

AMBIENTE VIRTUAL COM CENÁRIOS POTENCIALMENTE PERIGOSOS PARA TRABALHOS DE DEMOLIÇÃO

RENATO GASPAR MONTEIRO CALDEIRA PEREIRA DA SILVA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira Soeiro

Coorientador: Professor Doutor João Pedro da Silva Poças Martins

FEVEREIRO DE 2021

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2020/2021

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2020/2021 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus mais próximos

Everything in moderation, including moderation.

Oscar Wylde

AGRADECIMENTOS

Em poucas palavras, fica uma pequena frase por todos os que me acompanharam ao longo de todos estes anos neste percurso fantástico que agora chega ao seu fim. Família, amigos, orientadores, professores e colegas.

Obrigado.

RESUMO

Ao longo dos anos, desde o início do setor, a construção e toda a sua envolvente, dadas as dimensões envolvidas, tem tido como uma grande preocupação a segurança nos seus trabalhos. Por isso, e dado o número de casos de acidentes que sempre esteve presente, tem sido ao longo dos anos um tema de relevo o modo como se poderiam amenizar e diminuir esse número e através de que métodos, nascendo, desta forma, legislações, regras, leis e muitos outros modos de o fazer.

A maior parte dos estudos e trabalhos realizados, até à data, focam-se na segurança na construção. Tendo em conta que, no que toca à reabilitação de construções, os perigos, acidentes e medidas preventivas devido às operações de demolição e desconstrução necessárias, devem ser encarados de maneira diferente (dadas as características específicas que estas requerem), este trabalho foca-se na segurança em relação aos métodos, medidas preventivas e acidentes ocorridos em ambientes de demolição.

Ao longo deste trabalho, são revistos os métodos e equipamentos mais utilizados em trabalhos de demolição. É também analisado o que se deve ter em conta nos seus trabalhos como um todo, perigos e algumas medidas preventivas no que toca a alguns casos de demolição em diferentes elementos estruturais, causadores da maior taxa de acidentes fatais.

Com o desenvolvimento tecnológico e tendo em conta que muitos desses acidentes são fatais, é cada vez mais possível que haja uma preparação de todos os intervenientes através de ferramentas que projetem a obra. É feito um estudo de algumas dessas ferramentas BIM - utilizadas para modelar obras de construção - e os seus efeitos na área da prevenção de acidentes.

Analisaram-se, também, algumas tecnologias já elaboradas previamente, de realidade virtual e realidade aumentada, tanto no apoio à construção como no apoio à segurança em construção, com várias componentes de aquisição de conhecimentos, identificação de riscos ou avaliação para formação.

De forma a simular um ambiente virtual com alguns cenários potencialmente perigosos para trabalhos de demolição, através do BIM, de programação e dos softwares Revit, Unity 3D e SketchUp, pretendeu-se criar um cenário virtual com ambiente próximo à realidade e situações de perigo elevado.

PALAVRAS-CHAVE: BIM, Realidade Virtual, Unity 3D, Segurança em Obra, Segurança em Demolição

ABSTRACT

Over the years, since the beginning of the sector, construction and all its surroundings, given the dimensions involved, has been a major concern when it comes to safety around it. Because of that and given the number of accident cases that has always been present, it has been, among the years, a major topic the way we could mitigate and reduce, and through what methods, ending up creating laws, rules, and many other ways of doing so.

When it comes to building rehabilitation, the dangers, accidents, and preventive measures due to the necessary demolition and deconstruction operations must be viewed differently given the specific characteristics they require. Given that, and as most of the studies and works carried out focus on safety in construction, this work focuses on safety in relation to methods, preventive measures and accidents occurring in demolition environments.

Throughout this work, the most used methods and equipment for the demolition purpose are reviewed, as well as what should be considered in their work, hazards, and some preventive measures regarding some cases of demolition in different structural elements, which cause the greatest number of fatal accidents.

With technological development and considering that many of these accidents are fatal, it is more possible every day that there will be a preparation of all the involved people through tools that simulate a construction site. A study is made of some of these BIM tools used to model construction works – and their effects on the accident prevention measures sector.

Aiming to understand what could be done, some technologies, already developed previously, of virtual reality and augmented reality, both in support of construction and safety in construction, with various components of knowledge acquisition, risk identification or evaluation in training, were analysed.

In order to simulate that environment, through BIM and the Unity 3D and SketchUp software, it was intended to create a virtual model with an environment close to reality with dangerous situations.

KEYWORDS: BIM, Virtual Reality, Unity 3D, Construction Safety, Demolition Safety

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE GERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABELAS	xvii
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS OU ABREVIATURAS	xix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO	1
1.2. OBJETIVO	2
1.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
1.3.1. DEMOLIÇÃO	2
1.3.2. SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO	3
1.3.3. BIM - BUILDING INFORMATION MODELLING	3
1.3.4. REALIDADE VIRTUAL E REALIDADE AUMENTADA	4
1.4. ESBOÇO DA DISSERTAÇÃO	4
2. ESTADO DE ARTE	7
2.1. DEMOLIÇÃO	7
2.1.1. TÉCNICAS E EQUIPAMENTOS DE DEMOLIÇÃO	8
2.1.1.1. Ferramentas manuais	8
2.1.1.1.1. Martelo demolidor (pneumático, hidráulico, elétrico ou a gasolina)	9
2.1.1.1.2. Outras ferramentas	10
2.1.1.2. Demolição por processos mecânicos	11
2.1.1.2.1. Por embate, empuxe, tração ou escavação	11
2.1.1.2.2. Rebentamento interior	14
2.1.1.2.3. Esmagamento exterior	15
2.1.1.3. Processos térmicos	15
2.1.1.3.1. Lança térmica	15
2.1.1.3.2. Maçarico	16

2.1.1.3.3. Laser	16
2.1.1.4. Explosivos controlados.....	16
2.1.1.4.1. Explosões	17
2.1.1.4.2. Micro explosão	19
2.1.1.4.3.1. Expansão.....	19
2.1.1.5. Demolição com processos elétricos	20
2.1.1.5.1. Aquecimento das armaduras	20
2.1.1.5.2. Eletrofatura	20
2.1.1.5.3. Aquecimento induzido de um material ferromagnético	20
2.1.1.5.4. Arco voltaico	21
2.1.1.5.5. Micro-ondas.....	21
2.1.1.6. Demolição por processos abrasivos	21
2.1.1.6.1. Corte com disco diamantado.....	21
2.1.1.6.2. Serra com corrente diamantada.....	21
2.1.1.6.3. Carotagem.....	22
2.1.1.6.4. Corte com fio diamantado	22
2.1.1.6.5. Jato de água.....	23
2.1.2. ANTES E DEPOIS DA DEMOLIÇÃO	24
2.1.2.1. Antes da demolição	24
2.1.2.2. Depois da demolição	26
2.1.3. DEMOLIÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIIS	28
2.2. SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO	31
2.2.1. SEGURANÇA NA DEMOLIÇÃO	34
2.2.2. SEGURANÇA EM OBRA E BIM	35
2.3. BIM – BUILDING INFORMATION MODELLING	36
2.3.1. BIM NA CONSTRUÇÃO	36
2.3.1.1. Visualização 3D dos edifícios.....	37
2.3.1.2. Pré-fabricação de elementos de vários sistemas de construção.....	37
2.3.1.3. Estimativa de custos e tempo	37
2.3.1.4. Detecção de conflitos	37
2.3.1.5. Melhor controlo e garantia no que toca à segurança.....	38
2.3.2. BIM NO APOIO À SEGURANÇA EM OBRA	38
2.3.2.1. PtD (Prevenção através do Projeto).....	39

2.3.2.2. MMPtD (Modelo de gestão do PtD)	39
2.3.2.3. BIM 360	39
2.4. REALIDADE VIRTUAL E REALIDADE AUMENTADA	40
2.4.1. TECNOLOGIAS DE REALIDADE VIRTUAL E REALIDADE AUMENTADA PARA CONSTRUÇÃO	41
2.4.2. TECNOLOGIAS DE REALIDADE VIRTUAL E REALIDADE AUMENTADA NO APOIO À SEGURANÇA EM OBRA	44
3. ANÁLISE DE CASOS RELEVANTES	47
3.1. ACIDENTES NA DEMOLIÇÃO – LEVANTAMENTO DE REGISTOS DE ACIDENTES	47
3.1.1. ACIDENTES NÃO-FATAIS: NATUREZA	47
3.1.2. ACIDENTES NÃO-FATAIS: PARTE DO CORPO.....	48
3.1.3. ACIDENTES NÃO-FATAIS: CAUSA	48
3.1.4. ACIDENTES FATAIS: CAUSA	49
3.2. LEVANTAMENTO DE OUTROS RISCOS E MEDIDAS PREVENTIVAS RESPETIVAS	49
3.3. LEVANTAMENTO DE RISCOS E MEDIDAS PREVENTIVAS PARA INSERÇÃO NO PROGRAMA	52
4. DESENVOLVIMENTO DO AMBIENTE VIRTUAL COM CENÁRIOS POTENCIALMENTE PERIGOSOS PARA TRABALHOS DE DEMOLIÇÃO	55
4.1. INTRODUÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DO AMBIENTE VIRTUAL	55
4.2. USO DE AMBIENTE VIRTUAL COMO COMPONENTE DE APOIO	56
4.3. IDEIAS BASE UTILIZADAS NA CONCRETIZAÇÃO DO AMBIENTE VIRTUAL.....	56
4.3.1. CASOS INSERIDOS NO MODELO	56
4.3.2. <i>PLAYER - FPS</i>	57
4.3.3. INSERÇÃO DE OBJETOS	57
4.3.4. <i>BOX COLLIDER</i> OU <i>MESH COLLIDER</i>	59
4.3.5. <i>TRIGGER</i>	59
4.3.6. <i>RESPAWN</i>	60
4.3.7. <i>TIMER</i>	60
4.3.8. <i>MENUS</i>	60
4.4. ENVOLVENTE VISUAL	61
4.4.1. EDIFÍCIO.....	62
4.4.2. TERRENO	62

4.4.3. CABINE.....	63
4.4.4. MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS.....	63
4.4.5. FUNCIONÁRIOS	64
4.4.6. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL	65
4.4.7. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO COLETIVA	65
4.4.8. RUAS	66
4.4.9. CASAS VIZINHAS.....	66
4.5. SCRIPTS.....	66
4.5.1. <i>FIRST PERSON CONTROLLER</i> (“RIGIDBODY FIRST PERSON CONTROLLER”).....	67
4.5.2. <i>FIRST PERSON CONTROLLER</i> (“VEHICLE”).....	67
4.5.3. LIMITES DO FUNCIONÁRIO A (“BLOCKED”)	67
4.5.4. TROCA DE CÂMARA 1 – FASE 3 (“CHANGECAM”).....	67
4.5.5. TROCA DE CÂMARA 2 (“CHANGECAM1”).....	67
4.5.6. DESENVOLVIMENTO (“DEVELOPMENT”).....	67
4.5.7. EPI – FASE 1 (“EPIS”)	68
4.5.8. DESABAR (“EXPLODIR”).....	68
4.5.9. GUARDA-CORPOS – AVISO (“GC”)	68
4.5.10. EPI – OBJETOS (“HELMET”).....	68
4.5.11. LINHAS DE CIRCULAÇÃO – AVISO (“LINHAS”)	68
4.5.12. MENU PRINCIPAL – FASE 0 (“MAINMENU”)	68
4.5.13. MENU DE PAUSA (“MENU”).....	69
4.5.14. QUEDA DA PAREDE – FASE 4 (“PAREDE”)	69
4.5.15. INTERAÇÃO DO FUNCIONÁRIO A (“PETERCONTROLLER”)	69
4.5.16. PORTA DO QUADRO ELÉTRICO – FASE 2 (“PORTA”)	69
4.5.17. QUEDA DA MÁQUINA (“QUEDA”).....	69
4.5.18. ESCOLHA DO DISCO ADEQUADO (“DISCO”).....	70
4.5.19. INTRODUÇÃO À ESCOLHA DE DISCO E SUBIDA AO ANDAIME (“DISCO0”).....	70
4.5.20. FUNCIONAMENTO DO DISCO DIAMANTADO (“DISCO2”).....	70
4.5.21. FIM DA SIMULAÇÃO (“FINAL”).....	70
4.6. CONTROLADORES - ANIMAÇÕES	70
4.6.1. SETA DA FASE 3 (“MESH1” – “ARROW1”)	71
4.6.2. DESABAMENTO (“EKSPLO” – “EXPLO”).....	71
4.6.3. FADE (“FADE” – “FADE_IN” & “FADE_OUT”).....	71

4.6.4. ABRIR E FECHAR DO QUADRO ELÉTRICO (“PORTA” – “PORTA” & “PORTACLOSE”)	72
4.6.5. QUEDA DA PAREDE (“CUBE(1)” – “WALLFALL”)	72
4.6.6. MOVIMENTAÇÃO DO FUNCIONÁRIO A (“PETE” – “STANDING”, “WALKING” & “TURN180”)	73
4.6.7. FUNCIONAMENTO DO DISCO DIAMANTADO (“DISCO” – “DISCO” & “DISCO NADA”)	73
4.6.8. CONTROLADORES DE REPOUSO DOS FUNCIONÁRIOS	74

5. DESCRIÇÃO E APLICAÇÃO DO AMBIENTE VIRTUAL75

5.1. DESCRIÇÃO DO AMBIENTE VIRTUAL75

5.1.1. FASE 0 - EPI76

5.1.2. FASE 1 – QUADRO ELÉTRICO77

5.1.3. FASE 2 – QUEDA DA MÁQUINA78

5.1.4. FASE 3 – QUEDA DA PAREDE80

5.1.5. FASE 4 – CORTE DE DISCO DIAMANTADO82

5.1.6. FASE 5 - FINAL84

5.1.7. OUTROS84

5.2. APLICAÇÃO DO MODELO A CASOS REAIS85

5.2.1. QUEDA EM ALTURA86

5.2.2. QUEDA DE PAREDE DE BETÃO86

5.2.3. COLAPSO DE COBERTURA87

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS89

6.1. CONCLUSÕES89

6.2. TRABALHOS FUTUROS90

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS93

ANEXOS97

ANEXO I – ACIDENTES NÃO-FATAIS EM AMBIENTE DE DEMOLIÇÃO (OSHA, 2015-2020)99

ANEXO II – ACIDENTES FATAIS EM AMBIENTE DE DEMOLIÇÃO (OSHA, 2011-2016)105

ANEXO III – SCRIPTS E A PROGRAMAÇÃO UTILIZADA107

ANEXO IV – DECRETO Nº 41821/58, DE 11 DE AGOSTO135

ANEXO V – FICHEIRO “README.TXT”139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação das técnicas de demolição adotada, baseada no British Standard Code 6187:2000 [3].....	8
Figura 2 - Martelo Demolidor [7].....	9
Figura 3 - Martelos Pneumático (esquerda) e Hidráulico (direita) [7]	10
Figura 4 - Outras ferramentas manuais [7]	10
Figura 5 - Demolição por empuxe [7].....	11
Figura 6 - Bola de Aríete [7]	12
Figura 7 - Tração por cabos [7].....	13
Figura 8 - Derrube e afundamento [7].....	14
Figura 9 - "Darda" [7].....	15
Figura 10 - Lança térmica [7]	16
Figura 11 - Sequência de explosões [7].....	17
Figura 12 - Mecanismos de explosões [7]	18
Figura 13 – Expansão [7]	19
Figura 14 - Disco diamantado sobre rodas [7].....	21
Figura 15 - Serra com corrente diamantada [7]	21
Figura 16 - Caroteadora [7]	22
Figura 17 - Corte com fio diamantado [7].....	22
Figura 18 - Jato de água [7]	23
Figura 19 - Fluxograma do processo de demolição, com identificação das fases [13]	27
Figura 20 - Lista de segurança para demolição de lajes de piso e coberturas [51]	31
Figura 21 – Detecção de conflito [captura de tela no Navisworks].....	38
Figura 22 – “The Walk” (Sony) [56].....	40
Figura 23 – CAVE [25]	40
Figura 24 - Morpholio AR Sketchwalk [46].....	42
Figura 25 - DAQRI Smart Helmet [47]	42
Figura 26 - GAMMA AR [53]	43
Figura 27 - Fologram [53].....	43
Figura 28 - ARki [53]	44
Figura 29 - VR Health & Safety Training Solution (Beca) [48]	44
Figura 30 - VR Safety Training Environment (Skanska) [36]	45
Figura 31 - Interação no software VSAS [49].....	45
Figura 32 - Alguns cenários virtuais abordados no ECSES [49]	46
Figura 33 - Representação no GTSTS [49]	46
Figura 34 - Natureza dos acidentes não-fatais do levantamento de riscos e acidentes	47
Figura 35 - Partes do corpo atingidas nos acidentes não-fatais do levantamento de riscos e acidentes	48

Figura 36 - Causas dos acidentes não-fatais do levantamento de riscos e acidentes.....	48
Figura 37 - Causas dos acidentes fatais do levantamento de riscos e acidentes	49
Figura 38 - <i>Player</i> utilizado, visão exterior [captura de tela no Unity 3D]	57
Figura 39 - 3D Warehouse da SketchUp [captura de tela]	58
Figura 40 - Exportação para <i>.fbx</i> a partir do SketchUp Pro 2021 [captura de tela].....	58
Figura 41 - Exemplo de <i>Box Collider</i> utilizado [captura de tela no Unity 3D]	59
Figura 42 - Exemplo de <i>Mesh Collider</i> utilizado [captura de tela no Unity 3D].....	59
Figura 43 - Exemplo de <i>Trigger</i> utilizado [captura de tela no Unity]	60
Figura 44 - Exemplo de edição de botão [captura de tela no Unity 3D]	60
Figura 45 - <i>Scene</i> do menu principal [captura de tela no Unity 3D]	61
Figura 46 - <i>vr_building</i> 1.0: Envoltente visual	61
Figura 47 - <i>vr_building</i> 1.0: Vista superior e objetos utilizados.....	61
Figura 48 - <i>vr_building</i> 1.0: Edifício.....	62
Figura 49 - <i>vr_building</i> 1.0: Terreno	62
Figura 50 - <i>vr_building</i> 1.0: Cabine (exterior).....	63
Figura 51 - <i>vr_building</i> 1.0: Cabine (interior).....	63
Figura 52 - <i>vr_building</i> 1.0: Exemplo de Maquinaria	64
Figura 53 - <i>vr_building</i> 1.0: Grua.....	64
Figura 54 - <i>vr_building</i> 1.0: Alguns funcionários	65
Figura 55 - <i>vr_building</i> 1.0: Equipamentos de proteção individual	65
Figura 56 - <i>vr_building</i> 1.0: Linhas de circulação e guarda-corpos	65
Figura 57 - <i>vr_building</i> 1.0: Rua inserida através do EasyRoads3D	66
Figura 58 - <i>vr_building</i> 1.0: Edifícios obtidos na 3D Warehouse da SketchUp	66
Figura 59 - Lista de alguns <i>scripts</i> utilizados	67
Figura 60 - <i>vr_building</i> 1.0: Menu Principal.....	68
Figura 61 - <i>vr_building</i> 1.0: Menu de Pausa	69
Figura 62 - <i>vr_building</i> 1.0: Exemplo de <i>timeline</i> de animação [captura de tela no Unity].....	70
Figura 63 - Lista de alguns controladores e animações [captura de tela no Unity]	70
Figura 64 - <i>vr_building</i> 1.0: Controlador de animação "Mesh1" [captura de tela no Unity]	71
Figura 65 - <i>vr_building</i> 1.0: Controlador de animação "Eksplo" [captura de tela no Unity]	71
Figura 66 - <i>vr_building</i> 1.0: Controlador de animação "Fade" [captura de tela no Unity].....	72
Figura 67 - <i>vr_building</i> 1.0: Controlador de animação "Porta" [captura de tela no Unity]	72
Figura 68 - <i>vr_building</i> 1.0: Controlador de animação "Cube (1)" [captura de tela no Unity].....	73
Figura 69 - <i>vr_building</i> 1.0: Controlador de animação "Pete" [captura de tela no Unity].....	73
Figura 70 - <i>vr_building</i> 1.0: Controlador de animação "Disco" [captura de tela no Unity].....	74
Figura 71 - <i>vr_building</i> 1.0: Controlador de animação dos vários funcionários [captura de tela no Unity]	74
Figura 72 - Requerimentos do sistema para o uso do aplicativo [Manual do Unity].....	75
Figura 73 - <i>vr_building</i> 1.0: Menu inicial ao abrir a aplicação.....	76

Figura 74 - vr_building 1.0: Falta de EPI.....	76
Figura 75 - vr_building 1.0: Início do trajeto	76
Figura 76 - vr_building 1.0: Passagem pelas primeiras linhas de circulação	77
Figura 77 - vr_building 1.0: Indicação para o quadro elétrico	77
Figura 78 - vr_building 1.0: Desligar do quadro elétrico (texto)	77
Figura 79 - vr_building 1.0: Continuação do trajeto, por escadas	78
Figura 80 - vr_building 1.0: Linhas de circulação para a fase 2	78
Figura 81 - vr_building 1.0: Indicação de destino na fase 2	79
Figura 82 - vr_building 1.0: Visão depois do desabamento na fase 2	79
Figura 83 - vr_building 1.0: Continuação após fase 2	79
Figura 84 - vr_building 1.0: Mensagem depois do desabamento na fase 2	80
Figura 85 - vr_building 1.0: Visão antes da fase 3.....	80
Figura 86 - vr_building 1.0: Visão da queda da parede na fase 3	81
Figura 87 - vr_building 1.0: Mensagem após a queda da parede na fase 3	81
Figura 88 - vr_building 1.0: Continuação do trajeto para a fase 4 (escadas)	81
Figura 89 - vr_building 1.0: Mensagem inicial para recolha, na fase 4.....	82
Figura 90 - vr_building 1.0: Visão inicial dos discos	82
Figura 91 - vr_building 1.0: Visão após a seleção de um dos discos	83
Figura 92 - vr_building 1.0: Mensagem de falta de arnês de segurança	83
Figura 93 - vr_building 1.0: Mensagem de possibilidade de prosseguir	83
Figura 94 - vr_building 1.0: Verificação final do equipamento e do disco	84
Figura 95 - vr_building 1.0: Mensagem final da simulação.....	84
Figura 96 - vr_building 1.0: Desrespeito dos caminhos de circulação (texto)	85
Figura 97 - vr_building 1.0: Queda de nível (texto).....	85

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens do uso de martelo demolidor [6].....	9
Tabela 2 - Resumo de características gerais de alguns métodos de demolição [50]	29
Tabela 3 - Cenários e abordagens inseridas no programa.....	56

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

DEC – Departamento de Engenharia Civil

TI – Tecnologias de Informação

PLM – Product Lifecycle Management (Gestão do ciclo de vida de um produto)

PtD – Prevention through Design (Prevenção através do Projeto)

MMPtD – Management Model for PtD (Modelo de gestão para o PtD)

BIM – Building Information Modeling (Modelação de Informação de Edifícios)

RV – Realidade Virtual

RA – Realidade Aumentada

EPI – Equipamento de proteção individual

EPC – Equipamento de proteção coletiva

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

OSHA – Occupational Safety & Health Administration (Administração de Segurança e Saúde Ocupacional)

1

INTRODUÇÃO

O foco deste trabalho é a prevenção de acidentes na demolição, inseridos na indústria da construção, indústria esta que é a que atinge maiores valores no que toca a acidentes fatais e não fatais anualmente, combatendo essa problemática através de meios tecnológicos como a criação de um ambiente virtual que simule alguns dos potenciais cenários perigosos encontrados diariamente em meios de demolição.

É importante perceber que a construção ainda é uma indústria que, relativamente às outras, se atrasa no que toca à implementação de novas tecnologias [15] e que, principalmente no que toca à preparação dos seus funcionários, precisa de muito trabalho para que se consiga resolver a questão aqui posta em causa [15]. Em 2019, de acordo com as estatísticas da construção e habitação elaboradas pelo instituto nacional de estatística no final desse ano, as obras para reabilitação de edifícios (alteração, ampliação ou reconstrução) apresentaram um peso de 24,4% em relação ao total de obras licenciadas nesse ano, inferior ao ano de 2018 (25,2%) [1]. Ainda neste estudo, as obras de demolição corresponderam a 7,2%, decréscimo de 0,5% em relação ao ano anterior [1]. Apesar do decréscimo constante anual, estas obras continuam a ser uma parte importante da indústria da construção e que, sem as normas de segurança verificadas e controladas, podem causar danos graves mais do que qualquer outro sistema, dadas as técnicas diversas e perigosas que podem envolver, por exemplo, explosivos, máquinas de grande porte e ferramentas que exigem experiência e cuidados específicos [40].

Para combater os perigos na indústria da construção, tem-se, aos poucos, vindo a introduzir, cada vez mais, na segurança e no planeamento da construção em geral, desde 2002, tecnologias BIM – Building Information Modelling – no apoio, não só a empreiteiros, como também aos seus operários (naquilo que pode ser a formação destes) [16]. A utilização da Realidade Virtual pode, e deve, ser pensada como uma dessas formações que, com o crescimento e a capacidade cada vez maior de se assemelhar à realidade, cada vez mais se poderá tornar numa ferramenta essencial [24]. Neste trabalho é criado um ambiente de Realidade Virtual através de ferramentas BIM de modo a dar continuidade a esse crescimento que se tem visto maioritariamente nos países desenvolvidos [24].

No primeiro capítulo, Secção 1.1, é referida a motivação deste trabalho enquanto na Secção 1.2. é sumariado o objetivo do mesmo. Na Secção 1.3. é descrito o modo de revisão bibliográfica das várias temáticas discutidas sendo que a estrutura do documento é discutida na Secção 1.4.

1.1. MOTIVAÇÃO

Entre os anos de 2017 a 2019, de acordo com um estudo elaborado pela autoridade para as condições de trabalho, relativo a acidentes de trabalho mortais, em Portugal, morreram 23 pessoas devido a “Desvio por problemas elétricos, explosões, incêndios – não especificado”, 62 pessoas por “Rotura, arrombamento, rebentamento, resvalamento, queda, desmoronamento de agente material – não especificado”, 24 pessoas por “Queda de pessoa do alto” e 48 pessoas por “Perda total ou parcial de controlo de máquina, meio de transporte – equipamento de movimentação, ferramenta manual, objeto, animal – não especificado” [1]. A taxa de acidentes fatais e não-fatais na construção continua elevado. Estes valores contribuem para que menos pessoas sintam a segurança necessária para poderem trabalhar e exporem-se ao risco do trabalho físico que é necessário em grande parte das obras o que faz

com que grande parte dos trabalhadores sejam pessoas cuja preparação e formação seja a mínima. Esta falha pouco ou nada é tida em conta no que toca às pequenas empresas que vêm os seus trabalhadores a serem pessoas, muitas vezes, limitadas tanto a nível de formação como de comunicação, sendo por vezes estrangeiros. O desenvolvimento de programas e formações vem colmatar a experiência e sensibilização necessárias que os regulamentos e leis não trazem, para alertar para o perigo que trazem os trabalhos exigidos pela indústria da construção e transmitir que, na maior parte dos casos, a prevenção necessária para esses trabalhos não darem origem a acidentes, é fácil de se fazer [2].

Soeiro, A. (2018) [40], sublinha que a reabilitação de construções tem, devido às operações de demolição e desconstrução necessárias, riscos de acidentes que devem ser encarados de modo diferente. Isto deve-se ao facto de as obras relacionadas terem, por si, características específicas (demolições, desconstruções, estruturas provisórias, estaleiros com limitação espacial e tarefas em locais de acesso reduzido, entre outros), situações pouco correntes em obras de construção novas. Consequentemente, tendo em conta que relativamente à segurança em construção existem já bastantes estudos [5], neste trabalho serão analisados os equipamentos, métodos, perigos e prevenções associados à demolição.

1.2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma solução de um ambiente virtual que possa demonstrar que esta é uma ferramenta que deve ser trabalhada e aprofundada no que toca a esta indústria de forma a garantir a formação necessária aos funcionários e empreiteiros em relação à segurança em obra. Pretende-se com isto apresentar uma solução que mostre que esta tecnologia é uma mais-valia não só em casos de demolição, mas também que se possa estender em todas as diferentes componentes da indústria.

Pretende-se, então, analisar, inicialmente, a demolição e as técnicas e equipamentos, bem como procedimentos gerais utilizados tanto no antes como no pós-demolição. Posteriormente, analisar a segurança na construção e o envolvimento das ferramentas BIM e de realidade virtual no setor da construção e da segurança. De seguida passar para o estudo de alguns casos de acidentes, em especial em ambientes de demolição, perceber quais se poderão aplicar, e como os aplicar no programa a desenvolver. Analisar, depois, as medidas de prevenção existentes e inseri-las como método de formação no ambiente virtual a desenvolver.

1.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta secção, dá-se relevo a algumas referências utilizadas na formação do estado de arte e que, no fundo, ajudaram na perceção dos grandes tópicos discutidos e analisados nesta dissertação, mas servirá, também, para melhor compreensão geral não só dos tópicos referidos em cada, como de algumas temáticas especiais específicas de cada um destes.

1.3.1. DEMOLIÇÃO

Fixando um pouco este subcapítulo naquilo que são as técnicas e equipamentos de demolição, foram analisados vários trabalhos e artigos no que a esses pontos tocam, de modo a perceber as diferentes visões do modo como são categorizados esses processos, bem como entender o porquê e a evolução a nível temporal dessa categorização.

O British Standard Code (2000) [3] é uma das referências utilizadas, apesar de ser uma das mais antigas, e baseia o sistema de categorização empregue neste trabalho, com auxílio no trabalho de

Abdullah, A. (2003) [6], Brito, J. (1999) [20] e Sá, J. (2013) [13]. A título mais específico, no estudo de demolição através de métodos explosivos, procurou-se algo menos amplo e que desse uma visão mais rigorosa do que se podia esperar a nível de perigos e prevenções. Rodrigues, D. (2014) [9], Gomes, R., Brito, J. (2002) [8] e Baitsch, M. (2006) [10] com a evolução otimizada de estratégias de demolição através de métodos explosivos. A partir de outras fontes como o artigo de Santos, M. (2013) [18] mais atual na demolição de estruturas, deu para ter uma melhor ideia dos procedimentos pós e pré demolição em diferentes nuances.

1.3.2. SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO

Tendo em conta a natureza, a indústria da construção está constantemente exposta a um ambiente perigoso. Nem toda a gente está disposta ao trabalho pesado e físico da construção fazendo com que, em muitos casos, os trabalhadores sejam pessoas cuja preparação e formação não se adequa aos trabalhos, principalmente nas pequenas empresas, que acabam por ver os seus trabalhadores a serem pessoas cuja formação e comunicação não é a mais indicada [15]. Estes fatores podem originar mais acidentes devido ao facto de ter de se utilizar trabalhadores cuja formação e preparação não é a necessária [15]. De qualquer forma, como a avaliação das obras gira principalmente à volta do custo dos materiais e da eficiência da gestão, a necessidade de uma gestão da segurança não tem, ainda, sido reconhecida como deve ser [15].

Para prevenir acidentes, os diretores de obra têm vindo a introduzir e aplicar regulamentos, códigos e variados equipamentos [15]. A taxa de acidentes fatais e não fatais é frequentemente atribuída ao foco insuficiente das empresas na prevenção de acidentes, de modo a não provocar gastos e horas de trabalho adicionais nos locais de trabalho. Esses acidentes podem, no entanto, prejudicar os lucros das empresas de construção [15]. Com base nas descobertas de que a prevenção de acidentes e a obtenção de lucros serem mutuamente compatíveis, essenciais e complementares, a indústria da construção tem tido melhorias sustentáveis [15]. É essencial perceber as causas fundamentais dos acidentes de modo a preveni-los da melhor maneira. Vários estudos, ao longo dos anos têm vindo a ser desenvolvidos para perceber as razões desses acidentes sistemáticos, bem como perceber como realizar a melhor prevenção (Cooney, J.P. (2016) [15], Allread, B. (2008) [16]).

1.3.3. BIM – BUILDING INFORMATION MODELLING

A indústria da construção civil tem vindo a apresentar uma queda de produtividade desde 1960 [24]. A produtividade das restantes indústrias, no entanto, aumenta significativamente todos os anos, o que significa, que a construção apresenta um atraso e uma necessidade real de mudança na abordagem e metodologia no que toca ao seu crescimento [15]. A principal causa deste atraso revê-se na cultura tradicional de construção que conta ainda com projeto bidimensional assistido por computador (CAD), o atraso no número de inovações do processo de projeto e o tamanho das empresas de construção. A construção tradicional fragmenta o papel dos participantes durante o projeto, ou seja, este método negligencia o aspeto colaborativo de vários intervenientes em torno do design e prossegue para fases muito demoradas (BIM+ (2017) [26] e EUBIM (2016) [32]). Falta de colaboração esta, sentida muito durante a abordagem do desenho a duas dimensões, onde cada engenheiro ou arquiteto produz os seus próprios desenhos que não serão compartilhados por projeto, ou seja, cada um está para seu lado a fazer o que lhe compete, sem ligação. Havendo conflitos, esses diferentes desenhos dos diferentes intervenientes, são apenas considerados em etapas finais do estudo. Como estão cada um para seu lado

as considerações de custos e tempo de conclusão de projetos serão divergentes também, até à etapa final do projeto.

Ao longo do tempo, associados a esta possível ajuda na segurança, alguns modelos e aplicações têm vindo a ser desenvolvidas de modo a ajudar e tornar real que o BIM seja uma ferramenta inovadora, transformadora e efetiva neste combate, como introduzem Soeiro, A. Martins, J. P. (2016) [30].

1.3.4. REALIDADE VIRTUAL E REALIDADE AUMENTADA

BIM é um processo de conceção baseado no uso de uma maquete a três dimensões digital que contem todas as informações necessárias para a concretização de um projeto de construção [32]. Este foi um método adotado com o objetivo de aumentar a produtividade das indústrias em geral, que desde então adotaram ferramentas de tecnologias de informação e planos de *product lifecycle management* a três dimensões para os seus trabalhos. Um dos produtos das ferramentas de projeto recentemente adotados pela indústria é a realidade virtual para indústrias de mineração ou automóvel [31]. A tecnologia a três dimensões e a realidade virtual são duas áreas muito próximas que, em conjunto, dão ao usuário a possibilidade de viver uma experiência a vários sentidos, dentro de um mundo virtual interativo. Esta tecnologia baseia-se na criação de um ambiente 3D próximo à realidade. Iremos abordar, neste trabalho, algumas vantagens trazidas por esta tecnologia em relação ao processo BIM, começando por definir a temática da realidade virtual, levando ao seu papel na tecnologia BIM e na formação e sensibilização de usuários, bem como o que esta, junto com os processos BIM, poderão contribuir no apoio à segurança na construção (Sulankivi, K. (2010) [31] e Skanska (2019) [36]). Alguns desses processos e exemplos tidos em conta foram já testados como software tanto no apoio à segurança como na formação de trabalhadores e futuros possíveis trabalhadores (Gomes, L. (2020) [49]).

1.4. ESBOÇO DA DISSERTAÇÃO

Nesta secção são resumidos os capítulos expostos neste trabalho e o que estes podem envolver.

CAPÍTULO 2

Neste capítulo toda a temática em questão é abordada sob estado de arte: desde a demolição, as suas técnicas, métodos e sequências, passando pela segurança na construção (com alguns acidentes e prevenções associadas) bem como o BIM, a sua associação à construção e segurança e, por fim, realidade virtual, também associada a estes.

CAPÍTULO 3

No capítulo 3 faz-se uma análise de casos relevantes de modo a ser feita o levantamento de riscos associados à construção, com foco nos decorridos em meios de demolição. Depois desse levantamento, atribuem-se, à partida, alguns riscos que serão utilizados como casos de estudo no programa.

CAPÍTULO 4

Aqui são dadas as ideias base de toda a criação do ambiente virtual inserido no presente trabalho, desde a conceção dos casos inseridos, ao modo como se inseriu todos os objetos e como se fez toda a dinâmica do projeto. É também dada uma breve referência de cada elemento introduzido, associados à

envolvente visual, aos *scripts* de programação elaborados no programa e aos controladores e animações.

CAPÍTULO 5

Neste capítulo faz-se a descrição do ambiente virtual elaborado, do seu decorrer e etapas e outros pormenores dados ao longo deste, bem como a aplicação a alguns casos, selecionados a partir do levantamento efetuado no terceiro capítulo de acidentes ocorridos em ambientes de demolição, dando a perceber algumas interpretações do sucedido e medidas preventivas que se deveriam ter utilizado.

CAPÍTULO 6

Aqui são sumarizadas as conclusões extraídas do trabalho elaborado e, adicionalmente, sugeridos alguns trabalhos futuros.

2

ESTADO DE ARTE

2.1. DEMOLIÇÃO

Dentro de algumas das definições para “demolição” encontradas ao longo do estudo bibliográfico, é referida como:

- “... a remoção controlada de parte selecionada da estrutura ou membros da estrutura-chave de modo a causar o colapso total de todo ou de parte da estrutura do edifício” [3];
- “... o processo de destruir, dismantelar ou colapsar de grandes edifícios após o seu período de vida útil ...” [4];
- “... processo no qual uma estrutura é propositadamente destruída de modo a formar uma diversidade de componentes e fragmentos de diversos materiais.” [5].

É possível perceber-se e encontrar-se um ponto comum na definição, definindo “demolição” como a desconstrução ou dismantelamento propositado através de um planeamento e técnicas controladas de modo a dar a esse espaço ou estrutura, outro objetivo.

Demolição ou desconstrução é, então, um processo usado na construção civil que consiste em demolir de modo organizado um edifício, com o objetivo de dar a esse espaço um propósito diferente, voltar ao plano inicialmente definido, recuperar o espaço urbano e outros [6]. Há diferentes maneiras de realizar a demolição, sendo estas maneiras concebidas de maneiras diferentes ao longo de diferentes artigos, mas que em geral passam por: ferramentas manuais, processos mecânicos, processos térmicos, explosões controladas, processos químicos, processos abrasivos e processos elétricos [6].

A mecanização da demolição teve início no fim dos anos 50 com a introdução de martelos pneumáticos e bolas de aço [6]. A partir daí, começaram as primeiras demolições através desses mecanismos, nomeadamente com a bola de aço a partir lajes com os martelos a esmagar as extremidades das vigas, fazendo assim com que grandes paredes com vários andares e vãos, fossem derrubadas uma única operação [6].

Essa tendência originou a reflexão acerca de novos métodos e técnicas de demolição o que fez que, a partir do fim dos anos 60, processos químicos de demolição expansiva fossem desenvolvidos, no Japão, para estarem disponíveis no fim dos anos 70 [6]. O início dos processos térmicos foi também originado no Japão com a técnica de aquecimento do betão através de uma corrente alternada, testes que foram concluídos no fim dos anos 70 e utilizados, mais tarde, na demolição de estruturas especiais [6].

A demolição através de explosivos controlados surgiu com um estudo da JPDR – *Japan Power Demonstration Reactor* – pela JAERI – *Japan Atomic Energy Research Institute* – em conjunto com alguns avanços, também, em relação a máquinas perfuradoras, técnicas abrasivas e técnicas de decapagem da superfície do betão através do uso de micro-ondas [6].

