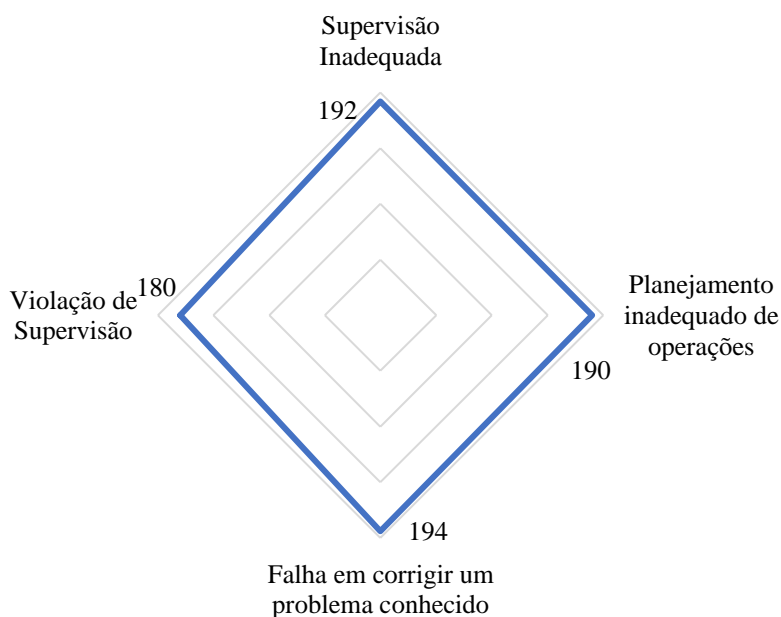
Ao observar os dados obtidos, em comparação aos da pesquisa realizada por Wong *et al.* (2016), foi visto que 100% dos acidentes apresentaram a fatores do ambiente técnico com um dos fatores causais para os acidentes, fator causal que esteve presente em apenas 5 dos acidentes do atual estudo. Isso se deve ao fato de os autores considerarem o trabalho em altura como ambiente técnico desfavorável aos trabalhadores, mas, para o presente

estudo, tal ambiente é comum em todos os acidentes e não foi considerado da mesma forma. Os autores também comentam que em seu estudo estados fisiológicos adversos e estados mentais adversos não puderam ser decifrados separadamente dos relatórios, mantendo suas frequências de ocorrência igual a 0%, mas sugere que os trabalhadores podem realmente apresentar tais FC que antecederam os acidentes (WONG *et al.*, 2016). Contudo, nos relatórios utilizados para este estudo, alguns dados referentes a estes FC foram apresentados, de modo as subcategorias condições precárias de operadores - estados mentais adversos e condições precárias de operadores - estados fisiológicos adversos serem FC de 88,1% e 7,1% dos acidentes fatais analisados.

Para exemplificar, um acidente que envolveu os fatores causais citados acima ocorreu durante a retirada de uma caixa elevada de plantio em um shopping, neste caso os trabalhadores receberam a informação do supervisor/líder de que a plataforma elevatória que estava disponível era pequena demais para a execução do serviço e que outra estava a caminho, mesmo sabendo desta informação o acidentado e seus colegas resolveram iniciar o trabalho, mostrando uma falha na liderança e perda de consciência situacional dos mesmos, durante a execução do serviço, no momento de retirada da caixa de plantio, a plataforma elevatória começou a balançar e caiu, derrubando o trabalhador em questão e seus colegas de trabalho, levando-o a morte.

Diferente da categoria anterior, a denominado Supervisão Insegura é bastante vista dentre os fatores causais dos acidentes, como visto na Figura 17.

Figura 17: Acidentes que possuem como fatores as categorias de Supervisão Insegura



As subcategorias referentes a Supervisão Insegura estão vinculadas a mais de 85% dos acidentes, tendo como a mais citada falha ao corrigir um problema conhecido (92,4%), seguida por supervisão inadequada (91,4%) e planejamento inadequado de operações (90,5%). Ao comparar com dados existentes na literatura atual, é visto que supervisão inadequada é vista como a mais frequente entre os acidentes fatais de queda em altura (82,7%) e em construções de hidrelétricas (92,9%) e a de menor frequência é falhas em corrigir problemas conhecidos, presente em 13,5% e 24,6% dos acidentes, respectivamente (WONG et al., 2016; JIAN-LAN; ZHI-YU, 2012).

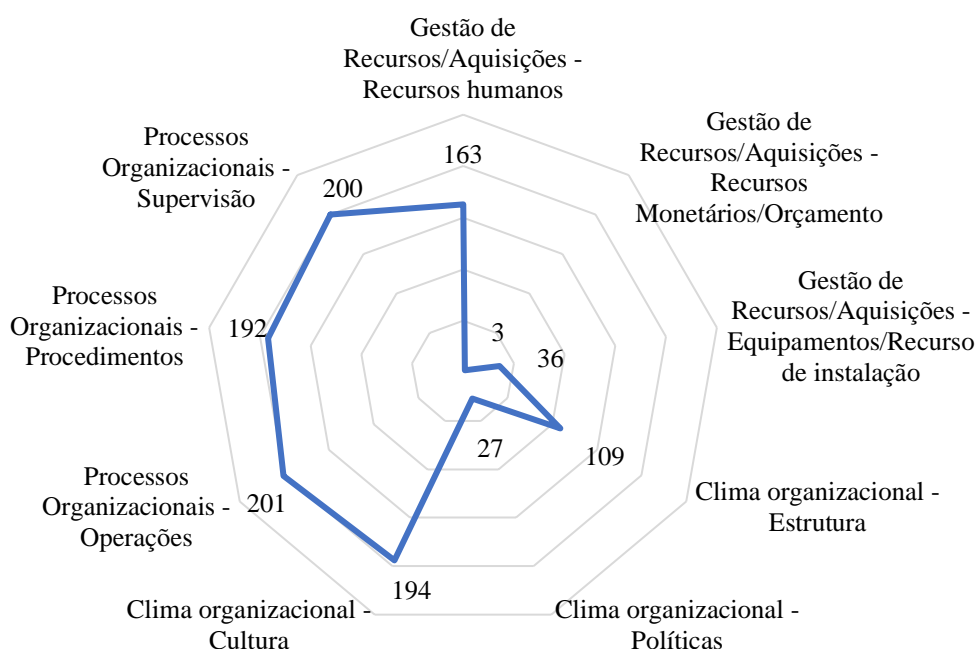
Os fatores causais referentes à subcategoria planejamento inadequado de operações são: falha em fornecer dados corretos (11,9%); falha em fornecer “tempo de pensar” adequado (0,5%); trabalhadores impróprios (7,1%); trabalho não está de acordo com as normas (88,6%); ausência de oportunidade de descanso para os trabalhadores (0,0%). Já os ligados a Supervisão inadequada são: falha em fornecer orientação (74,1%); falha em fornecer doutrina operacional (58,1%); falha em fornecer supervisão (83,3%); falha em fornecer treinamento (76,7%); falha em rastrear qualificações (39,5%); falha em acompanhar o desempenho (65,7%). Referente a falha ao corrigir um problema conhecido são: falha ao corrigir um documento com erro (9,5%); falha ao identificar um trabalhador

em risco (91,5%); falha ao iniciar uma ação corretiva (63,8%); falha em relatar tendências inseguras (16,2%). E os FC relacionados a Violação de Supervisão são: perigo desnecessário autorizado (68,6%); falha em aplicar regras e regulamentos (82,9%); trabalhador não qualificado autorizado para o serviço (10,0%).

Um relato que pode ser usado como exemplo para esta categoria é o de um acidente fatal no qual o trabalhador (ferreiro) e seu colegas estavam trabalhando encaixando e parafusando vigas metálicas a uma distância superior a 4 metros do chão. Neste caso os trabalhadores estavam vestidos com o cinto e o arnês, contudo a área não possuía pontos de ancoragem, o que fazia com que estes executassem seus serviços sem estarem presos a uma linha de vida, mostrando um planejamento inadequado do serviço, falha ao identificar um trabalhador em risco e supervisão inadequada. A fatalidade ocorreu no momento em que o funcionário estava andando entre as vigas e perdeu o equilíbrio, caindo no chão de concreto.

A Figura 18 ilustra a quantidade de acidentes que citaram como fatores causais a categoria Influências Organizacionais.

