

**Vertente Teórica**

## **INTEGRAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE MULTIDÕES EM BIM**

**Vertente Projetual**

## **CENTRO DE REABILITAÇÃO E TREINO DE ALTO RENDIMENTO**



Trabalho submetido como requisito para a obtenção do grau de  
Mestre em Arquitetura

Bruno Miguel de Paiva Carvalho

***Vertente Teórica***

Integração Da Simulação De Multidões Em BIM  
Orientador: Professor José Ricardo Pontes Resende

***Vertente Prática***

Regeneração do Rio Alenquer - Complexo Desportivo da Romeira  
Centro de Reabilitação e Treino de Alto Rendimento  
Tutor: Professor Doutor Pedro da Luz Pinto

2016/2017





## ÍNDICE GERAL

### VERTENTE TEÓRICA

#### **INTEGRAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE MULTIDÕES EM BIM**

Capítulo 1 – Introdução	23
Capítulo 2 – Estado da Arte	30
Capítulo 3 – Metodologia proposta	54
Capítulo 4 – Aplicação prática da metodologia proposta	82
Capítulo 5 – Considerações Finais	179

### VERTENTE PROJETUAL

#### **Alenquer – Carregado**

Regeneração Do Rio Alenquer	###
Leitura Crítica do Território	
Complexo Desportivo Da Romeira	###
Projeto Urbano	
Centro De Reabilitação E Treino De Alto Rendimento	###
Projeto de Arquitetura	

Vertente Teórica

## **INTEGRAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE MULTIDÕES EM BIM**

## I - AGRADECIMENTOS

A realização, deste trabalho projeto muito se deve a todos aqueles que ao longo deste tempo me prestaram todo o seu apoio e compreensão. Sinto-me no dever de expressar os meus agradecimentos a quem, por direito, os merece. Ao Tutor Pedro da Luz Pinto da vertente de projeto e ao professor José Ricardo Pontes Resende do ISCTE, orientador científico da vertente teórica de Projeto Final de Arquitetura, agradeço todos os meios materiais, humanos e intelectuais colocados à minha disposição. Agradecer as instituições académicas que contribuíram para o meu percurso académico e aos docentes dos respetivos departamentos de arquitetura, da Universidade dos Açores (UAC) e do ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, pela oportunidade de investir no desenvolvimento da minha formação pessoal.

A todos os colegas e amigos, que direta e indiretamente, fizeram parte desta missão em Lisboa ou acompanharam-me de perto e de longe como insular Açoriano que sou, agradeço pelo incentivo constante e contributo pessoal de cada um em todos os momentos deste percurso, pela amizade e disponibilidade que me prestaram aquando da realização dos desafios do curso e sobretudo aos que partilharam da sua vida privada, acolheram-me e conviveram comigo diariamente.

Aos meus Pais, Irmã e Avós, agradeço de forma sentida, as oportunidades que colocaram ao meu dispor, os valores que me transmitiram e que me ajudaram a tornar-me na pessoa que sou hoje. Obrigada pelo investimento, pela atenção, carinho e paciência com que acompanharam este meu longo percurso.

À minha namorada, agradeço toda a dedicação, o companheirismo e o incentivo constante com que me apoiou sempre na realização deste objetivo.

A todos, sentido obrigado.