Atualmente, empreiteiros de demolição têm em conta o uso de escavadoras hidráulicas como as mais produtivas e eficientes.

2.1.1. TÉCNICAS E EQUIPAMENTOS DE DEMOLIÇÃO

O British Standard Code, BS 6187:1998 [54] classifica as técnicas de demolição em 7 diferentes categorias:

- Demolição manual;
- Demolição mecânica através de máquina com braço de longo alcance;
- Demolição mecânica por colapso deliberado;
- Demolição mecânica por bola de demolição;
- Demolição mecânica por cabo de aço tracionado;
- Demolição por explosivos;
- Outras técnicas de demolição.

Neste documento, a classificação elaborada foi baseada na versão BS 6187:2000 do British Standard Code [3], criada uns anos mais tarde da anterior, que ditava que existiam 4 diferentes técnicas possíveis na demolição: demolição manual, demolição por processos mecânicos, demolição por agentes químicos e demolição por jatos de água de alta pressão. Optou-se por alterar este último para demolição por processos abrasivos, separando também a demolição por agentes químicos em térmicos, elétricos e por explosivos controlados (fig. 1) [6].

Como referido anteriormente, é devido a estas técnicas e equipamentos especiais que a demolição tem um cariz diferente da obra em geral, no que toca à segurança dos intervenientes [40]. Métodos especiais pedem cuidados especiais. Ao longo do presente trabalho são abordadas estas técnicas, bem como alguns instrumentos e equipamentos utilizados nelas, de modo a perceber em que consistem e como são utilizados.

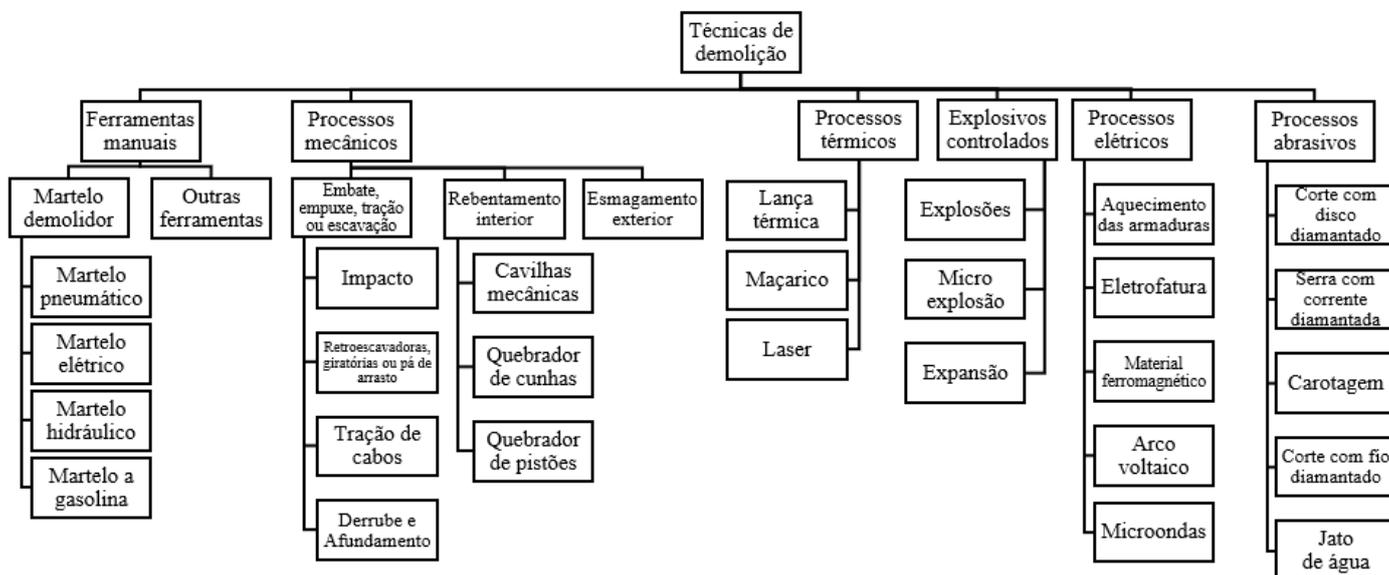


Figura 1 - Classificação das técnicas de demolição adotada, baseada no British Standard Code 6187:2000 [3]

2.1.1.1. Ferramentas manuais

As ferramentas manuais são a mais antiga técnica de demolição que, a partir de um certo momento da história, passou a ser associada a equipamentos maiores e mais efetivos. Sendo, geralmente, de menor porte, permite melhor controlo sobre a ação que se está a efetuar, acabando por ter um melhor e mais preciso efeito tendo em conta o objetivo e demolindo de uma forma mais proveitosa e sustentável. É realizada com o auxílio de ferramentas manuais como marretas, picaretas, martelos, pés-de-cabra,

serras, pás, baldes e/ou outras ferramentas que se utilizem na área da construção [18]. Este tipo de demolição é o ideal para o derrube de paredes e muros bem como arranjos e restaurações domiciliares de pequena dimensão, especialmente em edifícios antigos em que a estrutura não é, geralmente, em betão armado, mas de alvenaria [18][20].

2.1.1.1.1. Martelo demolidor (pneumático, hidráulico, elétrico ou a gasolina) (fig. 2 e 3)

Na utilização de qualquer um destes tipos de martelos ou qualquer ferramenta de utilização manual, o uso de luvas é impreterível. Além das mãos, os olhos devem também estar protegidos com óculos de proteção para não correrem o risco de levar com materiais de pequenas dimensões [6].

Martelos demolidores podem trabalhar por percussão ou percussão e rotação com intensidade suficiente para provocar a rotura do betão devido a tração [6][12].

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens do uso de martelo demolidor [6]

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Fortes e eficazes	Barulhentos
Fáceis e acessíveis de manusear	Grandes vibrações
Acessíveis de transportar	Cansativos e exigentes
Menos custo de operação	Fazem poeiras e fumos
Menos custo de manutenção	A propagação de fendas é claramente visível
Relativamente seguros	Descasques de arestas e cantos dos elementos de betão
Relativamente limpos	Rendimento baixo em estruturas fortes e difíceis de romper
Designs ergonómicos	Trabalho lento



Figura 2 - Martelo Demolidor [7]

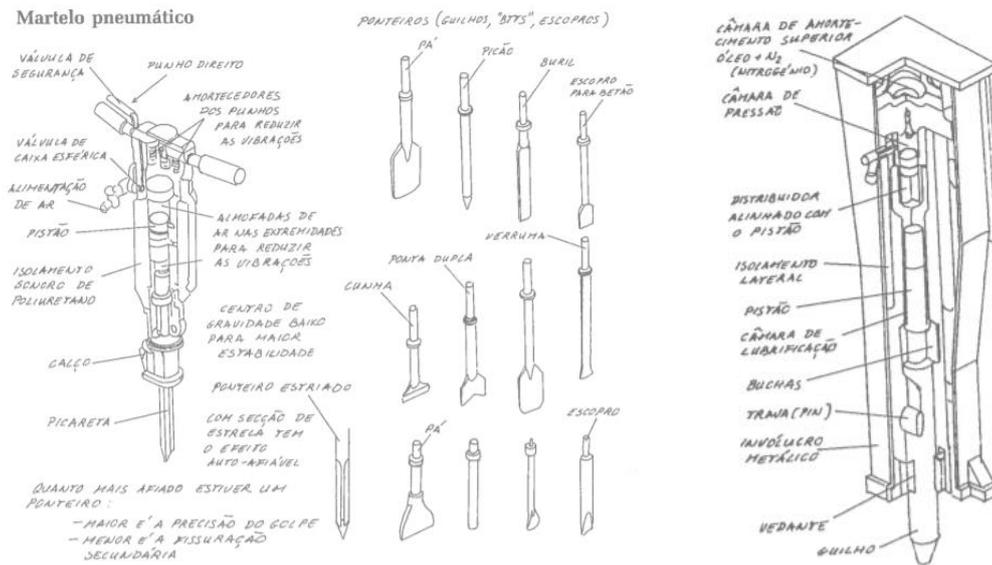


Figura 3 - Martelos Pneumático (esquerda) e Hidráulico (direita) [7]

2.1.1.1.2. Outras ferramentas

Martelo, escopro, perfurador, carrinho de mão, caroteadora, marreta, picareta, pé-de-cabra, pá, serra, baldes são algumas das ferramentas utilizadas em trabalhos mais pequenos em que há a possibilidade de se executar apenas com a força humana e para melhor necessidade trabalhos que necessitem de mais cuidado e detalhe (fig. 4) [12][20].

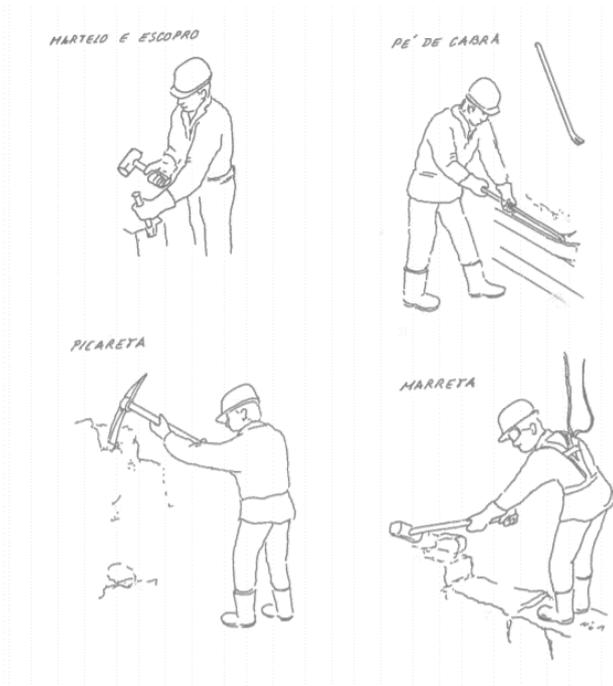


Figura 4 - Outras ferramentas manuais [7]

2.1.1.2. Demolição por processos mecânicos

Esta técnica realiza-se com o auxílio de máquinas e/ou robôs. Os equipamentos utilizados são, geralmente, de médio e grande porte como escavadoras, giratórias e acessórios. Em relação às outras, esta técnica apresenta componentes vantajosas a nível de:

- Mão-de-obra (pouca utilização);
- Tempo de execução (mais rápida);
- Polivalência do equipamento utilizado (pode servir, por exemplo, para despejar o entulho do camião).

É utilizada, por exemplo, para a demolição de lajes, pisos industrializados, estruturas metálicas, estruturas de madeiras [12][20].

2.1.1.2.1. Por embate, empuxe, tração ou escavação

Técnicas que utilizam equipamento mecânico a partir do exterior da estrutura ou dos elementos que se pretendem demolir. Nestas podem-se incluir as técnicas que provocam impactos de forma global ou especificamente localizada, técnicas que puxam ou empurram a estrutura que se pretende demolir de forma a derrubar ou colapsar a mesma e ainda as que removem o suporte da estrutura (fig. 5).



Figura 5 - Demolição por empuxe [7]

i. Por impacto

Nesta classificação, duas grandes técnicas destacam-se: Bola de Ariete (fig. 6) e Pilão.

A bola de ariete é uma bola de aço com uma massa entre os 500 e os 5000 kg que é utilizada suspensa no braço de uma grua móvel, com o devido equipamento e acessórios para a utilizar nesse efeito, e que é elevada a uma posição de modo a fazer movimentos pendulares ou em queda para destruir a estrutura desejada. Esta depende do trabalho de demolição que se pretende efetuar, mas também da capacidade da máquina que a vai suspender e suportar. Precisa, portanto, de um cabo ou corrente capacitadas para o efeito e de um cabo de reposicionamento que será encarregue de a fazer retornar à posição inicial para voltar a fazer a colisão pretendida. Este cabo serve também para agarrar a bola de ariete no caso de o cabo de trabalho romper [18][20].

Já no uso do Pilão, a rotura é feita através não só de impacto, mas também pressão de modo a conseguir-se esmagar o betão e separar-se, desta forma, as armaduras. Através de um aparelho montado numa miniescavadora destinada para este efeito, deixa cair de uma altura entre 1 e 3 metros uma massa com peso elevado, com várias pancadas ritmadas entre cerca de 12 e 25 pancadas por minuto [18][20].

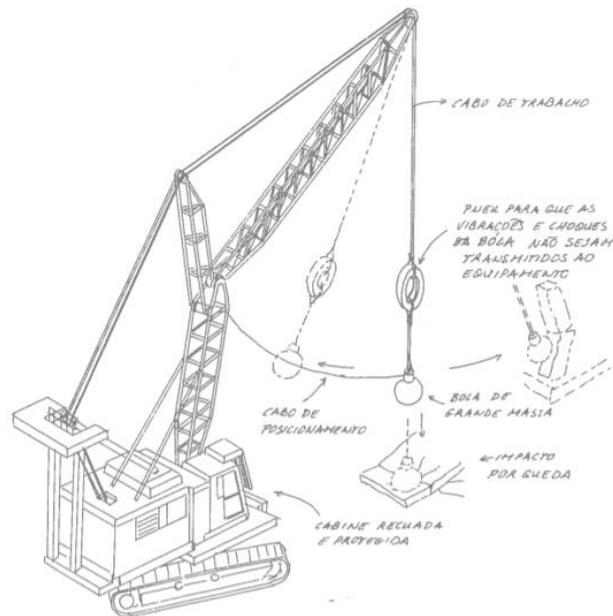


Figura 6 - Bola de Aríete [7]

ii. Retroescavadoras, giratórias ou pá de arrasto e acessórios [20]

Retroescavadoras, giratórias, pás de arrasto, minicarregadoras, robôs, máquinas de rastos, guas e escavadoras são alguns dos equipamentos mais utilizados nesta temática.

Praticamente utilizados em todas as demolições, estes equipamentos, geralmente de teor hidráulico, são bastante grandes e caros, mas potenciam um rendimento bastante elevado e que outras técnicas não conseguem obter. Usufruem também de uma lança articulada numa ponta na qual se podem ligar algumas ferramentas específicas para diferentes trabalhos, como acessório, tais como:

- Pás de arrasto;
- Alicates;
- Pulverizadores;
- Garras;
- Pinças;
- Trituradores;
- Martelos hidráulicos;
- Tesouras;
- Cisalhas;
- Quebradores;
- Ganchos;
- Britadeiras;
- Garras de elevação;
- Baldes.

iii. Tração de cabos

Esta técnica consiste em fazer colapsar a estrutura através do uso de um conjunto de cabos sobredimensionados (para evitar que tenham rotura) presos à estrutura que serão tracionados

gradualmente até que se consiga o colapso. Esta tração é obtida através de equipamentos mecânicos solidamente presos ao terreno. Esta técnica deve ser utilizada apenas em estruturas relativamente sãs (ou a partes da estrutura) que devem ser pré-enfraquecidas, no caso do betão armado, através de rasgos nos elementos com mais resistência, verticais no piso do terreno. Nesses, as armaduras são cortadas através de um maçarico (fig. 7).

No uso desta técnica, deve ser dada uma distância de segurança de, pelo menos, a altura total da estrutura que se pretende demolir (H), de $1,5*H$ a $2*H$ [12].

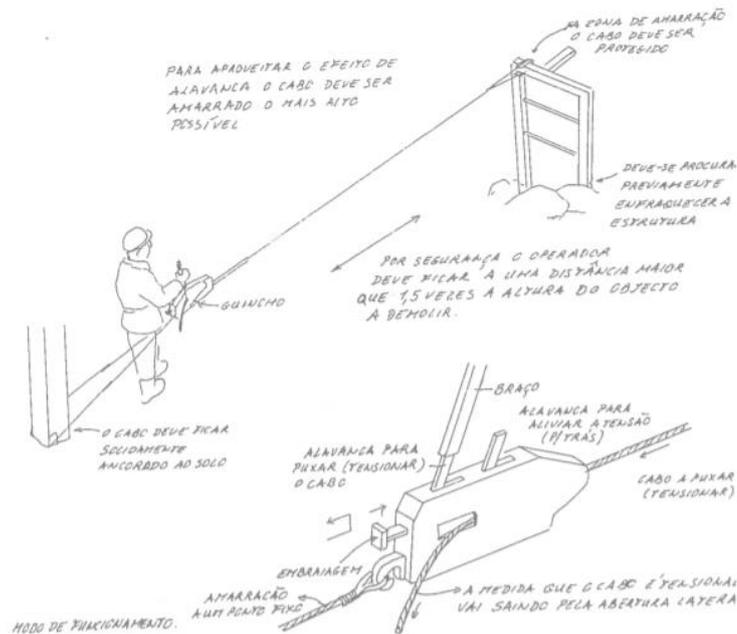


Figura 7 - Tração por cabos [7]

iv. Derrube e afundamento

Esta técnica resume-se no derrube da estrutura que se pretende demolir de forma a que, quando bater no terreno, se colapse. Para isso, demolem-se os elementos fortes da base que se substituem por escoras. Se estas escoras forem de madeira, serão queimadas. Se forem metálicas, estas levarão o sentido da tração de cabos e serão puxadas rapidamente.

No que toca ao afundamento, faz-se desaparecer a estrutura sob a mesma escavando-se o terreno de fundação e injetando-o com água, fazendo finalmente bombear a lama criada. Pode também escavar-se sob as fundações, escorando-as com escoras de madeira, para as queimar de seguida, técnica que se utiliza mais em pavimentos térreos assentes em areia ou solo movediço (fig. 8) [12].

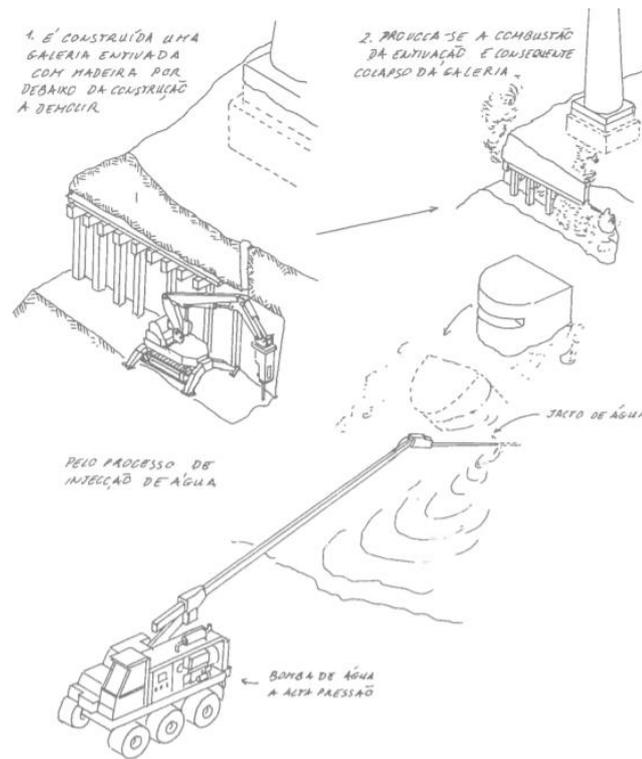


Figura 8 - Derrube e afundamento [7]

2.1.1.2.2. Rebetamento interior [18][20]

Neste tipo de demolição, utiliza-se um equipamento específico com a ideia de fazer colapsar certos elementos a partir da criação de tensões no interior, para os fragmentar. Consegue-se a partir de uma abertura previamente efetuada e depende do posicionamento desta, da profundidade e orientação e também da resistência do betão.

i. Cavilhas Mecânicas

Uma técnica que deve-se ter em atenção o facto de ser muito ruidosa, pouco precisa e só permitir demolições de pequenas espessuras no betão. Com o furo prévio, insere-se este à marretada. É mais utilizado na reabilitação de estruturas.

ii. Quebrador de cunhas

Este equipamento, também denominado de “Darda”, é comum quando se quer desmontar pedra em locais de difícil acessibilidade para máquinas. Neste, aplicam-se duas contracunhas metálicas no furo previamente efetuada, com recurso a uma coluna de perfuração (fig. 9). O seu pistão rebenta o material por tração através do afastamento dessas contracunhas.

Destaca-se, esta técnica, por ser acessível, silenciosa, precisa, segura e económica.



Figura 9 - "Darda" [7]

iii. Quebrador de pistões

Nesta aplicação, separa-se o betão através da fratura em planos perpendiculares ao eixo dos pistões, formando blocos. O aparelho é um cilindro equipado por um certo número de pistões hidráulicos radiais em que a força de rebentamento se produz através de uma bomba de óleo alimentada por um compressor a ar ou por uma bomba, manual, de mistura de água com óleo solúvel. Os furos executados são círculos de 8 a 16 centímetros de diâmetro com uma distância e profundidade dependentes da espessura e qualidade do betão e da taxa de armaduras. O aparelho introduz-se, então, nesse furo, com o cuidado de se manter os níveis de pressão uniformes.

2.1.1.2.3. Esmagamento exterior

Especificamente referido ao equipamento de pinças para trituração do betão, esta técnica é feita, geralmente, por dois operadores que fragmentam os blocos de betão que são demasiado grandes para serem diretamente removidos para aterro. É um equipamento muito versátil e de fácil manuseamento, portabilidade e manutenção. Não provoca nem ruído, nem vibração, nem poeiras e não necessita de líquido refrigerante. Pode também ser adaptado ao braço de equipamentos maiores, como a retroescavadora. Em contrapartida, é um equipamento de baixo rendimento de demolição, pelo seu tamanho, muito irregular e um custo muito elevado para os trabalhos efetuados [20].

2.1.1.3. Processos térmicos [12][17][20]

Recorrem de fontes térmicas que aquecem a altas temperaturas os materiais, geralmente betão e aço, de modo a procurar a sua fragmentação. Algumas dessas fontes térmicas, referidas neste documento, são lança térmica (fig. 10), maçarico e laser.

2.1.1.3.1. Lança térmica

Neste processo, utiliza-se um jato de metal aquecido e derretido (temperaturas entre 2000 e 2500 °C) que irá cortar facilmente quase todos os materiais necessários (aço, betão, betão armado, chapas, tijolo) deixando, na mesma, uma distância boa e segura (geralmente mais de um metro) desde o utilizador à peça que se pretende cortar, prevenindo, desta forma, riscos de acidentes provocados pela temperatura da lança e das faíscas e fragmentos provenientes do material. De qualquer forma, o

utilizador deve, obviamente, estar munido de equipamentos de proteção individual como os óculos, luvas, botas e capacete. É então através de uma combustão do material da barra a derreter que se consegue perfurar e cortar o aço e o betão. Este exerce ações térmicas, químicas e abrasivas no destinatário.

É uma técnica com fraca precisão de corte, trabalho sujo, muitos fumos provocados, com risco de incêndio e perigosa para o operador devido aos materiais em combustão e do custo da operação, mas é rápida, silenciosa e pouco vibracional, requer material simples e leve (o que permite trabalhar em locais pouco acessíveis) e altera pouco as propriedades do material nas proximidades do rasgo.

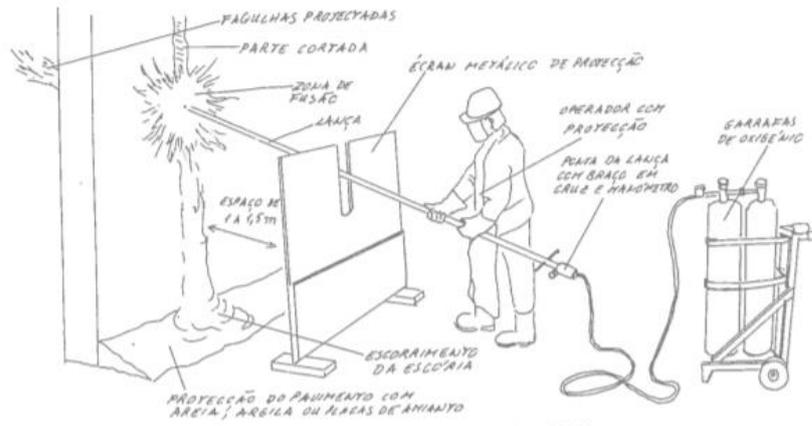


Figura 10 - Lança térmica [7]

2.1.1.3.2. Maçarico

Ferramenta que se utiliza para aplicação de uma chama capaz de aquecer, fundir e cortar diferentes materiais, em específico metais e plásticos. Estes são utilizados também no corte das armaduras em apoio a outros métodos, dado ser um material preciso e fácil de se utilizar.

2.1.1.3.3. Laser

Neste processo, é emitido um feixe de luz monocromático e consistente através da excitação de dióxido de carbono resultante de ondas únicas de grande densidade energética. A fragmentação acontece através de um choque térmico que se obtém, na zona pretendida, com a irradiação a encontrar o betão, fazendo com que a sua energia seja absorvida e que haja um aumento de temperatura nessa zona.

2.1.1.4. Explosivos controlados [8][9][10]

Técnicas causadas por processos explosivos de forma controlada e segura de modo a não pôr em causa a segurança dos trabalhadores, das pessoas ao redor e dos bens próximos do local. Serão distinguidos por três tipos de técnicas: explosões (caracter global e em grande escala), micro explosões e expansões (mesmo método, mas a decorrer no interior dos elementos pretendidos).

Somente engenheiros de explosivos que possam demonstrar que têm as necessárias qualificações, experiência e treino para tal, devem ser contratados para fazer esse trabalho. Diz o BS 6187:2000 [3] que o uso de explosivos é geralmente considerado, na demolição para:

- Colapso deliberado de estruturas de betão e alvenaria;
- Colapso deliberado de estruturas de aço;
- Colapso deliberado de estruturas que contenham betão, aço, alvenaria ou combinações destes;
- Quebra de objetos como blocos de betão e fundações;
- Remoção total ou parcial de elementos estruturais.

Também o BS 6187:2000 [3], refere que se deve ter em conta, para efetuar esta demolição:

- O efeito que se pretende alcançar;
- Os tipos e sistemas de explosivos apropriados;
- O número e pesos das cargas;
- O(s) método(s) de instalação;
- As localizações das cargas, incluindo as alturas do posicionamento;
- A massa, tipos e resistência dos materiais a serem deslocados;
- A natureza sequencial e os efeitos do início do colapso em outras partes da estrutura carregada;
- A probabilidade, quantidade e extensão em que os detritos serão projetados;
- Tipos e extensão da proteção contra explosão.

Apesar de ser uma alternativa económica, rápida e prática tendo em conta as técnicas de demolição, para estruturas de grande porte (muito utilizada em chaminés e grandes maciços de betão armado, por exemplo), existem situações onde não é recomendável dados os riscos e desvantagens que inclui a sua utilização. Algumas dessas desvantagens passam pela dificuldade de aproveitar os materiais residuais e de reciclar, dificuldade de evacuar a população em locais de grande densidade populacional, projeção de materiais e o ruído.

2.1.1.4.1. Explosões



Figura 11 - Sequência de explosões [7]

i. Mecanismo tipo telescópio

O nome vem da semelhança do seu colapso ao fechar de um telescópio: com vários trechos (podendo ser em simultâneo) a serem demolidos, em altura e a caírem na mesma área que já ocupavam. É, geralmente, usado em estruturas de interior oco como centrais termoelétricas ou chaminés de alvenaria ou betão (fig. 12).

ii. Mecanismo tipo derrube

É um mecanismo semelhante ao derrubar de uma árvore em que se faz um corte na base de modo a provocar a basculação da estrutura em torno da charneira à retaguarda. Tal como no mecanismo anterior, esta é derrubada sobre uma área específica pré-definida, que é bem atingida dada a boa precisão da queda. É um mecanismo que requer menor quantidade de trabalhos preparatórios e menores quantidades de explosivos. É utilizado em edifícios de altura significativamente superior à base, ou, como refere Gomes, G. (2010) [12], com uma esbelteza, ou relação entre a altura (H) e a base (B), de $H \geq 3B$. Alguns exemplos de aplicação são chaminés, depósitos com grande altura, postes de alta tensão e silos.

Pode ainda, este mecanismo, dividir-se em dois diferentes tipos de colapso, tendo em conta alguns casos em que seja necessário ter em atenção o espaço disponível para colapso. Nesses casos, teremos um colapso de queda reduzida, em que para além da execução referida, são também colocadas cargas explosivas em pelo menos um piso mais elevado para que haja, nesse, uma rotação, reduzindo a área ocupada para colapsar. Por outro lado, temos a queda completa, mais seguro e económico pois não tem as restrições referidas (fig. 12) [12].

iii. Mecanismo tipo implosão

É o mecanismo mais utilizado e de conhecimento geral quando falamos de demolições por explosivos controlados. Este visa utilizar o mínimo de explosivos de forma a reduzir o número de projecções e ruídos aquando do colapso, de forma a criar descontinuidades em pontos estratégicos, na estrutura principal (normalmente nos pilares). Estes farão a estrutura entrar em ruína através do peso próprio, fragmentando-se, durante a queda e no embate no chão, o mais possível. Tal como no mecanismo tipo telescópio, esta deverá colapsar sobre si mesma (fig. 12) [11].

iv. Mecanismo tipo colapso progressivo

Como um sistema de peças de dominó, é um mecanismo que colapsa sequencialmente e em que uma “peça” em queda vai bater noutra provocando a queda da mesma. Funciona como o mecanismo de implosão com a diferença de ser linear em vez de centralizado e de passar a ser puxado para uma das extremidades ao invés de se basear no centro de gravidade. Serve especialmente para diminuir o impacto da estrutura no solo, daí ao colapso no chão não ser todo em conjunto, mas sequencialmente, com diferentes intervalos de tempo. Utiliza-se, especialmente, em edifícios com grande comprimento ou contíguos (fig. 12) [11].

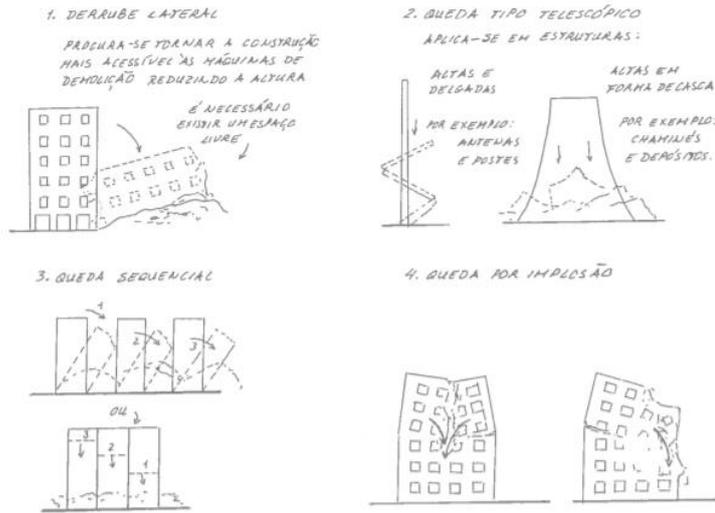


Figura 12 - Mecanismos de explosões [7]

2.1.1.4.2. Micro explosão

Técnica utilizada para demolições parciais, para desfragmentação ou enfraquecimento de estruturas, utilizando menos carga de explosivos que se inserem em furos cilíndricos executados nas peças ou por vias de um instrumento que insira um projétil no material ou estrutura pretendida. Relativamente ao uso de explosivos, esta apresenta menos força, muito ruído, pouco controlo e aplicação mais específica [11].

2.1.1.4.3. Expansão [17][20]

Este método, tal como o que acontece nas micro explosões, é um método auxiliar em que a demolição executada é parcial, por corte de peças de betão e blocos de grandes dimensões. Neste, utiliza-se a introdução de componentes no interior das peças pretendidas através de pequenos furos, para que estas apliquem tensões internas de tração e que levem, devido à força de expansão, estas peças à rotura, fratura e fragmentação (fig. 13). Relativamente aos outros, é um método caro, mas eficaz, controlado e livre de poeiras. A expansão pode ocorrer com gás (lenta ou súbita) ou através de químicos (cimento ou cal viva).

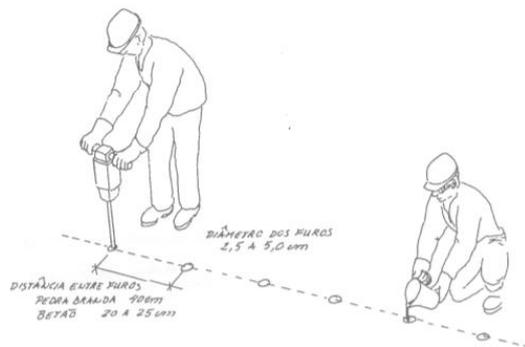


Figura 13 – Expansão [7]

i. De gás

Neste processo, o betão leva um furo de entre 30 e 40 milímetros de diâmetro, no qual se injeta, através de um tubo, um gás inorgânico, de uma botija, a alta pressão, selando a saída com uma borracha para que este não se dissipe. O gás acaba por criar a rotura da peça devido à expansão brusca do mesmo que, em conjunto com a pressão elevada, cria uma grande uma força de tração. Para ambos os sistemas (lento ou súbito) é um método pouco eficaz no betão armado e com pouca precisão.

ii. Química

Na demolição através de expansão química, há uma mistura de substâncias químicas (como cal viva e cimento com água), que, após a introdução nos furos efetuados nas peças, têm um efeito de endurecimento e expansão que aumentará a pressão a volume constante, levando a peça à rotura através dessa aplicação de força de tração. É uma técnica que não provoca vibrações, poeiras, gases, projeções e, por isso, dispensa prevenções de segurança específicas. É também ecológico dado não deixar resíduos danosos.

2.1.1.5. Demolição com processos elétricos [20][21]

Iniciadas em 1982 e tendo um certo desenvolvimento plausível na época, acabaram por cair em desuso devido às suas limitações, inconveniências e reduzidas chances de demolir globalmente as estruturas. De qualquer forma, existem várias técnicas para o seu procedimento, sendo elas: Aquecimento das armaduras, eletrofatura, aquecimento induzido de um material ferromagnético, arco voltaico e, o mais utilizado, micro-ondas, único que ainda se utiliza para efeitos da remoção de betão superficial.

2.1.1.5.1. Aquecimento das armaduras

Neste, as armaduras comportam-se como resistências elétricas ligadas ao um sistema de baixa tensão que, através da ligação por soldadura a um circuito de baixa tensão, lhes induz corrente elétrica levando-as ao rubro por efeito de Joule (transformação da energia elétrica em energia térmica quando corrente elétrica passa num condutor). A fissuração acontece devido à diferença entre as armaduras e o betão, que continua com a temperatura ambiente inicial. Apesar do pouco uso atual, em 1982 já apresentava dificuldades dado a ser só aplicável a varões de diâmetro de 10 milímetros e exigirem uma grande potência elétrica, ou seja, ser pouco económico.

2.1.1.5.2. Eletrofatura

Este processo utiliza-se com o objetivo de fragilizar as peças de betão através de um sistema de eletrodos em que a peça sente uma frequência alta.

De acordo com Brito, J. (1999) [20] é um “método rápido e silencioso, suscetível mesmo de ser utilizado para a demolição total de uma pequena estrutura, e de o seu rendimento em termos energéticos ser elevado”.

2.1.1.5.3. Aquecimento induzido de um material ferromagnético

Princípio igual ao método de aquecimento das armaduras sendo que, neste caso, o processo de aquecimento é feito de forma indireta através de um material ferromagnético. Este sistema aplica-se para fragmentação de betão armado em que é colocada uma bobina à superfície do elemento que se

pretende fragmentar e na qual são aplicadas frequências alternadas entre elevada e média de forma a aquecer as armaduras de reforço, de modo indireto. Em relação ao sistema de aquecimento direto, este demonstra-se vantajoso dado dispensar trabalho prévio na preparação da colocação de terminais elétricos. Permite efetuar o trabalho em elementos de betão armado irregulares ou com acesso difícil.

2.1.1.5.4. Arco voltaico

Introduz-se uma descarga elétrica entre dois elétrodos de carbono que envolvem o elemento que se pretende demolir, de forma a ultrapassar o isolamento dielétrico do betão e se atingirem temperaturas elevadas que provoquem a fusão e deterioração do betão no elemento.

2.1.1.5.5. Micro-ondas

As micro-ondas são uma radiação eletromagnética de média frequência. Esta aplicação serve para remover partes do betão deteriorado à superfície do elemento bem como para realizar furos. Neste método expõe-se o betão às micro-ondas o que provocará ao elemento um aumento de temperatura de forma a volatilizar as águas presentes no betão [17].

2.1.1.6. Demolição por processos abrasivos [3][17][18]

Na demolição abrasiva provocam-se cortes precisos nas peças que se pretendem demolir através de peças metálicas com dentes e grãos de diamante incorporados.

2.1.1.6.1. Corte com disco diamantado

Podendo diferenciar-se pelo modo como atua (portátil, sobre rodas [fig. 14] ou sobre calhas), neste método, há uma vantagem de versatilidade e de o corte ser preciso e bastante fácil de cortar qualquer material. Por outro lado, é muito ruidoso e incompleto no que toca ao interior dos cantos dos polígonos dada a espessura do corte ter o limite do diâmetro do disco.



Figura 14 - Disco diamantado sobre rodas [7]

2.1.1.6.2. Serra com corrente diamantada

Estas máquinas portáteis podem ser equipadas com diferentes correntes para cortes de diversos materiais (fig. 15).

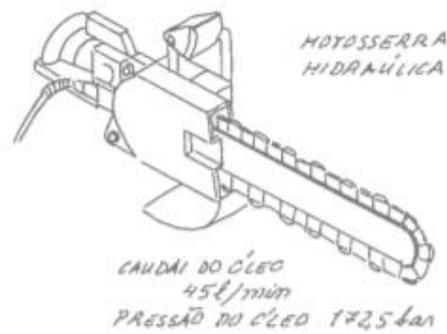


Figura 15 - Serra com corrente diamantada [7]

2.1.1.6.3. Carotagem

Permite executar perfurações circulares de 1cm até 1m de diâmetro. Podem ser elétricas ou hidráulicas, consoante a profundidade ou espessura dos materiais que perfurará.

Inicialmente foram criadas para a recolha de amostras sendo, no entanto, hoje, muito utilizadas para a execução de aberturas em estruturas de betão armado para passagem de infraestruturas. É um aparelho preciso, que não provoca fissuras e que, ao contrário dos anteriores, é bastante silencioso. Não necessita de esforço físico e corta com facilidade e sem vibrações (fig. 16).



Figura 16 - Caroteadora [7]

2.1.1.6.4. Corte com fio diamantado

Usa de um cabo de aço com fios entrelaçados com diâmetro de 5 milímetros com 40 anéis por metro que ajudam a remover os detritos causados. Nesta técnica é possível cortar peças de grande dimensão, bem como de qualquer material necessário e tudo em simultâneo (betão, aço, cabos, canalizações, etc.) (fig. 17). Tal como na carotagem, é silencioso, preciso e deixa a superfície de corte lisa e sem fissuras. É, no entanto, mais dispendioso devido aos cabos consumíveis, mais demoroso de instalar e exige manobreadores com experiência. Necessita também de trabalhos preliminares que furem a estrutura para se poderem introduzir os cabos.