Figura 18: Acidentes que possuem como fatores as categorias de Influências Organizacionais



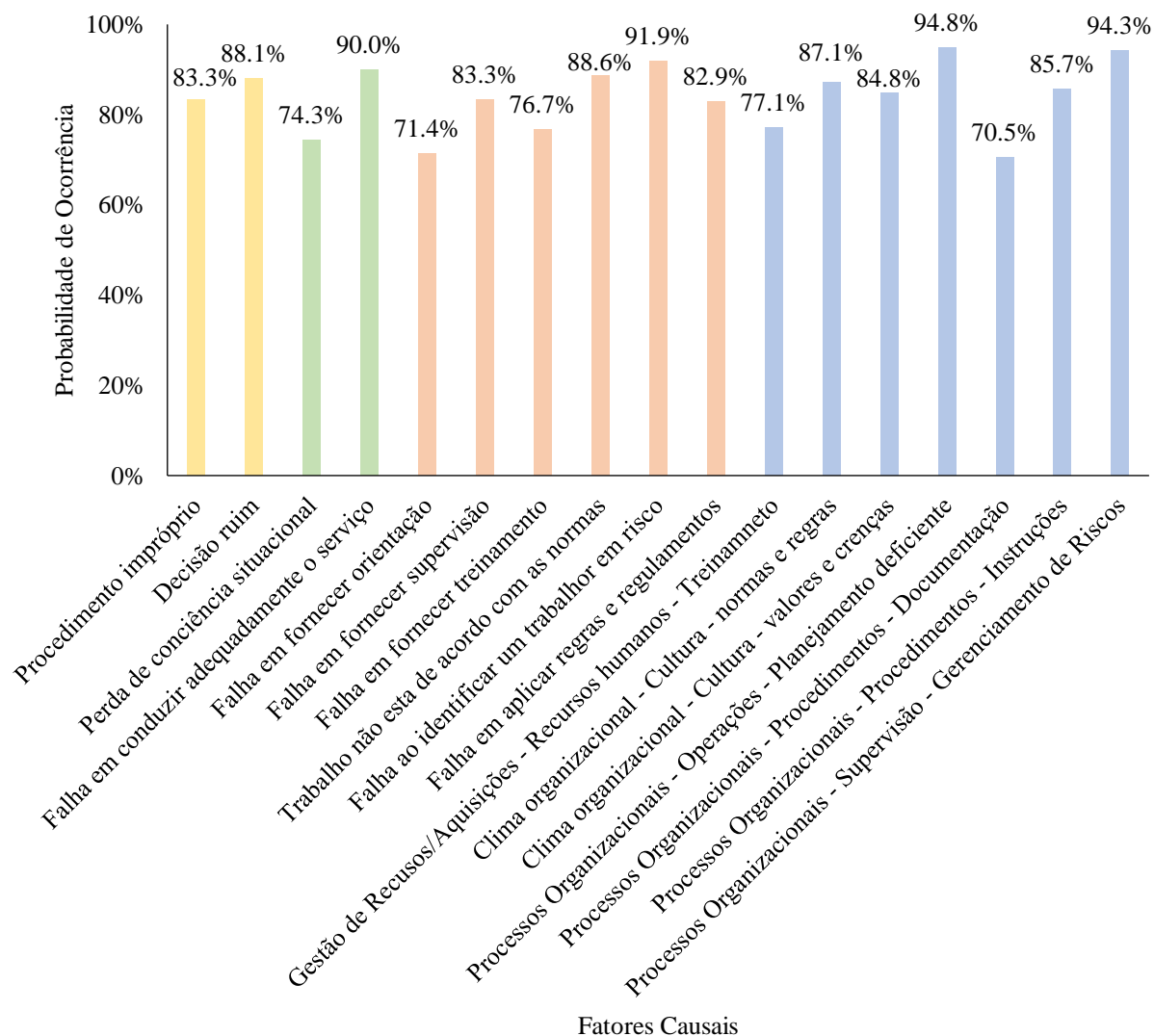
Influências Organizacionais é uma das categorias mais frequente entre as citadas no método de análise HFACS. Suas subcategorias são divididas em três: tipos Processo Organizacional, Clima Organizacional e Gerenciamento de Recursos, e cada tipo conta com 3 subcategorias, como ilustrado na Figura 18. As mais citadas durante a análise dos acidentes foram Processo organizacional de operações (95,7%), Processo organizacional de supervisão (95,2%) e Clima organizacional de cultura (92,4%), 2 delas dentro do tipo Processo Organizacional, que ao ser observado separadamente, está presente em 99,0% dos acidentes analisados, e 1 pertencente ao tipo Clima organizacional, presente em 94,8% dos casos estudados. O estudo realizado por Wong *et al.* (2016) mostra que processo organizacional está presente em 100% dos casos, seguido por gerenciamento de recursos, enquadrado em 42,3% dos mesmos. Desta forma é possível identificar que, em ambos os estudos, é habitual o processo organizacional estar indicado como o mais presente entre os FC dos acidentes.

Os fatores causais presentes em Processos Organizacionais são: Processos Organizacionais de Operações (ritmo operacional, pressão do tempo, cotas de produção, incentivos, medição/avaliação, horários e planejamento deficiente); Processos organizacionais de Procedimentos (padrões, objetivos claramente definidos, documentação e instruções); Processos organizacionais de Supervisão (gerenciamento de riscos e programas de segurança).

Um exemplo para os fatores desta categoria, foi um acidente que ocorreu com um ajudante de carpinteiro que trabalhava removendo entulhos no telhado em uma obra em reforma, seu serviço era coletar e jogar os entulhos velhos por uma das aberturas do telhado (de antigos sistemas de ventilação), durante a execução, o trabalhador, ao retirara o compensado que cobria a abertura, deu um passo à frente e caiu por ela. Após o acidente foi visto que o trabalhador não possuía treinamento específico para o serviço que realizava, não houve análise dos riscos presentes no ambiente e nenhum trabalhador estava utilizando cinto trava-queda ao se aproximar das aberturas no telhado, mostrando, assim, falhas na gestão de recursos, no clima organizacional e no processo organizacional.

Ao observar todos os 101 fatores causais é possível identificar que eles estão presentes em mais da metade dos acidentes. Desta maneira, foram separados apenas os fatores causais com recorrência em mais de 70% dos acidentes, dispostos na Figura 19, nela as categorias foram divididas em cores para um melhor entendimento do conteúdo.

Figura 19: Probabilidade de ocorrência maiores que 70% dos fatores causais



Fonte: Autor. Legenda: (Amarelo – categoria atos humanos; Verde – Categoria condições prévias para atos humanos; Laranja – Categoria supervisão Insegura; Azul – Categoria Influências Organizacionais).

Analisando a Figura 19, dos 26 fatores causais da categoria Atos Humanos, disposta em amarelo, apenas 2 estão presentes no gráfico, estes estão presentes na subcategoria erros

de decisão, estes são relacionados a comportamentos intencionais realizados pelos trabalhadores, mas que acarretaram um resultado inesperado. Já a categoria Condições Prévias para Atos Humanos, destacada em verde, possui 27 fatores e apenas 2 foram citados em mais de 70% dos acidentes, a primeira está ligada a Condições Precárias de Operadores – Estados Mentais Adversos, está é referente a ausência da consciência ou conhecimento do trabalhador sobre o perigo ao qual ele está exposto. A segunda, falha em conduzir adequadamente o serviço, faz parte da subcategoria Má gestão dos recursos dos trabalhadores, que se refere a má coordenação e comando entre os trabalhadores, que no caso deste, pode ser visto como a falta de orientação, dos gestores/supervisores, sobre a atividade a ser realizada pelos trabalhadores.

A categoria Supervisão insegura, exposta em laranja, apresenta 18 fatores causais e 6 deles estão presentes em mais de 71% das fatalidades. Observando a Figura 15, da subcategoria Supervisão Inadequada (com 6 FC), estão presentes no gráfico 3 FC (falha em fornecer orientação, falha em fornecer supervisão e falha em fornecer treinamento), enquanto Planejamento Inadequado de operações (com 5 FC), Falha em Corrigir um Problema Conhecido (com 4 FC) e violação de supervisão (com 3 FC), apresenta apenas 1 fator causal cada, são eles trabalho não está de acordo com as normas, falha ao identificar um trabalhador em risco e falha em aplicar regras e regulamentos, respectivamente. Os 3 primeiros estão relacionados a ausência de orientação do supervisor aos trabalhadores. Os 3 últimos estão relacionados ao descumprimento das normas de segurança pelos supervisores e a liberação do trabalho mesmo sabendo que os trabalhadores estão expostos ao risco sem proteção.