## II - RESUMO

A presente dissertação descreve a investigação desenvolvida no âmbito da componente teórica da disciplina de Projeto Final de Arquitetura (PFA). O trabalho de investigação desenvolveu-se sobre o campo tecnológico da **simulação de multidões** e defende uma metodologia que propõe a integração da simulação por agentes autónomos, facilitada pela interoperabilidade da **metodologia BIM-FM**. O **modelo 3D paramétrico** do edifício em formato **IFC**, transportando informação semântica fulcral para a relação entre o indivíduo e o edifício/cenário é usado como base da simulação. O software de simulação utilizado permite uma análise visual, gráfica e analítica de variáveis, úteis da fase de projeto à gestão de património. Conforme o nível de maturidade do modelo BIM evolui, o modelo social de simulação, permite por processos simples, a atualização do cenário e evolução dos parâmetros sociais. Embora com algumas limitações, a simulação do desempenho sócio espacial acrescenta uma dimensão espaço-tempo, ausente de forma geral das ferramentas de **sintaxe espacial** atuais. Um modelo que suporte um padrão social de um contexto específico permite o estudo exaustivo de variáveis resultantes da relação ambiente-comportamento em multidão a diferentes níveis. O ensaio e desenvolvimento constante dos parâmetros sociais, a par do ambiente virtual, assentam na interpretação cognitiva de agentes programados por **algoritmos de inteligência artificial**. O caso de estudo visa um cenário específico, inserido num contexto de **metodologia BIM-FM do campus universitário do ISCTE-IUL**, onde a dimensão e complexidade social dos utilizadores do campus, tem um grande impacto diário no desempenho geral da organização.

## II - ABSTRACT

This dissertation describes the investigation developed in the theoretic component of the Projeto Final de Arquitetura discipline. The investigation work was developed on the technologic field of **crowds simulation** and it defends a methodology that propose the integration of simulation of independent agents, facilitated by **BIM\_FM methodologies** interoperability. The **3D parametric model** of the build in **IFC** format, by transporting semantic information that is core to the relation between the individual and the building/scenario, is used as the base of simulation. The simulation software allows a visual, graphic and analytical review of the variables, that are useful from the project stage to the management. As the maturity of the BIM model grows, the social model of simulation allows, by simple processes, the scenario's update and the evolution of social parameters. Thought some limitations, the simulation of social-spatial performance brings a space-time dimension, generally absent from today's **spatial syntax** tools. A model that supports a social pattern of a specific context allows the exhaustive study of variables that result from the environment-behavior relationship in crowd in several levels. The constant test and development of the social parameters, besides the virtual environment, are based on the cognitive interpretation of agents programmed by **artificial intelligence algorithms**. The study case aims a specific scenario that is inserted in a context of a **BIM-FM methodology of the ISCTE-IUL university campus**, where the dimension and social complexity of campus users have a big daily impact in the general organization's performance.



### III - ÍNDICE

<b>1. Introdução .....</b>	<b>23</b>
1.1. <i>Âmbito geral</i> .....	23
1.2. <i>Objetivos</i> .....	28
1.3. <i>Estrutura</i> .....	29
<b>2. Estado da Arte .....</b>	<b>30</b>
2.1. <i>Comportamento de Multidões - do estudo à simulação</i> .....	32
2.2. <i>Simulação ambiente-comportamento - do CAD ao BIM</i> .....	47
<b>3. Metodologia proposta.....</b>	<b>54</b>
3.1. <i>Enquadramento geral</i> .....	55
3.2. <i>Identificação do caso de estudo</i> .....	59
3.3. <i>Software para a simulação comportamental</i> .....	70
3.4. <i>Metodologia aplicada</i> .....	79
<b>4. Aplicação prática da metodologia proposta .....</b>	<b>82</b>
4.1. <i>Domínio do MassMotion</i> .....	83
4.2. <i>Revit: O modelo e a Interoperabilidade do BIM</i> .....	115
4.3. <i>MassMotion - Caso de estudo</i> .....	118

4.4.	<i>MassMotion - Proposta 1</i> .....	152
4.5.	<i>MassMotion - Comparação dos cenários e análises</i> .....	169
5.	<b>Considerações Finais</b> .....	<b>179</b>
6.	<b>Bibliografia</b> .....	<b>183</b>

#### IV - ACRÓNIMOS

<b>AEC</b>	Arquitetura, Engenharia e Construção
<b>BIM</b>	<i>Building Information Modelling</i>
<b>FM</b>	<i>Facility Mangement</i>
<b>ISCTE-IUL</b>	ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa
<b>LOD</b>	<i>Level of Detail</i>
<b>NBS</b>	<i>National Building Specification</i>
<b>PFA</b>	Projeto Final de Arquitetura
<b>SM</b>	Simulação de Multidões
<b>UER</b>	Unidade de Edifícios e Recursos