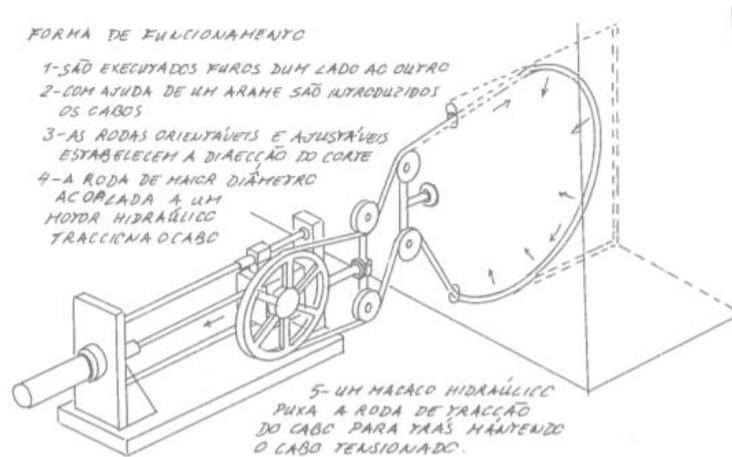


Figura 17 - Corte com fio diamantado [7]

2.1.1.6.5. Jato de água

Uma fila de jatos de águas-fortes consegue remover uma camada de betão (geralmente danificado). Em 1982 esta técnica estaria em fase de desenvolvimento e hoje, utiliza-se muito para trabalhos de remoção de camadas superficiais danificadas de betão [10]. É neste aspeto em especial que mais se utiliza dado o melhor rendimento e ausência de perigo, tendo em conta que a outra opção seria remover manualmente. Apesar disso, é um equipamento caro (especialmente se se recorrer ao jato de água e areia), lento e precisa de uma grande pressão (fig. 18).

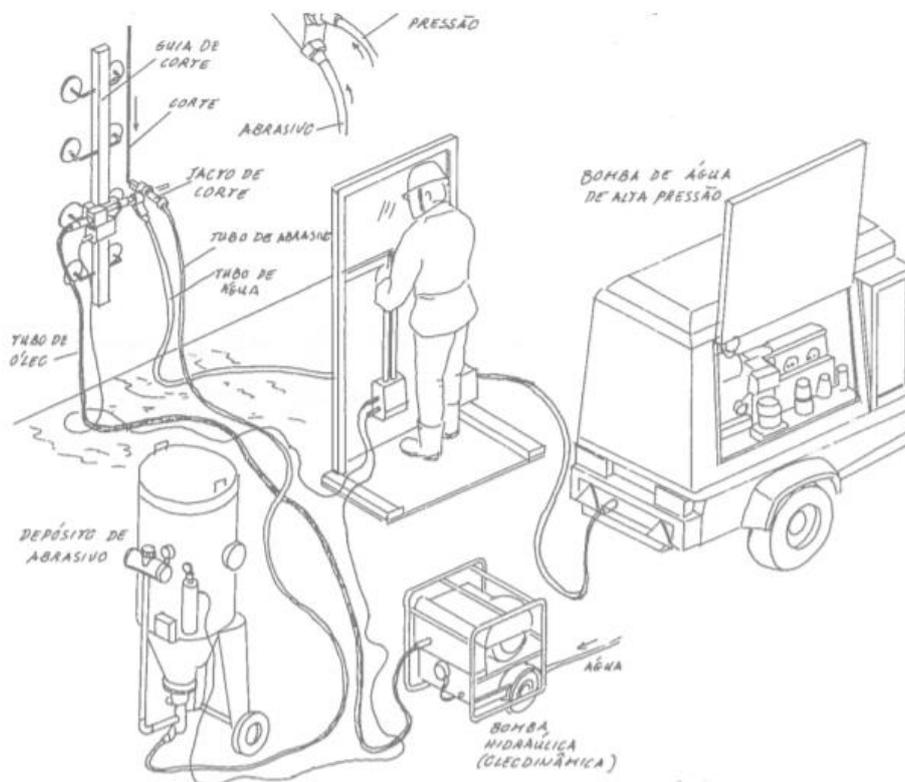


Figura 18 - Jato de água [7]

2.1.2. ANTES E DEPOIS DA DEMOLIÇÃO

2.1.2.1. Antes da demolição

Tal como em qualquer obra, a escolha da empresa que fará a demolição é feita através de concurso, encarregue pelo dono da obra (ou por uma entidade indicada por este), podendo, no entanto, em alguns casos, ser feito ajuste direto. Os concorrentes receberão toda as informações da obra, do local e qualquer informação que se considere relevante para a realização do plano destes. Deverão, então, elaborar uma proposta contendo os elementos habituais de um concurso de construção: método a utilizar, prazos, custos, mão-de-obra, medidas de segurança, reciclagem, plano e passo a passo do mesmo descrito e perceptível.

Após a escolha do empreiteiro, deve ser feita uma avaliação estrutural do edifício e uma vistoria a infraestruturas vizinhas, principalmente, se estivermos perante edifícios de alvenaria tradicional tendo em conta que o estado das paredes, divisões, lajes e fachadas deverão ser inspecionados e garantidos de qualidade. Se necessário poderão ser postos escoramentos [19][20].

Garantindo o passo anterior, é necessário obter licenças para proceder à demolição para se poder proceder ao corte dos serviços de eletricidade, gás, água e telefones e, a partir daí, iniciar-se a montagem do equipamento de segurança, restrição de acesso e contenção de fachada [4].

Lista de controlo de verificações, obtido e transcrito da referência, a tomar antes de efetuar a demolição [14]:

- “Verificar se existe um técnico idóneo para assegurar a condução dos trabalhos;
- Verificar se há equipamentos de trabalho adequados à demolição manual e se reúnem todos os requisitos de segurança;
- Verificar se estão cortadas todas as infraestruturas (água, gás, eletricidade, telefone e telecomunicações);
- Analisar se os elementos construtivos apresentam problemas de instabilidade e solidez, nomeadamente no caso de a edificação ter sido sujeita a catástrofes naturais, incêndio ou prolongado abandono;
- Delimitar e sinalizar previamente toda a área perimetral da zona a demolir;
- Colocar redes que impeçam a projeção de materiais sobre a via pública e desinfestar caso haja necessidade;
- Construir plataformas, vedações com corrimão ou cobertos que garantam a segurança do público;
- Colocar à disposição dos trabalhadores guarda – corpos, palas de proteção ou estrados de proteção em locais onde possa existir riscos de queda de pessoas;
- Desmontar e retirar previamente todos os elementos frágeis como portas, janelas, claraboias, etc.;
- Escorar, entivar e retirar todos os elementos construtivos que apresentem instabilidade ou falta de resistência;
- Derrubar, primeiramente, os elementos suportados e só depois os que suportam, conduzindo gradualmente a demolição de piso para piso, de cima para baixo e obrigando, sempre que possível, a permanência no mesmo piso de todos os trabalhadores;
- Se for necessário utilizar andaimes, estes equipamentos deverão ficar completamente desligados dos elementos a demolir;
- Verificar periodicamente se os acessos aos postos de trabalho são estáveis e estão desobstruídos ou limpos de entulho;

- Montar escadas exteriores à construção ou reforçar as escadas da edificação que, deverão ser, em cada piso, os últimos elementos a serem demolidos;
- Fixar, no atravessamento de vias de circulação, as tubagens, as mangueiras e os cabos de modo que estes equipamentos não se danifiquem ou provoquem tropeções;
- Inspeccionar periodicamente as tubagens e os acessórios de ar comprimido a fim de evitar fugas de ar sob pressão;
- Tapar as aberturas do pavimento do piso em demolição, exceto se aquelas forem usadas no escoamento de entulhos;
- Interditar o lançamento de entulhos pelas janelas ou aberturas nos pisos;
- Regar primeiramente os entulhos e só depois descê-los em caleiras devidamente vedadas e com troços retos nunca superiores à altura de dois pisos;
- Munir a saída inferior de cada caleira com uma comporta para deter a corrente de materiais;
- Usar ferramentas apropriadas na retirada dos materiais das caleiras, evitando-se a utilização das mãos;
- Retirar ou revirar as pontas de todos os pregos salientes que possam existir em tábuas;
- Nas situações em que sejam utilizados maçaricos deve-se:
 - Instalar as garrafas de oxigénio e acetileno em locais protegidos do sol e de modo que não possam ser atingidas por desmoronamentos ou projeções de partículas;
 - Pôr à disposição dos trabalhadores extintores de CO₂ ou de pó químico.
- Na demolição de coberturas deve-se:
 - Retirar o respetivo material progressivamente e em ambos lados para evitar desequilíbrios da estrutura;
 - Deslocar cuidadosamente as peças que vão sendo soltas, tentando-se, assim, na sua retirada evitar os movimentos bruscos, bem como o seu arranque com auxílio de grua;
 - Descer gradualmente os seus elementos através de caleiras e/ou com a ajuda de grua ou guincho;
 - Impedir que as chaminés e varandas sejam puxadas para caírem como um todo, ou que sejam abandonadas em posição instável para poderem ser derrubadas por ação do vento;
 - Evitar que as telhas, placas metálicas ou de fibrocimento sirvam de apoio aos trabalhadores, implementando o uso de tábuas de roço;
 - Demolir a abóbada/arco a partir do seu centro para as extremidades seguindo uma trajetória em espiral, e, caso exista mais que uma, escorar aquela que não estiver a ser destruída;
- Na demolição de paredes interiores deve-se:
 - Referenciar as paredes cujo betão tenha menor resistência e prevenir os trabalhadores de tal circunstância;
 - Impedir que os trabalhadores apoiem os pés em elementos que não tenham, pelo menos, 0,35 m de espessura ou em paredes-mestras que sejam instáveis ou de fraca solidez;
 - No derrubamento de peças de parede situadas a mais de 6.00 m de altura usar um arnês de segurança bem preso a elemento rígido, mesmo quando a base de apoio dos pés seja superior 0,35 m;
 - Seccionar os seus diversos elementos em partes que se transportem facilmente, evitando-se, assim, esforços excessivos e posturas erradas;
 - Evitar que as diversas secções sejam abaladas e deixadas ruir como massa única;
- Na demolição de lajes dos diversos pisos deve-se:

- Iniciar a sua demolição só após o conhecimento prévio dos respetivos apoios e executá-la segundo uma direção paralela aos mesmos;
- Entivar todo o soalho de madeira que apresentar fraca estabilidade ou solidez e escoar rapidamente todos os entulhos;
- Cortar com auxílio de maçarico as partes constituintes em betão pré-esforçado nos pontos-chave devidamente assinalados pelos técnicos, evitando-se, assim, que se modifiquem as condições de estabilidade e de resistência das peças.
- Na demolição de escadas dos diversos pisos deve-se:
 - Conduzir gradualmente a sua destruição da ponta do balanço para o encastramento, em caso de escada encastrada;
 - Conduzir gradualmente a sua destruição do meio do vão para os apoios, em caso de escada apoiada em patamares;
 - Conduzir gradualmente a sua destruição do centro do vão para os lados, em caso de escada apoiada lateralmente em vigas.
- Na demolição de muros e paredes exteriores aos diversos pisos deve-se:
 - Fixar, no piso imediatamente inferior ao troço vertical da parede exterior que se pretende desmantelar, uma plataforma de descarga bastante resistente com 1,50 m de largura e cujo bordo exterior esteja, pelo menos, 0,15 m mais elevado que o inferior;
 - Guarnecer o bordo exterior da plataforma com rede de arame galvanizado cujas dimensões ofereçam toda segurança;
 - Tornar obrigatório o uso de capacetes, botas com biqueira de aço, óculos, luvas resistentes e protetores auriculares.”

2.1.2.2. Depois da demolição

No final, depois dos trabalhos de demolição estarem concluídos, deve ser feita uma nova verificação e vistoria aos edifícios vizinhos bem como a apresentação do relatório feito antes da demolição de modo a comparar e apurar as diferenças do antes e do depois dos trabalhos realizados e perceber quais foram os estragos deixados pela obra. A empresa que tratou da demolição está responsável por reparar estes danos e garantir que o local fica limpo e seguro [18].

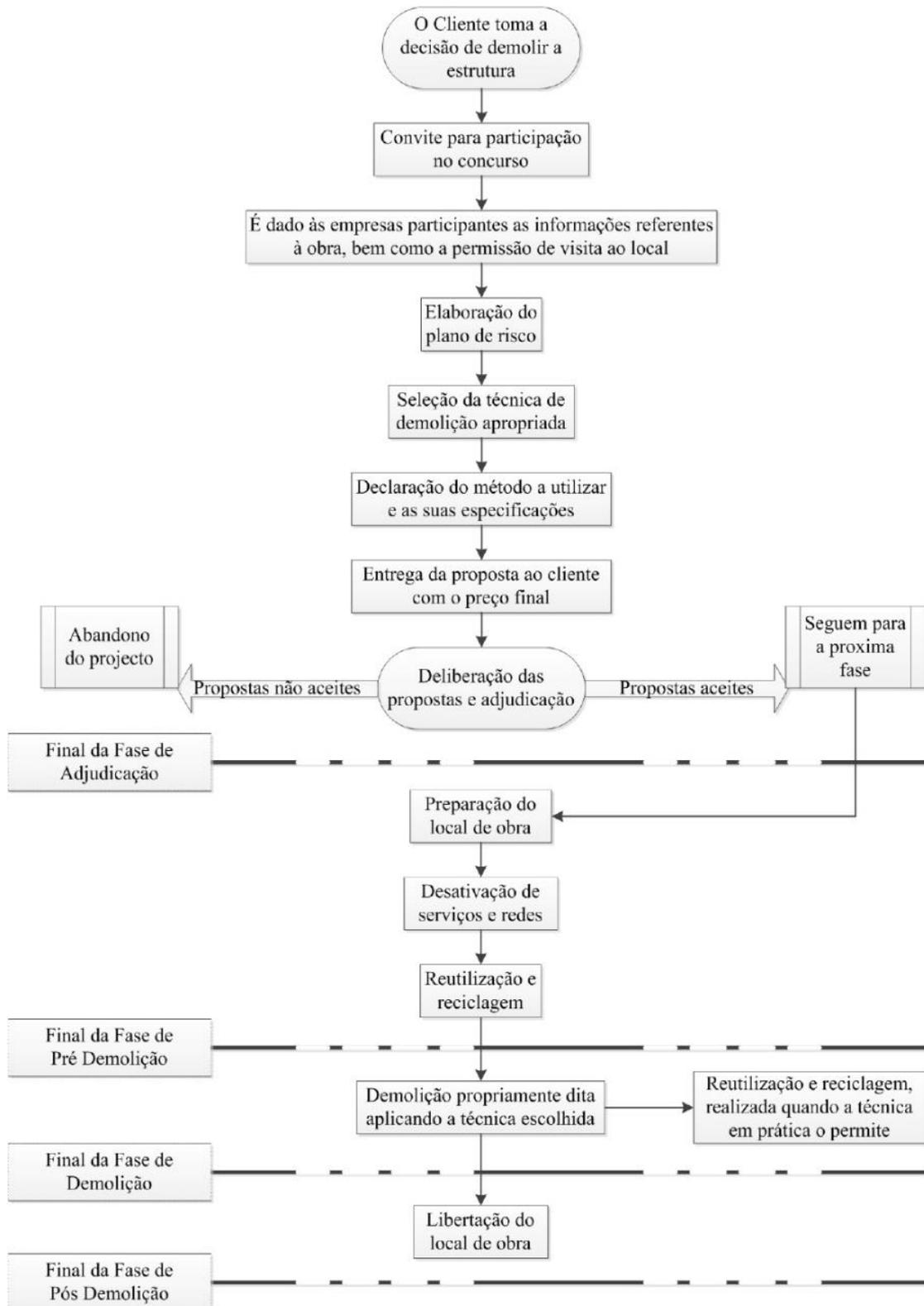


Figura 19 - Fluxograma do processo de demolição, com identificação das fases [13]

2.1.3. DEMOLIÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

É fulcral que a demolição seja feita com consciência dos perigos que acarreta, tanto na escolha dos equipamentos e métodos utilizados como na sequência escolhida para os trabalhos a realizar com estes.

Escolhendo uma má metodologia de desconstrução, também conhecida como método “Top-Down”, a demolição processa-se numa sequência que parte do telhado para o solo, geralmente, com algumas particularidades que podem variar tendo em conta as condições do local e dos elementos estruturais que se pretendem demolir. A escolha errada da sequência pode ter consequências graves, causando colapso de partes da estrutura ou dela como um todo. De um modo habitual, transcrito de acordo com o código e práticas de demolição de edifícios da nova Zelândia [22], a sequência deve ser a seguinte:

1. Estruturas em consola, ligadas às paredes exteriores do edifício;
2. Parede exterior, se esta for recoberta em tijolos ou cerâmica;
3. Coberturas;
4. Paredes não-suportantes;
5. Lajes de piso;
6. Vigas presentes nas lajes (das vigas em consola, às secundárias, finalizando nas principais);
7. Paredes suportantes e pilares.

A escolha do método deve ter em conta vários fatores como a aplicabilidade ao elemento estrutural a demolir, a eficiência na demolição, o ruído, a vibração, a poeira e outros como a projeção de objetos ou necessidade de drenagem. Na tabela seguinte apresentam-se alguns dos métodos habitualmente utilizados no que toca à demolição de elementos estruturais e as suas características tendo em conta os fatores referidos, sendo que os escolhidos, no que toca à aplicabilidade, todos muito efetivos para paredes, lajes, coberturas, vigas e pilares [50].

Tabela 2 - Resumo de características gerais de alguns métodos de demolição [50]

Método	Eficiência de demolição	Tipo de Poluição		
		Ruído	Vibração	Poeira
Manual, com martelo ou martelo pneumático	Boa	Significativo (80 dB(A) ou mais)	Efeito moderado no manobrador	Bastante
Máquina com ponteiro pneumático	Excelente	Significativo (80 dB(A) ou mais (i))	Efeito significante	Bastante
Máquina com tesoura hidráulica	Excelente	Algum (70 a 74 dB(A))	Efeito significante	Bastante
Tesoura hidráulica com braço longo	Excelente	Moderado (75 a 79 dB(A))	Efeito significante	Bastante
Corte de serra com serra circular ou motosserra	Boa	Moderado (75 a 79 dB(A))	Não sentido pelo corpo humano	Moderada
Corte com serra diamantada	Boa	Moderado (75 a 79 dB(A))	Não sentido pelo corpo humano	Moderada

Tendo em conta que o colapso de elementos estruturais é o maior fator no que toca a acidentes mortais na demolição, também visto e deparado nos casos estudados posteriormente no capítulo 3, é importante que haja uma contenção e supervisão diferentes em relação a estes, que vai além dos métodos utilizados e analisados anteriormente.

No que toca à demolição destes elementos, as medidas preventivas passam por:

- Desativar todos os serviços de água, eletricidade, gás ou comunicações;
- Garantir a utilização dos EPI obrigatórios por parte de todos os intervenientes;
- Garantir os EPC necessários ou, em caso de impossibilidade, outro EPI, como um arnês de segurança, que proteja de quedas em altura;
- Explicitar aos intervenientes as etapas dos métodos selecionados;
- Monitorizar a formação de fendas e de deformações em toda a estrutura, durante a operação de demolição;
- No fim de cada turno ou dia de trabalho, garantir a estabilização de todos os elementos e escorar se necessário;
- Instalar guarda-corpos e aberturas de piso, criar caminhos de circulação seguros e uma zona de exclusão durante a demolição;
- No caso de se usar uma demolição mecânica dentro do edifício, proceder à colocação de suportes temporários nos pisos inferiores para garantir a estabilidade estrutural;

- Definir caminhos de circulação e áreas de trabalho para garantir que equipamentos não estão a menos de 2 metros do limite do edifício ou 1 metro de qualquer abertura e estrutura em consola;
- Definir a acumulação máxima de detritos de demolição de forma a não pôr em causa a estabilidade estrutural;
- Criar um plano para a remoção de detritos;
- Em relação à demolição de paredes, ainda:
 - Remover todos os materiais potencialmente perigosos que se encontrem na parede, como vidros, caixilharia, etc.
 - Garantir que a parede não é uma parede suportante;
 - Se a parede for suportante, instalar um sistema de suporte temporária na estrutura suportada;
 - No caso de uso de maçaricos ou outros inflamáveis, garantir que o local está livre de materiais inflamáveis;
 - Explicitar ao trabalhador todas as etapas do método selecionado;
 - Escorar paredes com altura superior a um pé direito;
 - No caso de uso de equipamentos no interior do edifício, não demolir as paredes exteriores e junto a aberturas de piso até à laje, deixando um rebordo de cerca de 0,9 metros de forma a deixar uma barreira protetora para os operadores de equipamentos;
 - Tapar ou impedir de forma clara a circulação no piso inferior, em aberturas de piso num raio de 3 metros de paredes que se pretendem demolir.
- Em relação à demolição de lajes de piso e coberturas, ainda:
 - Sinalizar e proteger armaduras soltas ou penduradas para evitar lesões de contacto.
- Em relação à demolição de vigas, ainda:
 - Usando técnica manual, para enfraquecer a viga, deve-se efetuar esse trabalho a partir de uma plataforma independente e segura.

Em 2019, Ribeiro, H. [51] criou uma guia de demolição tendo em conta estas medidas preventivas, usada como suporte na pré-demolição e garantia que o trabalho a realizar estaria seguro e livre dos riscos habituais, deixado, como exemplo, para a demolição de lajes de piso e coberturas na figura 20.

	CONFORMIDADE	
	Sim	Não
Foi efetuada uma avaliação do esquema estrutural da laje ou cobertura		
Todos os serviços do edifício encontram-se desativados (eletricidade, água, gás)		
Local encontra-se limpo, especialmente livre de detritos de outras demolições		
Foram colocados EPC, que protejam de quedas em altura		
Todos os trabalhadores têm os EPI (capacete, luvas, máscara, calçado de segurança, colete de alta visibilidade, protetores auditivos) e Arnês no caso de não terem sido instalados EPC		
Foram criados caminhos de circulação seguros para os trabalhadores		
Em lajes armadas em duas direções, trabalhadores informados das técnicas de demolição, nomeadamente que a demolição deve ocorrer do centro para as extremidades		
Em lajes armadas numa direção, trabalhadores informados das técnicas de demolição, nomeadamente que a demolição deve começar do lado em que não existe "apoio", devendo ser efetuada através de faixas perpendiculares às armaduras e a demolição destas faixas deve ser realizado do seu centro em direção aos apoios		
Em coberturas, trabalhadores informados das técnicas de demolição, nomeadamente que a demolição deve começar em simultâneo pelos menores lados em direção ao centro		
Foi criada uma zona de exclusão		
Em demolições por meios mecânicos, foram colocados suportes temporários nos pisos inferiores		
Em demolições por meios mecânicos, existem paredes de retenção junto às extremidades e aberturas de piso e foi definida a área de circulação permitida pelos equipamentos		
No fim do dia todas as estruturas encontram-se estabilizadas		

Figura 20 - Lista de segurança para demolição de lajes de piso e coberturas [51]

2.2. SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO

Um tópico que continua a dar que falar dado ser a indústria mais perigosa no que toca ao número de acidentes fatais e não-fatais [1]. Na Europa, em 2018, a indústria da construção atingiu mais de 20% no que toca aos acidentes mortais em trabalho. No Reino Unido, a construção é a maior indústria, chegando aos 8% do PIB e contando com cerca de 10% da população ativa. Qualquer trabalhador neste setor, conta com o risco de duas vezes mais probabilidade de ter um acidente não-fatal do que em qualquer outra área, sendo os principais problemas escorregamentos, tropeçamentos e quedas ao mesmo nível, bem como perda de controlo de objetos, máquinas ou outros equipamentos [15].

No que toca aos acidentes no local de trabalho pode-se então dividir as causas destes em duas categorias principais [29]:

- Diretas – Acidentes com efeito imediato no bem-estar do interveniente como ausência de equipamentos de proteção individual ou coletivo, falhas estruturais ou condições meteorológicas problemáticas;
- Indiretas – Acidentes que advêm de má organização da obra ou dos trabalhos, gerados por falta de formação, falta de treino ou cansaço.

É muito recorrente, no que toca à construção civil, que os prazos criados sejam em situação ótima, isto para se conseguir um melhor negócio projetando o menor tempo possível. É, no entanto, esta mesmo uma grande problemática que contribui para criar pressão de atingir esses prazos e orçamentos, que irá, conseqüentemente, provocar maior insegurança no que toca à proteção dos intervenientes [29].

A segurança em obra é um dever que deve ser promovido logo à partida no início da obra, ainda em fase de projeto, através de um bom planeamento, até à obra, no qual o dono da obra tem um papel fundamental de assegurar que os processos de segurança são cumpridos à risca, nomeadamente dando aos trabalhadores os conhecimentos prévios exigíveis [29].

Existem diferentes métodos de manter a segurança em obras de construção, que podem passar pela modificação dos comportamentos dos intervenientes. As práticas de segurança atuais passam em grande parte pelo uso obrigatório dos EPI (equipamentos de proteção individuais), bem como o asseguramento do comportamento dos intervenientes do local de trabalho. Pratt, S. (2001) [29] fundamentou que o primeiro grande método para assegurar a segurança no local de trabalho passa por alterar esse comportamento dentro da zona de trabalho. Mais tarde, foi dada a ideia que, apesar de ser um método eficaz, acaba por ser limitado tendo em conta todas as variantes que podem decorrer no dia a dia de uma obra, fazendo com que alguns comportamentos em certas situações, já previstos, tivessem de ser tomados de diferentes modos [16].

Oito conceitos importantes no modo de enfrentar acidentes de trabalho e promover a segurança, passam por, de acordo com a eSub Construction (copiado e traduzido da referência) [52]:

“1. Sensibilização

Antes de qualquer trabalhador poder entrar num estaleiro de construção, este deve estar plenamente consciente dos perigos que poderá ter em frente e dos trabalhos que irá realizar. Basta um trabalhador ignorante para colocar em perigo todos os que têm conhecimentos adequados. Compreender estes perigos e manter um estado de alerta constante é a melhor forma de prevenir qualquer acidente. Todas as pessoas que entram num estaleiro devem estar cientes dos riscos e de como os evitar. Os diretores de obra devem certificar-se que cada trabalhador está consciente destes perigos que advêm dos trabalhos de construção e constantemente devem informá-los dos mesmos, protegendo-os dessa forma. Um diretor de obra que não informe os seus operários sobre como evitar acidentes e ferimentos de trabalho, garantindo a segurança, está a falhar no seu papel. Garantir esta segurança dos trabalhadores e de todos os intervenientes presentes no estaleiro deve ser a maior prioridade de qualquer diretor de obra. Não devem ser autorizados intervenientes que não tenham essa consciência.

2. Formação

Apesar da maioria das competências poderem ser adquiridas no trabalho, a segurança é uma das competências que pode e deve ser aprendida antes de se entrar em ação. Algumas organizações como a OSHA, publicam recursos para ajudar empresas a formar novos trabalhadores sobre práticas normais de segurança e proteção, incluindo panfletos informativos, vídeos de formação e até oportunidades de formação presencial. Deve ser esperado que os trabalhadores experientes tomem iniciativa de atualizar os seus conhecimentos de segurança, participando, por exemplo, em sessões regulares de formação. Estas sessões podem passar por coisas simples de forma a relembrar as situações que possam cair no desleixo. Apesar disto, pode também ser uma boa prática fazer esse tipo de formações no local em si, aplicando estas regras de segurança de tempo em tempo.

3. Comunicação

Os acidentes têm mais probabilidades de acontecer quando os trabalhadores não estão ao corrente do que os esperará. Deve haver uma discussão e passagem de informação frequente para reduzir as surpresas que podem causar ferimentos. As empresas podem trabalhar com dispositivos de comunicação rápida como *smartphones* (fácil nos dias de hoje), que permitem essa eficiência entre os intervenientes. Sem comunicação como deve ser, os trabalhadores podem não estar a contar com certos trabalhos e ocorrências. Havendo uma boa comunicação, a obra será dirigida de forma mais rápida, eficiente e segura.

4. Documentação

De modo a impor segurança no estaleiro, é necessário certificar que a documentação adequada de todo o trabalho a realizar está aprovada e disseminada. Todas as legalidades devem ser asseguradas de modo a poder-se iniciar a construção e é essencial que esses registos e licenças sejam atribuídos antes do início de trabalhos. Os empreiteiros e supervisores encarregados de tarefas mais peculiares como explosões, devem fornecer provas das suas competências com bastante antecedência para poderem proceder ao trabalho indicado. Estas documentações não se seguram a empresa a nível de problemas judiciais, como garantem a segurança. Nenhum trabalhador gosta de estar numa empresa que não ponha em primeiro lugar a segurança dos seus operários sendo que a reputação de cada uma será tida em conta em caso de notícias, neste âmbito, de acontecimentos passados.

5. Equipamentos adequados

Para criar uma cultura centrada na segurança, é necessário proporcionar aos trabalhadores os equipamentos adequados e a área de trabalho adequada para os trabalhos a realizar. Sem estes, a segurança não está garantida. Os trabalhadores equipados com equipamento inadequado, tendem a acabar por sofrer ferimentos desnecessários. Não só cada peça de equipamento deve ser ideal para a tarefa pretendida, como as empresas devem garantir que todos os materiais e máquinas são bem tratados e têm boa manutenção. Devem também ser considerados os equipamentos que não contribuem diretamente para o projeto. Os trabalhadores não devem ter falta de água e sombra, para evitar demasiada exposição e desidratação. Projetos mais longos podem beneficiar de estruturas elaboradas para cobrir locais estratégicos que armazenem melhor equipamentos.

6. Supervisão

Os trabalhadores de construção civil, idealmente, compreenderiam plenamente as ramificações de precauções de segurança inadequadas e incompletas e agiriam sempre de forma a assegurar o bem-estar próprio e de todos os intervenientes do estaleiro. Não sendo esta uma realidade, cada estaleiro deve ter alguém capaz e disposto, responsável por fazer cumprir as normas de segurança. Este deve acompanhar todos os intervenientes ao longo do dia e corrigir os aspetos que comprometam os procedimentos de segurança adequados.

7. Inovação

A taxa de acidentes seria ainda mais elevada daquilo que é hoje se as empresas não estivessem dispostas a dedicar recursos para manter os trabalhadores a par do que toca à segurança. Estes recursos reduzem não só as taxas de acidentes e lesões como ajudam também a desenvolver novas ideias e fazer crescer a temática da segurança na construção. O desenvolvimento dessas práticas irá contribuir para o aumento da segurança, devendo ser sempre encorajado. Com inovação suficiente, todos os estaleiros de construção poderiam maximizar as suas medidas de prevenção e ficar livres dos acidentes correntes.

8. Transparência

O pior que as empresas podem fazer pela sua reputação é esconder os acidentes da imprensa e público. Esse encobrimento pode contribuir para o manchar de toda uma indústria de uma forma negativa. É claro e compreendido que os acidentes acontecem e irão sempre acontecer, e enquanto se fizer o melhor possível, de todas as partes, mas principalmente dos responsáveis pela segurança, para promover o ambiente mais seguro, quaisquer acidentes ocorridos contribuirão para a necessidade de compreensão e melhoria no que toca à prevenção desse aspeto. A transparência, em conjunto com os outros sete pontos previamente referidos, ajudará a construção como um todo a tornar esta indústria mais segura.”

2.2.1. SEGURANÇA NA DEMOLIÇÃO

A maioria dos acidentes causados durante demolições, de acordo com o as práticas de boas medidas na demolição da Nova Zelândia (2004) [22] são:

- Queda de pessoas nos locais de trabalho desprotegidos, por buracos;
- Pessoas atingidas por objetos em queda;
- Pessoas atingidas por objetos projetados;
- Colapso repentino de edifícios ou estruturas;
- Cabos elétricos ou equipamentos desprotegidos;
- Colisão com instalações e equipamentos móveis;
- Incêndios causados por trabalhos a quente ou explosão de redes de gás;
- Materiais inseguros dentro ou sobre a estrutura;
- Planta usada em lajes elevadas sem as devidas precauções tomadas;
- Acidentes com equipamentos de corte;
- Acidentes rodoviários causados por sobrecarga ou cargas inseguras durante o transporte.

Nos edifícios, para prevenir acidentes com vidros partidos, estes devem ser retirados das janelas antes da demolição ter início, sendo que as que tiverem contacto com as estradas exteriores devem ser bloqueados para que não haja entradas desautorizadas. Paredes, chão, escadas ou telhado com aberturas, sendo estas uma grande causa de acidente, devem ser cobertos ou sinalizados devidamente seja com guarda-corpos ou outro tipo de barreira, bem como entradas para pisos removidos. O uso de escadas ou andaimes deve ser também controlado e assegurada a sua segurança.

Na demolição de um piso de betão armado, pode ser necessário remover-se primeiro uma pequena secção para determinar a direção do aço principal. Deve ser fornecido suporte para vigas antes de cortá-las separando das colunas e paredes. As colunas devem ser enfraquecidas na base antes da sua remoção para que se possa controlar a sua queda.

Com tantos elementos demolidos, devem existir caminhos claros e aberturas para que se possa fazer a remoção de entulhos [22][41]. Neste aspeto, o RSTCC (Regulamento de Segurança e Trabalho na Construção Civil) descrito no Anexo II, rege também alguns reparos a ter em conta no que toca aos trabalhos de demolição, nomeadamente no que toca a:

- Responsabilidade por parte do técnico responsável pela demolição, da segurança e proteção de todos os intervenientes;
- Corte dos serviços antes de iniciar qualquer trabalho, a não ser em exceções em que seja necessário;
- Elementos frágeis como vidros ou estuques retirados do edifício antes de iniciar os trabalhos;
- Demolir gradualmente de cima para baixo, andar a andar, de elementos suportados a elementos suportantes;
- Apear paredes e chaminés a demolir;

- Manter as escadas e balaustradas durante o maior tempo possível;
- Não deixar paredes e chaminés em condições de poderem ser derrubados por ações como o vento;
- Cuidados extra no manejo de coberturas de chapas metálicas, no apeamento de cornijas e na demolição de paredes com vigas embebidas;
- Uso dos EPI pelos funcionários;
- Remoção e descida de produtos e materiais;
- Andaimes;
- Plataformas;
- Proteção de aberturas.

2.2.2. SEGURANÇA EM OBRA E BIM

Mesmo em tempos de crise económica, a construção ainda é um dos maiores setores da indústria, e também um dos mais perigosos. É crucial a preservação da integridade humana em todos os sectores desta atividade. Infelizmente, todos os anos, ocorrem muitos ferimentos e até mesmo perda de vidas na indústria da construção. Apesar de os números virem a cair um pouco com o decorrer dos anos, e com a implementação de novos mecanismos e regulamentos que permitem mitigar os sinistros é possível utilizar as novas tecnologias para diminuir ainda mais estes últimos [28].

Conforme demonstrado ao longo da presente dissertação, as causas prevalentes de acidentes e mortes no local de trabalho podem ser drasticamente reduzidas com planificação e gestão avançadas por meio do uso de ferramentas BIM [27].

Embora a generalidades dos projetos utilizem o BIM para permitir maior eficiência e controlo financeiro, o mesmo tem aplicações muito úteis no âmbito da saúde e segurança. Desta forma, com a evolução, análise e implementação de metodologias BIM torna-se possível diminuir os acidentes de trabalho. As ferramentas BIM permitem auxiliar os projetistas e os trabalhadores a terem cada vez mais informação e conhecimento sobre as condições de segurança e ainda deteção de impossibilidades nos trabalhos que provavelmente só seriam atendidos já na fase de construção. Esta informação irá permitir um melhor planeamento para as adversidades [27].

Com a devida consciencialização para potenciais risco no ambiente de trabalho, torna-se fulcral a implementação de medidas de segurança adequados às especificidades da obra. A catalogação dos riscos e a sua causas através de BIM oferece aos profissionais de segurança a oportunidade de realizar o trabalho virtualmente e identificar os principais riscos e oportunidades associados a um projeto ainda antes do início da construção [27].

Com o desenvolvimento da metodologia BIM é possível integrar e desenvolver verificações automáticas de segurança. Existe ainda, no entanto, uma certa lacuna no que toca ao estudo da integração de metodologias e tecnologias BIM com os tradicionais processos e técnicas para a gestão da segurança. Torna-se assim necessária a combinação de metodologias BIM com os processos tradicionais de gestão da segurança. Esta combinação, aliada à sua constante transversalidade, permite aplicar num contexto prático e real uma comunicação eficiente dos riscos e apoiar efetivamente todo o processo de desenvolvimento do projeto, como iremos rever no capítulo seguinte [27][32].

2.3. BIM – BUILDING INFORMATION MODELLING

O BIM é, antes de mais, uma representação do edifício através de um modelo a três dimensões. Esta representação é composta por elementos que possuem atributos e parâmetros próprios como, por exemplo, uma porta, que conterà o seu material e dimensões dentro desses. Além disso, o BIM combina todos estes elementos e oferece a visualização dos mesmos, bem como dos seus dados associados. Este processo tem uma vantagem real enorme em relação aos métodos tradicionais, mesmo que para efeitos de estudo da construção que, dada a pormenorização, acaba por se conseguir que seja feito em tempo drasticamente reduzido. Outras vantagens são a facilidade de compartilhamento de recursos e da caracterização de projetos recorrentes. O processo BIM é um processo de projeto virtual de um edifício, isto é, uma plataforma de partilha para troca de informação e comunicação entre os intervenientes do projeto. De outro modo, é um processo que usa um modelo de dados de construção e em que os participantes se reúnem em torno da mesma representação [24].

Algumas das ferramentas inseridas neste contexto são o Revit (Autodesk) que permite a partilha dos modelos realizados entre vários utilizadores, o ArchiCAD (Graphisoft) que oferece a possibilidade de combinar aspetos de engenharia e arquitetura durante o processo de construção (interior/exterior), Bentley Architecture (Bentley) que permite criar edifícios e combinar modelos com modelos de outros técnicos, Navisworks (Autodesk) que, com capacidades semelhantes aos anteriores, foca-se ainda mais na gestão da obra a nível temporal, a chamada 4ª dimensão (seguinte às três dimensões da modelagem paramétrica). Hoje em dia diz-se existir ainda outras três dimensões, nomeadamente para orçamentação (5D), sustentabilidade (6D) e gestão e manutenção (7D) [28]. Outra ferramenta BIM é o Unity 3D, que permite criar experiências 3D de realidade virtual ao usuário dando vida a tudo o que é criado através deste processo [27][28].

2.3.1. BIM NA CONSTRUÇÃO

A tecnologia BIM está em constante crescimento e numa grande mudança do mundo conceptual da arquitetura e planeamento, para a realidade das empresas de construção. Este crescimento não fica por aqui e promete cobrir várias necessidades e operações que vão ocorrendo ao longo do ciclo de vida de um edifício. Numa fase de conceção, estas ferramentas representam muito as necessidades e requisitos dos seus principais usuários e dos grupos responsáveis pelo projeto do produto final. Já a nível das necessidades das empresas de construção, estas necessidades tornam-se bem diferentes dadas as componentes reais e os focos a ter em conta como o planeamento da construção, as operações da obra e o seu controlo. São estas necessidades de melhor controlo e planeamento que dão origem à procura de novos recursos e ferramentas e que são acabam por se ver no crescimento das ferramentas mais atuais [24].