Já a categoria denominada Influências Organizacionais, ilustrada em azul, possui 30 fatores e 7 estão citados na Figura 18. Tais fatores estão dispostos entre as subcategorias Gestão de Recursos/Aquisição Humanos, Clima Organizacional de cultura, Processos Organizacionais de Operações, Processos Organizacionais de Procedimentos e Processos Organizacionais de Supervisão. Esta categoria apresenta os 2 fatores causais mais citados nos relatórios analisados, Gerenciamento de Risco e Planejamento deficiente, eles podem ser citados como causalidades de mais de 94% dos acidentes e estão relacionados a execução do programa de gerenciamentos dos riscos antes das atividades iniciarem e ao planejamento destas de forma segura.

Contudo, é possível explicar a presença destes fatores, em específico, em mais de 70% dos casos, pois existe uma interação entre eles. Por exemplo, em determinados casos, um acidente que possui o fator causal falha ao se preparar para executar um serviço também pode apresentar os fatores trabalho não está de acordo com as normas, falha ao aplicar regras e regulamentos e planejamento deficiente, isso por estarem relacionados a mesma causa, a falta de planejamento para a execução do serviço e a falta de gerenciamento dos riscos presentes no canteiro de obras.

4.2 Determinação da Probabilidade

Para determinar a probabilidade de ocorrência de um acidente fatal por queda de altura para casos específicos, foram separados alguns grupos a partir dos dados referentes aos fatores individuais dos acidentes analisados (Função, Faixa Etária, Locais de Trabalho, Hora do acidente, tipo de edificação, tipo de obra, porte da empresa e causa direta), e estes foram submetidos a equação de probabilidade (Equação 2).

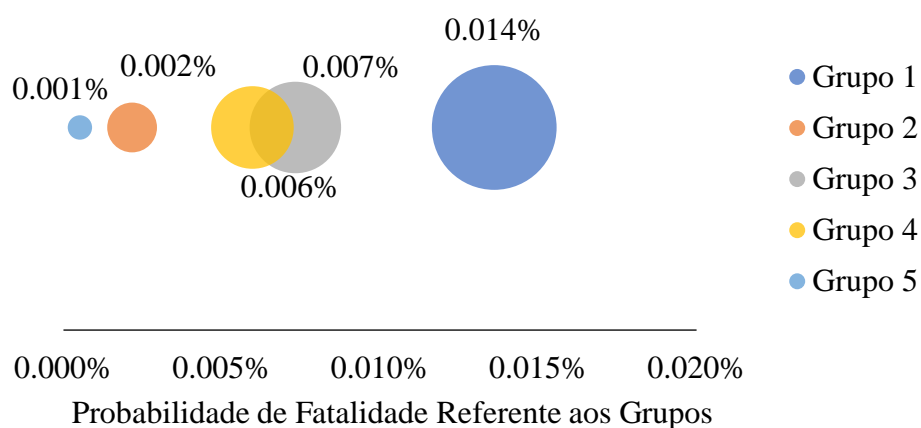
Os grupos foram escolhidos de modo a apresentar a situações graves que possam proporcionar uma boa visualização das probabilidades obtidas. Os acidentes referentes a carpinteiros com a utilização da escada para subir ao telhado constam como acidentes de escada, devido à diferença nas diretrizes de prevenção focadas para a atividade no telhado e a atividade em escadas. Estes grupos estão especificados na Quadro 3.

Quadro 3: Grupos para determinação de probabilidade para 8 características individuais

	Função	Faixa Etária	Locais de Trabalho	Hora do Acidente	Porte da empresa	Causa Direta	Tipo de Obra	Tipo de Edificação
Grupo 1	Carpinteiro (23,8%)	31 - 44 (41,0%)	Telhado (34,8%)	10:00 - 10:59 (13,0%)	Microempresa (36,7%)	Cinto de Segurança (33,3%)	Manutenção ou Reparo (48,6%)	Comercial (51,9%)
Grupo 2	Ferreiro (17,1%)	45 - 60 (27,6%)	Estrutura (21,4%)	11:00 - 11:59 (13,0%)	Pequena Empresa (31,0%)	Proteções Contra Queda (31,0%)	Novo projeto ou Adição (45,7%)	Residencial (37,6%)
Grupo 3	Carpinteiro (23,8%)	31 - 44 (41,0%)	Estrutura (21,4%)	14:00 - 14:59 (13,0%)	Microempresa (36,7%)	Proteções Contra Queda (31,0%)	Novo projeto ou Adição (45,7%)	Comercial (51,9%)
Grupo 4	Telhador (16,2%)	31 - 44 (41,0%)	Telhado (34,8%)	09:00 - 09:59 (10,9%)	Microempresa (36,7%)	Cinto de Segurança (33,3%)	Manutenção ou Reparo (48,6%)	Residencial (37,6%)
Grupo 5	Ferreiro (17,1%)	21 -30 (15,2%)	Andaime e Plataformas (15,7%)	10:00 - 10:59 (13,0%)	Média Empresa (12,4%)	Cinto de Segurança (33,3%)	Novo projeto ou Adição (45,7%)	Comercial (51,9%)

O Quadro 3 apresenta os 5 grupos, compostos pelas 8 CI dos acidentes analisados: função, que conta com carpinteiro, telhador e ferreiro; faixa etária, composta por 45 – 60, 31 – 44 e 21 – 30; local de trabalho, representada por telhado, estrutura e andaime e plataforma; hora do acidente, de 09:00 às 09:59, de 10:00 às 10:59, de 11:00 às 11:59 e 14:00 às 14:59; porte da empresa, composto por microempresa, pequena empresa e média empresa; causa direta, constando cinto de segurança e proteção contra queda; tipo de obra, podendo ser novo projeto ou adição e manutenção ou reparo; tipo de edificação, com comercial e residencial. Utilizando a probabilidade de cada uma destas foi possível obter as chances de ocorrência quando elas acontecem simultaneamente, ilustrado na Figura 20.

Figura 20: Probabilidade de ocorrência por grupo de dados das 8 características individuais



Analisando o gráfico presente na Figura 20 é possível observar que para o grupo 1 a probabilidade de ocorrência de uma fatalidade é de 0,014%, sendo esta a maior obtida, visto que os maiores índices encontrados nos acidentes foram carpinteiro (23,8%), com faixa etária entre 31 e 44 anos (41,0%), que sofreu uma queda do telhado (34,8%), entre 10:00 e 10:59 da manhã (13,0%), com causa direta relacionada ao cinto de segurança (33,3%), em uma obra de manutenção ou reparo (48,6%), de uma edificação comercial (51,9%) onde a empresa a qual o funcionário acidentado pertencia era classificada como microempresa (36,7%).

Contudo, ao observar os relatórios dos acidentes, não foi encontrado um acidente que apresentou todos esses fatores individuais simultaneamente, o mais próximo possuía 7 dos 8 fatores, sendo apenas a idade do trabalhador diferente da presente no grupo 1. O que ajuda na explicação da probabilidade ser relativamente baixa, pois as chances de que todas as 8 características individuais de maior probabilidade ocorrerem simultaneamente são consideravelmente baixas. No acidente citado, o trabalhador possuía 70 anos, e este possuía uma probabilidade de 0,003% de chances de ocorrer, mostrando também o como apenas a mudança de uma das características altera bastante a probabilidade de ocorrência dos acidentes.

Já o grupo 5, que apresentou a menor probabilidade entre os 5 presentes na Figura 21, é composto por ferreiro (17,1%), na faixa etária entre 21 e 30 anos (15,2%), que trabalhava em uma média empresa (12,4%), e sofreu uma queda de andaime ou plataforma de trabalho (15,7%), devido à causa direta ligada ao cinto de segurança (33,3%), com ocorrência entre 10:00 e 10:59 (13,0%), em uma obra de construção de novo projeto ou adição (45,7%) de uma edificação comercial (51,9%), apresenta uma probabilidade de 0,001% de chances do acidente fatal, isso ocorreu devido aos dados pertencentes a este grupo estarem dispostos em uma quantidade menor dos relatórios analisados. Ao analisar os acidentes não foi encontrado nenhum que apresentasse características idênticas ao grupo 5, os mais próximos foram 2 que não possuem 3 de 8 fatores individuais, são eles faixa etária, local do acidente e porte da empresa.