## V - ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução temporal da adoção do BIM no Reino Unido [1].....	25
Figura 2 – Representação do fluxo através de passagens estreitas onde o campo de direcional mantém-se curto por um curto período, uma vez que os agentes seguintes tendem a seguir o anterior. Mais tarde o campo direcional aumenta, diminuindo a fluidez por força do fluxo contrário.[31] .....	34
Figura 3 - Praças de Nova York (Whyte 1982a) .....	34
Figura 4 – Intersecções convencionais (esq.) e melhoradas (dir.) .....	35
Figura 5 - Representação da auto-organização do tráfego em cruzamentos, onde os agentes representados por vetores de deslocação e cor de grupo. a formam uma rotunda instável, com atravessamentos verticais e horizontais pontualmente. [31].....	35
Figura 6 - Comportamento resultante dos elementos conhecidos por <i>boids</i> . .....	36
Figura 7 – Tabela com as principais características de cada modelo de evacuação. [72] .....	45
Figura 8 – Legenda .....	46
Figura 9 – Comparação do modelo comportamental da praça <b>Sproul Plaza</b> . esquerda: com fonte. direita: sem fonte. [23].....	47
Figura 10 – Gráfico distribuição/duração (esq.). Caminhos percorridos (dir.) [23].....	48
Figura 11 – diagrama das distâncias sociais. [23] .....	48
Figura 12 – esquerda: dois agentes a andar e subir. direita: os dois agentes a procurar os bancos com base no algoritmo A*. [23] .....	49
Figura 13 – Gráfico de concepções. [3] .....	49

Figura 14 – Simulação do agente a circular e em evento de emergência [3]. .....	50
Figura 15 - Custo acumulado da distância a percorrer até à saída de emergência. [76].....	51
Figura 16 – Planta de evacuação executado por <i>script em Dynamo</i> . [77]. .....	52
Figura 17 – Composição visual da <i>script em Dynamo</i> , com o modelo 3D e indicação a azul do caminho de evacuação. [77].....	53
Figura 27 - Processo de desenvolvimento e fluxos de informação. [86] .....	63
Figura 28 – Fotografia da situação registada à entrada para o bar junto à entrada Sul do edifício II do ISCTE-IUL. ....	64
Figura 29 - Diagrama Piso 1 (auditório, escadas e rampas).....	65
Figura 30 - Fotografia da situação registada à hora de almoço à entrada para a cantina do piso 3 do edifício II do ISCTE-IUL. ....	66
Figura 31 - Diagrama Piso 3 (acesso ao túnel ligação, cantina, escadas e rampas).....	66
Figura 32 - Diagrama Piso 2 (entrada principal, bar, escadas e rampa). ....	67
Figura 34 – Fotografia da situação registada à saída de um evento temático no auditório B1.04 do piso 1 do edifício II do ISCTE-IUL.....	68
Figura 34 – Fotografia do encaminhamento guiado pelas rampas com o objetivo comum rumo à saída principal do edifício II do ISCTE-IUL.....	68
Figura 35 - Organograma sumário da evolução da pesquisa efetuada. ....	71
Figura 36 – Quadro de comparação dos modelos mais proeminentes de simulação de evacuação. (Ove Arup & Partners Ltd, 2015) .....	73
Figura 37 – Union Station - Galeria principal com simulação de pedestres. [91] .....	74