No que toca à demolição, prevê-se a possibilidade de um modelo de BIM próprio que, mais recentemente, adotando a tecnologia de três dimensões *scanner* com alta definição, dá a possibilidade de projetar estruturas para o plano virtual. Assenta num tripé normal em que roda 360°, criando um ambiente realista e digital em três dimensões de toda a envolvente. Daí, obtém-se o modelo pretendido, bem como alguma documentação útil para a segurança. É uma chave para a comunicação entre o cliente e a equipa de trabalho, no sentido em que é possível ver o que se pretende fazer, antes de acontecer [24].

Mark Coleman, da BIM+, admite ter já utilizado esta tecnologia numa demolição em Wolverhampton com estrutura de aço e em que o modelo criado a partir da nuvem de pontos do software, permitiu determinar o tamanho das secções e planear a sequência da demolição (crucial onde a remoção da secção errada pode afetar a estabilidade da estrutura). Diz também que este é um exemplo de poupança

enorme de tempo pois na medição usando tecnologias de medição de realidade aumentada demoraria sete dias o que estes conseguiram fazer em apenas um [26].

2.3.1.1. Visualização 3D dos edifícios

Um bom modelo 3D pode estar perto da representação real procurada e pode fazer com que as tarefas e processos de construção sejam mais facilmente entendidos até para pessoas pouco familiarizadas com a área. O BIM dá essa possibilidade com inúmeras ferramentas associadas e que, a cada dia que passa, se tornam mais acessíveis, simples, ricas em biblioteca e reais [32].

2.3.1.2. Pré-fabricação de elementos de vários sistemas de construção

Modelos BIM possuem grandes quantidades de informação no que toca a características de elementos da construção e o ciclo de vida dos mesmos, fazendo com que seja possível, esteticamente e funcionalmente, reproduzir os elementos necessários [44]. Com o BIM, pode-se planejar a ordem de fabricação e execução das peças e componentes necessárias, de modo a chegar ao custo e prazo desejados e informar automaticamente os fornecedores, através do modelo, a sequência de produção e fabricação desejadas (não deixando que ocorra um acumular desnecessário de material). Com isto, e dado o facto de se poder controlar todo o processo da fabricação mesmo antes da sua produção e montagem, torna-se a tecnologia BIM, logo, à partida, uma mais-valia nesse setor [44].

2.3.1.3. Estimativa de custos e tempo

O facto do BIM ligar todos os processos da obra e do projeto, de uma extremidade à outra, com a possibilidade dos intervenientes poderem inserir as informações relacionadas a cada parte do projeto, dará, à partida, um melhor entendimento, menos problemas de coordenação, redução de erros e omissões construtivos, mais controlo sobre o presente e futuro dos trabalhos e, conseqüentemente, uma muito mais fiável previsão do que podem ser os custos e o tempo total do trabalho ainda a fazer [32].

2.3.1.4. Detecção de conflitos

A deteção de conflitos entra já como parte do processo de modelagem com ferramentas BIM (*Clash Detection*), que deteta conflitos de arquitetura, estruturais ou MEP (de instalações mecânicas, elétricas ou hidráulicas) através de uma abordagem automatizada. O software *Navisworks* é um dos que têm essa funcionalidade que permite obter o número de erros bem como a possibilidade de os observar e perceber o que é que falhou na modelagem. Na figura 21, o conflito que acontece está relacionado com a falta de união de elementos construtivos.

Na deteção de conflitos existem 4 níveis diferentes de gravidade:

- Qualidade e gestão (N0);
- Fluxo de trabalho ou conflito 4D (N1) – Conflitos a nível da linha do tempo, entre tarefas, daí a identificar-se como 4D;
- Colisão suave (N2) – Colisões suaves em que objetos colidem dando algum problema a nível espacial ou geométrico e que afetam acessos, manutenção ou segurança;
- Colisão forte (N3) – Colisões entre dois ou mais elementos, por exemplo, entre um tubo que se sobrepõe a uma viga ou um pilar que atravessa uma parede.

Este processo é essencial no fluxo de trabalho colaborativo e gestão de projetos BIM [45].

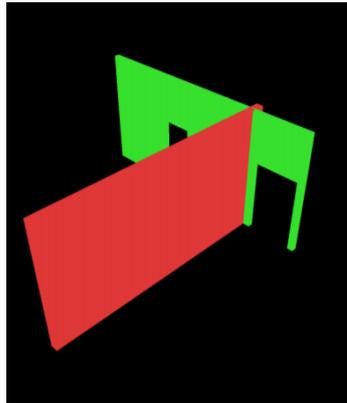


Figura 21 – Detecção de conflito [captura de tela no Navisworks]

2.3.1.5. Melhor controlo e garantia no que toca à segurança

Com os modelos 3D e o controlo do decorrer dos trabalhos, no projeto, torna-se possível e essencial garantir que os métodos de segurança previstos são efetuados de acordo com projeto e mais fácil de organizar, ao longo do mesmo, mais e melhores prevenções, posicionamentos e controlo para os intervenientes da obra.

É também possível, e cada vez mais se tornará uma realidade ao longo do tempo, tornar, com ajuda da realidade virtual e realidade aumentada, um ambiente real num ambiente fictício e que poderá dar aos futuros e presentes intervenientes de uma obra, a experiência e exposição aos riscos mais associados e mais pertinentes que poderão ter pela frente [32].

2.3.2. BIM NO APOIO À SEGURANÇA EM OBRA [30][32]

No período de abril de 2009 a junho de 2011, uma equipa de pesquisa que representa o centro de pesquisa técnica VTT da Finlândia e o Instituto Finlandês de Saúde Ocupacional, levou a cargo um projeto de pesquisa de segurança BIM que considerou como principais ideias para levar o BIM a melhorar a segurança de um local [27]:

- Planeamento de prevenção de quedas, que são exigidos pelas autoridades. O BIM pode também ser usado para apoiar o planeamento de tarefas de trabalho que incluam riscos de segurança notáveis;
- Análise de riscos e avaliações relacionadas à segurança dos projetos com a ajuda de BIM: Neste caso, o BIM pode ser utilizado para análise de riscos e avaliações relacionados à segurança de planos de início visualmente e, posteriormente, para identificação de risco de um modo mais automatizado.
- Visualizações 3D e 4D em comunicação relacionada à segurança: apresentações visuais 3D baseadas em BIM promovendo a ligação entre todas as fases do projeto de construção. A nível da segurança, por exemplo, ao apresentar o projeto à equipa, apresenta-se disposições de segurança relacionadas a certos trabalhos específicos com perigos atuais e previstos;
- Outro uso de projetos baseados em BIM numa obra: Exemplos de visualização dos projetos baseados em BIM para obter um entendimento comum ou para ver mais certos detalhes ou informações pertinentes de um certo objeto, produto ou quantidade.

Ao longo do tempo, associados a esta possível ajuda na segurança, alguns modelos e aplicações têm vindo a ser desenvolvidas de modo a ajudar e tornar real que o BIM seja uma ferramenta inovadora, transformadora e efetiva neste combate.

2.3.2.1. PtD (Prevenção através de Projeto - *Prevention through Design*)

Relacionado com as teorias de hierarquia de controlos que sistematicamente avalia as possíveis medidas que podem ser aplicadas na prevenção de acidentes. Esta vertente pretende a prevenção através do projeto criado através das ferramentas BIM. Este conceito tem sido gradualmente aceite dado facilitar a gestão da segurança na indústria. Com os potenciais riscos identificados no projeto, poder-se-á corrigi-los através da aplicação de medidas preventivas. Este conceito foi inicialmente pensado para a prevenção de acidentes de quedas que são aqueles que apresentam maior número de acidentes mortais na indústria. Inicialmente prevê-se a parametrização das regras, depois a adaptação do modelo BIM de forma poder ser examinado pelos parâmetros definidos. Consecutivamente, comparam-se os parâmetros definidos com a informação obtida no modelo para que, finalmente, se apresentem os resultados da aplicação dos parâmetros no modelo [30].

2.3.2.2. MMPtD (Modelo de gestão do PtD - *Management Model for PtD*)

Este conceito partiu de uma tese de doutoramento que fez a análise e identificação de cerca de 2000 acidentes mortais ou graves em vários países diferentes. Esta análise permitiu identificar e corrigir o que de diferente se poderia ter feito e que medidas poderiam ter sido tomadas para que esses não ocorressem ou ocorressem com menor gravidade. Esta análise concluiu que cerca de 60% dos acidentes podiam ter tido um desfecho diferente, sendo aligeirados ou mesmo eliminados. O modelo de gestão para prevenção através do projeto, é um modelo que oferece orientações práticas aos seus projetistas e que promove a colaboração entre os vários integrantes da equipa de projeto, promovendo consequentemente o enriquecimento das discussões em relação a soluções técnicas e métodos de segurança e prevenção na obra [43].

2.3.2.3. BIM 360

Cada vez mais acessível de tornar realidade, esta ferramenta pode ser usada a partir de equipamentos móveis para gravar e se poder aceder ao estaleiro ou obra em formatos virtuais. A visualização do modelo virtualmente prevê que se possa confrontar algumas falhas de segurança ou construção de modo a que seja possível remediar e prevenir essas mesmas para que não aconteçam posteriormente. Desenvolvido para que se possam organizar e gerir documentos relevantes do projeto em modo colaborativo e acessível para os intervenientes necessários, como plantas 2D, modelos 3D e qualquer outro documento necessário, como folhas de tarefas, planos de organização, etc. Esta é uma plataforma ampla que procura conectar as várias etapas do processo de construção e manutenção [30].

2.4. REALIDADE VIRTUAL E REALIDADE AUMENTADA

O uso da realidade virtual na construção civil é, hoje, um caso de sucesso e que promete um crescimento imponente. Alguns dos casos principais são encontrados na venda de imóveis através do uso de óculos de realidade virtual. Como o nome indica, esta ferramenta induz efeitos visuais, sonoros e até táteis ao usuário que tem a possibilidade de sentir o ambiente simulado criado e apenas existente num mundo, ao contrário da realidade aumentada que usufrui de objetos reais, do mundo real [35]. Na realidade virtual tudo é digital e foca-se na pessoa que vai usufruir dela, com o objetivo de ser realista ao ponto de a pessoa ter a sensação de estar a viver nesse mundo. Um exemplo clássico é a experiência baseada na história real de Philippe Petit, um equilibrista que sonhava atravessar as Torres Gêmeas do World Trade Center através de um cabo que ligava os dois edifícios (história que ganhou, no documentário “O Equilibrista” um óscar na categoria de melhor documentário em 2009) (fig. 22). Esta recriação foi feita pela *Sony* de modo a simular o trajeto feito pelo equilibrista com o objetivo de dar ao usuário essa sensação de como seria atravessar essa corda com o mundo todo por debaixo do olho (as torres tinham 110 andares e 413 metros de comprimento) [31].



Figura 22 – “The Walk” (Sony) [56]

Na construção civil, a monitorização do local combina estas realidades com ferramentas rastreadoras de localização, de forma a fornecer informação sobre a segurança dos trabalhadores em tempo real. Sendo a segurança na construção um elemento importante que começa logo a ser pensado na fase de projeto de uma obra, é logo nesta etapa que surgem algumas ferramentas, como o software “Cave Automatic Virtual Environment” (CAVE) (fig. 23), uma sala onde se pode projetar, nas paredes, a 3 dimensões, que permite aos vários responsáveis a visualização de possíveis resultados e consequências do projeto pensado [25].



Figura 23 – CAVE [25]

De acordo com a Skanska (2020) [36] deve, um programa de realidade virtual, ser alinhado a partir de 4 frentes:

- Planear - Treino de como chegar à elaboração de trabalhos temporários, tal como a perceção de como atingir produtos finalizados;
- Fazer - Permitir que se discuta a sequência da construção e se identifique as medidas de controlo num ambiente seguro;
- Verificar – Inspeccionar e verificar que os trabalhos temporários estão de acordo com os standards definidos e são seguros;
- Agir – Fazer mudanças aos materiais de construção, métodos e a sequência de trabalho baseada na experiência no ambiente virtual.

No que toca à formação, estas tecnologias projetam ter 5 pontos definidos que pretendem seguir, que passam pela estimulação do usuário, à inclusão de um ambiente virtual diverso, de ferramentas que permitam ao usuário ter a interação que o faça sentir estar dentro da simulação e um realismo que proporcione a melhor experiência e continuamente faça o cérebro do usuário acreditar que o que sente é realidade e não um mero programa [36].

2.4.1. TECNOLOGIAS DE REALIDADE VIRTUAL E REALIDADE AUMENTADA PARA CONSTRUÇÃO

Como já referido, as aplicações de realidade virtual e aumentada têm vindo a revolucionar a indústria da construção em vários pontos. Esta revolução atinge não só a projeção e modelação de estruturas, mas também a construção em si, beneficiando toda a equipa e projeto em jogo.

As principais aplicações destas ferramentas, distinguem-se por diferentes fases, sendo elas [37]:

- Projeto – O planeamento da construção fica facilitada com os recursos visuais que a realidade virtual proporciona, permitindo mais atenção aos detalhes;
- Treino – Destaque de sucesso no que toca à extração do melhor dos colaboradores de forma a trazer mais eficácia e produtividade;
- Manutenção – Um bom programa de manutenção garante a prevenção necessária aos problemas que poderiam existir;
- Tours virtuais – Colocando a pessoa dentro do projeto antes deste estar construído, trazendo pontos para experiência do cliente e para a credibilidade da empresa.

Algumas destas ferramentas são:

- Morpholio AR Sketchwalk

Esta ferramenta de realidade aumentada, lançada pela Morpholio, foi criada para auxiliar os arquitetos nos processos de transição entre a modelagem e a realidade. Com esta ferramenta, a partir do software “iOS 12 ARKit and Trace” da Apple, é possível transportar o cliente para o projeto a partir de um iPad, utilizando a realidade aumentada (fig. 24) [46].



Figura 24 - Morpholio AR Sketchwalk [46]

- DAQRI Smart Helmet

Esta ferramenta é um capacete que traz a realidade mista para qualquer ambiente de trabalho perigoso. Tem um design bastante próprio e um potencial enorme no que toca a soluções de hardware e software. O facto de ser desenvolvido para um ambiente especificamente industrial denota-se em várias conceções. O dispositivo, bem como o seu software, são projetados à partida para funcionar em ambientes exigentes, como estaleiros de obras, fábricas, etc. Este capacete mistura câmaras de tecnologia de realidade mista para melhor consciencialização de espaço e disposições holográficas (fig. 25). Tem também capacidade de capturar imagens e vídeos infravermelhos. É uma solução que traz muita informação útil ao utilizador, em tempo real, bem como uma capacidade de resolução de tarefas necessárias [47].



Figura 25 - DAQRI Smart Helmet [47]

- Aplicativos de medição para iOS e Android

Atualmente, a fita métrica pode ser substituída por um telemóvel na medição de objetos ou superfícies. Existem aplicações iOS e Android que usam a realidade aumentada para medir comprimentos através da câmara. Alguns destes são o “Measure” (Android), aplicação criada pela Google, que disponibiliza a opção de usar a câmara para cálculo também. Já a “Medida” (iOS) além dessas possibilidades, tem também guias e réguas para o auxílio das medições. No iPhone 12 Pro é possível medir a altura exata de uma pessoa com esta aplicação. Ajuda também a regular e nivelar objetos e superfícies [25].

- GAMMA AR

Aplicação de monitorização de estaleiros de construção que utiliza tecnologia de realidade aumentada para sobrepor os edifícios BIM 3D através de smartphones ou tablets. Permite comparar a realidade da obra com as informações de planeamento contidas no projeto. O GAMMA AR permite que os modelos 3D BIM sejam vistos antes e durante o processo de construção, criando uma compreensão do planeamento, evitando erros e a redução de custos de construção (fig. 26) [53].

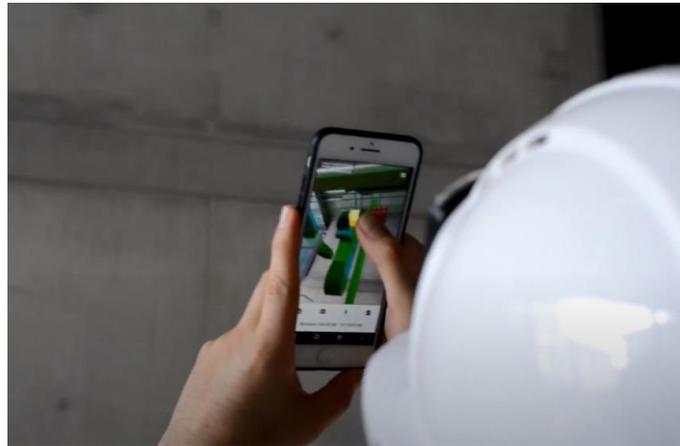


Figura 26 - GAMMA AR [53]

- Fologram

Esta ferramenta transforma modelos 3D em instruções de construção de tamanho real através óculos de realidade aumentada. O programa visa facilitar a construção de projetos complexos que requerem uma série de medições, verificação e cuidados específicos através de instruções digitais que são praticamente sobrepostas ao espaço de trabalho, fornecendo um guia passo-a-passo durante o processo e construção (fig. 27) [53].



Figura 27 - Fologram [53]

- ARki

Serviço de visualização de AR em tempo real para modelos arquitetónicos. Este incorpora a realidade aumentada na arquitetura, fornecendo modelos 3D com vários níveis de interatividade tanto para design como para apresentação (Utilizado para telemóveis através dos sistemas iOS e Android) (fig. 28) [53].



Figura 28 - ARki [53]

2.4.2. TECNOLOGIAS DE REALIDADE VIRTUAL E REALIDADE AUMENTADA NO APOIO À SEGURANÇA EM OBRA

- VR Health & Safety Training Solution – Beca

Esta empresa foca-se numa tecnologia que usa técnicas de captura de realidade para criar, passo a passo, ponto a ponto, um ambiente de realidade virtual. Os usuários podem mover-se pelo cenário entre locais pré-definidos. Em cada local da simulação, estes podem olhar ao seu redor e sentir-se familiarizados com o ambiente, como se da realidade se tratasse. Durante esta simulação, estes são solicitados a identificar características importantes e realizar algumas interações postas em diferentes partes (fig. 29). Estas interações focam-se no treino e avaliação do entendimento do usuário na segurança [48].



Figura 29 - VR Health & Safety Training Solution (Beca) [48]

- VR Safety Training Environment - Skanska

Esta ferramenta, além de trazer um ambiente parecido com a realidade (fig. 30), com múltiplas adversidades, ruídos, chuva e acontecimentos em torno da obra e do usuário, dá um tom de pressão à pessoa que se pretende formar, pondo-a em situações de risco na simulação, com o objetivo de levar este a uma mudança de comportamento e melhor preparação para o local de construção [36].

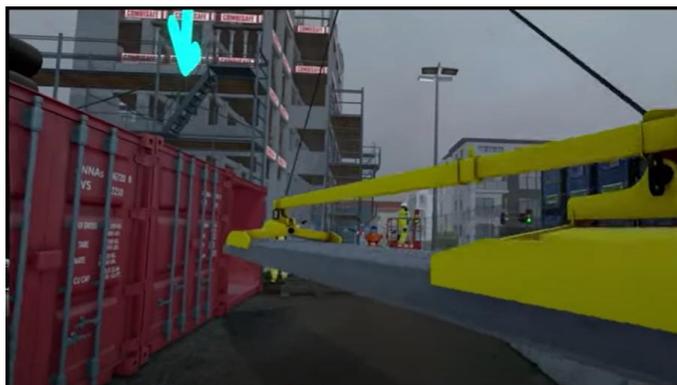


Figura 30 - VR Safety Training Environment (Skanska) [36]

- Virtual Safety Assessment System (VSAS)

Esta tecnologia procura utilizar a visualização como forma de testar a avaliação da segurança numa construção através de métodos de videojogos. Esta foi elaborado de forma a permitir que as competências de gestão de segurança sejam obtidas. O ambiente virtual que é utilizado tem várias representações de estruturas permanentes e temporárias, bem como materiais e equipamentos de construção armazenados. A utilização de materiais e texturas permite uma experiência diferente do sistema em tempo real, dada a qualidade e da proximidade à realidade a 3 dimensões. Esta tecnologia foi desenvolvida a partir do software Unity 3D, com a linguagem de programação C# e Java.

Consiste então em demonstrar alguns casos de trabalhos a serem efetuados no ecrã de visualização, sendo que, ao ver um acontecimento errado por parte de um funcionário, o utilizador deverá responder a questões de modo a perceber se consegue distinguir o que deveria ser feito em contrário (fig. 31) [49].

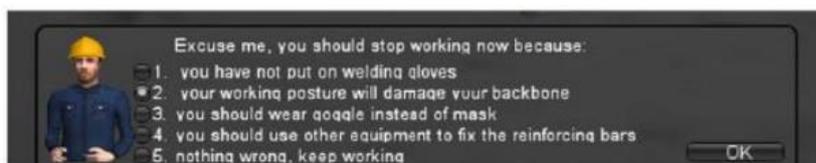


Figura 31 - Interação no software VSAS [49]

- Experimental Construction Safety Education System (ECSES)

Esta ferramenta é constituída por três diferentes módulos com objetivos e funcionalidades diferentes:

- a. Safety Knowledge Dissemination Module (SKD), destinado à aquisição de conhecimentos;
- b. Safety Knowledge Reflection Module (SKR), para perceber e identificar perigos e riscos, assim como refletir nos conhecimentos adquiridos através do SKD;
- c. Safety Knowledge Assessment Module (SKA), servindo este como avaliação, após os módulos anteriores [49].

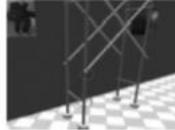
Fall from height to below (story 3)	The workers detached the exterior cover wood barrier to install aluminium frame and glass. Although the installation task was not finished, the worker did not set up the protection in work area	<ul style="list-style-type: none">- Spacing between vertical members of protection barrier- Temporary railing standard (height, space) (OSHA 1926.500(b), 501(b))	
Fall due to the scaffold collapse (front of building)	The lack of pin connection between two bottom bars in scaffold because of workers' carelessness during the installation	<ul style="list-style-type: none">- Scaffold type, dimension, material- Installation method (OSHA 1910.28(a => v))	

Figura 32 - Alguns cenários virtuais abordados no ECSES [49]

- Game Technology-Based Safety Training System (GTSTS)

O GTSTS fornece um modelo virtual com interação com os utilizadores, também através de comandos gaming, podendo este mover equipamentos e materiais e comunicar entre vários utilizadores ao mesmo tempo para operarem um trabalho (fig. 33) [49].



Figura 33 - Representação no GTSTS [49]

ANÁLISE DE CASOS RELEVANTES

3.1. ACIDENTES NA DEMOLIÇÃO – LEVANTAMENTO DE REGISTOS DE ACIDENTES

Apesar dos diferentes riscos devido às operações e técnicas utilizadas especificamente em trabalhos de demolição, continuam a acontecer, nestes trabalhos, alguns acidentes constantes em todos os trabalhos de construção civil e que contribuem para que este seja o setor mais perigoso no que toca a acidentes. Para perceber e tentar olhar apenas acidentes especificamente de meios de demolição, foi feito um pequeno estudo através de dados obtidos na base de dados da OSHA – *Occupational Safety and Health Administration* – que contém alguns relatórios de acidentes fatais e não fatais na indústria da construção [23].

Estes dados foram obtidos através de relatórios de lesões graves, que envolvem acidentes de construção reportados ocorridos nos Estados Unidos da América entre 1 de janeiro de 2015 e 31 de maio de 2020. Entre mais de 55000 acidentes reportados, foram identificados, como acidentes em meios de demolição, 82 casos, afixados no anexo I [23].

Já através dos acidentes fatais e catástrofes reportadas e disponíveis também nos arquivos da OSHA (*Incidents between Oct1, 2012 – Sep 30, 2013; Incidents between Oct 1, 2013 – Sep 30, 2014; Incidents between Oct 1, 2014 – Oct 3, 2015; Incidents between Oct 3, 2015 – Sep 30, 2016; Incidents between Sep 30, 2016 – April 29, 2017*) foi possível identificar e separar 34 incidentes fatais ocorridos em ambiente de demolição, resultados num total de 37 mortes (anexo II) [23].

3.1.1. ACIDENTES NÃO-FATAIS: NATUREZA

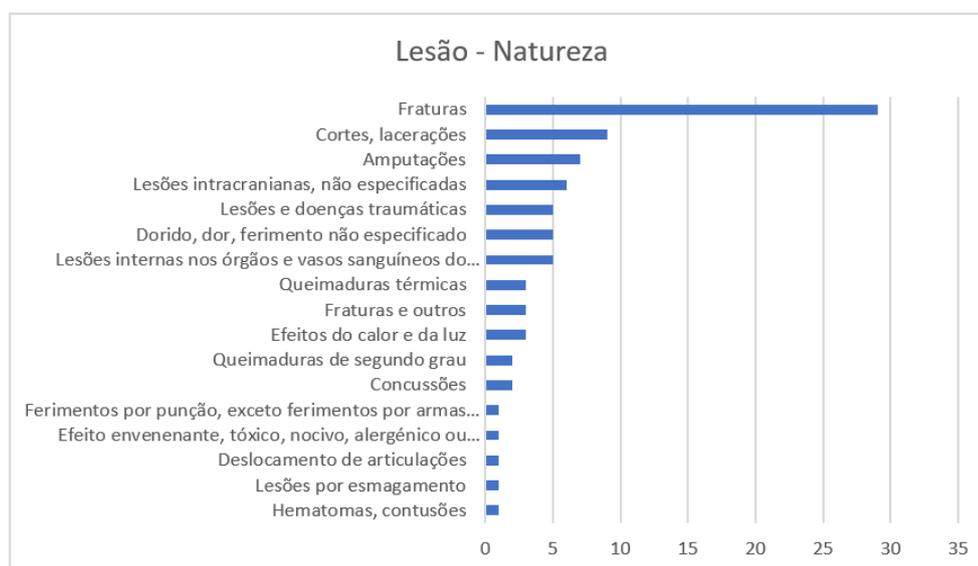


Figura 34 - Natureza dos acidentes não-fatais do levantamento de riscos e acidentes

Dos 82 acidentes analisados, 29 (mais de 30%) tiveram, como consequência, fraturas nos visados. Cortes e lacerações (menos graves) estão assegurir, mas com uma percentagem já bem inferior à das fraturas. Amputações (muito grave) e lesões cranianas ou nos órgãos estão também significativamente representadas neste levantamento (fig. 34).

3.1.2. ACIDENTES NÃO-FATAIS: PARTE DO CORPO



Figura 35 - Partes do corpo atingidas nos acidentes não-fatais do levantamento de riscos e acidentes

Em relação às partes do corpo visadas, o peito e o cérebro são as mais atingidas nos casos analisados. Em muitos dos casos várias partes do corpo ficam danificadas sendo que as pernas, dedos e unhas e mesmo as restantes partes do corpo são significativamente visadas com uma diferença menor do que acontecia no estudo da natureza, no ponto 3.1.1.(fig. 35).

3.1.3. ACIDENTES NÃO-FATAIS: CAUSA



Figura 36 - Causas dos acidentes não-fatais do levantamento de riscos e acidentes

Em torno dos casos analisados, quase 50% destes foram reportados como atingimento por objetos e por outras quedas para níveis inferiores. Apesar da primeira referida ter (apenas) mais um caso no estudo, é de sublinhar que outras quedas (através da superfície ou abertura existente, de estrutura ou

equipamento em colapso, no mesmo nível e escorregamento ou tropeço) existem e podiam ser englobadas na mesma causa (fig. 36).

3.1.4. ACIDENTES FATAIS: CAUSA

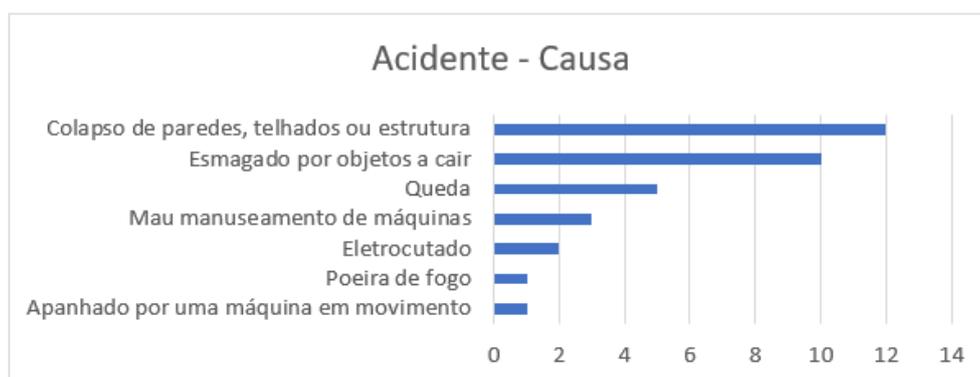


Figura 37 - Causas dos acidentes fatais do levantamento de riscos e acidentes

Nos acidentes fatais, as grandes causas resultantes do estudo (fig. 37) são o colapso de paredes, telhados ou estrutura e o esmagamento por objetos a cair. Quedas, mau manuseamento de máquinas, contatos elétricos, poeiras de fogo e máquinas em movimento completam o nosso estudo.

3.2. LEVANTAMENTO DE OUTROS RISCOS E MEDIDAS PREVENTIVAS RESPETIVAS

Antes de partir para a concretização do modelo e de modo a complementar o caso de estudo feito anteriormente em 3.1., optou-se por analisar e separar, a partir de outros relatórios obtidos em bases de dados disponíveis, outras grandes causas dos acidentes ocorridos em construção, com foco nos que possam ter decorrido num ambiente de demolição [22][39][40][42].

Criou-se então uma lista com essas causas e as medidas preventivas respetivas a adotar para cada uma dessas problemáticas.

A. EXPOSIÇÃO A CONDIÇÕES NÃO IONIZANTES

- Ter um tempo limite para exposição nestas condições;
- Impedir a exposição em condições acima de valores definidos;
- Em caso de trabalhos com máquinas, equipar com ar condicionado;

B. EXPOSIÇÃO A RUÍDO

- Ter um tempo limite para exposição nestas condições;
- Realizar pausas regulares pré-definidas;
- Utilizar proteção de ouvidos quando perto de ferramentas que criem ruídos;
- Manter as máquinas e ferramentas bem oleadas;
- Utilizar outro método que substitua o ruído;
- Sensibilizar, previamente, os intervenientes, em relação aos riscos.

C. EXPOSIÇÃO A VIBRAÇÕES

- Verificar a carga vibratória do equipamento;
- Usar luvas que diminuam a exposição à vibração;
- Usar um assento que não transmita vibrações ao trabalhador;
- Realizar pausas regulares pré-definidas;
- Sensibilizar, previamente, os intervenientes, em relação aos riscos.

D. EXPOSIÇÃO A POEIRAS

- Utilizar máscaras de proteção;
- Em casos de contacto corrente, utilizar vigilância médica;
- Sensibilizar, previamente, os intervenientes, em relação aos riscos.

E. EXPOSIÇÃO A SUBSTÂNCIAS TÓXICAS

- Utilizar máscaras de proteção;
- Substituir por processos menos agressivos;
- Diminuir o tempo de exposição;
- Estabelecer regras de segurança e higiene pessoal para os trabalhadores;
- Sinalizar as áreas em questão;
- Ventilar o local ou a máquina;
- Limitar o número de pessoas expostas;
- Em casos de contacto corrente, utilizar vigilância médica;
- Sensibilizar, previamente, os intervenientes, em relação aos riscos.

F. ATROPELAMENTO

- Caminho de circulação ou barreiras para o veículo e para pessoas;
- Condutores apenas com formação necessária;
- Visita à obra antes de entrar no local com o veículo;
- Limites de velocidade assinalados e respeitados;
- Sinais de perigo em zonas necessárias;
- Proteção contra queda de objetos;
- Comunicar a todos os trabalhadores os trabalhos a decorrer com o veículo;
- Evitar manobras dentro da obra, sendo que o ideal passa por um caminho único.;
- Sensibilizar, previamente, os intervenientes, em relação aos riscos.

G. CAPOTAMENTO

- Usar o cinto de segurança;
- Ter um sistema anti tombo (ROPS – *Rollover Protective Structure*);
- Utilizar capacete;
- Sensibilizar, previamente, os intervenientes, em relação aos riscos.

H. QUEDA DE NÍVEL

- Dispor de guarda-corpos;
- Manter uma distância suficiente das margens do edifício;
- Usar arnês de segurança ou cinto anti queda nos trabalhadores;
- Prender o arnês a um elemento fixo que consiga suportar o peso do trabalhador;
- Realizar pausas regulares pré-definidas;
- Sensibilizar, previamente, os intervenientes, em relação aos riscos.

I. QUEDA DE OBJETOS POR DESABAMENTO

- Descer os entulhos com calhas;
- Juntar as peças maiores e enviar em conjuntos, amarradas;
- Evitar execução de tarefas simultâneas que possam dar aso a acidentes;
- Sensibilizar, previamente, os intervenientes, em relação aos riscos.

J. QUEDA DE OBJETOS EM MANIPULAÇÃO

- Garantir que o funcionário tem a formação para o trabalho;
- Não perder o contacto visual com cargas a movimentar;
- Garantir que as cargas a ser movimentadas estão bem amarradas;
- Usar outro trabalhador para auxiliar a movimentação de cargas, se necessário;
- Usar avisos sonoros em alguns casos necessários, como guias;
- Evitar execução de tarefas simultâneas que possam dar aso a acidentes;
- Sensibilizar, previamente, os intervenientes, em relação aos riscos.

K. CONTATOS ELÉTRICOS

- Garantir que foram cortados os serviços de eletricidade;
- Verificar a conservação das instalações elétricas;
- Usar sistemas de corte automático com recurso a disjuntores diferenciais de alta sensibilidade;
- Não usar equipamentos elétricos em meios húmidos;
- Usufruir de extensões apropriadas;
- Sensibilizar, previamente, os intervenientes, em relação aos riscos.

L. COLAPSO DE PAREDES

- Garantir que a técnica de demolição é a adequada;
- Fazer uma avaliação de estabilidade do elemento durante as diversas fases de demolição;
- Isolar a área de trabalho;
- Garantir que o trabalhador tem a formação necessária;
- Verificar correntemente se o elemento apresenta fendas ou deslocamentos excessivos;
- Sensibilizar, previamente, os intervenientes, em relação aos riscos.

M. COLAPSO DE LAJES

- Garantir uma avaliação estrutural após demolição de paredes consideradas divisórias;

- Monitorizar constantemente o edifício para observar fendas ou deformações excessivas;
- Analisar a função e o comportamento das paredes a demolir;
- Realizar um projeto de sustentação de apoio à laje;
- Sensibilizar, previamente, os intervenientes, em relação aos riscos.

N. QUEDA DE MÁQUINA

- Garantir que todos os elementos pelos quais a máquina passa, são avaliados e suportam o peso;
- Garantir que o manobrador tem a formação necessária;
- Linhas de circulação para a máquina;
- Evitar manobras desnecessárias;
- Sensibilizar, previamente, os intervenientes, em relação aos riscos.

O. USO DE EQUIPAMENTO DE CORTE

- Garantir que o equipamento e o elemento cortante estão de acordo mediante as especificações dadas por ambos;
- Garantir que o manobrador tem a formação necessária;
- Garantir que o objeto cortante é posto com a máquina desligada;
- Garantir que o equipamento e o elemento cortante se encontram em estados adequados;
- Garantir que o transporte até ao início do trabalho é feito com a máquina desligada e que esta não é ligada sem estar em repouso;
- Sensibilizar, previamente, os intervenientes, em relação aos riscos.

3.3. LEVANTAMENTO DE RISCOS E MEDIDAS PREVENTIVAS PARA INSERÇÃO NO PROGRAMA

Associando ambos os dados levantados anteriormente e percebendo o que poderia ser possível de fazer sentir ao utilizador no sentido de sensibilizar e formar no apoio à segurança em obra, foram selecionadas as seguintes prevenções para diferentes casos ocorridos, selecionados de acordo com os dois pontos anteriores deste capítulo, com as causas de acidentes mais relevantes e outras que se achou serem imprescindíveis ter em conta, devido à sua presença constante [23].

A. ATINGIDO POR OBJETOS

Podendo ser objetos que atingem devido ao desabamento ou demolição de alguma parte da estrutura ou de objetos a serem manipulados. A falta de EPI pode ser uma causa para acidentes deste mote.

B. QUEDA DE NÍVEL

A falta de guarda-corpos ou de uma linha que obrigue o funcionário a manter-se a uma distância da margem do edifício, a falta do uso de arnês de segurança ou da segurança deste no que toca ao elemento usado para suportar o trabalhador, tornam-se grandes causas para acidentes ocorridos.

C. LESÃO NO USO DE EQUIPAMENTO DE CORTE

Devido ao equipamento e o elemento cortante não estarem em condições adequadas ou não seguirem as especificidades um do outro, pela falta de formação do manobrador ou pelo uso do mesmo em condições arriscadas.

D. QUEDA ATRAVÉS DE SUPERFÍCIES OU ABERTURAS EXISTENTES

Falta de sinalização de aberturas existentes ou zonas de perigo pode originar esta causa.

E. COLAPSO DE PAREDES, TELHADO OU ESTRUTURA

A falta ou má avaliação da estrutura, bem como a adiada avaliação a nível de fendas e deformações ou erro no que toca à ordem da demolição de elementos, podem contribuir para este.

F. ATROPELAMENTO, COLISÃO OU MAU MANUSEAMENTO DE MÁQUINAS

Pode ser originado pela falta de formação dos manobreadores, falta ou desrespeito das linhas de circulação, tanto numa via como noutra, condições de má visibilidade, execução de manobras desnecessárias e perigosas ou má organização de trabalhos e espaço.

G. CONTATOS ELÉTRICOS

Devido ao não cortar desses serviços e a equipamentos e cabos desprotegidos, bem como uso de certos equipamentos em ambientes húmidos.

H. PERDA OU DANIFICAÇÃO DOS SENTIDOS DEVIDO A RUÍDOS, GASES, VAPORES OU POEIRAS

Devido a falta de organização horária, falta de EPI e exposição prolongada a estas substâncias.

4

DESENVOLVIMENTO DO AMBIENTE VIRTUAL COM CENÁRIOS POTENCIALMENTE PERIGOSOS PARA TRABALHOS DE DEMOLIÇÃO

4.1. INTRODUÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DO AMBIENTE VIRTUAL

O cérebro humano não consegue distinguir uma experiência real de uma experiência realística de realidade virtual [36]. Conseqüentemente, os sensores de memória instalados no cérebro serão capazes de ajudar o ser humano em situações de risco de uma maneira diferente no futuro, tornando as experiências mais seguras [36].

Este modelo foi criado de modo a criar emoções aos utilizadores para que os mesmos sentissem que estão numa experiência a mais próxima da realidade possível e fazê-los sentir os riscos abordados para que, na sua memória cerebral, ficassem essas ideias e se sentissem mais sensibilizados com elas de modo a que, futuramente, em obras de construção reais, se sentissem mais à vontade a evitar esses comportamentos [36].