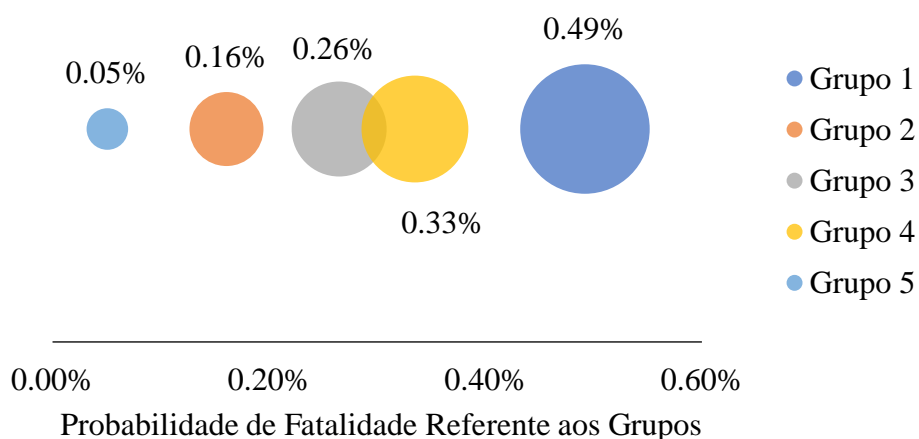
Contudo, devido ao fato de os eventos serem mutuamente independentes, ao utilizar menos características individuais a probabilidade tende a aumentar, devida a menor quantidade de fatores contribuintes simultaneamente. Deste modo, as chances de ocorrer um acidente fatal com apenas 5 das 8 características individuais é bem maior, como presente na Figura 21. As características escolhidas de cada um dos grupos citados estão presentes no Quadro 4.

Quadro 4: Grupos para determinação de probabilidade para 5 características individuais

	Função	Locais de Trabalho	Porte da empresa	Causa Direta	Tipo de Obra
Grupo 1	Carpinteiro (23,8%)	Telhados (34,8%)	Microempresa (36,7%)	Cinto de Segurança (32,9%)	Manutenção ou Reparo (48,6%)
Grupo 2	Ferreiro (17,1%)	Estrutura (21,4%)	Pequena Empresa (31,0%)	Proteções Contra Queda (31,4%)	Novo projeto ou Adição (45,7%)
Grupo 3	Carpinteiro (23,8%)	Estrutura (21,4%)	Microempresa (36,7%)	Proteções Contra Queda (31,4%)	Novo projeto ou Adição (45,7%)
Grupo 4	Telhador (16,2%)	Telhados (34,8%)	Microempresa (36,7%)	Cinto de Segurança (32,9%)	Manutenção ou Reparo (48,6%)
Grupo 5	Ferreiro (17,1%)	Andaime e Plataformas (15,7%)	Média Empresa (12,4%)	Cinto de Segurança (32,9%)	Novo projeto ou Adição (45,7%)

O Quadro 4 apresenta os cinco grupos presentes no Quadro 3, mas com apenas 5 das 8 características individuais citadas nele, que são função do trabalhado, local do acidente, porte da empresa, causa direta de tipo de obra onde ocorreu a fatalidade. Ao aplicar a probabilidade das categorias das CI citadas, de modo simultâneo, para a ocorrência de uma fatalidade, foi obtido a Figura 21.

Figura 21: Probabilidade de ocorrência por grupo de dados das 5 características individuais



Observando a probabilidade referente ao grupo 1, é possível notar que a retirada das 3 CI resultou em um aumento de probabilidade significativa de 0,014% (Figura 20) para 0,49% (Figura 21). Enquanto com 8 CI as chances de um acidente fatal ocorrer eram de 1 para cada 7349 trabalhadores com as mesmas características ocorrendo simultaneamente, com apenas 5 CI elas são de 1 para cada 203. Isso acontece devido ao fato de ser mais provável que 5 características coincidirem em 1 único acidente do que 8, devido à quantidade de fatores que interfeririam para a presença dessas 8.

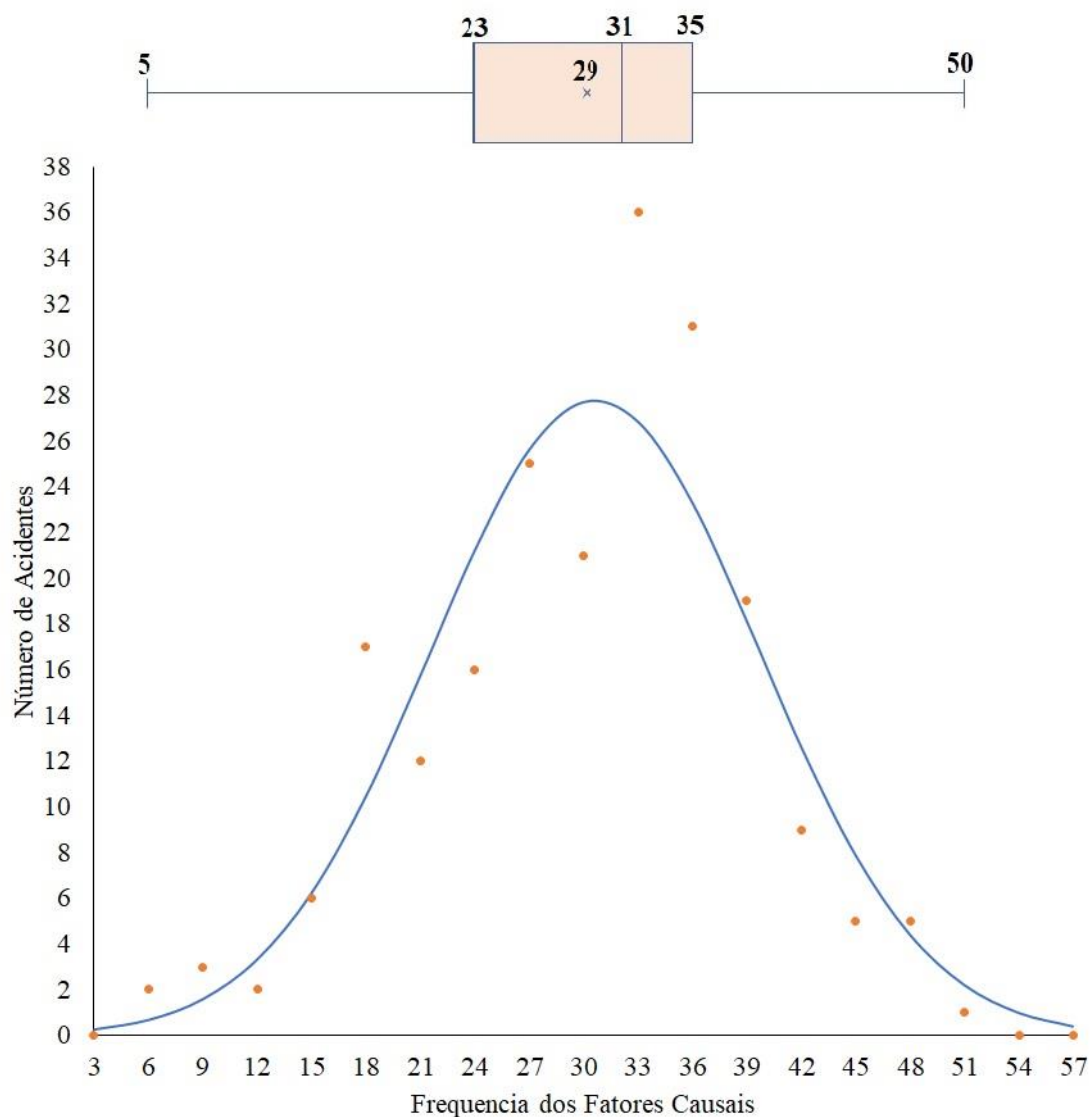
Ao avaliar os 210 acidentes analisados e relacioná-los aos 5 fatores causais pertencentes aos 5 grupos do Quadro 4, foram encontrados 3 que possuíam as 5 características individuais do grupo 1, 1 com as CI referentes ao grupo 2, 6 acidentes com as CI do grupo 3, 5 que apresentam as CI do grupo 4 e nenhum que apresente todas as características individuais pertencentes ao grupo 5.

Tais dados permitem identificar a probabilidade de ocorrência de uma fatalidade por queda de altura quando a atividade apresenta trabalhadores com as características individuais presentes neste estudo.

4.3 Curva Teórica de Distribuição de Probabilidade

Com a análise utilizando o método HFACS, foi possível obter dados referentes a frequência do número de fatores causais que antecederam a ocorrência dos 210 acidentes fatais por queda em altura. A partir disto, foram feitos testes de aderência dos dados à curva de distribuição teórica utilizando o método Anderson-Darling. Os resultados mostraram uma distribuição normal, contudo, para uma melhor visualização e entendimento do gráfico, foi utilizada uma curva de distribuição contínua, de forma a criar a curva presente na Figura 22.