Figura 38 – Union Station – MassMotion – Mapa de densidade da simulação de 15 minutos. (ARUP/Oasys, 2014) .....	75
Figura 40 – esquerda (Massmotion – simulação da multidão em Tawaf); direita (“MassMotion – mapa de densidade média - o vermelho representa uma multidão de até 6,50 pessoas por m <sup>2</sup> ”). [94] .....	76
Figura 40 – esquerda (Massmotion – padrões de movimento no círculo interior); direita (Massmotion – simulação com agentes). [94] .....	76
Figura 41 – “O Hijr-Ismail em frente de Kaaba.” [94] .....	77
Figura 42 – Diagrama por módulos da arquitetura do sistema. [79].....	79
Figura 43 - Diagrama do sistema de arquitetura proposto. ....	80
Figura 44 – Tabela das etapas processuais da metodologia aplicada. ....	81
Figura 45 – Comunicação por email ao pedido de licença de utilização por 30 dias. ....	82
Figura 46 – Imagem legenda da interface da área de gestão do projeto em <i>MassMotion</i> (Oasys-Software, 2015). ....	84
Figura 47 - Tabela dos elementos existentes em <b>Massmotion</b> e funcionalidade principal. ....	86
Figura 48 – Elementos de modelação do cenário em MassMotion (Oasys-Software, 2015). ....	86
Figura 49 – Interface da área de modelação do cenário (3 janelas de visualização).....	87
Figura 50 – Grupo de conetores de pisos (Guide, 2017).....	88
Figura 51 – Grupo de elementos de composição do cenário (Obstáculos, Pisos e Portais) (Guide, 2017). ....	88
Figura 52 - Teste nº1 de modelação do cenário - cenário composto com 2 pavimentos (azul claro), 2 portais (verde) e 1 passagem (amarelo).....	89

Figura 53 - Teste nº2 de modelação do cenário - cenário composto com 2 pavimentos (azul claro), 2 portais (verde) e 1 passagem (amarelo).....	90
Figura 54 - Teste nº3 de modelação do cenário - cenário composto com 2 pavimentos (azul claro), 2 portais (verde) e 2 passagens (amarelo) .....	91
Figura 55 - Teste nº4 de modelação do cenário - cenário composto com 2 pavimentos (azul claro), 2 portais (verde), 2 passagens (amarelo) e obstáculos (azul escuro) .....	92
Figura 56 - Teste nº5 de modelação do cenário - cenário composto com 2 pavimentos (azul claro), 2 portais (verde), 2 passagens (amarelo) e obstáculos (azul escuro) .....	93
Figura 57 - Teste nº6 de modelação do cenário - cenário composto com 2 pavimentos (azul claro), 2 portais (verde), 1 escada (laranja), 1 rampa (amarelo escuro) e obstáculos (azul escuro).....	94
Figura 58 - Interface da área de modelação do cenário (1 janela de visualização) .....	95
Figura 59 - Diagrama simples da "rede" de navegação - círculos pretos e linhas representam os nós e as rotas (Guide, 2017). .....	96
Figura 62 - Sensibilização do agente para direção ao alvo (Guide, 2017). .	98
Figura 62 - Consciência dos Vizinhos circundantes (Guide, 2017). .....	98
Figura 62 - Forças atuantes no agente (Guide, 2017). .....	98
Figura 63 - Tabela de eventos para agentes [96]. .....	99
Figura 64 - Tabela de eventos gerais [96].....	99
Figura 65 - Modelação comportamental – Propriedades do evento a simular ( <i>Journey</i> ).....	101
Figura 66 - Modelação comportamental – Propriedades do comportamento dos agentes ( <i>Profile</i> ).....	101