Para isso, após o estudo e revisão de alguns assuntos críticos e importantes para a realização desta dissertação, nomeadamente nos capítulos 2 e 3, iniciaram-se os trabalhos em ferramentas escolhidas e identificadas tendo em contas as necessidades previstas, nomeadamente de um software de modelação (Revit), de um software que permitisse criar o ambiente virtual (Unity 3D) e, conseqüentemente ao ver a necessidade de introduzir objetos no programa, um software que permitisse fazer a conversão de objetos para o programa (Sketchup).

A intenção passaria por ter um ambiente realista, inicialmente desenhado e executado com a ajuda dessas ferramentas, conduzido à introdução das situações e problemáticas assinaladas no capítulo 3, de forma a criar um instrumento com cenários potencialmente perigosos em meios de demolição.

Para a elaboração deste ambiente, devem então ser destacadas algumas ferramentas que foram necessárias e utilizadas:

- Revit – Ferramenta de modelação da Autodesk. Foi usada na elaboração do modelo do edifício utilizado no modelo. Apesar deste ter sido feito anteriormente, foi utilizado o Revit para fazer alguns ajustes e a exportação do mesmo;
- Unity 3D – Software de criação de modelos 3D, compatível com imensos formatos que podem ser exportados através de outras aplicações BIM e que fornece ferramentas de desenvolvimento de diversas interfaces, utilizado neste caso como desenvolvedor de um projeto que permitiria ao usuário poder navegar por um modelo BIM em primeira pessoa [33];
- SketchUp – Este programa foi utilizado para a exportação da maior parte dos objetos utilizados ao longo do modelo, tirando o terreno, *player*, edifícios, ruas, intervenientes e outros feitos no programa em si. A maior parte destes foram obtidos através da biblioteca 3D Warehouse da SketchUp;
- Mixamo – Esta ferramenta foi utilizada na exportação dos modelos dos intervenientes e nas suas animações.

4.2. USO DE AMBIENTE VIRTUAL COMO COMPONENTE DE APOIO

Ferramentas tecnológicas de computador, na formação e aprendizagem da indústria da construção devem ter realismo, atividade, interação, incerteza e inovação, avaliação de desempenho, interface, criatividade, diversão e um ambiente de aprendizagem seguro. Com base nisso, os fatores de avaliação sugeridos por um estudo por parte de Ahn, S., Kim, T., Park, Y., Kim J. (2020) [38] na melhoria da eficácia de formações na segurança utilizando simulações com BIM 3D, avaliam a adequação de um método de formação de segurança em obra através de modelos de realidade virtual 3D através dos seguintes parâmetros [38]:

- a. Realismo: o método de formação reflete o local de forma realista?

Esta questão determina se as características e fatores ambientais no método de formação para a segurança a partir de um modelo de realidade virtual 3D, são desenvolvidos com realismo, de modo a dar experiências concretas.

- b. Treino adequado: o treino realizado na formação é adequado para o trabalho questão?

A questão especifica se o treino de segurança é adequado para a aplicação no local e entrega em termos de relevância e aplicabilidade do conteúdo para os locais e trabalhos de construção específicos.

- c. Aprendizagem ativa: o ensino promove a participação ativa do utilizador?

Esta questão diz respeito à participação e interação com os utilizadores. O objetivo é perceber se a formação se foca e promove o trabalhador a ter uma participação ativa na obtenção do conhecimento, em comparação com os treinos convencionais.

- d. Prazer: a formação estimula o interesse dos utilizadores?

Questão que procura perceber se o modelo de realidade virtual estimula o interesse dos utilizadores e, assim, lhes suscita interesse na aquisição de novos conhecimentos, em comparação aos treinos convencionais.

4.3. IDEIAS BASE UTILIZADAS NA CONCRETIZAÇÃO DO AMBIENTE VIRTUAL

4.3.1. CASOS INSERIDOS

De acordo com os pontos do capítulo anterior e de modo a usar os casos pretendidos, separaram-se alguns cenários e a abordagem dentro do contexto do programa que fizeram deste um programa com cenários perigosos para trabalhos de demolição.

Tabela 3 – Cenários e abordagens inseridas no programa

CENÁRIO	ABORDAGEM
Trabalhos em altura	Possibilidade de queda de nível em escadas e pisos superiores.
Manuseamento de equipamentos e máquinas	Perigo de exposição de ruídos, corte, objetos projetados, esmagamento.
EPI	Capacete de proteção, colete refletor, botas resistentes, auscultadores de proteção auditiva, óculos de proteção e arnês de segurança.
EPC (Equipamentos de proteção coletiva)	Cones, barreiras, linhas de circulação e guarda-corpos.
Demolição de elementos estruturais	Perigos de colapso
Contactos elétricos	Perigos de eletrocutar

Uso de equipamentos de corte	Vários diâmetros podendo ser selecionados, com risco de lesões graves devido a mau uso.
Organização da obra	Risco de tropeçamento, escorregamento, colisão, esmagamento ou queda de nível.

4.3.2. PLAYER - FPS

Num modelo de realidade virtual, sendo o objetivo que o utilizador sinta que está num ambiente real, utilizou-se um controlador em modo *First Person Shooter* obtido na *Assets Store* do Unity 3D (fig. 38). Em algumas situações foram alteradas algumas características, bem como a adição de um corpo para que, caso o utilizador olhe para outros ângulos que não o frontal, consiga sentir-se mais dentro do modelo.

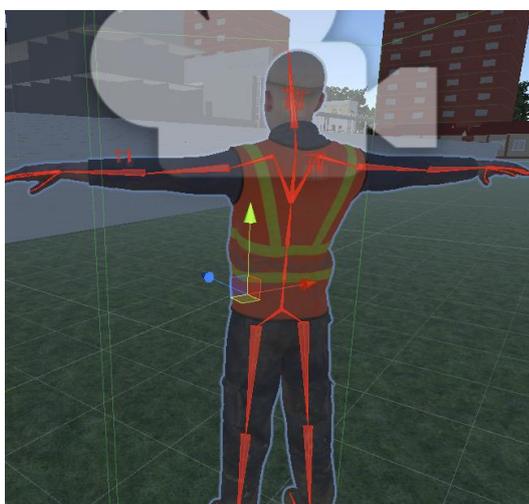


Figura 38 - *Player* utilizado, visão exterior [captura de tela no Unity 3D]

4.3.3. INSERÇÃO DE OBJETOS

Além do modelo criado a partir de outra ferramenta BIM, a maior parte dos objetos foram obtidos a partir da biblioteca *3D Warehouse* da *SketchUp* (fig. 39). Depois de feito o *download* dos objetos pretendidos, estes seriam abertos no programa *SketchUp Pro 2021* (fig. 40), em alguns casos editados, e exportados em formato *fbx* para se poder utilizar no modelo. Outros objetos, em alguns casos, foram criados dentro do próprio programa para complementar algumas necessidades não encontradas online ou que tinham alguns erros. Alguns dos objetos obtidos na *3D Warehouse* foram:

- Arnês de segurança;
- Botas de biqueira de aço;
- Contentores variados;
- Disco diamantado;
- Estante;
- Material com textura de poeira;
- Martelo pneumático;
- Protetor de ouvidos;
- Mesas variadas;
- Cabines;

- Serra elétrica;
- Poste de eletricidade;
- Quadro elétrico;
- Grua;
- Carrinhas variadas;
- Casas variadas;
- Protetor de cara;
- Capacete;
- Colete;
- Barreiras variadas;
- Guarda-corpos;
- Cones;
- Andaimes variados;
- Escavadoras;
- Betoneira;
- Outros.

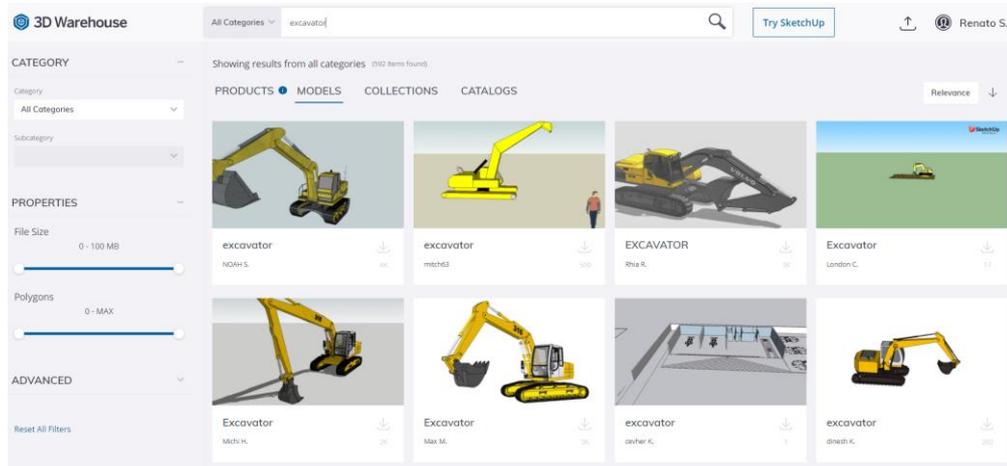


Figura 39 - 3D Warehouse da SketchUp [captura de tela]

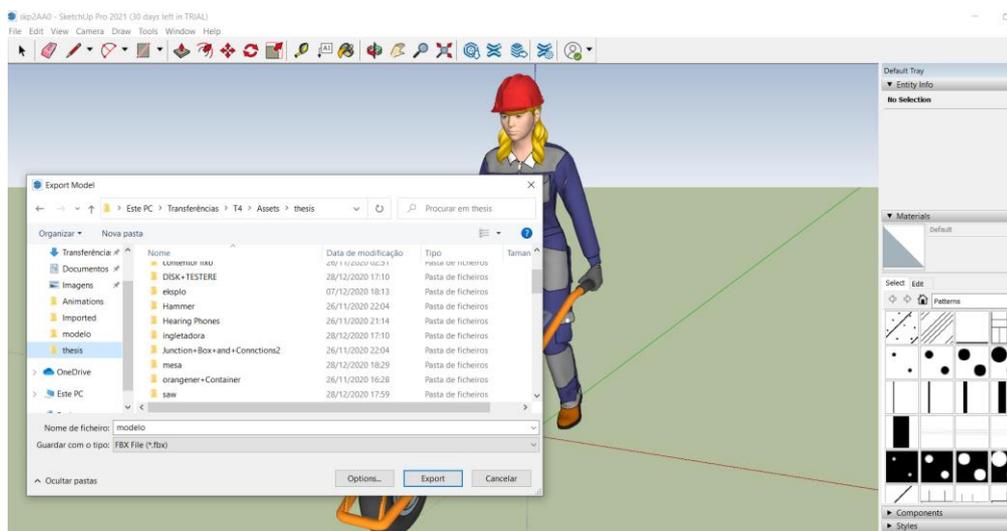


Figura 40 - Exportação para .fbx a partir do SketchUp Pro 2021 [captura de tela]

4.3.4. BOX COLLIDER OU MESH COLLIDER

A maior parte dos objetos obtidos e criados chegavam ao programa sem qualquer solidez a nível da interação com o utilizador. Para se obter essa solidez, cria-se uma *Box Collider* (fig. 41) ou uma *Mesh Collider* (fig. 42). A *Mesh Collider* utiliza-se em casos específicos, como escadas, em que se pretende que a solidez cubra o objeto exatamente como ele é, sendo que é necessário ter em atenção que esta ferramenta irá sobrecarregar muito mais o programa. A *Box Collider* usa-se nos casos e, que não se precisa de tanto rigor poligonal, mas sim de cobrir uma certa área retangular.

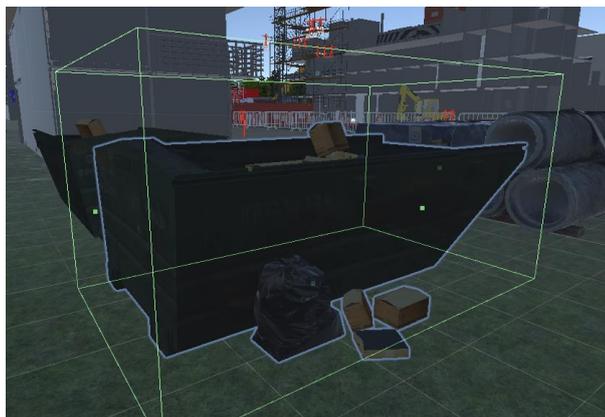


Figura 41 - Exemplo de *Box Collider* utilizado [captura de tela no Unity 3D]



Figura 42 - Exemplo de *Mesh Collider* utilizado [captura de tela no Unity 3D]

4.3.5. TRIGGER

Utilizado para a ativação de *scripts* (fig. 43), juntamente com algumas classes possíveis como

- *OnTriggerEnter* – Quando há contacto com a caixa definida;
- *OnTriggerStay* – Quando há contacto permanente com a caixa definida;
- *OnTriggerExit* – Quando deixa de haver contacto com a caixa definida.

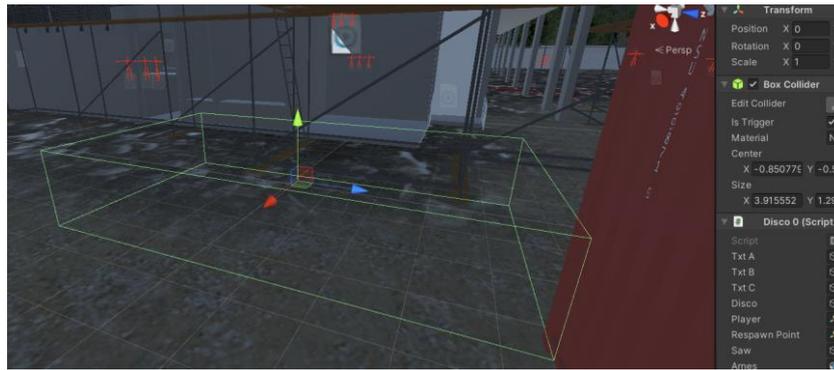


Figura 43 - Exemplo de *Trigger* utilizado [captura de tela no Unity]

4.3.6. RESPAWN

Através da class *Transform* que guarda o posicionamento de um objeto, é possível modificar a posição do nosso *player* para outra posição definida.

4.3.7. TIMER

Este processo foi utilizado, ao longo do programa, em fases em que se quer ativar algum processo, mas não imediatamente. O *timer* foi utilizado em casos como quando o utilizador estaria em situações de perigo para, primeiramente, avisar, para que este pudesse sair dessa situação. Passado alguns segundos, se este continuasse em perigo, o programa usava um *respawn* que punha o *player* numa posição anterior mais indicada.

4.3.8. MENUS

Este modelo conta com dois menus, um principal (fig. 45) e um de pausa, o primeiro usado com uma *Scene* diferente do programa em si, ligada por programação à outra. O objeto *EventSystem* é o que proporciona ao programa que possa trabalhar através de botões e interações com os cliques do utilizador nas opções do menu (fig. 44). Foi criado um *GameObject* auxiliar que fica apenas com o *Script* criado para dar aos botões as interações necessárias. Depois da criação destes elementos, bastou dar aos botões as animações e destinos necessários quando clicados.

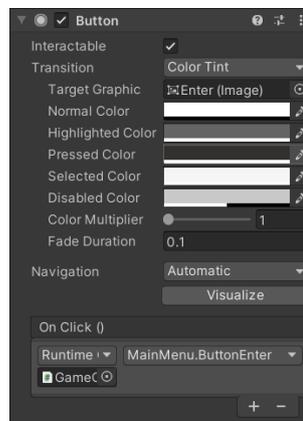


Figura 44 - Exemplo de edição de botão [captura de tela no Unity 3D]

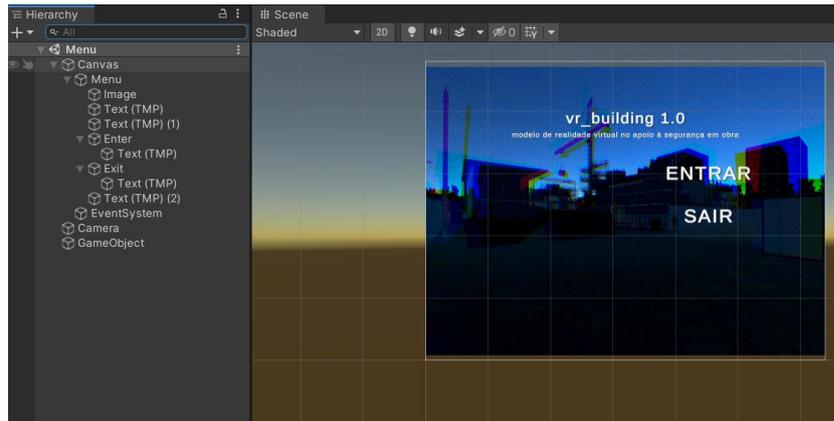


Figura 45 - Scene do menu principal [captura de tela no Unity 3D]

4.4. ENVOLVENTE VISUAL

De modo a criar uma envolvente visual que fizesse o utilizador sentir um ambiente o mais próximo da realidade possível, foram adicionados elementos de acordo com possíveis realidades experienciadas ou que poderiam ser experienciadas e tidas em conta como realidade (fig. 46 e 47).



Figura 46 - vr_building 1.0: Envolvente visual

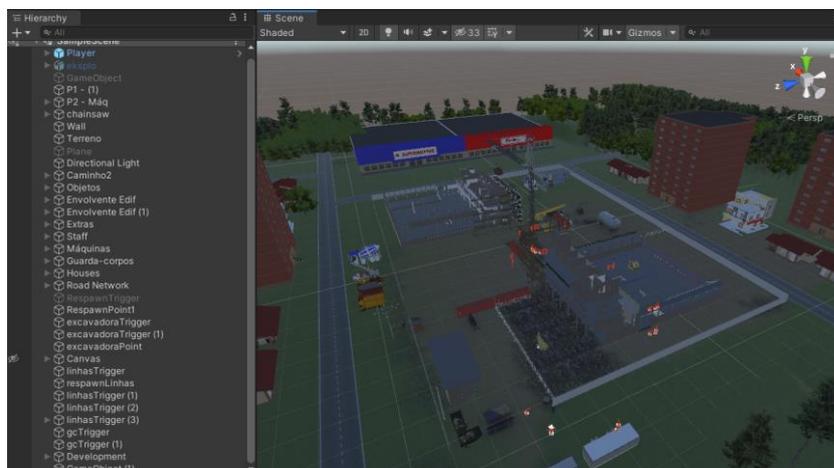


Figura 47 - vr_building 1.0: Vista superior e objetos utilizados

4.4.1. EDIFÍCIO

Para ter uma base de elementos construtivos, decidiu-se inserir um edifício de grande porte. O edifício utilizado foi baseado no edifício H da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, criado anteriormente, pelo autor, em conjunto com alguns colegas e, de modo a aproximar-se do projeto pretendido, editado e em grandes partes cortado. Foi criado através do programa Revit da Autodesk e exportado em formato *fbx* de modo a poder-se utilizar no Unity 3D (fig. 48).

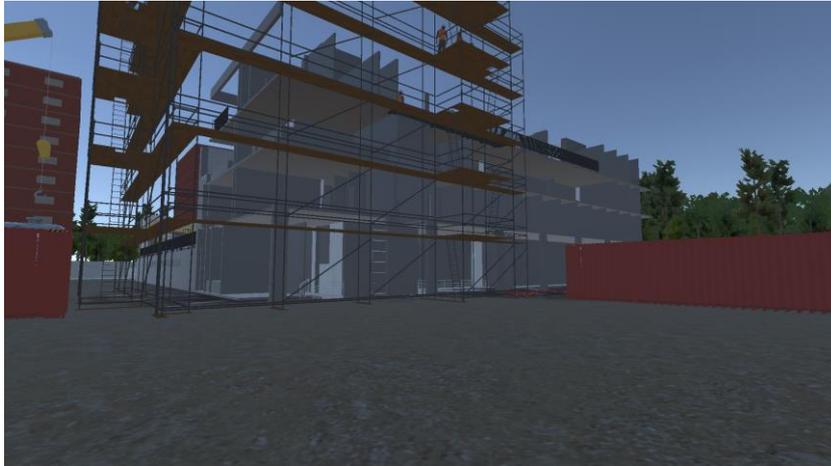


Figura 48 - vr_building 1.0: Edifício

4.4.2. TERRENO

É possível com as ferramentas de *Terrain* do Unity 3D utilizar diferentes solos e elementos do terreno. Em torno do nosso modelo foram utilizados muitos elementos para enriquecer o ambiente e não dar ao utilizador a possibilidade de não se sentir dentro deste. Além desses elementos, diferentes solos foram utilizados no local da obra, nomeadamente numa zona perto do edifício onde atua uma escavadora (fig. 49).

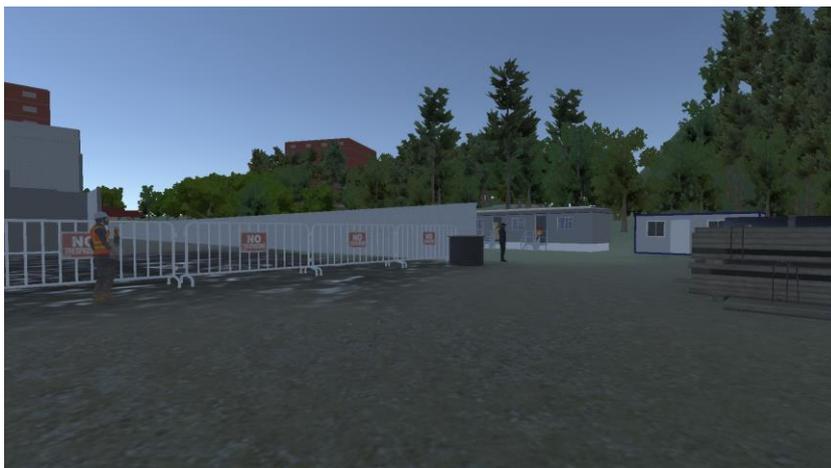


Figura 49 - vr_building 1.0: Terreno

4.4.3. CABINE

Obtidos através da biblioteca *3D Warehouse* da SketchUp, estes objetos são fundamentais como inicialização da simulação de modo a que o utilizador tenha um ponto de partida e comece logo por uma parte fundamental da segurança: os EPI (fig. 50 e 51).



Figura 50 - vr_building 1.0: Cabine (exterior)



Figura 51 - vr_building 1.0: Cabine (interior)

4.4.4. MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

Obtidos através da biblioteca *3D Warehouse* da SketchUp, estes objetos além de algumas interações possíveis, trazem credibilidade e realidade ao modelo. Em grande parte, foi necessário mudar a escala, o posicionamento, as *box colliders* que ditam a caixa real na qual o utilizador baterá no objeto.

Dentro destes inserem-se:

- Escavadoras (fig. 52);
- Andaimos;
- Grua (fig. 53);
- Contentores;
- Cones;
- Placas de madeira;
- Tubos de betão;

- Cabos de fibra;
- Postes de eletricidade;
- Empilhadora;
- Disco diamantado;
- Outros.

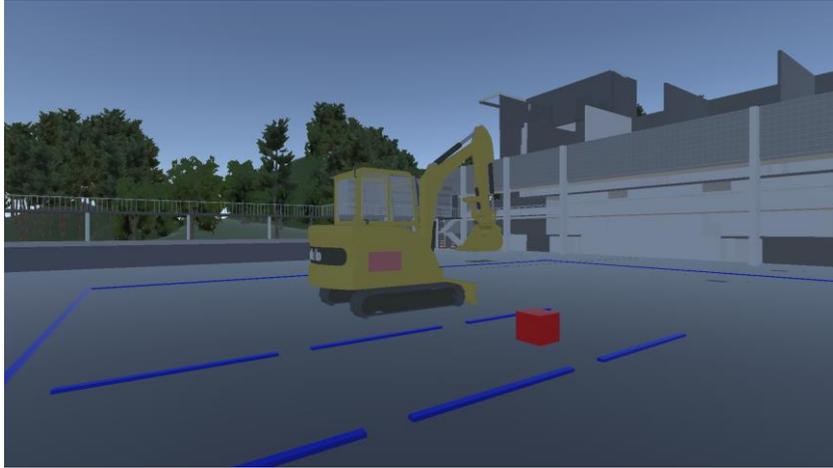


Figura 52 - vr_building 1.0: Exemplo de Maquinaria



Figura 53 - vr_building 1.0: Grua

4.4.5. FUNCIONÁRIOS

Foram postos, ao longo do modelo, cerca de 35 funcionários em diferentes locais e fases do programa (fig. 54).



Figura 54 - vr_building 1.0: Alguns funcionários

4.4.6. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Inseridos no contexto da segurança, estes situam-se na cabine inicial onde o utilizador poderá obtê-los, nomeadamente: capacete, colete, botas, máscara e auscultadores (fig. 55).



Figura 55 - vr_building 1.0: Equipamentos de proteção individual

4.4.7. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO COLETIVA

Nomeadamente guarda-corpos, barreiras, linhas de circulação e cones posicionados consoante a segurança necessária (fig. 56).

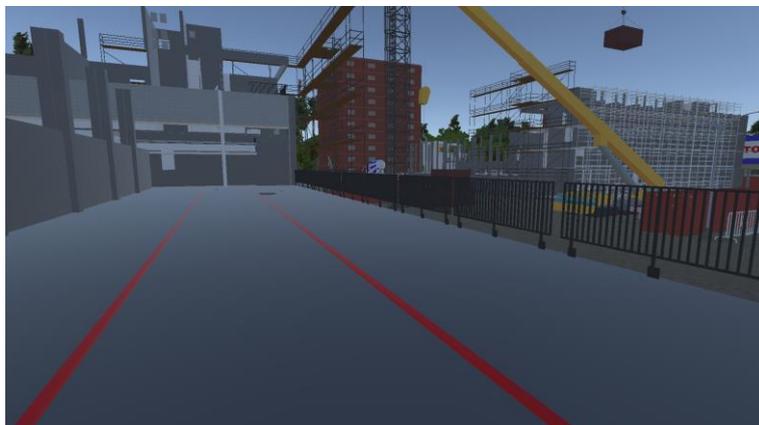


Figura 56 - vr_building 1.0: Linhas de circulação e guarda-corpos

4.4.8. RUAS

Utilizando a importação EasyRoads3D, pacote gratuito da Assets Store, foi dado ao modelo, ao longo do que se achou realista, uma estrada simples (fig. 57).



Figura 57 - vr_building 1.0: Rua inserida através do EasyRoads3D

4.4.9. CASAS VIZINHAS

Para efeitos visuais foram adicionadas algumas casas e prédios à envolvente em torno do modelo (fig. 58).



Figura 58 - vr_building 1.0: Edifícios obtidos na 3D Warehouse da SketchUp

4.5. SCRIPTS

Script (em português Guião) é o termo técnico utilizado para o conjunto de instruções em código, escritas em linguagem de computador. Depois de ter uma envolvente visual que dê sensações de realidade ao usuário, é importante que este se mantenha no mundo virtual e que sinta estímulos que possam dar a ideia de que o que acontecer na simulação será levado, posteriormente, como exemplo para o mundo real. Para isso, a utilização de *Scripts* é essencial. Estes são escritos na linguagem C#Sharp do Microsoft Visual Studio, inserido já em contexto do Unity 3D. Ao longo da criação do

modelo foram elaborados mais de 20 *scripts* (fig. 59) com diferentes propósitos: menus, ativação de acontecimentos, *player*, limite de animações, troca de câmaras, ativação e desativação de objetos, etc.

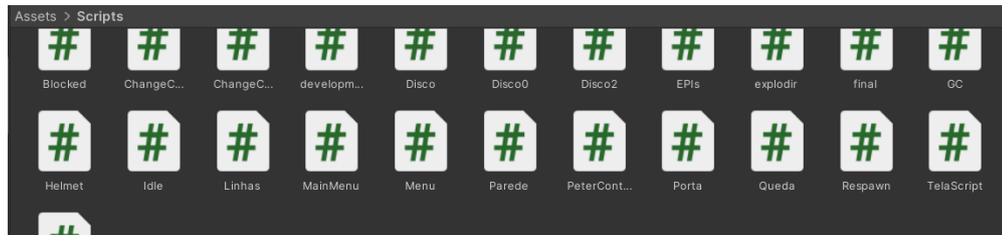


Figura 59 - Lista de alguns *scripts* utilizados

4.5.1. FIRST PERSON CONTROLLER (“RIGIDBODY FIRST PERSON CONTROLLER”)

Obtido através da biblioteca Assets Store do Unity 3D, através da importação dos *Standard Assets*, em modo *First Person Shooter*. É este *script* que permite ao utilizador movimentar-se e ter um corpo rígido dentro do programa.

4.5.2. FIRST PERSON CONTROLLER (“VEHICLE”)

Este foi criado como uma cópia do anterior, de forma apenas a mudar a velocidade e algumas características e controlos quando o utilizador entra numa máquina.

4.5.3. LIMITES DO FUNCIONÁRIO A (“BLOCKED”)

Criado para limitar a circulação de um funcionário A. Este usufrui de dois objetos, em 2 pontas diferentes, que indicam ao funcionário A para onde vai, a que velocidade e como deve fazer a rotação quando atinge esse ponto.

4.5.4. TROCA DE CÂMARA 1 (“CHANGECAM”)

Este *script* é utilizado na parte 3 da simulação. Quando o utilizador chega a um certo objeto, ativa-se um *trigger* que muda o *player* para o *First Person Controller* dentro do veículo, com uma velocidade e possibilidades diferentes. Além disso, ativa o próximo *script* (Troca de câmara 2), e uma seta interativa que indica ao utilizador para onde se deve dirigir, bem como apaga o caminho de desenvolvimento que o levou até ali.

4.5.5. TROCA DE CÂMARA 2 (“CHANGECAM1”)

Quando atinge o *trigger* indicado, um objeto que representa uma parte da cobertura desaparece, fazendo com que o utilizador e o veículo onde se encontra, caiam para o piso inferior, ativando o *script* seguinte (Queda).

4.5.6. DESENVOLVIMENTO (“DEVELOPMENT”)

De modo a que o utilizador possa perceber o decorrer da simulação e para onde ir, foi criado um caminho visível que vai desaparecendo à medida que se vai avançando.

4.5.7. EPI (“EPIS”)

No início da simulação, este script desbloqueia a entrada para a obra caso se verifique que o utilizador obteve os equipamentos de proteção individuais indicados na cabine. Caso não se verifique, aparecerá um aviso.

4.5.8. DESABAR (“EXPLODIR”)

Serve para inicializar o efeito visual iniciado pelo desabamento da máquina da cobertura para o piso inferior.

4.5.9. GUARDA-CORPOS - AVISO (“GC”)

Se, devido à falta de guarda-corpos, o utilizador cair da cobertura ou outro piso, aparecerá um aviso e o utilizador será movido para uma posição pré-definida.

4.5.10. EPI - OBJETOS (“HELMET”)

Este *script* faz com que, na recolha do objeto, este se apague, se modo a dar ao utilizador a ideia que o obteve.

4.5.11. LINHAS DE CIRCULAÇÃO – AVISO (“LINHAS”)

O utilizador deve respeitar as linhas de circulação impostas, caso contrário, aparecerá um aviso que, passados 3 segundos, levarão o utilizador a uma posição segura pré-definida.

4.5.12. MENU PRINCIPAL (“MAINMENU”)

O *script* do menu principal controla o mesmo, permitindo, ao utilizador, entrar no modelo ou sair da aplicação (fig. 60).



Figura 60 - vr_building 1.0: Menu Principal

4.5.13. MENU DE PAUSA (“MENU”)

Criado para que o utilizador possa parar, sair ou reiniciar a simulação em combinação com o menu principal, através da tecla “Esc” (fig. 61).



Figura 61 - vr_building 1.0: Menu de Pausa

4.5.14. QUEDA DA PAREDE (“PAREDE”)

Em conjunto com a animação criada, este script ativa essa mesma animação que dará ao utilizador a iniciação da fase seguinte. Após a queda da parede, aparecerá um texto de sensibilização ao utilizador acerca do que poderá ter motivado o acontecimento sendo que, após a leitura deste, o utilizador poderá clicar na tecla “E” para avançar.

4.5.15. INTERAÇÃO DO FUNCIONÁRIO A (“PETERCONTROLLER”)

Através deste código, é criado uma área à volta do funcionário indicado que, ao utilizador se aproximar deste, fará com que o mesmo pare o seu movimento e se direcione para o utilizador. No caso de sair dessa área, o funcionário volta ao que estava anteriormente a fazer.

4.5.16. PORTA DO QUADRO ELÉTRICO (“PORTA”)

Ativa, através de aproximação, um *trigger* que abre a porta do quadro elétrico. Inicialmente, essa interação desenvolve também o aparecimento de um texto que pede ao utilizador para desligar a eletricidade através da tecla “E”.

4.5.17. QUEDA DA MÁQUINA (“QUEDA”)

Este *script* é ativado quando o utilizador cai com uma máquina, ativando uma explosão de poeiras e materiais, ofuscando a visão do utilizador e, passados 3 segundos, ativando um texto de sensibilização ao utilizador acerca da queda de equipamentos em coberturas em construção. O utilizador deverá ler e poderá avançar através da tecla “E” para a próxima fase.

4.5.18. ESCOLHA DO DISCO ADEQUADO (“DISCO”)

Este *script* dá ao utilizador, em quatro locais diferentes, a oportunidade de escolher entre quatro discos com diferentes diâmetros. Se o utilizador escolher um, automaticamente esse será desativado da vista e serão ativados os outros três, sendo que é possível mudar as vezes que quiser.

4.5.19. ESCOLHA DE DISCO E SUBIDA AO ANDAIME (“DISCO0”)

Neste *script*, o utilizador terá uma mensagem, inicialmente, de indicação para a recolha de um disco diamantado de acordo com o necessário. Para proceder para a próxima fase, este deve ter escolhido o disco indicado e deve ter recolhido o arnês de segurança, disponível também perto dele, devido à indicação que irá fazer um trabalho num andaime com potencial perigo de queda.

4.5.20. FUNCIONAMENTO DO DISCO DIAMANTADO (“DISCO2”)

No clique da tecla “E”, o utilizador ativa e desativa o disco diamantado.

4.5.21. FIM DA SIMULAÇÃO (“FINAL”)

No desenvolver da fase 5 (explicada no próximo capítulo), quando o jogador entra numa certa área, este script faz com que o utilizador apareça noutra posição indicada.

4.6. CONTROLADORES - ANIMAÇÕES

É importante, para o utilizador, além dos scripts, que farão as animações (fig. 62) e controladores (fig. 63) ter início em aspetos pré-definidos da simulação, que estas animações estejam presentes para dar uma sensação de vida no momento, no presente, na realidade em que, nessa fase, o utilizador se insere. Para isso, no Unity 3D, as animações são controladas através de controladores de animação, identificados nos seguintes pontos.

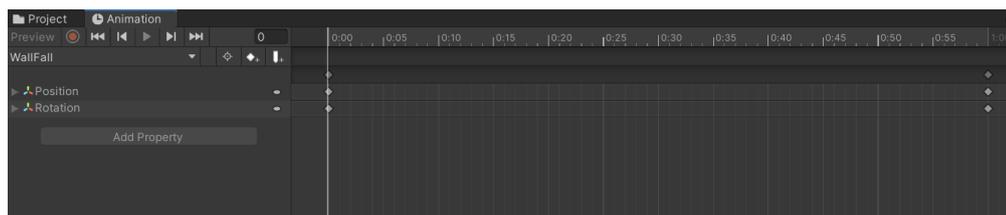


Figura 62 - vr_building 1.0: Exemplo de *timeline* de animação [captura de tela no Unity]



Figura 63 - Lista de alguns controladores e animações [captura de tela no Unity]

4.6.1. SETA DA FASE 3 (“MESH1” – “ARROW1”)

Não usa nenhuma variável tendo em conta estar em constante animação e é utilizada para indicar ao utilizador um destino (fig. 64).

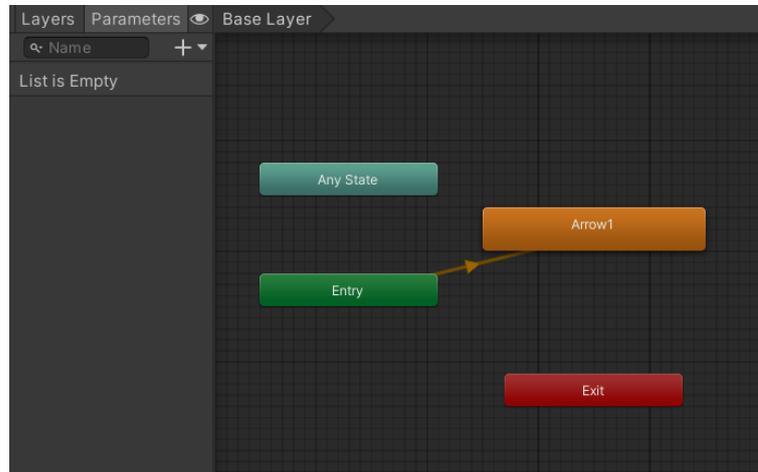


Figura 64 - vr_building 1.0: Controlador de animação “Mesh1” [captura de tela no Unity]

4.6.2. DESABAMENTO (“EKSPLO” – “EXPLO”)

Este controlador indica o início do aparecimento das poeiras e ruína através de uma variável *bool* (“Explode”) (fig. 65).

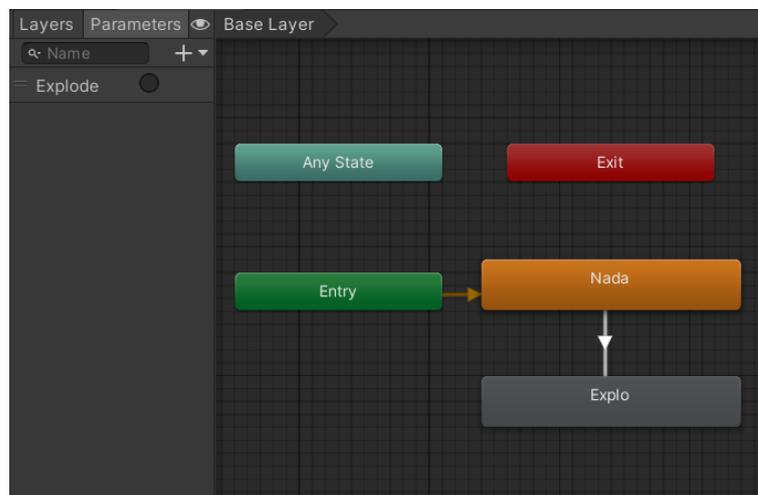


Figura 65 - vr_building 1.0: Controlador de animação "Eksplo" [captura de tela no Unity]

4.6.3. FADE (“FADE” – “FADE_IN” & “FADE_OUT”)

As animações “Fade_in” e “Fade_out” estão ligadas entre si e são ativadas através de uma variável *trigger* (“Fade”) (fig. 66).