Figura 22: Curva de distribuição de Probabilidade



O método utilizado apresenta 101 fatores causais, contudo, dentre os 210 acidentes o que obteve maior quantidade de fatores que precederam a fatalidade foi 50 e a menor foi 5, devido a isto e para uma melhor visualização a curva de distribuição de probabilidade mostra o seu valor mínimo como 3 e seu valor máximo como 57 fatores causais. Os dados obtidos foram distribuídos em intervalos de 3 fatores em uma tabela de frequência com 19 classes, iniciando no valor 3. Deste modo tornou-se mais simples o entendimento das informações presentes na Figura 22, que objetiva identificar o percentual da chance de um acidente fatal acontecer quando alcança uma determinada quantidade de FC.

Para este tipo de distribuição, cerca de 68% de todos os valores estão entre -1 e +1 desvio-padrão da média. Deste modo, com os valores da média e desvio-padrão amostral sendo respectivamente 29 e 9, sem utilização de casas decimais devido à amostra ser discreta, é notável que 68% dos acidentes encontram-se entre 20 e 38 fatores causais, determinando que entre estes valores existe a maior ocorrência de acidentes fatais de queda de altura.

Analisando o gráfico Boxplot, presente também na Figura 22, é detectado que 75% dos acidentes fatais ocorreram após infligir 23 fatores causais, sendo possível verificar, observando a distância entre o primeiro quartil as extremidades, que são relativamente simétricas, o que identifica os dados como uma distribuição normal. Além do que foi dito, com tal gráfico também é possível notar que a mediana está presente no valor 31, sendo está a quantidade de fatores mais frequente vista no estudo, e que não existem valores atípicos (outlier) nesta distribuição.

Ao padronizar o escore, foi verificado que ao atingir 15 fatores causais existe uma probabilidade de aproximadamente 5% de que ocorra um acidente fatal. Mesmo sendo um percentual relativamente baixo, não deve ser interpretado como aceitável, uma vez que se trata da vida de uma pessoa e que percentuais de probabilidade mais baixos já acarretaram acidentes fatais, como visto neste estudo, onde houve morte de um trabalhador com uma probabilidade de 0,3% de chance de ocorrência (apenas 5 FC). Tal morte apresentou os seguintes fatores causais: avaria na varredura visual; atenção canalizada; perda da consciência situacional; falha em fornecer dados corretos; valores e crenças. Este se tratava de um trabalhador de 43 anos que executava a função de instalador de placas solares em um telhado, quando caiu de uma claraboia ao andar de costas carregando uma placa.

Observando as subcategorias mais frequentes nos acidentes, é possível perceber que as presentes em Processos organizacionais são a mais citada dentre as 25 subcategorias, estando presente em 208 dos 210 relatórios analisados, está se refere a falhas em programas de segurança, gerenciamento de riscos planejamento das atividades e da obra em geral, que forma problemas bastante encontrados nos casos analisados neste estudo. Tal ponto também foi abordado por Wong *et al.* (2016) como motivo de falhas referentes a segurança, estando presente em 100% dos acidentes analisados por ele.

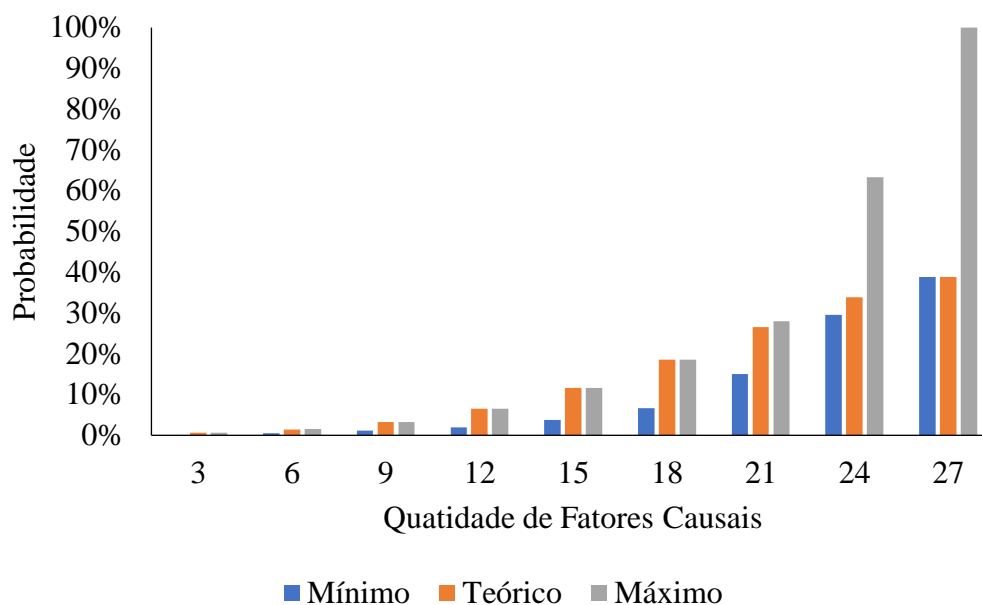
Os dados obtidos através desta análise permitem identificar que quanto maior a quantidade de fatores causais do HFACS presentes em uma determinada atividade que exponha o trabalhador a altura, maior a probabilidade de um acidente fatal. Especificamente, conforme a Figura 22, quando a atividade apresenta mais de 29 FC a probabilidade de que aconteça uma fatalidade é maior que 50%, e se ela chegar a passar de 50 FC a probabilidade é de 100% de que isso ocorra.

4.4 Regressão Logística dos fatores causais do HFACS e determinação de diretrizes

Após a análise dos 210 acidentes a partir do método HFACS, foi feita uma regressão logística dos dados obtidos para identificar os pesos de cada um dos fatores causais pertencentes ao método, para a probabilidade de ocorrência das fatalidades analisadas. Os FC presentes em menos de 1% dos casos foram retirados devido a não possuírem tanta interferência nesta, deste modo, foram automaticamente excluídos pela regressão 8 FC, possibilitando obter o peso de 93 destes.

A partir desses pesos foram observados os fatores causais que mais aumentavam a probabilidade de os acidentes fatais acontecerem, tornando possível obter a probabilidade mínima e máxima de ocorrência para um determinado número de fatores causais que antecedem uma fatalidade, a depender do FC presente nela. A Figura 23 apresenta a probabilidade mínima, teórica e máxima para a frequência de fatores causais dos acidentes analisados. Contudo, o gráfico presente na figura só mostra até o intervalo de 27 FC, devido aos dados da regressão afirmarem que a partir de 29 a probabilidade de ocorrência do acidente fatal é de 100%, independentemente de quais FC o ocasionaram.

Figura 23: Probabilidade mínima, teórica e máxima para os acidentes com até 27 fatores causais



O gráfico presente na Figura 23 mostra uma frequência realizada em intervalos de 3 FC, isso foi feito para os dados da probabilidade teórica serem os mesmos contidos na curva teórica de probabilidade, presentes na Figura 22, objetivando uma melhor representação dos dados. Aqui é possível observar que até o intervalo de 24 FC a probabilidade mínima possui uma diferença em relação à teórica, mas a partir de 27 FC elas se igualam. Isso ocorreu porque, a partir dessa quantidade de FC, a probabilidade mínima apresentada pela regressão logística possui valores maiores que a real, tornando o valor deste como o mínimo. Também é visto que, a partir de 27 fatores causais a probabilidade máxima para a ocorrência da fatalidade é igual a 100%.

Deste modo, ao observar os acidentes analisados, para a fatalidade que apresentou apenas 5 fatores causais o antecedendo, a probabilidade teórica de ocorrência era de 0,3%. A partir da regressão, sua probabilidade máxima de ocorrência passou a ser 0,5%, isso ocorreu devido a tal acidente apresentar determinados fatores causais, que possuíam um peso maior de modo a aumentar a probabilidade de ocorrência do acidente. Sendo assim, se forem alterados os fatores causais sua probabilidade também pode ser alterada, podendo chegar a 1,4% se os FC foram os 5 que possuem o maior peso, que são: processo organizacionais de procedimentos – instruções, processo organizacional de operações – horários, processo organizacional de operações – ritmo operacional, condições precárias

de trabalhadores – estados fisiológicos adversos – incapacidade fisiológica e condições precárias de trabalhadores – estados mentais adversos – fadiga mental. Contudo, devido ao método HFACS determinar que para a ocorrência de uma fatalidade é necessário haver um fator causal em cada um dos níveis de falha, este acidente com probabilidade de 1,4% é visto como impossível de ocorrer, pois os FC utilizados estão presentes em apenas 2 dos 4 níveis de falhas.