Figura 67 - Modelação comportamental – Propriedades do evento a simular ( <i>Journey</i> ). .....	102
Figura 68 - Modelação comportamental – Propriedades do comportamento dos agentes ( <i>Profile</i> ). .....	102
Figura 69 - Interface da área de validação e produção da simulação (3 janelas de visualização).....	103
Figura 70 – Painel com o relatório da simulação. ....	104
Figura 71 - composição de frames da simulação com início ao segundo 15 (de 15 em 15 segundos - lê-se da esquerda para a direita), com os agentes coloridos de acordo com o "nível de serviço" de Fruin Walkways (Fruin LOS) .....	105
Figura 72 - composição de frames da simulação com início ao segundo 15 (de 15 em 15 segundos - lê-se da esquerda para a direita), com os agentes coloridos de acordo com o "nível de serviço" de Fruin Walkways (Fruin LOS) .....	106
Figura 73 - Composição de <i>frames</i> da simulação com início ao segundo 15 (de 15 em 15 segundos - lê-se da esquerda para a direita), com os agentes coloridos de acordo com o "nível de serviço" de Fruin Walkways (Fruin LOS) .....	107
Figura 74 - composição de <i>frames</i> da simulação com início ao segundo 15 (de 15 em 15 segundos - lê-se da esquerda para a direita), com os agentes coloridos de acordo com o "nível de serviço" de Fruin Walkways (Fruin LOS) .....	108
Figura 75 - composição de <i>frames</i> da simulação com início ao segundo 15 (de 15 em 15 segundos - lê-se da esquerda para a direita), com os agentes	

coloridos de acordo com o "nível de serviço" de Fruin Walkways (Fruin LOS)	109
.....	
Figura 76 - composição de <i>frames</i> da simulação com início ao segundo 15 (de 15 em 15 segundos - lê-se da esquerda para a direita), com os agentes coloridos de acordo com o "nível de serviço" de Fruin Walkways (Fruin LOS)	111
.....	
Figura 77 – Imagem de uma seção geral 3D do modelo BIM do Edifício 2 do ISCTE-IUL	115
.....	
Figura 78 - 3 secções por pisos da área do caso de estudo observada do modelo 3D do Revit do Edifício 2 do ISCTE-IUL (Piso 4, Piso 3 e Piso 2)	116
.....	
Figura 79 - Geometria importada em formato IFC do modelo BIM referente ao caso de estudo	119
.....	
Figura 80 – Painel <b>Transform</b>	120
.....	
Figura 81 - Tabela de formatos suportados pelo <b>MassMotion</b> para importação (Guide, 2017)	120
.....	
Figura 82 - Sequência da modelação do cenário	121
.....	
Figura 84 - Tabela adaptada da "auto conversão" das geometrias IFC reconhecidas por elementos de cenário no Massmotion (Guide, 2017)	122
.....	
Figura 83 - Painel de funções do botão direito do rato sobre os artigos selecionados	122
.....	
Figura 85 - Escadas - antes e depois de editadas	124
.....	
Figura 86 – Diagrama da localização dos portais	124
.....	
Figura 87 - Diagrama do Cenário Principal	125
.....	
Figura 88 - Interface da área de modelação comportamental (vista: PLANTATOPHALLP3)	127
.....	

Figura 89 – Matriz de distribuição do evento “FLUXO_PADRAO” (Entrada – na coluna esquerda; Saída – na linha); (a - “Portal_P2_Entrada”; b - “Portal_P3_Docentes”; c – “Portal_P3_Salas_Arq”; d – “Portal_P3_Varanda”; e – “Portal_P4_Tunel”); .....	129
Figura 90 - Propriedades e atributos do <b>COMP_PADRAO, FLUXO_PADRAO</b> e <b>IR_ALMOCAR</b> .....	130
Figura 91 - Diagrama do perfil da fila de serviço à cantina.....	134
Figura 92 - Diagrama do perfil da fila de serviço à cantina.....	153
Figura 93 - Situação no ponto crítico máximo observado na proposta. ....	154
Figura 94 - Formação em arco na entrada da cantina para aceder à entrada na fila de serviço de acordo com os limites reais existentes. ....	180