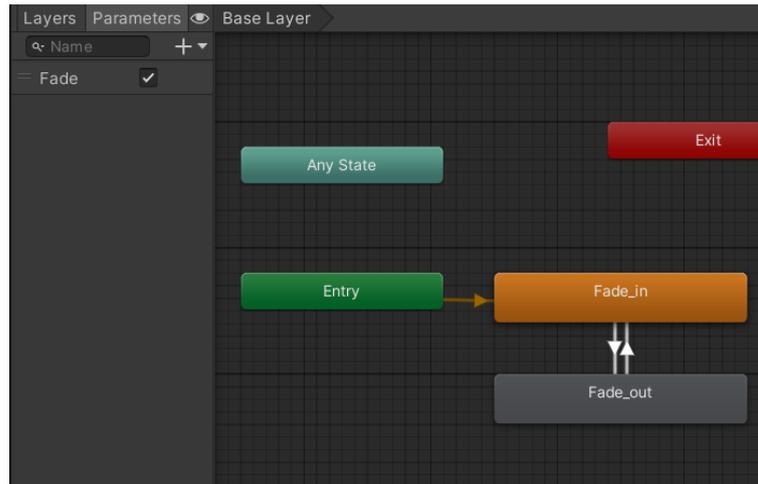


Figura 66 - vr_building 1.0: Controlador de animação "Fade" [captura de tela no Unity]

4.6.4. ABRIR E FECHAR DA PORTA DO QUADRO ELÉTRICO (“PORTA” – “PORTA” & “PORTACLOSE”)

Usa apenas um parâmetro do estilo *trigger* (“Aberta”) para indicar a abertura da porta (em que o *script* indica que acontecerá quando o utilizador se encontrar perto do objeto) (fig. 67).

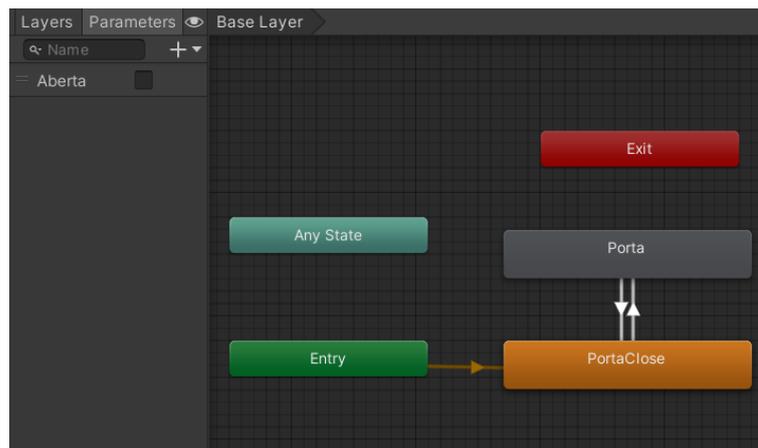


Figura 67 - vr_building 1.0: Controlador de animação "Porta" [captura de tela no Unity]

4.6.5. QUEDA DA PAREDE (“CUBE (1)” – “WALLFALL”)

Usa 1 parâmetro de controlo (“CairParede”) *bool* que pode ser dado como ativo e inativo para dar a animação da queda da parede (fig. 68).

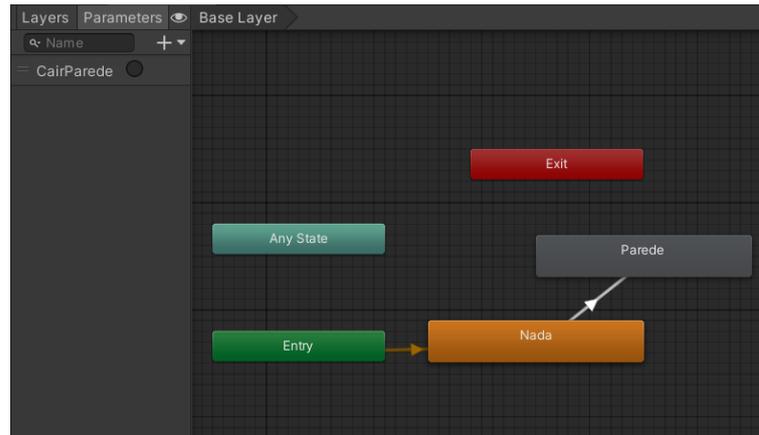


Figura 68 - vr_building 1.0: Controlador de animação "Cube (1)" [captura de tela no Unity]

4.6.6. MOVIMENTAÇÃO DO FUNCIONÁRIO A (“PETE” – “STANDING”, “WALKING” & “TURN180”)

Contém 3 parâmetros de controlo de ações (fig. 69)

- “isWalking” – uma variável *bool* que pode ser ativada e desativada caso se pretenda indicar que o objeto está ou não em andamento;
- “Idle” – uma variável *bool* que pode ser ativada e desativada caso se pretenda indicar que o objeto está parado;
- “Turn” – uma variável *trigger* que pode ser ativada caso se pretenda indicar ao objeto que tem de dar uma volta de 180°.

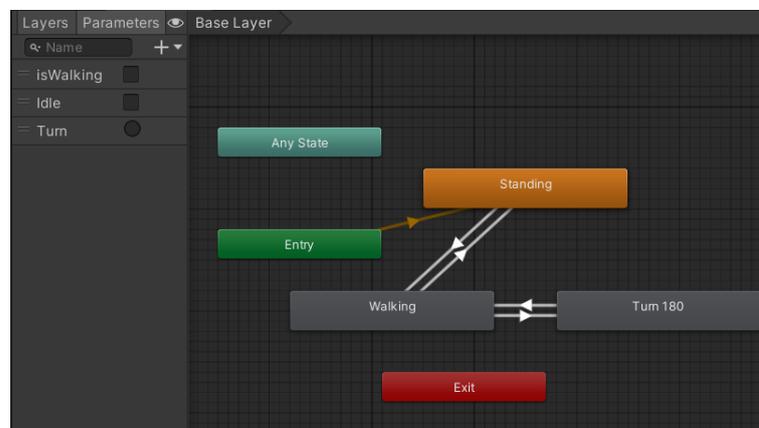


Figura 69 - vr_building 1.0: Controlador de animação "Pete" [captura de tela no Unity]

4.6.7. FUNCIONAMENTO DO DISCO DIAMANTADO (“DISCO” – “DISCO” & “DISCO NADA”)

Usa apenas de um parâmetro *bool* (“ligado”) que dá o decorrer do disco na ferramenta quando ativo. (fig. 70)

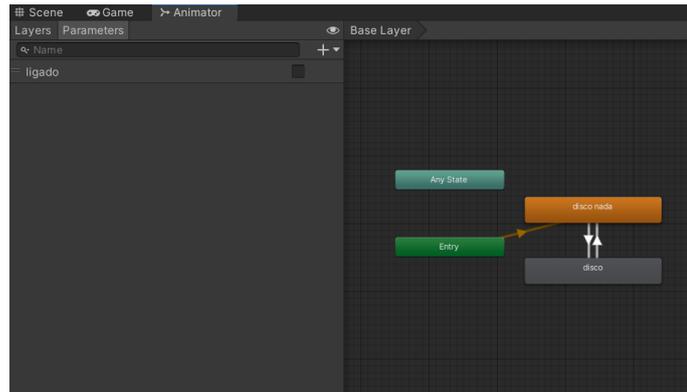


Figura 70 - vr_building 1.0: Controlador de animação "Disco" [captura de tela no Unity]

4.6.8. CONTROLADORES DE REPOUSO DE FUNCIONÁRIOS

Estes controladores estão associados a diferentes funcionários e animações com a mesma ideia: fazer com que estes não se mantenham estáticos, o que daria um péssimo efeito ao modelo (fig. 71).

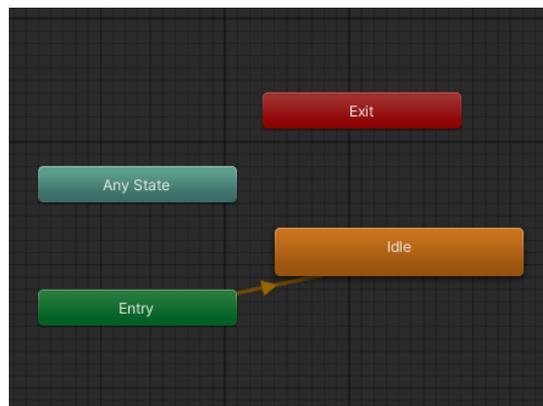


Figura 71 - vr_building 1.0: Controlador de animação dos vários funcionários [captura de tela no Unity]

5

DESCRIBÇÃO E APLICAÇÃO DO AMBIENTE VIRTUAL

5.1. DESCRIBÇÃO DO AMBIENTE VIRTUAL

Com todos os elementos anteriormente referidos e através da seleção correta da ligação entre eles, fez-se a simulação na sua totalidade. Esta passa por fazer o utilizador percorrer certas fases dentro do modelo de modo a vivenciar algumas situações possíveis de ocorrer numa experiência real.

Para a utilização deste é necessário o download da aplicação e de algumas componentes, que vêm com o auxílio de um ficheiro *txt* (anexo III) sendo que, dado o peso do programa e da quantidade de objetos postos, utilizados e editados e o tamanho do modelo em si, deve ser utilizado um equipamento com Windows 7, Windows 10 (64-bit), Sierra 10.12.6+, Ubuntu 16.04, Ubuntu 18.04 (caso de Linux).

Dado ser focado nos cenários inseridos, acaba por ser um programa limitado, mas bastante rápido e fluído, e por isso, acaba por ser um bom instrumento para qualquer pessoa que tenha interesse em posicionar-se e sentir aquilo que poderá ser um ambiente de obra. Direciona-se, no entanto, para pessoas cuja preparação não seja a melhor, ou que nunca tenham entrado num estaleiro de construção ou demolição. Pode então ser usado para qualquer interveniente, como ferramenta de interatividade espontânea, que se pretenda inserir num contexto de obra onde decorrerão demolições, devido aos cenários potencialmente perigosos relacionados com esse meio. Pode também, de qualquer forma, ser uma boa prática como exercício de formação para quem queira ter indícios de obras de construção regular, dado que a obra é um local imprevisível e que dá jeito estar a par e ter o conhecimento do maior número de possibilidades de trabalhos/acidentes que possam ocorrer.

O programa criado estará disponível a partir da publicação deste documento e poderá ser obtido contactando o autor. O tamanho do programa e das suas envolventes é de 500 megabytes (bastante reduzido e fácil de ter) e, apesar de funcionar com bastantes sistemas operativos, aconselha-se o uso de uma máquina com boas condições e que se note que corre de maneira fluída.

Operating system	Windows	Universal Windows Platform	macOS	Linux
Operating system version	Windows 7 (SP1+) and Windows 10	Xbox One, HoloLens	Sierra 10.12+	Ubuntu 16.04 and Ubuntu 18.04
CPU	x86, x64 architecture with SSE2 instruction set support.	x86, x64 architecture with SSE2 instruction set support, ARM, ARM64.	x64 architecture with SSE2.	x64 architecture with SSE2 instruction set support.
Graphics API	DX10, DX11, DX12 capable.	DX10, DX11, DX12 capable GPUs.	Metal capable Intel and AMD GPUs	OpenGL 3.2+, Vulkan capable.
Additional requirements	Hardware vendor officially supported drivers.	Hardware vendor officially supported drivers. For development: Windows 10 (64-bit), Visual Studio 2015 with C++ Tools component or later and Windows 10 SDK.	Apple officially supported drivers.	Gnome desktop environment running on top of X11 windowing system Other configuration and user environment as provided stock with the supported distribution (such as Kernel or Compositor) Nvidia and AMD GPUs using Nvidia official proprietary graphics driver or AMD Mesa graphics driver.
For all operating systems, the Unity Player is supported on workstations, laptop or tablet form factors, running without emulation, container or compatibility layer.				

Figura 72 - Requerimentos do sistema para o uso do aplicativo [Manual do Unity]

5.1.1. FASE 0 – EPI

Depois da entrada no modelo de realidade virtual a partir do menu inicial (fig. 73), o utilizador é impedido de entrar dentro do edifício sem os equipamentos de proteção individual possíveis de apanhar dentro de uma cabine atrás do mesmo (fig. 74). Este deverá recolher um colete, capacete, botas de biqueira de aço, óculos e luvas. Assim que tiver o necessário, poderá seguir para dentro da obra com a ajuda de sinalizações pelo caminho que deverá tomar (fig. 75).



Figura 73 - vr_building 1.0: Menu inicial ao abrir a aplicação



Figura 74 - vr_building 1.0: Falta de EPI (“Todos os anos acontecem dezenas de acidentes graves em Portugal que poderiam ser evitados com o uso correto dos equipamentos de proteção individual”)



Figura 75 - vr_building 1.0: Início do trajeto

5.1.2. FASE 1 – QUADRO ELÉTRICO

Usando o caminho indicado (fig. 76) e chegando ao ponto do quadro elétrico, este irá ler uma mensagem de sensibilização para desligar a eletricidade (fig. 77 e 78). Poderá clicar na tecla “E” para desligar o necessário e, desta forma, continuar com a simulação pelo interior do edifício (fig. 79).

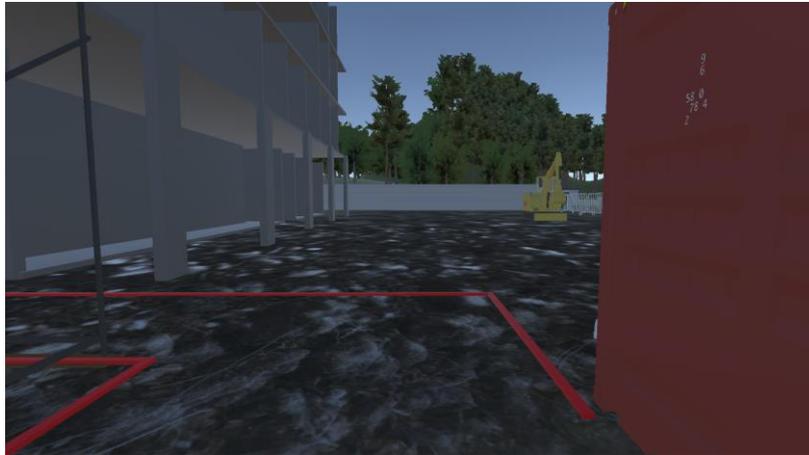


Figura 76 - vr_building 1.0: Passagem pelas primeiras linhas de circulação



Figura 77 - vr_building 1.0: Indicação para o quadro elétrico



Figura 78 - vr_building 1.0: Desligar do quadro elétrico (texto)

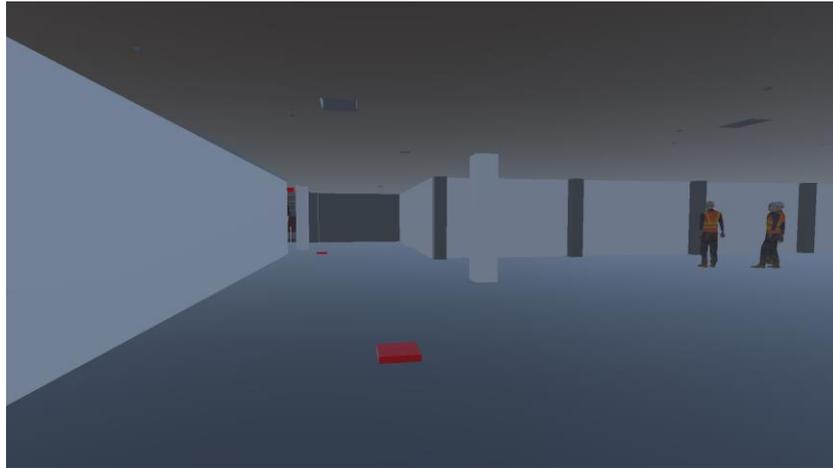


Figura 79 - vr_building 1.0: Continuação do trajeto, por escadas

5.1.3. FASE 2 – QUEDA DA MÁQUINA

Nesta fase, o utilizador deverá chegar a um certo ponto, utilizado as linhas de circulação (fig. 80), que o farão entrar numa máquina para elaborar um processo de desconstrução. Assim que entra nessa máquina, uma seta ditar-lhe-á onde se deve encaminhar (fig. 81). Passado algum trajeto, o piso sofre uma quebra devido ao peso da máquina e à falta de cuidado estrutural, fazendo com que o equipamento caia e se forme uma poeira enorme causando um acidente na obra (fig. 82). Passados alguns segundos, aparece texto de sensibilização que, após a leitura, o utilizador poderá desativar a partir de um clique e continuar no modelo (fig. 83 e 84).

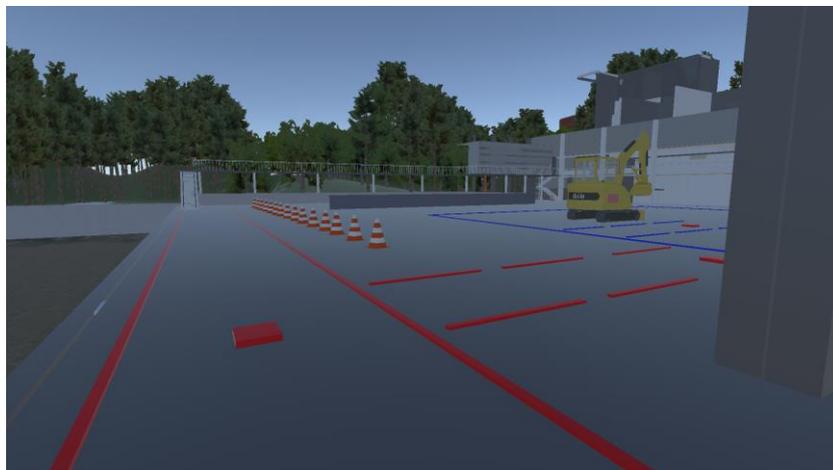


Figura 80 - vr_building 1.0: Linhas de circulação para a fase 2

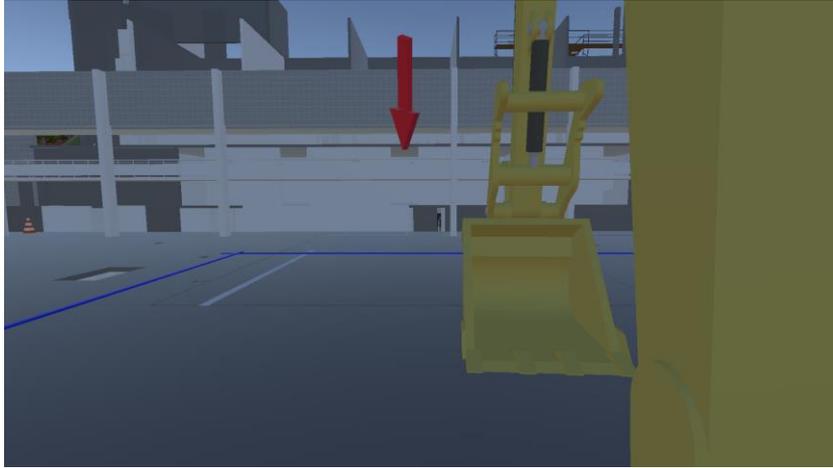


Figura 81 - vr_building 1.0: Indicação de destino na fase 2

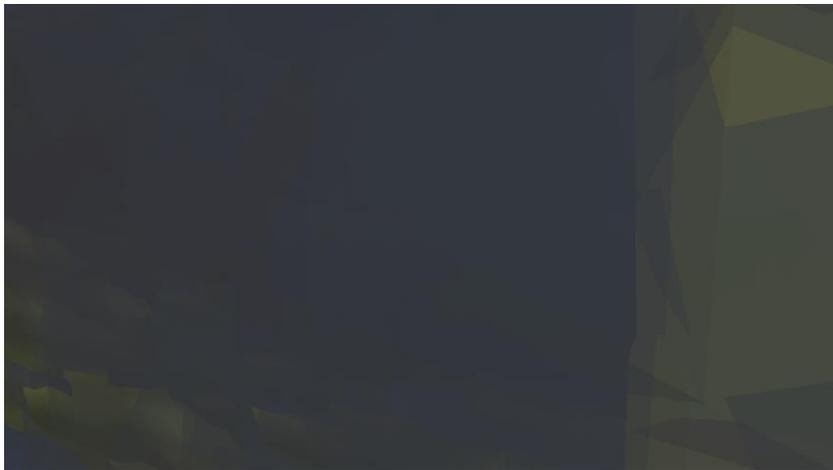


Figura 82 - vr_building 1.0: Visão depois do desabamento na fase 2



Figura 83 - vr_building 1.0: Continuação após fase 2

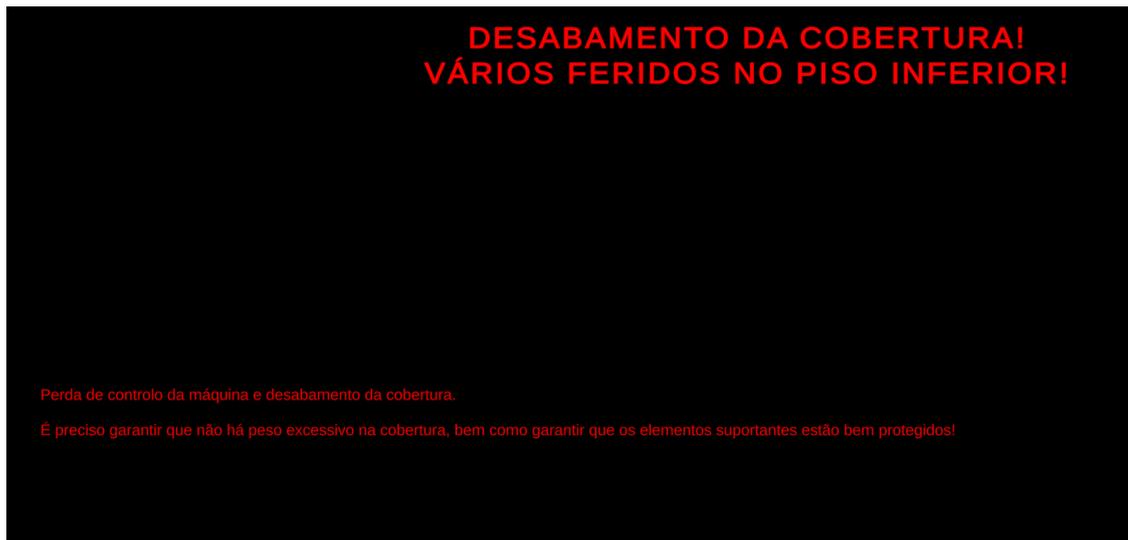


Figura 84 - vr_building 1.0: Mensagem depois do desabamento na fase 2 (“Perda de controlo da máquina e desabamento da cobertura. É preciso garantir que não há peso excessivo na cobertura, bem como garantir que os elementos suportantes estão bem protegidos!”)

5.1.4. FASE 3 – QUEDA DA PAREDE

Continuando pelo caminho indicado, o utilizador depara-se com um funcionário a tentar demolir uma parede de forma errada (fig. 85). Passado algum tempo, a parede cai de forma e esmaga o funcionário e o utilizador (fig. 86), causando um acidente grave. Com isto, aparece uma mensagem de sensibilização (fig. 87) que, passado algum tempo, dará a oportunidade ao utilizador de passar e continuar na simulação (fig. 88).



Figura 85 - vr_building 1.0: Visão antes da fase 3

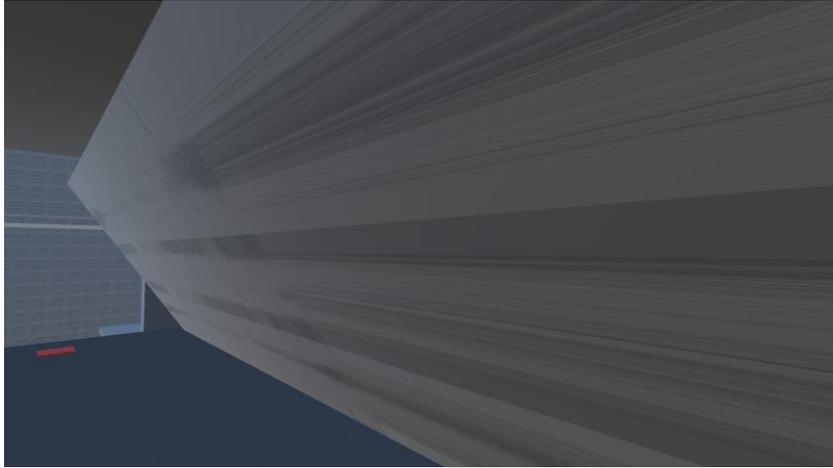


Figura 86 - vr_building 1.0: Visão da queda da parede na fase 3

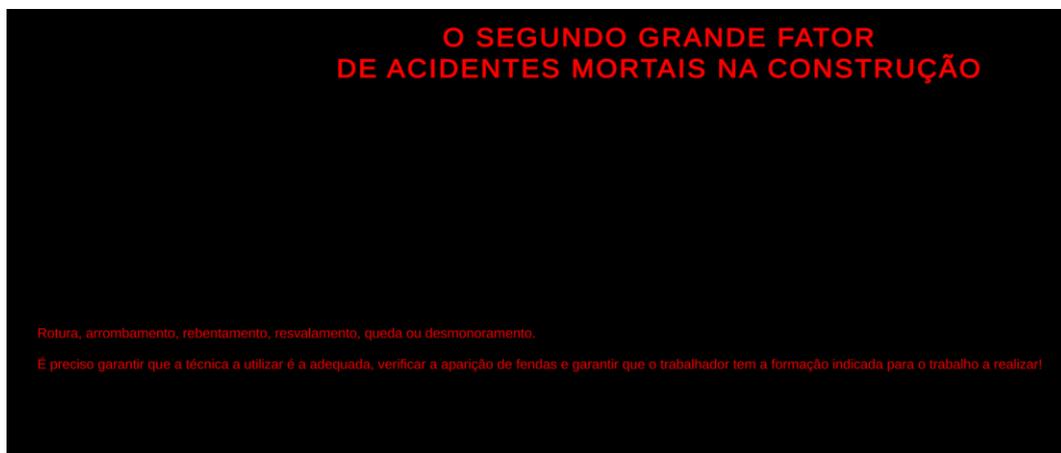


Figura 87 - vr_building 1.0: Mensagem após a queda da parede na fase 3 ("Rotura, arrombamento, rebentamento, resvalamento, queda ou desmoronamento. É preciso garantir que a técnica a utilizar é a adequada, verificar a aparição de fendas e garantir que o trabalhador tem a formação indicada para o trabalho a realizar!")

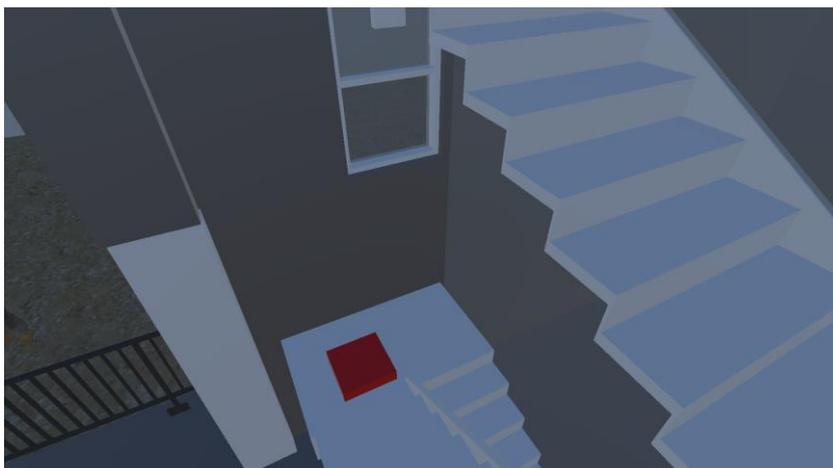


Figura 88 - vr_building 1.0: Continuação do trajeto para a fase 4 (escadas)

5.1.5. FASE 4 – CORTE DE DISCO DIAMANTADO

Nesta fase, já fora do edifício, é pedido ao utilizador que escolha um disco diamantado para utilização numa ferramenta própria (fig. 89). Este deve escolher o disco com o diâmetro adequado (fig. 90 e 91). Para passar para a fase seguinte, além de ter o disco indicado, sendo que vai subir a um andaime, este deve recolher um arnês de segurança, devido à instabilidade que o trabalho proporciona e caso haja locais sem guarda-corpos ou redes de proteção, que o possibilitará a avançar. Sem esse arnês, é dada uma mensagem de sensibilização tendo em conta a taxa de acidentes fatais e não-fatais (fig. 92 e 93). Passando para o processo seguinte, este irá fazer a verificação de que todas as medidas necessárias para iniciar o corte estão asseguradas (fig. 94).



Figura 89 - vr_building 1.0: Mensagem inicial para recolha, na fase 4



Figura 90 - vr_building 1.0: Visão inicial dos discos

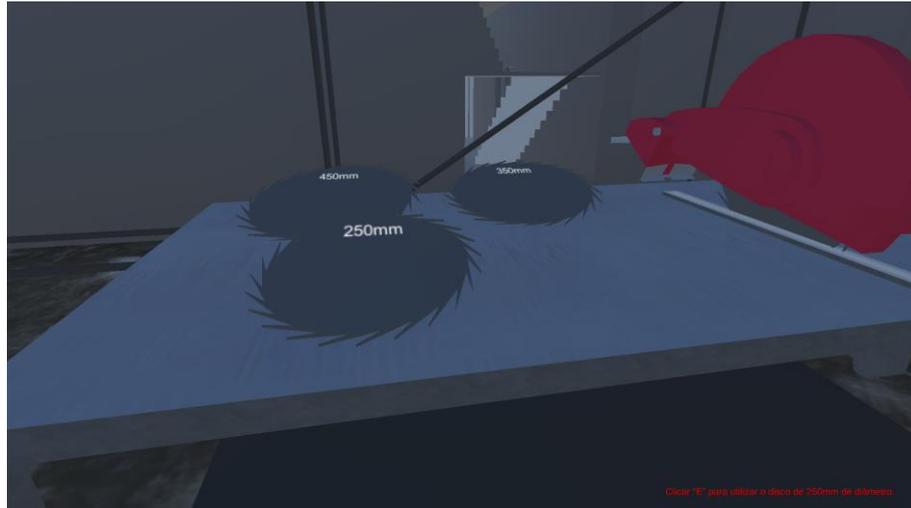


Figura 91 - vr_building 1.0: Visão após a seleção de um dos discos

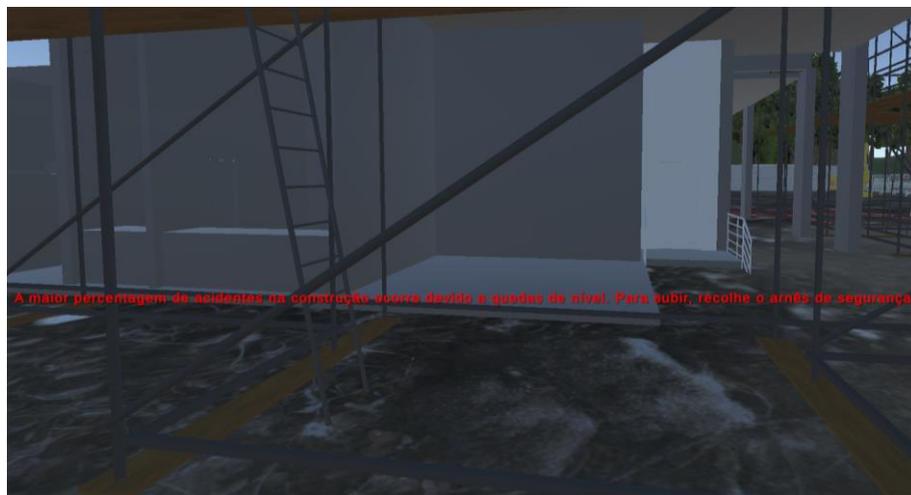


Figura 92 - vr_building 1.0: Mensagem de falta de arnés de segurança



Figura 93 - vr_building 1.0: Mensagem de possibilidade de prosseguir

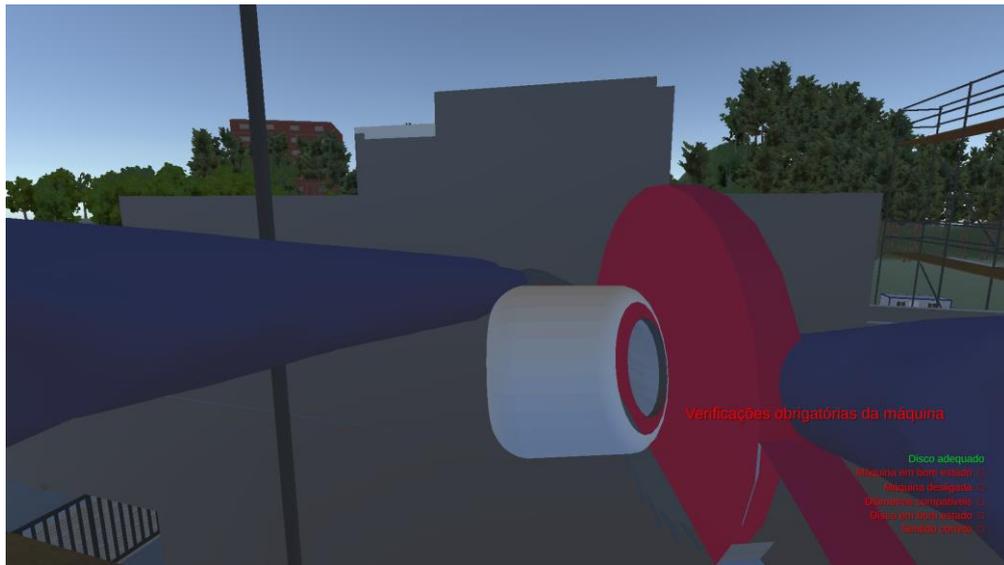


Figura 94 - vr_building 1.0: Verificação final do equipamento e do disco

5.1.6. FASE 5 – FINAL

Passados alguns segundos da fase anterior, a simulação termina (fig. 95), deixando o utilizador no menu principal para que possa voltar à simulação ou, simplesmente, desligar o programa.

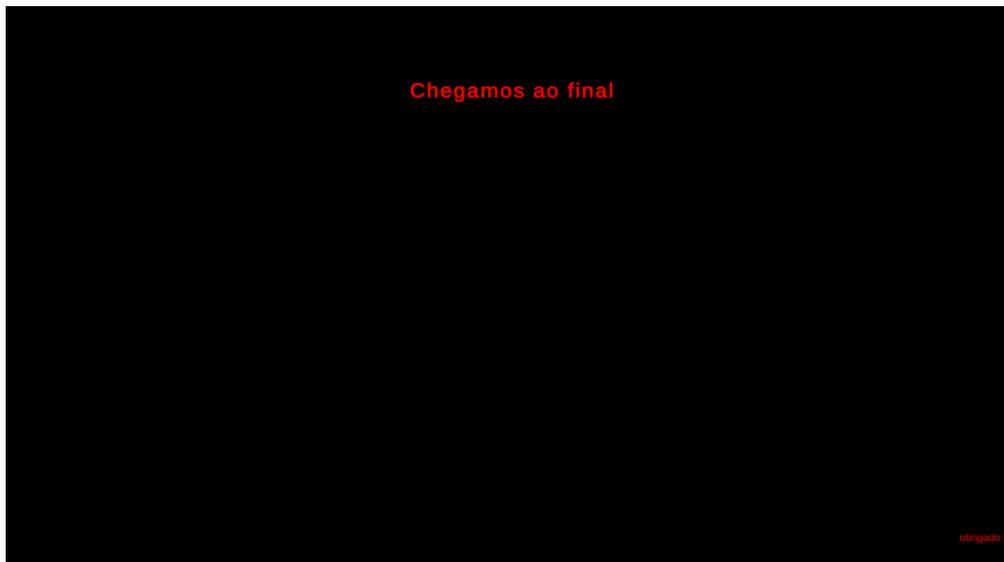


Figura 95 - vr_building 1.0: Mensagem final da simulação

5.1.7. OUTROS

Durante a simulação, o utilizador deverá respeitar alguns aspetos de circulação e segurança (fig. 96). Em alguns casos, como a falta de guarda-corpos (fig. 97) ou desrespeito pelas linhas de circulação, este receberá um aviso para voltar à segurança sendo que, passados alguns segundos de mau posicionamento, a simulação fará o utilizador voltar a um local de segurança pré-definido, que não incomode o decorrer do programa.



Figura 96 - vr_building 1.0: Desrespeito dos caminhos de circulação (texto)



Figura 97 - vr_building 1.0: Queda de nível (texto)

5.2. APLICAÇÃO DO MODELO A CASOS REAIS

Pretende-se, neste subcapítulo, voltar a analisar alguns dos acidentes referidos no capítulo 3, onde se teve oportunidade de estudar um conjunto de acidentes ocorridos num ambiente de demolição, perceber o que o modelo criado tem para oferecer em relação a eles tanto a nível de prevenção como de execução.

Pegando nos 116 casos analisados, foram seleccionados 3 que se sentisse que estivessem relacionados com o contexto das situações abordadas no programa realizado, nomeadamente no que tocasse em colapso de estruturas (casos 6.2. e 6.3.) e outro que envolvesse uma situação que não decorreria, normalmente, num ambiente normal de obra, como acontece no caso abordado em 6.1. onde estariam a decorrer trabalhos de demolição e que os detritos causados pelos mesmos, acabariam por contribuir para o acidente.

Analisaram-se então estes 3 casos para se perceber os erros cometidos e o que se poderia ter evitado, bem como o papel do modelo nos casos em questão e como este os aborda.

5.2.1. QUEDA EM ALTURA

No dia 8 de janeiro de 2015, um funcionário estava a remover detritos de betão, acabando por remover um pedaço de contraplacado que tinha sido fixado para cobrir um buraco no chão. Ao ser removido, o empregado pisou e caminhou através do buraco, sofrendo uma queda de mais de 5 metros para o nível inferior.(anexo I)

Esta é uma das temáticas mais sinalizadas ao longo do modelo, sendo que é visível e identificável a indicação por parte das linhas de circulação, barreiras e cones de sinalização no que toca a equipamentos de proteção coletiva como medida preventiva para quedas em altura não só tapando buracos, mas também de modo a não haver quedas através das bordas do edifício.

Neste caso em específico, usou-se um pedaço de contraplacado para tapar um buraco num piso perigoso e no qual estariam a ocorrer trabalhos de demolição que, consequentemente, fabricariam os detritos que mais tarde se estariam a remover.

Em casos de fecho de aberturas através de tampas provisórias, deve-se garantir que esta tem resistência suficiente e está devidamente fixa, que, em caso de tábuas de madeira, estas devem ter uma espessura não inferior a 35 milímetros e que a secção instalada deve ter dimensão superior em relação ao buraco a tapar, em pelo menos metade da maior dimensão desta.

Deveria ter sido explicitado aos intervenientes as etapas dos métodos selecionados, assinalado de maneira mais clara o propósito que teria o contraplacado ou utilizados outros objetos de modo a não permitir que o funcionário que removeria os detritos ficasse confuso com o caso.

Pode também ser utilizada uma sinalização deve ser feita em torno de toda a área de perigo e com algum afastamento a esta. Em caso de não ser possível tornar esta sinalização realidade, existe sempre a solução de equipamentos de proteção individual como: arnês de segurança, corda de amarração, sistema de amortecimento ou outros acessórios, que devem estar fixos e ancorados em pontos bem escolhidos que devem ser rijos, independentes e utilizados apenas para a fixação dos EPI, estarem a um nível superior do trabalhador e num eixo vertical ao plano de trabalho.

5.2.2. QUEDA DE PAREDE DE BETÃO

No dia 31 de julho de 2019, um funcionário estava a fazer trabalhos de demolição manual, numa parede de alvenaria de betão, com uma marreta. Com isto, parte da parede acabaria por ceder e cair sobre o funcionário, partindo a perna direita do mesmo (Anexo I).