Já, se for levado em consideração o fator causal que possui o maior peso em cada um dos 4 níveis de falhas a probabilidade de ocorrência do acidente fatal é de 0,9%, maior que a do acidente analisado que possuía a menor quantidade de FC (5), apresentado anteriormente. Eles são: erros de percepção – desorientação espacial (Atos Humanos); Condições precárias de operadores – estados fisiológicos adversos – incapacidade fisiológica (Condições Prévias para Atos Inseguros); Operações planejadas inadequadamente – trabalhadores impróprios (Supervisão Insegura); Processo organizacional de operações – ritmo operacional (Influências Organizacionais).

Os 5 fatores causais que possuem o maior peso sobre a probabilidade de ocorrência dos acidentes analisados estão presentes no Quadro 5.

Quadro 5: Fatores Causais com maior peso na regressão logística

Fator Causal	Peso	Caracterização
Condições precárias de operadores – estados fisiológicos adversos – incapacidade fisiológica	0.507	São condições médicas ou fisiológicas que impedem o trabalhador de atuar de modo seguro, podendo ser alguma doença momentânea (como gripe, dor de cabeça, dor de dente) ou problemas de saúde constantes (como pressão alta, labirintite, epilepsia).
Processo organizacional de operações – ritmo operacional	0.491	São decisões tomadas pelos empregadores, devido ao prazo para realizar/entregar um serviço, que podem afetar a segurança no decorrer da atividade. Podem ser explicados como a pressa para entrega de um empreendimento, ou a cobrança pela finalização de uma determinada atividade na obra, ou a Pressão para se manter no cronograma de obra.
Condições precárias de operadores – estados mentais adversos – fadiga mental	0.358	Trata-se do trabalhador mentalmente cansado, por qualquer motivo que seja, tendo que executar suas atividades diárias sem a devida atenção, aumentando a probabilidade de ele cometa um erro.
Processo organizacional de operações – horários	0.317	Está voltado ao horário designado para a execução do serviço. Podem ser horários que antecedem a pausa para o almoço (onde o trabalhador está com fome), ou quando já está escuro (em turnos noturnos), ou com o sol em seu momento máximo (proporcionando calor e prejudicando a visibilidade).
Processo organizacionais de procedimentos – instruções	0.314	É referente a falha do empregador em instruir os trabalhadores sobre como devem executar as atividades de modo correto e com segurança, o que os leva a realizar os serviços de forma que acham melhor e, muitas vezes, sem atuar de modo seguro.

Ao observar o Quadro 5 é possível identificar o peso de cada um dos fatores causais citados. Os FC com o primeiro e terceiro maior peso aborda sobre o estado do trabalhador, fisiológico e mental. Algumas diretrizes para evitá-los seria a realização de exames

admissionais para os trabalhadores, principalmente os que irão realizar atividades em altura, a observação destes no início da jornada e no decorrer do dia, de modo a identificar quando estão impossibilitados de trabalhar e treinar os funcionários para que, quando não estiverem se sentindo bem, falem com os superiores sobre possíveis problemas, de saúde ou pessoais, que estejam passando e o impeçam de trabalhar normalmente.

Já os FC que estão na segunda e quarta posição tratam sobre tempo de execução de serviço e horário que o serviço ocorre, este último também é identificado como característica individual neste estudo, visto que a maioria dos acidentes analisados ocorreram no turno da manhã, onde o trabalhador pode estar exposto ao sol (a depender das condições climáticas), a fadiga e a fome. Para esses dois fatores causais, as diretrizes de segurança seriam evitar que alguns serviços sejam realizados em determinados horários, ditos como os de maior risco de acidente para eles. Além disso, também seria indicado o acompanhamento dos funcionários que estão realizando atividades com prazos apertados, de modo a evitar que estes atuem de modo não seguro devido à pressão e se ponham em risco de queda de altura. Para esses FC também é indicada a realização de treinamentos que indiquem que a segurança vem antes da pressão para finalizar o serviço.

O quinto FC dá a devida importância as instruções para iniciar e realizar o serviço. As diretrizes para evitar este fator causal seriam a organização da execução da obra, cronogramas e ordens de serviços para os funcionários, realização de treinamentos apropriados sobre as atividades, compostos de como elas devem ser feitas e as ações de segurança necessárias para elas e os treinamentos de segurança no trabalho.

Sendo assim, a regressão logística deixa notável a existência da relação entre os acidentes e os fatores causais que os antecederam, tornando possível observar também os FC que menos interferem na ocorrência destes. Tais dados possibilitam a utilização do HFACS não apenas como um método investigativo, mas também como uma técnica preventiva, permitindo a análise e identificação de fatores que possuem um maior impacto para ocorrência de acidentes e possibilitando intervir neste, de modo a minimizar a possibilidade ou até evitar a ocorrência de uma fatalidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das características individuais mostrou que as maiores probabilidades estão em carpinteiros (23,8%), com idade entre 31 e 44 anos (41,0%), vinculados a microempresas (36,7%), que trabalham entre 10:00 e 10:59, 11:00 e 11:59 ou 14:00 e 14:59 (13,0%), em telhados (34,8%), executando obras de manutenção ou reparo (48,6%), de edificações comerciais (51,9%), possuindo falhas relacionadas ao cinto de segurança (33,3%) durante a execução do serviço.

Também foi possível concluir, com relação aos fatores causais presentes no HFACS, que as 4 subcategorias mais frequentes relacionadas a antecedência da ocorrência dos acidentes são: processo organizacional - operações (95,7%), práticas precárias cometidas por operadores - má gestão de recursos dos trabalhadores (95,7%), erro de decisão (95,2%) e processo organizacional - supervisão (95,2%). Tais subcategorias estão vinculadas a apenas das 3 das categorias do método, Atos Humanos, Condições Prévias para Atos Humanos e Influências organizacionais, sendo a última a mais citada entre as categorias.

Na obtenção da probabilidade para o agrupamento de características individuais, foi concluído que a maior probabilidade de ocorrência para as 8 CI de maior probabilidade ocorrem de modo simultâneo é de 0,014%, que equivale a 1 a cada 7349 trabalhadores. Ao diminuir a quantidade de CI atribuídas a probabilidade tende a aumentar e, para a associação de 5 CI sendo ela função do trabalhador, local do acidente, tipo de obra, porte da empresa a qual o funcionário é vinculado e causa direta da fatalidade, de maior probabilidade, as chances de ocorrência da fatalidade passam a ser de 0,49%, o que equivale à morte de 1 a cada 203 trabalhadores.

A curva de distribuição de probabilidade mostrou que a maior ocorrência dos acidentes fatais analisados, em relação à quantidade de fatores causais do HFACS, encontra-se entre os valores 20 e 38 FC. Contudo, quando um acidente alcança mais de 50 FC a probabilidade de fatalidade é de 100%. O acidente com menor quantidade apresentou apenas 5 FC e possuía uma chance de 0,3% de ocorrência. Os dados possibilitam notar a

necessidade de evitar o acúmulo dos fatores causais identificados aqui nas frentes de serviço, possibilitando diminuir as suas chances de ocorrência de uma fatalidade.

A regressão logística mostrou que, dentre os 101 fatores causais do HFACS, 93 possuem pesos que impactam na probabilidade de ocorrência dos acidentes fatais, possibilitando identificar quais mais impactam para a ocorrência de uma fatalidade por queda de altura. Os com maior impacto são condições precárias de operadores – estados fisiológicos adversos – incapacidade fisiológica, processo organizacional de operações – ritmo operacional, condições precárias de operadores – estados mentais adversos – fadiga mental, processo organizacional de operações – horários e processos organizacionais de procedimentos – instruções. Também a partir da regressão foi identificado que, ao atingir mais de 29 FC a probabilidade de que o acidente ocorra é de 100%, independente dos FC que o antecedam.

A partir da regressão logística, também foi possível criar diretrizes de segurança que possibilitam diminuir as chances de ocorrência de uma fatalidade por queda de altura.

Realização de exames admissionais e periódicos dos trabalhadores, observação dos funcionários quando a indicadores de saúde e ações não seguras, avaliar os melhores horários para realizar determinadas atividades, organizar as atividades de modo a instruir os funcionários a melhor e mais segura forma de realizá-las e ministrar treinamentos voltados para a saúde, execução dos serviços e de segurança no trabalho.