O que se consegue denotar à partida é uma técnica de demolição que se demonstra não ser a mais adequada ao pretendido. Deve ter-se especial atenção ao modo como se faz a demolição de uma parede tendo em conta o peso estrutural em queda com que se vai lidar em caso de erro no mesmo. Deve sempre ser realizado a partir do topo em direção à base, começando pelo centro e indo progressivamente em direção aos extremos.

Além destas, e como citado ao longo do subcapítulo 2.1.3., deve ser monitorada a aparição de fendas ou deformações em todos os elementos estruturais a serem demolidos durante o período de demolições, sendo que se deve ter em conta, e pegando nos pontos utilizados nesse subcapítulo, no que toca à demolição de paredes:

- Remover todos os materiais potencialmente perigosos que se encontrem na parede, como vidros, caixilharia, etc.
- Garantir que a parede não é uma parede suportante;
- Se a parede for suportante, instalar um sistema de suporte temporária na estrutura suportada;
- No caso de uso de maçaricos ou outros inflamáveis, garantir que o local está livre de materiais inflamáveis;
- Explicitar ao trabalhador todas as etapas do método selecionado;
- Escorar paredes com altura superior a um pé direito;
- No caso de uso de equipamentos no interior do edifício, não demolir as paredes exteriores e junto a aberturas de piso até à laje, deixando um rebordo de cerca de 0,9 metros de forma a deixar uma barreira protetora para os operadores de equipamentos;
- Tapar ou impedir de forma clara a circulação no piso inferior, em aberturas de piso num raio de 3 metros de paredes que se pretendem demolir.

Este é um caso referido ao longo do modelo realizado e em que o utilizador passa por uma queda de parede (fig. 86), com a intenção de o sensibilizar e fazer entender o perigo e gravidade desta ocorrência que, apesar de não ser recorrente, é letal.

5.2.3. COLAPSO DE COBERTURA

No dia 12 de maio de 2018, um funcionário acabaria por ser hospitalizado com uma fratura devido ao desabamento de um telhado, tendo caído de uma altura de 3,5 metros. Este encontrava-se na vanguarda de um membro estrutural e, depois de cortar uma viga, deu-se o acidente (Anexo I).

A demolição de elementos estruturais, como referido ao longo do subcapítulo 2.1.3. deve ser sempre antecedida com uma avaliação estrutural completa de modo a perceber quais os elementos suportantes e suportados, falha clara no acidente em questão. Tendo em conta o contacto da viga com o telhado, ainda mais importante se torna esta avaliação prévia à realização do trabalho que foi efetuado e que originou o problema.

Neste caso, seria importante ter em atenção se, como referido, esta estrutura não suportaria outra qualquer estrutura e, em caso afirmativo, proceder-se primeiro à demolição dessa estrutura suportada ou instalar um sistema de suporte temporário que realizaria a distribuição de cargas.

Ao longo do modelo realizado, o desabamento da cobertura (fig. 81 e 82) é uma das situações e que dá ao utilizador a conhecer essa realidade e o sensibiliza para o perigo destes acidentes que tendem a prejudicar não só o trabalhador que se encontrava a realizar o trabalho em questão, mas também outros elementos ou trabalhos vizinhos ou em pisos inferiores.

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1. CONCLUSÕES

Ao longo do percurso académico de um estudante de engenharia civil, fala-se diariamente do crescimento e inovação nas várias áreas que englobam esta vertente. Seja na construção, nos cálculos estruturais, geotecnia, hidráulica, etc. É, no entanto, importante que esse crescimento seja acompanhado com o crescimento da segurança na engenharia civil, dado que, como falado durante a presente dissertação, continua a ser o setor com maior taxa de fatalidades. Esta segurança, que tem vindo a ser estudada, abordada e preparada com estudos, artigos, guias e leis, tem vindo a abrir os olhos para as tecnologias, apesar destas não se encontrarem ainda no estado cujo potencial indica que poderão ter. Ao longo dos anos fala-se muito desta segurança em âmbito de construção sendo que os trabalhos de demolição têm sido deixados um pouco à parte nestes estudos. Esta dissertação teve, então, como objetivo a criação de um ambiente virtual com cenários potencialmente perigosos para trabalhos de demolição.

Começou-se por perceber, efetivamente, que técnicas e equipamentos diferentes se poderiam utilizar na demolição para se perceber os perigos que estes trariam, já para além dos perigos correntes que todos os dias acompanham a indústria da construção. Passando para a segurança na construção e demolição e juntamente com estudos das tecnologias BIM e de realidade virtual, conseguiu perceber-se que seria uma mais-valia e um meio que já tem sido trabalhado, fazer um modelo que trouxesse não só interatividade, mas também sensações realistas ao que poderia vir a ser a experiência esperada.

Depois do levantamento de alguns acidentes e riscos, nomeadamente procurados preferencialmente em situações que se soubesse terem tido acontecimento em planos de demolição, separaram-se algumas medidas e prevenções envolvidos neste âmbito. Tendo em conta as possibilidades do programa utilizado, utilizaram-se alguns destes casos levantados (nomeadamente de queda de altura e colapsos estruturais) na medida do possível tendo em conta as limitações existentes.

Passou-se então à procura dos elementos que poderiam ser inseridos neste modelo, procurando sempre elevar a fasquia no que toca à aproximação deste com a realidade, através das bibliotecas 3D Warehouse da SketchUp e Unity Assets store do Unity. Esta ligação entre os objetos e o modelo era realizada através do software SketchUp que permitia exportar os objetos obtidos na biblioteca, para o programa. Para algumas animações foi também idealizada uma procura no website da Mixamo [55], que continha as animações dos intervenientes utilizados.

No desenvolvimento do modelo, através da linguagem C#.net, no software Unity 3D, foi criada toda a programação necessária para tornar este naquilo que se idealizava, desde o menu inicial ao término do programa. Este programa obriga o utilizador a começar do zero e a implementar todos os detalhes, não oferecendo nenhuma base inicial sólida. Tendo bons gráficos em relação a outros softwares, o programa mostrou-se, aquando dos testes, limitado a nível de performance dada a sobrecarga dada ao modelo (devido ao elevado número de objetos utilizados), o que não permitia a algumas pessoas correrem o modelo realizado nos seus computadores com a performance que se pretende. Tem, no entanto, a mais-valia de ser acessível criar modelos e convertê-los para diferentes formatos (tanto softwares de computador como Windows, Mac e Linux, softwares de telemóvel como Android ou iOS, ou mesmo plataformas de consolas como Xbox ou Playstation). É de considerar também a

acessibilidade de adicionar diferentes dispositivos de hardware, dando a possibilidade de adicionar equipamento de realidade virtual ou mais utilizadores.

Com a programação utilizada e o elevado número de objetos, texturas, animações, bem como o tamanho do ambiente virtual criado, o programa, (automaticamente) extraído através do *software* utilizado (Unity 3D), acabou por ter um peso que impossibilita qualquer computador de o utilizar com a performance que deve levar. Por isso, e utilizando as indicações dadas pelo próprio manual do Unity 3D, devem ser utilizados equipamentos recentes (como Windows 7/10), em mínimo bom estado e que não esteja, idealmente, a consumir nenhum outro programa ao mesmo tempo.

O programa pode ser obtido contactando o autor (renatogaspar.ps@gmail.com) e vem com um tamanho de 500 megabytes (dividido em algumas componentes e com um ficheiro *txt* de auxílio [Anexo III]), tamanho reduzido e rápido de obter.

Este programa direciona-se para pessoas que tenham interesse em posicionar-se num ambiente de obra e que não tenham preparação para o fazer na realidade, num estaleiro de construção ou demolição. Pode, no entanto, ser utilizado por qualquer pessoa, como ferramenta interativa, que se pretenda submeter a um ambiente de obra onde irão decorrer trabalhos de demolição. Dada a sua vertente visual apelativa, no que toca a um ambiente de construção civil, pode, como boa prática, ser um exercício rápido de formação para quem queira ter algumas indicações do que acontece numa obra, contando que este é um local imprevisível e que nunca é demais poder conhecer e contactar com alguns cenários potencialmente perigosos que possam ocorrer.

Dado o tempo de realização, não se conseguiu proceder ao teste da simulação com equipamento de realidade virtual, o que faria todo o sentido dado este dar ao utilizador uma experiência com objetivo de simular a realidade e de lhe fazer chegar aquilo que verdadeiramente se pode sentir num local de obra real, bem como alguns possíveis acidentes do mesmo. Outra ideia inicial que não se concretizou não só pelo limite temporal, mas também pela situação atual em que se vive, foi o uso de softwares de captura de 360° em obras reais, de modo a passá-las para o ambiente virtual, deixando este com um aspeto ainda mais real do que aquilo que se obteve.

Como conclusão, após feitas as pesquisas sobre esta temática e com o crescimento da tecnologia em todas as áreas e chegando esta, finalmente, a bons passos no mundo da construção, é importante que se continue a trabalhar pela evolução desta, principalmente no que da segurança dos seus operários se trata. Todas estas ferramentas, tanto de BIM como de realidade virtual e aumentada, contribuem para que, a cada dia, se consiga criar algo mais sólido e que, num futuro próximo, servirá de apoio imprescindível no que toca à segurança em obra tanto para os intervenientes como para qualquer pessoa que esteja ligada à vertente da construção de modo a torná-los o mais eficientes possível no que toca à prevenção, formação e sensibilização nesta área.

6.2. TRABALHOS FUTUROS

Percebendo as conclusões tiradas, é possível retirar que a aplicação de ambientes de realidade virtual, e no fundo toda a aplicação tecnológica que possa preparar uma pessoa para o que é possível encontrar numa ida à obra, tendo em conta os seus perigos, será uma mais-valia. Estas ferramentas possuem um potencial enorme no que toca a substituir a preparação de trabalhos via guias de apoio à segurança e formação, dada a possibilidade de criação do ambiente real através das inúmeras ferramentas existentes. À medida que se vai avançando, mais reais as tecnologias se tornam e mais certas trarão estes modelos que melhor formação e prevenção trarão a todos os envolvidos.

Neste caso em específico, apesar da limitação do software a nível de performance, seria possível aumentar o programa a nível de funcionalidades, criar casos reais e que dessem ao utilizador uma experiência completamente igual à que poderia acontecer no seu dia-a-dia. Poderia também proporcionar-lhe essa melhor experiência através de equipamento destacado para tal, como os óculos e luvas de realidade virtual para que o objetivo de formação e sensibilização fosse atingido com mais impacto.

Pode também ser feito um levantamento maior de acidentes ocorridos em meios de demolição, conseguindo-se obter uma melhor ideia de probabilidades, gravidades e exposição de acidentes, bem como uma validação do programa a nível da possibilidade do seu uso, bem como da sua extensão para melhor formação e simulação não só para o ambiente virtual e os cenários potencialmente perigosos inseridos no programa elaborado, mas também para outros casos e obras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Instituto Nacional de Estatística. (2019). *Estatísticas da Construção e Habitação*. <https://www.ine.pt/>, acessado a outubro/2020.
- [2] Autoridade para as Condições de Trabalho. Acidentes de Trabalho Mortais. [https://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/AcidentesdeTrabalhoMortais.aspx](https://www.act.gov.pt/(pt-PT)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/AcidentesdeTrabalhoMortais.aspx), acessado a dezembro/2020.
- [3] BSI Standards Publication (2000). *Code of practice for full and partial demolition*, Londres.
- [4] Rathi, S., Khandve, P. (2014). *Demolition of Buildings – An Overview*. International Journal of Advance Engineering and Research Development (IJAERD) volume 1, issue 6, junho/2014, e-ISSN: 2348-4470, print-ISSN:2348-6406.
- [5] Liu, C., Pun, S., Langston, C. (2005). *A preliminary study of building demolition engineering and management*, World Transactions on Engineering and Technology Education. Geelong, Australia.
- [6] Abdullah, A. (2003). *Intelligent Selection of Demolition Techniques*. Dissertação de PhD em Engenharia Civil, Universidade de Loughborough (Reino Unido).
- [7] Mascarenhas, J. (2008). *Jóias da coroa em terra, demolições, betão tensionado e cabos de aço utilizados em obra*, volume X, coleção Sistemas de Construção, Livros Horizonte, 2008.
- [8] Gomes, R., Brito, J. (2002). *O Emprego de Explosivos na Demolição de Estruturas*, Técnica Online. janeiro/2002.
- [9] Rodrigues, D. (2014). *Demolição de edifícios de betão armado por métodos explosivos. O caso de estudo do edifício C5 do Hospital das Forças Armadas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Militar, Academia Militar, Lisboa.
- [10] Baitsch, M., Breidt, M., Ilikkan, M., Hartmann, D. (2006). *Evolutionary Optimization of Strategies for the Demolition of Buildings with Explosive Charges Using Multibody Dynamics*. Procedimentos da Oitava Conferência Internacional de Tecnologias Estruturais de Computação, Stirlingshire (Reino Unido).
- [11] Mckenzie, G., Zhang, C., Samali, B. (2019). *Design criteria for a controlled demolition (implosion)*, International Journal of GEOMATE. 16. 10.21660/2019.53.90374, janeiro/2019.
- [12] Gomes, G. (2010). *Medidas Preventivas na Execução de Trabalhos de Demolição e Reabilitação de Edifícios Antigos – Técnicas e Equipamentos de Demolição*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- [13] Sá, J. (2013). *Normalização dos trabalhos de demolição. Proposta de elaboração de um modelo de um plano de demolição*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- [14] Demolições.pt. Demolição Tradicional. <http://demolicoes.construcaoportugal.com/>, acessado a outubro/2020.
- [15] Cooney, J.P. (2016). *Health and Safety in the Construction Industry : A Review of Procurement, Monitoring, Cost Effectiveness and Strategy*. Dissertação de PhD em Engenharia Civil, Universidade de Salford (Reino Unido).
- [16] Allread, B. (2009). *Real-Time Pro-Active Safety in construction*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia da Georgia (Estados Unidos da América).

- [17] Costa, M. (2009). *Processos de Demolição de Estruturas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro.
- [18] Santos, M. (2013). *Demolição de Estruturas*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia e Gestão das Construções, Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- [19] Martins, A. (2015). *A Importância de um Planeamento na Desconstrução de Edifícios, Connecting People and Ideas*. Proceedings of EURO ELECS 2015. Guimarães, Portugal ISBN 978-989-96543-8-9, julho/2015.
- [20] Brito, J. (1999). *Técnicas de demolição de edifícios correntes*. 10.13140/RG.2.1.2027.0565, outubro/1999
- [21] Anumba, C., Abdullah, A., Ruikar, K. (2008). *An Integrated System for Demolition Techniques Selection*. Architectural Engineering and Design Management. 4. 130-148. 10.3763/aedm.2008.0071.
- [22] New Zealand Worksafe. Demolition (2004). *Best practice guidelines for demolition in New Zealand*.
- [23] Severe Injury Reports, OSHA. <https://www.osha.gov/severeinjury>, acessado a novembro/2020
- [24] Bui, N., Merschbrock, C., Munkvold, B. (2016). *A review of Building Information Modeling for construction in developing countries*, Conferência Criativa de Construção de 2016, junho/2016.
- [25] Frias, F. (2020). *Utilização da estratégia de jogos para formação na área da prevenção de acidentes na construção*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [26] BIM+ (2017). *Interview: Mark Coleman – BIM in the demolition industry..* <https://www.bimplus.co.uk/people/bim-potential-demolition-field/>, acessado a novembro/2020.
- [27] Kiviniemi, M., Sulankivi, K., Kähkönen, K., Mäkelä, T., Merivirta, M. (2005). *BIM-based Safety Management and Communication for Building Construction*. Espoo 2011. VTT Tiedotteita – Research Notes 2597. 123 p.
- [28] Reis, A. (2018). *Utilização de Ferramenta BIM para a Segurança na Construção*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [29] Pratt, S., Fosbroke, D., and Marsh, S. (2001). *Building Safer Highway Work Zones: Measures to Prevent Worker Injuries From Vehicles and Equipment*. Departamento de Saúde e Serviços Humanos: CDC, NIOSH, 5 - 6.
- [30] Soeiro, A. Martins, J. P. (2016). *Aplicações recentes no uso de BIM na segurança na construção*, 1º Congresso Português de Building Information Modelling, 24 e 25 de novembro de 2016, Universidade do Minho (Guimarães).
- [31] Sulankivi, K., Kähkönen, K., Mäkelä, T. e Kiviniemi, M. (2010). *4D-BIM for Construction Safety Planning*. CIB World Congress 2010, maio 2010, Salford Quays (Reino Unido).
- [32] EUBIM Task Group (2016). *Handbook for the introduction of Building Information Modeling by the European Public Sector*.
- [33] Martins, J. P. *Information Systems In The Construction Industry – Using Game Engines to navigate BIM models*.
- [34] Sidani, A., Duarte, J., Dinis, F., Sanhudo, L., Baptista, J., Martins, J. P., Soeiro, A. (2019). *Virtual Reality and the future of construction*. 3rd Doctoral Congress in Engineering, Porto, junho/2019.

- [35] Tecnologia: Por que a realidade virtual na construção civil é tão atraente? <https://halonoriedade.com.br/tecnologia-por-que-a-realidade-virtual-na-construcao-civil-e-tao-atraente>, acessado a outubro/2020.
- [36] Skanska. *Unity's VR Construction worker-safety training program – Unite Copenhagen 2019*. <https://www.youtube.com/watch?v=4vTg8icHIkc>, acessado a outubro/2020.
- [37] Archdaily. *9 Tecnologias de Realidade Aumentada para construção*. <https://www.archdaily.com.br/br/914441/8-tecnologias-de-realidade-aumentada-para-construcao>, acessado a novembro/2020.
- [38] Ahn, S., Kim, T., Park, Y., Kim J. (2020). *Improving Effectiveness of Safety Training at Construction Worksite Using 3D BIM Simulation*. Hindawi, Advances in Civil Engineering, Volume 2020, Article ID 2473138, 12 p.
- [39] Nascimento, A. (2013). *Avaliação de Riscos na Obra de Reabilitação do Solar de Arnoia*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- [40] Soeiro, A. (2018). *Reabilitação na construção e prevenção de acidentes – análise de caso de estudo*, Construção 2018, Porto.
- [41] OSHA Technical Manual, Secção V, Capítulo 1. https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_v/otm_v_1.html, acessado a novembro/2020.
- [42] Health and Safety Executive. <https://www.hse.gov.uk>, acessado a novembro/2020.
- [43] Vasconcelos, B. (2013). *Segurança no trabalho na construção – Modelo de gestão de prevenção de acidentes para a fase de concepção*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [44] Vasconcelos, D. (2013). *BIM na Arquitetura, Construção e na Pré-fabricação*. Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto.
- [45] United BIM (2019). *What is Clash Detection in BIM- Process, Benefits and Future Scope in Modern Day AEC Industry*. <https://www.united-bim.com/what-is-clash-detection-in-bim-process-benefits-and-future-scope-in-modern-day-aec-industry/>, acessado a janeiro/2020.
- [46] Morpholio Trace. *How To... AR SketchWalk (março, 2019)*. <https://morpholio.medium.com/>, acessado a dezembro/2020.
- [47] Stereoscape. *DAQRI Smart Helmet – so much more than a helmet*. <https://stereoscope.com/>, acessado a dezembro/2020.
- [48] BECA. *Virtual Reality Training Tours*. <https://www.beca.com/>, acessado a dezembro/2020.
- [49] Gomes, L. (2020) *Realidade Virtual e Prevenção de Acidentes – Pesquisa*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [50] Buildings Department (2004). *Code of practice for demolition of Buildings*, Hong Kong (China).
- [51] Ribeiro, H. (2019). *Segurança na Reabilitação de Edifícios – Ênfase na Demolição*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [52] eSub Construction Software. *8 Best Practices to Improve Construction Site Safety*. <https://esub.com/blog/improve-construction-site-safety/>, acessado a janeiro/2021.

[53] Dokras, Uday. (2020). *Augmented Reality (AR) in Architecture*. Livro: Creativity and Architecture, Indo Swedish Author's Collective, Estocolmo (Suécia).

[54] BSI Standards Publication (1998). *Code of practice for full and partial demolition*, Londres (Reino Unido).

[55] Mixamo, <https://www.mixamo.com/>, acessado a outubro/2020.

[56] This is infamous. *The Walk Virtual Reality Experience*.
<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=Gafc8AR7CNS>, acessado a janeiro/2020.

ANEXOS

ANEXO I

ACIDENTES NÃO-FATAIS EM AMBIENTE DE DEMOLIÇÃO (OSHA, 2015-2020)

#	DATA	EVENTO – Acidente não-fatal
1	08/01/2015	Employee was removing concrete debris when he removed a piece of plywood that had been secured to cover a floor hole. Upon removal, the employee stepped and walked through the hole, falling 17 feet to the lower level.
2	13/04/2015	Two employees were removing service wire that had been de-energized (energy source to streetlights in preparation for demolition work for a new ski lodge). The injured employee climbed a utility pole when he cut the line, it changed the balance of the pole (strain on pole) and caused it to break off at ground level. The employee fell approximately 22 to 25 feet to the ground. He was hospitalized.
3	21/04/2015	An employee suffered a thumb amputation while performing demolition work when an excavator pinned the employee's thumb between a wall and a tooth of the excavator bucket.
4	29/05/2015	An employee was struck in the head while carrying demolition out of a warehouse building.
5	01/06/2015	An employee was taking HVAC equipment to the dumpster and was helping to slide the ducts off the forklift forks. His hand got caught when the duct work slid backwards on the forks, amputating his right thumb tip.
6	16/07/2015	An employee was performing demolition work on the old baggage handling system at Terminal B. The employee was cutting the last 2 U bolts. The pipe-hanger got caught and was hanging on the conveyor when it started to pull forward. It got free and sprung backwards, smashing the employee's hand.
7	22/08/2015	A demolition saw kicked back on an employee who was cutting railroad tie. The saw hit his opposite shoulder and caused soft tissue damage (blood and nerve damage).
8	27/08/2015	An employee was hospitalized after being struck by a piece of debris (8-inch pipe) during a building demolition. The employee suffered nine broken ribs, a punctured lung, a broken finger, and bruises on the face.
9	28/08/2015	An employee was on a ladder cutting an overhead beam. The ceiling beam collapsed and struck the employee, causing him to fall off and sustain a rib injury.
10	08/09/2015	An employee was using a sledgehammer to drive stakes or conduct demolition activities when he overheated and fainted.
11	28/08/2015	An employee was on a ladder cutting an overhead beam. The ceiling beam collapsed and struck the employee, causing him to fall off and sustain a rib injury.
12	08/09/2015	An employee was using a sledgehammer to drive stakes or conduct demolition activities when he overheated and fainted.
13	23/11/2015	An employee was helping a coworker demolish a fin fan part that was recently replaced on a cooling unit at the chemical plant. The employee's coworker was tasked with torch cutting 15 feet x 25 feet, 3/16-inch steel fin fan part into smaller pieces for demolition and removal from the site. The employee was standing 6 to 8 feet away from the torch cutting operation. While the coworker was torch cutting the tail-end area on the fin fan, a side panel that measured 19 feet x 4.5 feet and weighed approximately 650 lbs. came off and fell, striking the employee in the right leg. The employee's right tibia and fibula were fractured.
14	07/12/2015	On December 7, 2015, an employee was opening a construction gate for a dump truck to enter when a passenger vehicle tried to pass the dump truck and struck the dump truck. When the passenger vehicle struck the dump truck it hit the employee resulting in fractured ribs and a fractured pelvis and a head laceration.
15	11/12/2015	The employee was removing panels from a roof during building demolition. He stepped on a weak section of the fiberglass roof and fell through breaking his femur.
16	07/01/2016	An employee working on a demolition project fell from an elevated level to the concrete floor, cutting the back of his head.
17	08/01/2016	Two employees working from a scissor lift were removing overhead air conditioning duct work at approximately 19 feet in height. When the employees cut the straps that were holding the duct work in place, it swung down and hit the scissor lift, causing it to turn over. The first employee sustained a fractured vertebra and shattered right knee. The second employee suffered a fractured left femur.
18	13/01/2016	An employee fell 6 feet from a baker scaffold during demolition operations.

19	17/03/2016	An employee was inspecting demolition work that was completed at the end of the day when he was struck by a piece of structural steel, lacerating, and crushing a toe on his right foot. He was hospitalized.
20	02/04/2016	An employee was cutting out bricks as part of demolition activities when several courses of brick slid down a steel beam and struck his hand, lacerating and fracturing it.
21	11/06/2016	While climbing up a ladder to hook into a beam strap and yo-yo, an employee fell approximately 4 feet from the ladder and broke 8 or 9 ribs.
22	05/07/2016	An employee was performing duct work demolition from an extension ladder approximately 15 feet off the ground. The ladder feet slipped, and the employee fell from the ladder, which then fell onto the employee. The employee suffered a dislocated shoulder and head/arm lacerations, requiring hospitalization.
23	06/07/2016	An employee on a ladder was removing wiring from a junction box in the ceiling while doing demolition. He removed the wires and placed wire nuts on them. The white neutral wire was hanging down. When the employee started to climb down the ladder, he touched the wire with his hand, and it shocked him. When he pulled away from the shock, the fast motion broke his scapula.
24	27/08/2016	An employee was hosing down dust at a demolition site and was struck by a piece of concrete resulting in a broken bone in the face and arm.
25	16/09/2016	On or about 9/16/2016, an employee was performing demolition work by cutting away metal ducts when suddenly the duct fell to where the employee was on a 12-foot ladder, knocking the employee to the ground. The employee was hospitalized with fractured ribs and a tailbone.
26	16/11/2016	An employee was engaged in HVAC demolition activities on the roof. As he was attempting to push parts of the demolished HVAC unit off the roof, his glove became stuck to the unit. He was pulled off the roof with the unit to the ground, suffering artery damage that required surgery and a cracked skull.
27	17/11/2016	An employee was feeding nonferrous cable material into the cable stripping machine when their right hand was caught inside the machine amputating four fingers.
28	13/12/2016	An employee was performing a demolition operation from an aerial lift when a suspended load struck the employee. The employee was knocked out of the lift and fell 14 feet, suffering a serious injury.
29	22/12/2016	An employee was trimming a tree branch. While the tree branch was being re-positioned, the branch kicked back and struck the employee in the leg resulting in a leg fracture.
30	15/04/2017	An employee was performing demolition work. He opened a large heat-treating oven door. When he opened the door, a piece of metal fell from atop the door and struck the employee's left arm causing a laceration to the arm.
31	19/04/2017	An employee was using a gasoline-powered demolition saw to cut a metal tower when a fire occurred, causing second degree burns to the employee's leg.
32	24/06/2017	While demolishing an overhead door, an employee loosened bolts to the bracket holding the spring that helps lift the overhead door. The spring was un-sprung and still had tension. When the bolts were removed, the spring sprung, causing the bracket to spin and strike the employee. The employee suffered left arm lacerations, left thumb and finger fractures, a broken right arm and thumb, and multiple right arm lacerations.
33	30/06/2017	On June 30, 2017, an employee suffered from heat exhaustion after doing deck demolition at a job site, requiring hospitalization.
34	10/07/2017	An employee was riding in the basket of an aerial lift while installing exterior rigid insulation on a house when the employee contacted the house's electrical service drop. The employee suffered an electrical shock and second degree burn to the right hand.
35	01/09/2017	An employee was at a construction/demolition site when he sat down on a piece of plywood that was covering a hole in the floor and fell through it. He contacted the floor below and suffered head trauma, requiring hospitalization.
36	20/09/2017	An employee had been performing post-hurricane cleanup and demolition at an apartment complex for 10 hours when he lost consciousness due to the heat. He was hospitalized for dehydration.
37	02/10/2017	An employee was picking up a saw when a coworker activated its power pack. The saw engaged and lacerated his right shin.
38	04/10/2017	An employee was attempting to clear a jam from a piece of demolition equipment used to

		recycle and process refuse concrete when his right arm entered the point of operation. His arm tendons and arteries were severed, requiring hospitalization.
39	05/10/2017	On October 5, 2017, at approximately 9:00 a.m., three employees were working together to remove vinyl siding from the side walls of a residential balcony for demolition. They were working from extension ladders with hand tools. The injured employee entered the balcony from the extension ladder to look for a potential anchor location for his personal fall arrest system. When he entered the balcony, it collapsed beneath him. He landed on the ground and broke his leg.
40	13/10/2017	An employee was on a ladder removing overhead sprinkler piping with a reciprocating saw when the employee fell from the ladder to the concrete floor, suffering head trauma that required hospitalization.
41	23/10/2017	On October 23, 2017, employees were cutting cross frames and a girder as part of the demolition process for a bridge. While torch cutting the girder, one employee connected his personal fall arrest system to a beam clamp that was connected to the tail section of the existing girder. The tail section was supposed to remain in place when the rest of the girder was dropped. After the employees finished cutting the girder, the tail section fell from its bearing and pulled the employee approximately 13 feet to the ground. He suffered a broken wrist and back injury.
42	05/11/2017	An employee was cutting on a column and began to cut into a pipe with a torch. When the torch cut through the pipe, diesel (residual fuel) splashed back onto his body. He sustained burns to his right arm, left wrist, and the right side of his face, requiring hospitalization and surgery. PPE was not worn at the time of the incident.
43	12/12/2017	Employees were performing demolition work on the second story of a residential property when an employee fell from the roof and landed on the ground approximately 20 feet below, breaking the left leg.
44	08/01/2018	On 1/8/2018, a temporary employee was doing demolition work in a bathroom when debris struck the employee in the eye, causing a retinal detachment that required surgery.
45	01/02/2018	An employee was performing demolition activities. The employee removed a ceiling tile and liquid from a water pipe spilled onto the employee. Shortly thereafter, the employee suffered lack of muscle control, nervous system depression, and memory loss. The employee was hospitalized.
46	20/02/2018	An employee was struck on the head by falling sheet metal duct work during demolition operations, suffering a concussion.
47	08/03/2018	An employee was sorting construction and demolition materials on a pick station conveyor when he saw a plastic band that had fallen off the pick belt near the head pulley of the conveyor. He grabbed the band and was attempting to free it when the plastic band wrapped around his glove and right hand, breaking his thumb and index finger, and cutting his thumb/hand. The conveyor was running at the time of the incident.
48	15/03/2018	An employee was helping to load a dump truck with construction debris when, unbeknownst to him, another employee lowered the truck's lift gate. When he attempted to walk backward out of the truck, the lift gate was no longer there to support him and he fell 3.5 feet to the lift gate below, fracturing his L1, L2, and L3 vertebrae.
49	22/03/2018	An employee was preparing to make vertical saw cuts in a hard wood floor for removal. The employee was using a 7.25" circular saw set at a depth of 0.75" when the tip of his glove was pulled into the rotating blade, cutting, and partially amputating his left thumb at the tip.
50	17/05/2018	An employee was cleaning up debris at a demolition site when the employee's hand was pinched between a backhoe bucket and a concrete wall, amputating the right middle fingertip.
51	18/05/2018	An employee was using a rivet buster to break up a concrete floor for demolition when the employee fell through the working level to the level below, suffering a concussion.
52	21/05/2018	An employee was hand loading demolition concrete into a backhoe bucket. When he adjusted the broken concrete in the bucket his right hand was caught between the concrete and the bucket, cutting and breaking his right index finger. He was hospitalized.
53	24/05/2018	An employee fell while operating a demolition saw and cut his arm.
54	12/06/2018	An employee was cutting the leading edge of a structural member as part of a structural demolition. After cutting the beam, the roof collapsed, and the employee fell 12 feet. The employee was hospitalized for a fracture.
55	29/06/2018	An employee was working with a demolition crew on a bridge deck set up below an overpass.

		While working from a horizontal shield, the employee fell approximately five feet through an opening in the shield and onto the bed of a company dump truck that was parked directly below, suffering a bruised hip.
56	11/07/2018	An employee was in a manlift conducting demolition work. A piece of steel beam broke loose and struck the employee causing a left arm and shoulder fracture.
57	19/07/2018	An employee was working from a scaffold and fell 12 feet to the ground. The employee sustained a broken shoulder, hand, and pelvis.
58	21/08/2018	An employee was removing an overhead door during demolition-type activities when part of the door came down and injured the employee's finger.
59	24/08/2018	An employee was using a grinder when it caught onto his shirt and contacted his chest, requiring stitches.
60	05/09/2018	A temporary employee was removing a window from a building during demolition activities when the window broke and lacerated the employee's left wrist, severing a vein. The employee was hospitalized and had surgery.
61	01/11/2018	An employee was demolishing an abandoned pipeline in a trench, about 5 feet deep, using a demolition saw. He lost balance and the saw cut into his left forearm above the wrist, possibly cutting or nicking tendons. He was hospitalized.
62	11/11/2018	On November 10, 2018, an employee was in an aerial lift using a propane and oxygen cutting torch while performing demolition of a vessel. During the demolition process, the vessel caught on fire and the employee jumped out of the aerial lift. The employee sustained burns from the fire and a fractured pelvis and wrist from the fall.
63	28/11/2018	An employee had his foot/leg run over by a roadway tiller during roadway demolition work in preparation for pavement. His foot and lower leg were crushed and surgically amputated.
64	28/11/2018	An employee was spotting a roller truck driver from the top of a dumpster. The lower half of his body was pressed between a beam and a truck, and he suffered ruptured organs.
65	03/01/2019	An employee was engaged in demolition operations and pulling up a plastic sheet when he fell backwards, striking his head on the gravel ground. He suffered a laceration and lost consciousness, requiring hospitalization.
66	17/01/2019	An employee was cutting metal from an elevated position of approximately 10 feet. He was tied off to the structure he was cutting. When he cut the structure, it came loose, and both he and the structure fell to the ground. He suffered a broken left leg above the knee, a bump on the back of the left ear, and scratches above the right eye.
67	07/03/2019	An employee was using a demolition saw to cut pipe. The saw bucked back, lacerating his neck.
68	10/04/2019	An employee was dragging a piece of plywood to the dumpster. The wind caught the wood and knocked him to the ground. He landed on his hip, breaking it.
69	16/04/2019	An employee was climbing down from a scaffold. The locking key to the mid rail came undone, and the employee lost his grip on the rail (which was wet) and fell. He landed on the ground about 12 feet below, suffering cracked ribs and bruised lungs.
70	17/04/2019	An employee was on a scaffold performing overhead demolition of ductwork when a piece of duct swung loose and knocked the employee off the scaffold. The employee fell approximately 5 feet onto the concrete floor, suffering broken ribs.
71	23/04/2019	An employee was attaching a detonation cord to a power source when a static charge set off a length of the detonation cord with three charges attached. Two employees were struck by multiple explosive fragments in the arms and legs, requiring hospitalization.
72	06/05/2019	An employee was walking during a demolition job when he tripped and fell onto the steel decking of the working surface he was on. He sustained several fractured ribs on the right side of the body, an injury to his right lung, and a laceration to the liver.
73	18/06/2019	An employee was doing demolition work in a storm drain culvert. As he was adjusting a steel I-beam, the tip of his right index finger was caught between the two pieces of the adjustable beam. The fingertip was amputated.
74	31/07/2019	An employee was doing demolition work on a concrete masonry unit wall with a sledgehammer. Part of the wall gave way and fell onto the employee, breaking his right leg.
75	30/11/2019	During a project to make way for a fire sprinkler system, employees were doing demolition work. While approximately 15 feet above the concrete floor, the employees worked from a 2x12x20 plank in the rafters. The injured employee was using a leaf rake to remove insulation when the employee fell approximately 15 feet to the concrete floor below,

		suffering a head injury.
76	04/12/2019	An employee was doing light demolition work on junction boxes and conduit using a power saw. The saw encountered the concrete ceiling, causing him to fall/jump from the ladder to the ground. His left tibia was broken.
77	30/12/2019	An employee was welding on an excavator bucket when the bucket fell from its stand and crushed the employee's right foot big toe, fracturing it.
78	16/01/2020	At about 10:40 a.m. on January 16, 2020, an employee was with a crew removing boiler panels after a demolition. He was at ground level receiving the metal panels. He was holding on to a panel, trying to position it as it was being lowered. It stopped, then came down suddenly, striking and pinning down his left foot. He suffered a deep laceration on the side of the foot, as well as broken toes. He was hospitalized.
79	24/02/2020	An employee was conducting demolition and repair work on a concrete parking garage stairwell. The employee began to remove concrete slabs from the top of the second-floor platform when the metal sub-sheet underneath him collapsed and he fell approximately 10 feet through the opening. He landed on the concrete ground and sustained fractures to his hands and pelvis.
80	17/03/2020	A temporary employee fell through a manhole at a demolition site, landing 14 feet below and suffering a severe head injury and broken ribs.
81	06/04/2020	An employee was part of a roofing crew that was demolishing a roof. The employee was walking toward the roof ladder when he fell through a section of the roof that had been cut out. He landed on the ground about 18-20 feet below, broke the left leg, and was hospitalized.
82	24/04/2020	On April 23, 2020, an employee was operating a demolition saw at a construction worksite. On April 24, 2020, the employee was hospitalized for a ruptured aorta and required surgery.

ANEXO II

ACIDENTES FATAIS EM AMBIENTE DE DEMOLIÇÃO (OSHA, 2011-2026)

#	DATA	EVENTO – Acidente fatal
83	16/11/2011	Worker performing building demolition operations was fatally crushed when a section of the wall collapsed on him.
84	30/12/2011	Worker died after he was caught in a moving conveyor belt.
85	24/01/2012	A building under demolition collapsed killing two workers.
86	03/05/2012	Worker performing demolition work was killed after a wall collapsed.
87	05/06/2012	Worker was killed when a wall under demolition collapsed on him.
88	19/08/2012	Two workers died from injuries sustained in a demolition dust fire
89	26/02/2013	Worker crushed and killed when a section of building's roof collapsed during demolition operations.
90	05/06/2013	Employee killed after falling 30 feet to lower level during demolition activities.
91	05/06/2013	Two employees died when an adjacent 4-story structure under demolition collapsed onto the roof of the store they were working causing it to collapse.
92	07/08/2013	Skid-steer loader operator working at a demolition site was killed when the loader fell into an open pit.
93	24/08/2013	Worker died when a chimney fell on him during demolition operations.
94	03/12/2013	Worker operating skid steer crushed and killed when it fell over retaining wall.
95	26/12/2013	Worker struck and killed by a piece of falling precast concrete.
96	28/05/2014	Worker performing interior demolition electrocuted after contacting energized conductors.
97	25/06/2014	Worker struck and killed by falling structure during demolition.
98	10/07/2014	Worker performing demolition crushed by falling debris.
99	06/08/2014	Worker fatally crushed by excavator bucket.
100	24/10/2014	Worker killed in fall through hole in floor.
101	28/11/2014	Worker crushed in structural collapse during demolition.
102	19/01/2015	Worker performing bridge demolition fatally crushed by falling ramp.
103	03/03/2015	Worker killed in fall from roof during building demolition.
104	06/04/2015	Worker fatally crushed by demolition debris.
105	17/04/2015	Worker killed in fall inside building.
106	06/05/2015	Worker struck and killed by elevator counterweight during demolition.
107	31/07/2015	Worker fatally crushed by roof structure during demolition.
108	21/08/2015	Worker struck and killed by collapsing wall during demolition.
109	02/12/2015	Worker killed in fall when suspension bridge collapsed during demolition.
110	05/04/2016	Worker struck and killed by falling beam during bridge demolition.
111	05/04/2016	Worker struck and killed by falling beam during bridge demolition.
112	20/04/2016	Worker killed when excavator overturned during overpass demolition.
113	29/04/2016	Worker performing demolition operations killed in fall.
114	24/06/2016	Worker struck and killed by column during demolition.
115	08/08/2016	Worker electrocuted during demolition of electrical conduit.
116	16/11/2016	Worker was fatally crushed by concrete wall that collapsed during demolition.

ANEXO III

SCRIPTS E A PROGRAMAÇÃO UTILIZADA

First Person Controller (“Rigidbody First Person Controller”)

```

using System;
using UnityEngine;
using UnityEngine.StandardAssets.CrossPlatformInput;

namespace UnityEngine.StandardAssets.Characters.FirstPerson
{
    [RequireComponent(typeof (Rigidbody))]
    [RequireComponent(typeof (CapsuleCollider))]
    public class RigidbodyFirstPersonController : MonoBehaviour
    {
        [Serializable]
        public class MovementSettings
        {
            public float ForwardSpeed = 8.0f;    // Speed when walking forward
            public float BackwardSpeed = 4.0f;  // Speed when walking backwards
            public float StrafeSpeed = 4.0f;    // Speed when walking sideways
            public float RunMultiplier = 2.0f;  // Speed when sprinting
            public KeyCode RunKey = KeyCode.LeftShift;
            public float JumpForce = 30f;
            public AnimationCurve SlopeCurveModifier = new AnimationCurve(new
            Keyframe(-90.0f, 1.0f), new Keyframe(0.0f, 1.0f), new Keyframe(90.0f, 0.0f));
            [HideInInspector] public float CurrentTargetSpeed = 8f;
        }

        #if !MOBILE_INPUT
            private bool m_Running;
        #endif

        public void UpdateDesiredTargetSpeed(Vector2 input)
        {
            if (input == Vector2.zero) return;
            if (input.x > 0 || input.x < 0)
            {
                //strafe
                CurrentTargetSpeed = StrafeSpeed;
            }
            if (input.y < 0)
            {
                //backwards
                CurrentTargetSpeed = BackwardSpeed;
            }
            if (input.y > 0)
            {
                //forwards
                //handled last as if strafing and moving forward at
                the same time forwards speed should take precedence
                CurrentTargetSpeed = ForwardSpeed;
            }
        }

        #if !MOBILE_INPUT
            if (Input.GetKey(RunKey))
            {
                CurrentTargetSpeed *= RunMultiplier;
                m_Running = true;
            }
            else
            {

```

```
        m_Running = false;
    }
#endif
}

#if !MOBILE_INPUT
    public bool Running
    {
        get { return m_Running; }
    }
#endif

}

[Serializable]
public class AdvancedSettings
{
    public float groundCheckDistance = 0.01f; // distance for checking if the
controller is grounded ( 0.01f seems to work best for this )
    public float stickToGroundHelperDistance = 0.5f; // stops the character
    public float slowDownRate = 20f; // rate at which the controller comes to
a stop when there is no input
    public bool airControl; // can the user control the direction that is
being moved in the air
    [Tooltip("set it to 0.1 or more if you get stuck in wall")]
    public float shellOffset; //reduce the radius by that ratio to avoid
getting stuck in wall (a value of 0.1f is nice)
}

    public Camera cam;
    public MovementSettings movementSettings = new MovementSettings();
    public MouseLook mouseLook = new MouseLook();
    public AdvancedSettings advancedSettings = new AdvancedSettings();

    private Rigidbody m_RigidBody;
    private CapsuleCollider m_Capsule;
    private float m_YRotation;
    private Vector3 m_GroundContactNormal;
    private bool m_Jump, m_PreviouslyGrounded, m_Jumping, m_IsGrounded;

    public Vector3 Velocity
    {
        get { return m_RigidBody.velocity; }
    }

    public bool Grounded
    {
        get { return m_IsGrounded; }
    }

    public bool Jumping
    {
        get { return m_Jumping; }
    }

    public bool Running
    {
        get
        {
#if !MOBILE_INPUT
            return movementSettings.Running;
#endif
        }
    }
}
```

```

#else
        return false;
#endif
    }
}

private void Start()
{
    m_RigidBody = GetComponent<Rigidbody>();
    m_Capsule = GetComponent<CapsuleCollider>();
    mouseLook.Init (transform, cam.transform);
}

private void Update()
{
    RotateView();

    if (CrossPlatformInputManager.GetButtonDown("Jump") && !m_Jump)
    {
        m_Jump = true;
    }
}

private void FixedUpdate()
{
    GroundCheck();
    Vector2 input = GetInput();

    if ((Mathf.Abs(input.x) > float.Epsilon || Mathf.Abs(input.y) >
float.Epsilon) && (advancedSettings.airControl || m_IsGrounded))
    {
        // always move along the camera forward as it is the direction that it
        // being aimed at
        Vector3 desiredMove = cam.transform.forward*input.y +
cam.transform.right*input.x;
        desiredMove = Vector3.ProjectOnPlane(desiredMove,
m_GroundContactNormal).normalized;

        desiredMove.x = desiredMove.x*movementSettings.CurrentTargetSpeed;
        desiredMove.z = desiredMove.z*movementSettings.CurrentTargetSpeed;
        desiredMove.y = desiredMove.y*movementSettings.CurrentTargetSpeed;
        if (m_RigidBody.velocity.sqrMagnitude <
(movementSettings.CurrentTargetSpeed*movementSettings.CurrentTargetSpeed)
)
        {
            m_RigidBody.AddForce(desiredMove*SlopeMultiplier(),
ForceMode.Impulse);
        }
    }

    if (m_IsGrounded)
    {
        m_RigidBody.drag = 5f;

        if (m_Jump)
        {
            m_RigidBody.drag = 0f;
            m_RigidBody.velocity = new Vector3(m_RigidBody.velocity.x, 0f,
m_RigidBody.velocity.z);
        }
    }
}

```

```

        m_RigidBody.AddForce(new Vector3(0f, movementSettings.JumpForce,
        0f), ForceMode.Impulse);
        m_Jumping = true;
    }

    if (!m_Jumping && Mathf.Abs(input.x) < float.Epsilon &&
    Mathf.Abs(input.y) < float.Epsilon && m_RigidBody.velocity.magnitude <
    1f)
    {
        m_RigidBody.Sleep();
    }
}
else
{
    m_RigidBody.drag = 0f;
    if (m_PreviouslyGrounded && !m_Jumping)
    {
        StickToGroundHelper();
    }
}
m_Jump = false;
}

private float SlopeMultiplier()
{
    float angle = Vector3.Angle(m_GroundContactNormal, Vector3.up);
    return movementSettings.SlopeCurveModifier.Evaluate(angle);
}

private void StickToGroundHelper()
{
    RaycastHit hitInfo;
    if (Physics.SphereCast(transform.position, m_Capsule.radius * (1.0f -
    advancedSettings.shellOffset), Vector3.down, out hitInfo,
        ((m_Capsule.height/2f) - m_Capsule.radius) +
        advancedSettings.stickToGroundHelperDistance,
    Physics.AllLayers, QueryTriggerInteraction.Ignore))
    {
        if (Mathf.Abs(Vector3.Angle(hitInfo.normal, Vector3.up)) < 85f)
        {
            m_RigidBody.velocity =
            Vector3.ProjectOnPlane(m_RigidBody.velocity, hitInfo.normal);
        }
    }
}

private Vector2 GetInput()
{
    Vector2 input = new Vector2
    {
        x = CrossPlatformInputManager.GetAxis("Horizontal"),
        y = CrossPlatformInputManager.GetAxis("Vertical")
    };
    movementSettings.UpdateDesiredTargetSpeed(input);
    return input;
}

private void RotateView()
{
    //avoids the mouse looking if the game is effectively paused

```

```

    if (Mathf.Abs(Time.timeScale) < float.Epsilon) return;

    // get the rotation before it's changed
    float oldYRotation = transform.eulerAngles.y;

    mouseLook.LookRotation (transform, cam.transform);

    if (m_IsGrounded || advancedSettings.airControl)
    {
        // Rotate the rigidbody velocity to match the new direction that the
        character is looking
        Quaternion velRotation = Quaternion.AngleAxis(transform.eulerAngles.y
        - oldYRotation, Vector3.up);
        m_RigidBody.velocity = velRotation*m_RigidBody.velocity;
    }

    /// sphere cast down just beyond the bottom of the capsule to see if the
    capsule is colliding round the bottom
    private void GroundCheck()
    {
        m_PreviouslyGrounded = m_IsGrounded;
        RaycastHit hitInfo;
        if (Physics.SphereCast(transform.position, m_Capsule.radius * (1.0f -
        advancedSettings.shellOffset), Vector3.down, out hitInfo,
        ((m_Capsule.height/2f) - m_Capsule.radius) +
        advancedSettings.groundCheckDistance, Physics.AllLayers,
        QueryTriggerInteraction.Ignore))
        {
            m_IsGrounded = true;
            m_GroundContactNormal = hitInfo.normal;
        }
        else
        {
            m_IsGrounded = false;
            m_GroundContactNormal = Vector3.up;
        }
        if (!m_PreviouslyGrounded && m_IsGrounded && m_Jumping)
        {
            m_Jumping = false;
        }
    }
}

```

First Person Controller (“Vehicle”)

```

using System;
using UnityEngine;
using UnityStandardAssets.CrossPlatformInput;

namespace UnityStandardAssets.Characters.FirstPerson
{
    [RequireComponent(typeof(Rigidbody))]
    [RequireComponent(typeof(CapsuleCollider))]
    public class Vehicle : MonoBehaviour
    {
        [Serializable]
        public class MovementSettings
        {
            public float ForwardSpeed = 2.0f;    // Speed when walking forward
            public float BackwardSpeed = 1.0f;  // Speed when walking backwards
            public float StrafeSpeed = 0f;      // Speed when walking sideways
            public float RunMultiplier = 0f;    // Speed when sprinting
            public KeyCode RunKey = KeyCode.LeftShift;
            public float JumpForce = 0f;
            public AnimationCurve SlopeCurveModifier = new AnimationCurve(new Keyframe(-90.0f, 1.0f), new Keyframe(0.0f, 1.0f), new Keyframe(90.0f, 0.0f));
            [HideInInspector] public float CurrentTargetSpeed = 8f;
        }

        #if !MOBILE_INPUT
            private bool m_Running;
        #endif

        public void UpdateDesiredTargetSpeed(Vector2 input)
        {
            if (input == Vector2.zero) return;
            if (input.x > 0 || input.x < 0)
            {
                //strafe
                CurrentTargetSpeed = StrafeSpeed;
            }
            if (input.y < 0)
            {
                //backwards
                CurrentTargetSpeed = BackwardSpeed;
            }
            if (input.y > 0)
            {
                //forwards
                //handled last as if strafing and moving forward at the same time
                //forwards speed should take precedence
                CurrentTargetSpeed = ForwardSpeed;
            }
        }

        #if !MOBILE_INPUT
            if (Input.GetKey(RunKey))
            {
                CurrentTargetSpeed *= RunMultiplier;
                m_Running = true;
            }
            else
            {
                m_Running = false;
            }
        #endif
    }
}

```

```

    }
#endif
    public bool Running
    {
        get { return m_Running; }
    }
#endif
}

[Serializable]
public class AdvancedSettings
{
    public float groundCheckDistance = 0.01f; // distance for checking if the
controller is grounded ( 0.01f seems to work best for this )
    public float stickToGroundHelperDistance = 0.5f; // stops the character
    public float slowDownRate = 20f; // rate at which the controller comes to
a stop when there is no input
    public bool airControl; // can the user control the direction that is
being moved in the air
    [Tooltip("set it to 0.1 or more if you get stuck in wall")]
    public float shellOffset; //reduce the radius by that ratio to avoid
getting stuck in wall (a value of 0.1f is nice)
}

public Camera cam;
public MovementSettings movementSettings = new MovementSettings();
public MouseLook mouseLook = new MouseLook();
public AdvancedSettings advancedSettings = new AdvancedSettings();

private Rigidbody m_RigidBody;
private CapsuleCollider m_Capsule;
private float m_YRotation;
private Vector3 m_GroundContactNormal;
private bool m_Jump, m_PreviouslyGrounded, m_Jumping, m_IsGrounded;

public Vector3 Velocity
{
    get { return m_RigidBody.velocity; }
}

public bool Grounded
{
    get { return m_IsGrounded; }
}

public bool Jumping
{
    get { return m_Jumping; }
}

public bool Running
{
    get
    {
#endif

```

```

        return movementSettings.Running;
#else
        return false;
#endif
    }

    private void Start()
    {
        m_RigidBody = GetComponent<Rigidbody>();
        m_Capsule = GetComponent<CapsuleCollider>();
        mouseLook.Init(transform, cam.transform);
    }

    private void Update()
    {
        RotateView();

        if (CrossPlatformInputManager.GetButtonDown("Jump") && !m_Jump)
        {
            m_Jump = true;
        }
    }

    private void FixedUpdate()
    {
        GroundCheck();
        Vector2 input = GetInput();

        if ((Mathf.Abs(input.x) > float.Epsilon || Mathf.Abs(input.y) >
float.Epsilon) && (advancedSettings.airControl || m_IsGrounded))
        {
            // always move along the camera forward as it is the direction that it
            being aimed at
            Vector3 desiredMove = cam.transform.forward * input.y +
cam.transform.right * input.x;
            desiredMove = Vector3.ProjectOnPlane(desiredMove,
m_GroundContactNormal).normalized;

            desiredMove.x = desiredMove.x * movementSettings.CurrentTargetSpeed;
            desiredMove.z = desiredMove.z * movementSettings.CurrentTargetSpeed;
            desiredMove.y = desiredMove.y * movementSettings.CurrentTargetSpeed;
            if (m_RigidBody.velocity.sqrMagnitude <
(movementSettings.CurrentTargetSpeed *
movementSettings.CurrentTargetSpeed))
            {
                m_RigidBody.AddForce(desiredMove * SlopeMultiplier(),
ForceMode.Impulse);
            }
        }

        if (m_IsGrounded)
        {
            m_RigidBody.drag = 5f;

            if (m_Jump)
            {

```

```

        m_RigidBody.drag = 0f;
        m_RigidBody.velocity = new Vector3(m_RigidBody.velocity.x, 0f,
m_RigidBody.velocity.z);
        m_RigidBody.AddForce(new Vector3(0f, movementSettings.JumpForce,
0f), ForceMode.Impulse);
        m_Jumping = true;
    }

    if (!m_Jumping && Mathf.Abs(input.x) < float.Epsilon &&
Mathf.Abs(input.y) < float.Epsilon && m_RigidBody.velocity.magnitude < 1f)
    {
        m_RigidBody.Sleep();
    }
}
else
{
    m_RigidBody.drag = 0f;
    if (m_PreviouslyGrounded && !m_Jumping)
    {
        StickToGroundHelper();
    }
}
m_Jump = false;
}

private float SlopeMultiplier()
{
    float angle = Vector3.Angle(m_GroundContactNormal, Vector3.up);
    return movementSettings.SlopeCurveModifier.Evaluate(angle);
}

private void StickToGroundHelper()
{
    RaycastHit hitInfo;
    if (Physics.SphereCast(transform.position, m_Capsule.radius * (1.0f -
advancedSettings.shellOffset), Vector3.down, out hitInfo,
((m_Capsule.height / 2f) - m_Capsule.radius) +
advancedSettings.stickToGroundHelperDistance,
Physics.AllLayers, QueryTriggerInteraction.Ignore))
    {
        if (Mathf.Abs(Vector3.Angle(hitInfo.normal, Vector3.up)) < 85f)
        {
            m_RigidBody.velocity =
Vector3.ProjectOnPlane(m_RigidBody.velocity, hitInfo.normal);
        }
    }
}

private Vector2 GetInput()
{
    Vector2 input = new Vector2
    {
        x = CrossPlatformInputManager.GetAxis("Horizontal"),
        y = CrossPlatformInputManager.GetAxis("Vertical")
    };
    movementSettings.UpdateDesiredTargetSpeed(input);
}

```

```
        return input;
    }

    private void RotateView()
    {
        //avoids the mouse looking if the game is effectively paused
        if (Mathf.Abs(Time.timeScale) < float.Epsilon) return;

        // get the rotation before it's changed
        float oldYRotation = transform.eulerAngles.y;

        mouseLook.LookRotation(transform, cam.transform);

        if (m_IsGrounded || advancedSettings.airControl)
        {
            // Rotate the rigidbody velocity to match the new direction that the
            character is looking
            Quaternion velRotation = Quaternion.AngleAxis(transform.eulerAngles.y
- oldYRotation, Vector3.up);
            m_RigidBody.velocity = velRotation * m_RigidBody.velocity;
        }

        /// sphere cast down just beyond the bottom of the capsule to see if the
        capsule is colliding round the bottom
        private void GroundCheck()
        {
            m_PreviouslyGrounded = m_IsGrounded;
            RaycastHit hitInfo;
            if (Physics.SphereCast(transform.position, m_Capsule.radius * (1.0f -
advancedSettings.shellOffset), Vector3.down, out hitInfo,
((m_Capsule.height / 2f) - m_Capsule.radius) +
advancedSettings.groundCheckDistance, Physics.AllLayers,
QueryTriggerInteraction.Ignore))
            {
                m_IsGrounded = true;
                m_GroundContactNormal = hitInfo.normal;
            }
            else
            {
                m_IsGrounded = false;
                m_GroundContactNormal = Vector3.up;
            }
            if (!m_PreviouslyGrounded && m_IsGrounded && m_Jumping)
            {
                m_Jumping = false;
            }
        }
    }
}
```

Limites do funcionário A (“Blocked”)

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class Blocked : MonoBehaviour {
    public GameObject aux;
    public Transform ponta1;
    public Transform ponta2;
    static Animator anim;

    // Use this for initialization
    void Start () {

    }

    // Update is called once per frame
    void Update () {

    }

    void OnTriggerEnter(Collider other){ //colisão
        if (other.name == "Pete")
        { //se for o objeto desejado
            anim.SetTrigger("Turn"); //roda 180
            if (aux.activeSelf)
            {
                Vector3 direction = ponta1.position - this.transform.position;
                direction.y = 0;
                this.transform.rotation = Quaternion.Slerp(this.transform.rotation,
Quaternion.LookRotation(direction), 0.1f);
                this.transform.Translate(0, 0, 0.05f);
                aux.SetActive(false);
            }
            else
            {
                Vector3 direction = ponta2.position - this.transform.position;
                direction.y = 0;
                this.transform.rotation = Quaternion.Slerp(this.transform.rotation,
Quaternion.LookRotation(direction), 0.1f);
                this.transform.Translate(0, 0, 0.05f);
                aux.SetActive(true);
            }
        }
    }
}

```

Troca de câmara 1 (“ChangeCam”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class ChangeCam : MonoBehaviour
{
    public GameObject Player;
    public GameObject Player1;
    public GameObject Extra;
    public GameObject Collider;
    public GameObject Trigger3;
    public GameObject Trigger0;
    public GameObject explosion;
    public GameObject TriggerX;
    public GameObject Arrow;
    public GameObject C1;

    private void OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        Trigger3.SetActive(true);
        Trigger0.SetActive(true);
        explosion.SetActive(true);
        Arrow.SetActive(true);
        C1.SetActive(false);
        Player1.SetActive(true);
        Player.SetActive(false);
        Extra.SetActive(false);
        TriggerX.SetActive(false);
        Collider.SetActive(true);
        GetComponent<Collider>().enabled = false;
    }
}
```

Troca de câmara 2 (“ChangeCam1”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class ChangeCam1 : MonoBehaviour
{
    public GameObject Player;
    public GameObject Player1;
    public GameObject Extra;
    public GameObject Collider;
    public GameObject explosion;
    public GameObject buraco;
    public GameObject TriggerTxt;
    public GameObject Arrow;
    float Sec;

    private void OnTriggerStay(Collider other)
    {
        if (Sec < 3)
        {
            Sec += 1 * Time.deltaTime;
            print(Sec);
        }
        if (Sec >= 3)
        {
            Player1.SetActive(false);
            explosion.SetActive(false);
            buraco.SetActive(true);
            Player.SetActive(true);
            Extra.SetActive(true);
            Collider.SetActive(false);
            TriggerTxt.SetActive(true);
            Arrow.SetActive(false);
            GetComponent<Collider>().enabled = false;
        }
    }

    void OnTriggerExit(Collider other)
    {
        Sec = 0;
    }
}
```

Desenvolvimento (“development”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class development : MonoBehaviour
{
    void OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        Destroy(gameObject);
    }
}
```

Escolha do disco adequado (“disco”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class Disco : MonoBehaviour
{
    public GameObject TxtA;
    public GameObject dp, de1, de2, de3;

    void OnTriggerStay(Collider other)
    {
        if (dp.activeSelf)
        {
            TxtA.SetActive(true);
            if (Input.GetKey("e"))
            {
                de1.SetActive(true);
                de2.SetActive(true);
                de3.SetActive(true);
                dp.SetActive(false);
                TxtA.SetActive(false);
            }
        }
    }

    void OnTriggerExit(Collider other)
    {
        TxtA.SetActive(false);
    }
}
```

Introdução à escolha de disco e subida ao andaime (“disco0”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class Disco0 : MonoBehaviour
{
    public GameObject TxtA, TxtB, TxtC, disco;
    public Transform player, respawnPoint;
    public GameObject saw, arnes;

    void OnTriggerStay(Collider other)
    {
        if(disco.activeSelf)
        {
            TxtA.SetActive(true);
        }
        else
        {
            if(arnes.activeSelf)
            {
                TxtC.SetActive(true);
            }
            else
            {
                TxtB.SetActive(true);
                if (Input.GetKey("e"))
                {
                    TxtB.SetActive(false);
                    GetComponent<Collider>().enabled = false;
                    saw.SetActive(true);
                    player.transform.position = respawnPoint.transform.position;
                }
            }
        }
    }

    void OnTriggerExit(Collider other)
    {
        TxtA.SetActive(false);
        TxtB.SetActive(false);
        TxtC.SetActive(false);
    }
}
```

Funcionamento do disco diamantado (“disco2”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class Disco2 : MonoBehaviour
{
    public Animator anim;
    public GameObject trg;
    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {

    }

    // Update is called once per frame
    void Update()
    {
        if (Input.GetKey("e"))
        {
            if (trg.activeSelf)
            {
                anim.SetBool("ligado", true);
                trg.SetActive(false);
            }
            else
            {
                anim.SetBool("ligado", false);
                trg.SetActive(true);
            }
        }
    }
}
```

EPI – (“epis”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class EPIs : MonoBehaviour
{
    public GameObject verif;
    public GameObject verif2;
    public GameObject Txt;
    public GameObject C1;
    void Start()
    {
        if (verif.activeSelf || verif2.activeSelf)
        {
        }
        else
        {
            C1.SetActive(true);
            Destroy(gameObject);
            Destroy(Txt);
            GetComponent<Collider>().enabled = false;
        }
    }
    void OnTriggerStay(Collider other)
    {
        if (verif.activeSelf || verif2.activeSelf)
        {
            Txt.SetActive(true);
        }
        else
        {
            C1.SetActive(true);
            GetComponent<Collider>().enabled = false;
            Destroy(gameObject);
            Destroy(Txt);
        }
    }
    void OnTriggerExit(Collider other)
    {
        Txt.SetActive(false);
    }
}
```

Desabar (“explodir”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class explodir : MonoBehaviour
{
    public Animator anim;

    // Update is called once per frame
    private void OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        anim.SetTrigger("Explode");
    }
}
```

Fim da simulação (“final”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.SceneManagement;

public class final : MonoBehaviour
{
    public static bool GameIsPaused = false;
    public GameObject Texto;
    float sec;
    void OnTriggerStay(Collider other)
    {
        if (sec < 3)
        {
            sec += 1 * Time.deltaTime;
            print(sec);
        }
        if (sec >= 3)
        {
            sec += 1 * Time.deltaTime;
            Texto.SetActive(true);
            if (sec >= 10)
            {
                Texto.SetActive(false);
                Cursor.visible = true;
                Cursor.lockState = CursorLockMode.None;
                Time.timeScale = 0f;
                GameIsPaused = true;
                SceneManager.LoadScene(0);
            }
        }
    }

    // Update is called once per frame
    void Update()
    {
    }
}
```

Guarda-corpos – Aviso (“gc”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class GC : MonoBehaviour
{
    public GameObject Texto;
    public GameObject respawnPoint;
    public GameObject Player;
    float Sec;

    void OnTriggerStay(Collider other)
    {
        Texto.SetActive(true);
        if (Sec < 1.5)
        {
            Sec += 1 * Time.deltaTime;
            print(Sec);
        }
        if (Sec >= 1.5)
        {
            Player.transform.position = respawnPoint.transform.position;
        }
    }

    void OnTriggerExit(Collider other)
    {
        Texto.SetActive(false);
        Sec = 0;
    }

    void Start()
    {
        Texto.SetActive(false);
    }
}
```

EPI – Objetos (“helmet”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class Helmet : MonoBehaviour{

    void OnTriggerEnter(Collider other)
    { //colisão
        if (other.name == "Player"){ //player
            gameObject.SetActive(false); //O objeto colidido desaparece do jogo
        }
    }
}
```

Linhas de circulação – Aviso (“linhas”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class Linhas : MonoBehaviour
{
    public GameObject Texto;
    public GameObject respawnPoint;
    public GameObject Player;
    float Sec;

    void OnTriggerStay(Collider other)
    {
        Texto.SetActive(true);
        if (Sec < 3)
        {
            Sec += 1 * Time.deltaTime;
            print(Sec);
        }
        if (Sec >= 3)
        {
            Player.transform.position = respawnPoint.transform.position;
        }
    }

    void OnTriggerExit(Collider other)
    {
        Texto.SetActive(false);
        Sec = 0;
    }

    void Start()
    {
        Texto.SetActive(false);
    }
}
```

Menu Principal (“mainmenu”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.SceneManagement;

public class MainMenu : MonoBehaviour
{
    public void ButtonEnter()
    {
        SceneManager.LoadScene(1);
        Cursor.visible = false;
        Cursor.lockState = CursorLockMode.Locked;
        Time.timeScale = 1f;
    }

    public void ButtonCredits()
    {
        SceneManager.LoadScene(2);
    }

    public void ButtonExit()
    {
        Debug.Log("Exiting Game...");
        Application.Quit();
    }
}
```

Menu de Pausa (“menu”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.SceneManagement;

public class Menu : MonoBehaviour
{
    public static bool GameIsPaused = false;
    public GameObject pauseMenuUI;

    void Start()
    {
        pauseMenuUI.SetActive(false);
        Cursor.visible = false;
        Cursor.lockState = CursorLockMode.Locked;
        Time.timeScale = 1f;
        GameIsPaused = false;
    }
    void Update()
    {
        if (Input.GetKeyDown(KeyCode.Escape))
        {
            if (GameIsPaused)
            {
                Resume();
            }
            else
            {
                Pause();
            }
        }
    }
    public void Resume()
    {
        pauseMenuUI.SetActive(false);
        Cursor.visible = false;
        Cursor.lockState = CursorLockMode.Locked;
        Time.timeScale = 1f;
        GameIsPaused = false;
    }
    void Pause()
    {
        pauseMenuUI.SetActive(true);
        Cursor.visible = true;
        Cursor.lockState = CursorLockMode.None;
        Time.timeScale = 0f;
        GameIsPaused = true;
    }
    public void QuitGame()
    {
        Cursor.visible = true;
        Cursor.lockState = CursorLockMode.None;
        Time.timeScale = 0f;
        GameIsPaused = true;
        SceneManager.LoadScene(0);
    }
}
```

Queda da parede (“parede”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class Parede : MonoBehaviour
{
    public GameObject corrigir1;
    public Animator anim;
    public GameObject txt;
    public GameObject boneco;
    public GameObject parede;
    public GameObject mesa, triggerm;

    void Update()
    {
        if(corrigir1.activeSelf)
        {
            if (Input.GetKey("e"))
            {
                boneco.SetActive(false);
                parede.SetActive(false);
                txt.SetActive(false);
                mesa.SetActive(true);
                triggerm.SetActive(true);
            }
        }
    }

    void OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        corrigir1.SetActive(true);
        anim.SetTrigger("CairParede");
    }

    void After()
    {
        txt.SetActive(true);
    }
}
```

Interação do funcionário A (“PeterController”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class PeterControl : MonoBehaviour
{
    public Transform theplayer;
    public Transform ponta1;
    public Transform ponta2;
    static Animator anim;
    public GameObject aux;

    void Start()
    {
        anim = GetComponent<Animator>();
    }

    void Update()
    {
        if (Vector3.Distance(theplayer.position, this.transform.position) < 5)
        {
            anim.SetBool("isWalking", false);
            Vector3 direction = theplayer.position - this.transform.position;
            direction.y = 0;
            this.transform.rotation = Quaternion.Slerp(this.transform.rotation,
Quaternion.LookRotation(direction), 0.1f);
        }
        else
        {
            anim.SetBool("isWalking", true);
            if (aux.active == true)
            {
                Vector3 direction = ponta2.position - this.transform.position;
                direction.y = 0;
                this.transform.rotation = Quaternion.Slerp(this.transform.rotation,
Quaternion.LookRotation(direction), 0.1f);
                this.transform.Translate(0, 0, 0.03f);
            }
            else
            {
                Vector3 direction = ponta1.position - this.transform.position;
                direction.y = 0;
                this.transform.rotation = Quaternion.Slerp(this.transform.rotation,
Quaternion.LookRotation(direction), 0.1f);
                this.transform.Translate(0, 0, 0.03f);
            }
            if (Vector3.Distance(ponta1.position, this.transform.position) < 5)
            {
                if (aux.active == false)
                {
                    Vector3 direction = ponta2.position - this.transform.position;
                    direction.y = 0;
                    this.transform.rotation =
Quaternion.Slerp(this.transform.rotation, Quaternion.LookRotation(direction), 0.1f);
                    this.transform.Translate(0, 0, 0.03f);
                    aux.SetActive(true);
                }
            }
        }
    }
}
```

```
    }
  }
  if (Vector3.Distance(ponta2.position, this.transform.position) < 5)
  {
    if (aux.active == true)
    {
      Vector3 direction = ponta1.position - this.transform.position;
      direction.y = 0;
      this.transform.rotation =
Quaternion.Slerp(this.transform.rotation, Quaternion.LookRotation(direction), 0.1f);
      this.transform.Translate(0, 0, 0.03f);
      aux.SetActive(false);
    }
  }
}
}
```

Porta do quadro elétrico (“porta”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class Porta : MonoBehaviour
{
    public Animator anim;
    public GameObject TxtA;
    // Start is called before the first frame update
    void OnTriggerStay(Collider other)
    {
        anim.SetBool("Aberta", true);
        TxtA.SetActive(true);
        if (Input.GetKey("e"))
        {
            GetComponent<Collider>().enabled = false;
            if(TxtA.activeSelf)
            {
                Destroy(TxtA);
            }
        }
    }

    void OnTriggerExit(Collider other)
    {
        anim.SetBool("Aberta", false);
        TxtA.SetActive(false);
    }

    // Update is called once per frame
    void Update()
    {
    }
}
```

Queda da máquina (“queda”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class Queda : MonoBehaviour
{
    public GameObject Buraco;

    private void OnTriggerEnter(Collider other)
    { //colisão
        Buraco.SetActive(false);
        GetComponent<Collider>().enabled = false;
    }
}
```

Fade (“telascript”)

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class TelaScript : MonoBehaviour
{
    public GameObject Txt;
    public GameObject TriggerLinhasX;
    public GameObject C2;

    // Start is called before the first frame update
    void Update()
    {
        if (Input.GetKey("e"))
        {
            Txt.SetActive(false);
            TriggerLinhasX.SetActive(true);
            GetComponent<Collider>().enabled = false;
        }
    }

    void OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        Txt.SetActive(true);
        C2.SetActive(true);
    }
}
```


ANEXO IV

DECRETO N.º 41821/58, DE 11 DE AGOSTO

REGULAMENTO DE SEGURANÇA NO TRABALHO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

TÍTULO IV

Demolições

CAPÍTULO I

Disposições gerais

Artigo 47.º

A demolição de qualquer edificação será dirigida por técnico responsável, legalmente idóneo, que responderá pela aplicação das medidas previstas neste título ou exigidas pela natureza especial dos trabalhos para protecção e segurança das pessoas e bens dos trabalhadores e do público.

CAPÍTULO II

Providências preliminares

Artigo 48.º

Não poderá ter início qualquer trabalho de demolição sem que previamente o técnico responsável se tenha assegurado de que a água, gás e electricidade fornecidos ao edifício se encontram cortados.

§ único. Se para o andamento dos trabalhos forem necessárias águas ou energia, o respectivo fornecimento será feito em local e de forma a evitar quaisquer inconvenientes.

Artigo 49.º

Os elementos frágeis, como envidraçados, fasquiados e estuques, serão retirados dos edifícios antes de começada a demolição.

§ único. Os operários empregados na remoção de estuques e tabiques utilizarão máscaras destinadas a defendê-los das poeiras, a menos que estas sejam eliminadas por meio de água ou qualquer outro processo adequado.

CAPÍTULO III

Outras providências

Artigo 50.º

A demolição deve conduzir-se gradualmente, de cima para baixo, de andar para andar e dos elementos suportados para os elementos suportantes.

§ único. Não pode ser removido qualquer elemento suportante antes de o serem os elementos suportados que lhe correspondam, salvo se forem tomadas as devidas precauções para evitar os perigos que daí possam advir.

Artigo 51.º

As paredes, chaminés e quaisquer outros elementos a demolir devem ser apeados por partes e nas condições exigidas na secção II do capítulo IV deste título.

§ 1.º Não é permitido lançar ou deixar cair materiais directamente sobre os pavimentos, nem a sua acumulação nos mesmos.

§ 2.º Os produtos de demolição serão imediatamente retirados para fora do edifício.

Artigo 52.º

As escadas e as balaustradas serão mantidas nos seus lugares durante o maior período de tempo possível.

Artigo 53.º

Os elementos a demolir, particularmente paredes e chaminés, não podem ser abandonados em posição que torne possível o seu derrubamento por acções eventuais, nomeadamente a do vento ou a do choque de vigas.

Artigo 54.º

Além das precauções previstas expressamente neste regulamento, haverá cuidados especiais no manejo de coberturas de chapas metálicas, no apeamento de cornijas e na demolição de paredes com vigas embebidas.

CAPÍTULO IV

Equipamento, instalações auxiliares e sua utilização

SECÇÃO I

Equipamento do pessoal

Artigo 55.º

Todo o pessoal empregado em trabalhos de demolição usará calçado adequado.

§ 1.º Os trabalhadores expostos ao perigo da queda de objectos ou materiais usarão capacetes duros.

§ 2.º Os trabalhadores empregados na remoção de materiais com arestas cortantes devem usar luvas resistentes.

SECÇÃO II

Remoção e descida de materiais

Artigo 56.º

Os produtos de demolição, sobretudo quando constituídos por grandes quantidades ou por volumes pesados, serão arreados por meio de cordas, cabos, roldanas, guinchos ou outros processos apropriados para zonas vedadas à permanência ou circulação do pessoal.

§ único. Na execução das descidas, adoptar-se-á um sistema adequando de sinalização e serão empregados, se necessário, cabos de cauda.

Artigo 57.º

A utilização de um derrick na remoção de estruturas metálicas será precedida da verificação de que o pavimento onde vai ser instalado oferece a necessária resistência e estabilidade.

Nos casos em que isso seja aconselhável, poderão transmitir-se as cargas às vigas do pavimento por meio de pranchas suficientemente resistentes.

Artigo 58.º

A remoção de materiais como tijolos e detritos pesados será feita por meio de caldeiras metálicas ou de madeira que obedeçam aos seguintes requisitos:

- a) Serem vedadas, para impedir a fuga dos materiais;
- b) Não terem troços rectos maiores do que a altura correspondente a dois andares do edifício, para evitar que o material atinja, na descida, velocidades perigosas;
- c) Terem na base um dispositivo de retenção eficiente, para deter a corrente de materiais;
- d) Terem barreiras amovíveis junto da extremidade de descarga e um dístico com sinal de perigo.

Artigo 59.º

Não é permitido o estacionamento de pessoas ou viaturas junto das extremidades de descarga das caldeiras, excepto durante as operações de descarga.

Artigo 60.º

Na descarga das caldeiras, os operários usarão ferramentas apropriadas, sendo-lhes proibido efectua-la com as mãos.

SECÇÃO III

Andaimes

Artigo 61.º

Sempre que se torne necessário ou vantajoso, serão montados andaimes para a demolição.

§ 1.º Os andaimes serão construídos completamente desligados da zona em demolição, e de modo a poderem resistir, dentro de limites razoáveis, a pressões resultantes de desmoronamentos acidentais.

§ 2.º São proibidos os andaimes no exterior das paredes sobre consolas, salvo se forem destinados à remoção de materiais leves que não ponham em perigo a estabilidade daquelas.

§ 3.º Não é permitido que os operários trabalhem em cima dos elementos a demolir, a não ser que os serviços de inspecção reconheçam a impossibilidade de o fazerem por outra forma.

SECÇÃO IV

Plataformas

Artigo 62.º

Na demolição de paredes exteriores, em edifícios de muitos andares, serão instaladas plataformas de descarga para evitar que sejam atingidos pela queda de materiais os operários que trabalham nos andares inferiores e o público.

§ 1.º As plataformas serão executadas com pranchas bastante resistentes, e o seu bordo exterior deverá estar, pelo menos, 0,15 m mais alto do que o bordo interior.

§ 2.º O bordo exterior da plataforma será guarnecido de rede de arame galvanizado, com dimensões que ofereçam toda a segurança.

SECÇÃO V

Protecção de aberturas

Artigo 63.º

Todas as aberturas dos pavimentos do andar em demolição serão convenientemente tapadas para protecção do pessoal que trabalha nos andares inferiores, excepto se tiverem de ser utilizadas na passagem de materiais ou utensílios.

Não sendo possível mantê-las tapadas, as aberturas deverão ser resguardadas com corrimãos e guarda-cabeças.

ANEXO V

FICHEIRO "README.TXT"

Este ficheiro contém um ambiente virtual com cenários potencialmente perigosos para trabalhos de demolição.

===== Teclas e instruções =====

Para entrar, abra o ficheiro "vr_building 1.0".

Dentro do modelo, depois de aderir ao ambiente, deverá entrar na obra e seguir as indicações dadas pelo programa através das caixinhas vermelhas sinalizadoras do caminho, linhas de circulação ou setas.

Para percorrer esse trajeto, deverá usar as teclas W A S D, em conjunto com o rato.

W - frente

A - esquerda

S - trás

D - direita

===== Créditos =====

. Softwares utilizados

Revit

Unity3D

SketchUp

. Modelos e objetos

Mixamo

SketchUp 3D Warehouse

Unity 3D Assets Store

. Autor

Renato Pereira da Silva