Deste modo, os dados obtidos aqui permitem identificar a probabilidade de ocorrência de acidentes fatais por queda em altura a partir das características individuais das atividades que possuam o risco de queda de altura (apresentando as características citadas aqui), pela quantidade de fatores causais do HFACS presentes durante a execução de tal atividade e pelos fatores causais em si vinculados ao momento do serviço. Isso possibilita a utilização do método HFACS não apenas como uma ferramenta de avaliação de acidentes fatais após sua ocorrência, mas também como uma ferramenta de gerenciamento de riscos que possibilita identificar riscos presentes nas atividades em altura, de modo a minimizar as chances de que um acidente fatal ocorra.

Para estudos futuros, seria interessante testar a utilização do HFACS como ferramenta de gerenciamento de riscos. Para isso seria necessário a observação de uma atividade exposta ao risco de queda em altura, a aplicação do HFACS e interação como o ambiente da obra para identificar a probabilidade máxima de ocorrência de um acidente fatal por queda de altura para a atividade analisada.

Além do que foi dito, também para estudos futuros, existe a possibilidade de utilizar algumas das características individuais obtidas através deste estudo para criar treinamentos de trabalho em altura específicos para determinadas situações. A partir da utilização de treinamentos em realidade virtual com imersão de trabalhadores em uma simulação de um ambiente de trabalho (podendo ser o qual ele trabalha) e apresentando características aqui ditas como as de maior probabilidade para a ocorrência de um acidente fatal, tais como a iluminação do sol em determinada hora e o local da atividade (exemplo, no telhado ou andaime) executando a atividade referente a sua função. Tal treinamento, conhecido como jogo sério, possibilitaria ao trabalhador simular os riscos do canteiro de obras de forma segura, mostrando ao fim do treinamento como foi o desenvolvimento do seu aprendizado e possibilitando que a ausência da execução da atividade com segura impacte diretamente do trabalhador.

REFERÊNCIAS

AL-BAYATI A.J.; YORK D.D. Fatal injuries among Hispanic workers in the U.S. construction industry: Findings from FACE investigation reports. **Journal of Safety Research**, 2018. DOI: 10.1016/j.jsr.2018.09.007

ANDERSON T.W.; DARLING D.A. A Test of Goodness of Fit. **Journal of the American Statistical Association**, v. 49, no. 268, pp. 765-769, 1954. DOI: 10.1080/01621459.1954.10501232

ARIFUDDIN R.; LATIEF R.U.; SURAJI A. An investigation of fall accident in a high-rise building project. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, v. 419, pp. 012144, 2020.

ASSIS J.P.; SOUSA R.P.; LINHARES P.C.F. Testes de hipóteses estatísticas / Janilson Pinheiro de Assis, Roberto Pequeno de Sousa, Paulo César Ferreira Linhares. Mossoró: **EdUFERSA**, 2020.

AYOB A.; SHAARI A.A.; ZAKI M.F.M.; MUNAAIM, M.A.C. Fatal occupational injuries in the Malaysian construction sector—causes and accidental agents. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 140, pp. 1-11, 2018.

BARRIUSO A.R.; ESCRIBANO B.M.V.; CANAMARES M.S.; GARCÍA M.N.G.; SAIZ AR. Analysis and diagnosis of risk-prevention training actions in the Spanish construction sector. **Safety Science**, v. 106, pp. 79-9, 2018.

BUREAU OF LABOR STATISTICS DOS EUA – **BLS** (2018) Disponível em: https://www.bls.gov/soc/2018/major_groups.htm Acesso em: fev. 2022

BUREAU OF LABOR STATISTICS DOS EUA – **BLS** (2023) Disponível em: <https://www.bls.gov/cps/cpsaat03.htm> Acesso em: abr. 2023

CAMERON I.; HARE B.; DAVIES R. Fatal and major construction accidents: a comparison between Scotland and the rest of the Great Britain. **Safety Science**, v. 46, no. 4, pp. 692–708, 2008.

CELIK M.; CEBI S. Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents,” **Accident Analysis and Prevention**, vol. 41, no. 1, pp. 66–75, 2009.

CHAUVIN C.; LARDJANE S.; MOREL G.; CLOSTERMANN J.P. Human and organizational factors in maritime accidents: analysis of collisions at sea using the HFACS. **Accident Analysis and Prevention**, vol. 59, pp. 26–37, 2013.

CHOI S.D.; GUO L.; KIM J.; XIONG, S. Comparison of fatal occupational injuries in construction industry in the United States, South Korea, and China. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 71, pp. 64-74, 2019.

DEVORE J.L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências** / Jay L. Devore; [tradução Joaquim Pinheiro Nunes da Silva]. — São Paulo: Cengage Learning, 2006.

DONG X.S.; LARGAY J.A.; CHOI S.D.; WANG X.; CAIN C.T.; ROMANO N. Fatal falls and PFAS use in the construction industry: Findings from the NIOSH FACE reports. **Accident Analysis & Prevention**, vol. 102, pp. 136-143, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.02.028>

ELBARDISSI A.W.; WIEGMANN D.A.; DEARANI J.A.; DALY R.C.; SUNDT III T. M. Application of the human factors analysis and classification system methodology to the cardiovascular surgery operating room. **Annals of Thoracic Surgery**, vol. 83, no. 4, pp. 1412–1419, 2007.

ETEIFA S.O.; EL-ADAWAY I.H. Using Social Network Analysis to Model the Interaction between Root Causes of Fatalities in the Construction Industry. **Journal of Management in Engineering**, ASCE, v. 34, no. 1, pp. 04017045, 2018. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000567

GHOLIZADEH P.; ESMAEILI B. Developing a Multi-variate Logistic Regression Model to Analyze Accident Scenarios: Case of Electrical Contractors. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 17, pp. 4852, 2020. DOI: 10.3390/ijerph17134852

GUNDUZ M.; AHSAN B. Construction safety factors assessment through Frequency Adjusted Importance Index. **Int. J. Ind. Ergon.**, v. 64, pp. 155–162, 2018.

GÜRCANLI G.E.; MÜNGEN U. Analysis of Construction Accidents in Turkey and Responsible Parties. **Industrial Health**, v. 51, pp. 581-595, 2013. DOI: 10.2486/indhealth.2012-0139

HALE A.; WALKER D.; WALTERS N.; BOLT H. Developing the understanding of underlying causes of construction fatal accidents. **Safety Science**, v. 50, pp. 2020–2027, 2012.

HALABI Y.; XU H.; LONG D.; CHEN Y.; YU Z.; ALHAEK F.; ALHADDAD W. Causal factors and risk assessment of fall accidents in the U.S. construction industry: A comprehensive data analysis (2000–2020). **Safety Science**, v. 146, pp.105537, 2022. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105537

HARB R.; RADWAN E.; YAN X.; PANDE A.; ABDEL-ATY M. Freeway work-zone crash analysis and risk identification using multiple and conditional logistic regression. **J. Transp. Eng.**, v. 134, pp. 203–214, 2008. DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2008)134:5(203)

HASMORI M.F.; SALLEH M.A.M; SAMAD N.A. The Causes and Mitigation Measures of Fall from Height Accident in Malaysia. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, vol.13, n. 2, pp. 183–194. DOI: <https://doi.org/10.30880/ijscet.2022.13.02.016>

HEINRICH, H.W. *Industrial Accident Prevention a Scientific Approach*. **New York: McGraw-Hill Book Company**, pp. 448, 1941.

Hola A.; Hola B.; Szóstak M. Analysis of the causes and consequences of falls from scaffolding using the Polish construction industry as an example. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. V. 251, p. 012050, 2017.

JEONG B.Y. Occupational deaths and injuries in the construction industry. **Appl Ergon.**, v. 29, no. 5, pp. 355–360, 1998.

JIAN-LAN Z.; ZHI-YU S. An accidents analysis model to identify the correlation of faulty behavior risk factors in high-risk work system of hydropower construction. **Applied Mechanics and Materials**, v.198-199, pp.761-765, 2012.

JO B.; LEE Y.; KIM J.; KHAN R. Trend Analysis of Construction Industrial Accidents in Korea from 2011 to 2015. **Sustainability**, v. 9, no. 8, pp. 1297, 2017.

KANG Y.; SIDDIQUI S.; SUK S.J.; CHI S.; KIM, C. Trends of Fall Accidents in the U.S. Construction Industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 143, no. 8, 2017. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001332

LAAL F.; POUYAKIAN M.; MADVARI R.F.; KHOSHAKHLAGH A.H.; HALVANI G.H. Investigating the Impact of Establishing Integrated Management Systems on Accidents and Safety Performance Indices: A case study, **Safety and Health at Work**, 2018. Doi: 10.1016/j.shaw.2018.04.001

LATTIMORE P.K.; VISHER C.A. The impact of prison reentry services on short-term outcomes: Evidence from a multisite evaluation. **Eval. Rev.**, v. 37, pp. 274–313, 2014. DOI: 10.1177/0193841X1351910

LENNE M.G.; SALMON P.M.; LIU C.C.; TROTTER M. A systems approach to accident causation in mining: an application of the HFACS method. **Accident Analysis and Prevention**, vol. 48, pp. 111–117, 2012.

LOURENÇO M.; LIMA T.M.; GASPAR P.D. Assessment and Improvement Opportunities for Occupational Health and Safety in the Portuguese Food Processing Industry and Fernando Charrua Santos. In: Arezes P. et al. (eds) **Occupational and Environmental Safety and Health. Studies in Systems, Decision and Control**, Springer, Cham, v. 202. 2019.

LUO X.; LIU Q.; QIU Z. The Influence of Human-Organizational Factors on Falling Accidents From Historical Text Data. **Front. Public Health**, v. 9, pp. 783537, 2022. doi: 10.3389/fpubh.2021.783537

NADHIM E.; HON C.; XIA B.; STEWART I.; FANG D. Falls from height in the construction industry: A critical review of the scientific literature. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, no. 7, pp. 1-20, 2016. DOI: 10.3390/ijerph13070638

NADHIM E.A.; HON C.; XIA B.; STEWART I. FANG D. Falls from Height in the Construction Industry: A Critical Review of the Scientific Literature. **Int J Environ Res Public Health**, v. 13, no. 7, pp. 638, 2016. doi: 10.3390/ijerph13070638.

NARAYAN K.V.; BOYLE J.P.; THOMPSON T.J.; SORENSEN S.W.; WILLIAMSON D.F. Lifetime risk for diabetes mellitus in the United States. **JAMA**, v. 290, pp. 1884–1890, 2003. DOI: 10.1001/jama.290.14.1884

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH – **NIOSH**. Disponível em: https://wwwn.cdc.gov/NIOSH-FACE/Default.cshtml?state=ALL&Incident_Year=ALL&Category2=0005&Submit=Submit Acesso em:

NAVEEN KUMAR T.; JAGANNATHA S.R.; VENKATESHA V.T. Rise in Deaths Due to Fall from Height: A 3-Year Retrospective Study. **Medico Legal Update.**, v. 19, no. 2, pp. 113–116, 2019.

NEWAZ M.T.; ERSHADI M.; CAROTHERS L.; JEFFERIES M.; DAVIS P. A review and assessment of technologies for addressing the risk of falling from height on construction sites. **Safety Science**, v. 147, pp. 105618, 2022.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION - **OSHA**, 2017. Construction Industry. [Internet]. <https://www.osha.gov/doc/index.html> accessed 1.30.2021

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION – **OSHA**. Commonly Used Statistics, Occupational Safety and Health Administration, Available on-line via <https://www.osha.gov/oshstats/commonstats.html>, (2021), Accessed date: April 2022.

OLCAY Z.F.; SAKALLI A.E.; TEMUR S.; YAZICI A. A study of the shift in fatal construction work-related accidents during 2012–2019 in Turkey, **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, 2021.

PATTERSON J.M.; SHAPPELL S.A. Operator error and system deficiencies: analysis of 508 mining incidents and accidents from Queensland, Australia using HFACS. **Accident Analysis and Prevention**, vol. 42, no. 4, pp. 1379–1385, 2010.

PETER E.D.; LOVE; TEO P.; CAREY B.; SING C.; ACKERMANN F. The symbiotic nature of safety and quality in construction: Incidents and rework non-conformances, **Safety Science**, v. 79, pp. 55-62, 2015. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.05.009

Rashid H.S.J.; Place C.S.; Braithwaite G. R. Helicopter maintenance error analysis: beyond the third order of the HFACS-ME. **International Journal of Industrial Ergonomics**, vol. 40, no. 6, pp. 636–647, 2010.

REASON J. Human error. New York: Cambridge University Press, 1990

REINACH S.; VIALE A. Application of a human error framework to conduct train accident/incident investigations. **Accident Analysis and Prevention**, vol. 38, no. 2, pp. 396–406, 2006.

REY-MERCHÁN M.C.; GÓMEZ-DE-GABRIEL J.M.; LÓPEZ-ARQUILLOS A.; CHOI S.D. Analysis of Falls from Height Variables in Occupational Accidents. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 18, pp. 13417, 2021. DOI: 10.3390/ijerph182413417

SAFEWORK A. **Work-related Traumatic Injury Fatalities**, Australia 2019.

SHAPPELL S.A.; WIEGMANN D.A. A reliability analysis of the Taxonomy of Unsafe Operations. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, 1997.

SHAPPELL S.A.; WIEGMANN D.A. The human factors analysis and classification system—HFACS. Rep. No. DOT/FAA/AM-00/7, **Federal Aviation Administration, Washington, DC**, 2000.

SHAPPELL S.A.; WIEGEMANN D.A. A Human Error Approach to Aviation. Accident analysis: the Human Factors Analysis and Classification System. **Ashgate, Aldershot**, 2003.

SHI Y.; DU J.; AHN C.R.; RAGAN E. Impact assessment of reinforced learning methods on construction workers' fall risk behavior using virtual reality. **Automation in Construction.**, v. 104, pp. 197-214, 2019

SONG Y.; WANG J.; LIU D.; GUO F. Study of Occupational Safety Risks in Prefabricated Building Hoisting Construction Based on HFACS-PH and SEM. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 19, pp. 1550, 2022.
<https://doi.org/10.3390/ijerph19031550>

SOROCK G.S.; SMITH E.O.; GOLDOFT M. Fatal occupational injuries in the New Jersey construction industry, 1983 to 1989. **J Occup Med.**, v. 35, no. 9, pp. 916–921, 1993.

TETI B.S. **Diretrizes De Segurança Do Trabalho Na Etapa De Fundações Profundas Em Empreendimentos De Obras Verticais**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de Pernambuco – UPE. Recife. 2020.

TÖZER K.D.; ÇELİK T.; GÜRCANLI G.E. Classification of Construction Accidents in Northern Cyprus. **İMO Teknik Dergi**, 2018. DOI: 10.18400/tekderg.325546

TRIOLA M.F. **Introdução à estatística** / Mario F. Triola. 12.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

WIBOWO T.; SUKARYAWAN I.M; HATMOKO J.U.D. Identifying Causal Factors of Accidents Related to Working at Height: A Case Study of a Construction Company. In Proceeding of International Conference of Engineering and Information Technology of Sustainable Industry (**ICONETSI 2020**, September 28-29, 2020, Tangerang, Indonesia. ACM, New York, NY, USA, 2020.

WILLIAMS O.S.; HAMID R.A.; MISNAN M.S. Causes of building construction related accident in the south-western states of Nigeria. **International Journal of Built Environment and Sustainability**, v. 6, no. 1, pp. 14–22, 2019. DOI: 10.11113/ijbes.v6.n1.313

WOJCIECH DROZD. Logistic Regression in the Identification of Hazards in Construction. **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering**, v. 245, pp. 062012, 2017. doi:10.1088/1757-899X/245/6/062012

WONG L.; WANG P.E.Y.; LAW T.; LO C.T. Association of Root Causes in Fatal Fall-from-Height Construction Accidents in Hong Kong. **Journal of Construction Engineering and Management**, 2016.

XIA Z.L.; COURTNEY T.K.; SOROCK G.S.; ZHU J.L.; FU H.; LIANG Y.X.; CHRISTIANI D.C. Fatal occupational injuries in a new development area in the People's Republic of China. **J Occup Environ Med.**, v. 42, no. 9, pp. 917–922, 2020.

ZERMANE A.; TOHIR M.Z.M.; BAHARUDIN M.R.; YUSOFF H.M. Analysis of the Contributing Factors for Fatal Accidents due to Falls from Heights in Malaysia and the USA. **J. Sci. & Technol**, v. 28, no. S1, pp. 15 – 36, 2020.

ZHANG J.; ZHANG W.; XU P.; CHEN N. Applicability of accident analysis methods to Chinese construction accidents, **Journal of Safety Research**, v. 68 pp. 187-196, 2019.

ZHOU J.L.; ZHE-HUA B.; SUN Z.Y. Safety Assessment of High-Risk Operations in Hydroelectric-Project Based on Accidents Analysis, SEM, and ANP. **Mathematical Problems in Engineering**, 2013.

ZULUAGA C.M.; ALBERT A.; WINKEL M.A. Improving safety, efficiency, and productivity: evaluation of fall protection systems for bridge work using wearable technology and utility analysis. **J. Construct. Eng. Manage.**, v. 146, no. 2, pp. 04019107, 2020.