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. ÂMBITO GERAL

A **Gestão de Edifícios**, ou **Facility Management (FM)**, visa o bom funcionamento dos edifícios, segundo uma perspetiva global, com operações de gestão centralizada e uniformização de toda a informação, provenientes da área da Gestão. Os atuais modelos *FM* procuram, fundamentalmente, obter a redução de custos para a máxima eficácia das instalações, através da gestão centralizada da informação produzida desde a fase de projeto até à ao abandono/demolição, o que facilita a consulta consistente e o pré visionamento dos custos de projeto e operacionais, bem como das ações de manutenção. Atualmente, modelos *FM*, recorrem cada vez mais a ferramentas com base na metodologia **Building Information Modelling (BIM)**, que acrescentam grandes vantagens: além da reconhecida visualização gráfica rigorosa do edifício e infraestruturas em tempo real, agregam a informação escrita à localização tridimensional. Permitem, em tempo real, simular o desempenho do edifício no todo ou parte integrante, conforme a especialidade. A consulta, atualização e monitorização de toda a informação produzida, apenas num único modelo de trabalho, facilita a colaboração, com níveis de edição por hierarquia ou por disciplina de cada colaborador. Outros fatores que contribuem para a adoção crescente de BIM, são processos de trabalho cada vez mais intuitivos de modelação paramétrica, bem como a interoperabilidade intrínseca do BIM, sendo já um conceito estabelecido e cada vez mais adotado, na indústria da **Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC)**.

Também a adoção por parte governamental do BIM como matriz de trabalho pelos serviços institucionais focados na gestão do património começa a ganhar expressão mundial global, bem como o crescente interesse da comunidade académica. Neste sentido, é o exemplo do Reino Unido, que nos últimos anos adotou uma forte política para a implementação gradual do BIM e que prevê nos próximos anos atingir o lugar de liderança mundial, como o país com o maior nível de implementação BIM. Segundo o último relatório da *National Building Specification* (NBS), o “*NBS National BIM Report 2017*” a consciencialização do BIM é quase global com um aumento de quase cinco vezes, para o verificado

em 2011, atingindo atualmente uma sensibilização na ordem do 97% que reconhecem, sendo que 59% dos serviços governamentais já requerem a colaboração BIM dos projetos [1], [2].

Uma área essencial, mas relativamente pouco explorada por projetistas e responsáveis de Gestão de Edifícios é o comportamento humano no espaço/ambiente construído. Uma das ferramentas mais poderosas para a análise do comportamento humano é a **simulação de multidões (SM)**. É relativamente comum no estudo de cenários de emergência em grandes espaços, tal como estádios e salas de espetáculos. Esta simulação evolui com o crescente interesse científico em modelos virtuais que permitem o estudo no domínio do tempo de modelos cognitivos por agentes autónomos, principalmente quando a organização social

#### BIM adoption over time

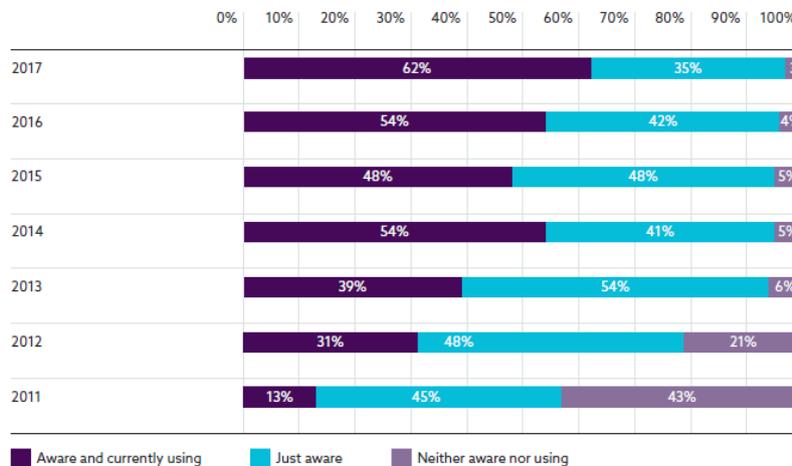


Figura 1 - Evolução temporal da adoção do BIM no Reino Unido [1].

virtualizada pode ser ajustada em diferentes parâmetros, sem interferir com a realidade e todos os obstáculos inerentes. O desenvolvimento desta projeção de vida artificial em ambientes construídos virtualmente deve-se sobretudo ao forte contributo proveniente da **Inteligência Artificial (IA)** e com grande impacto na indústria do cinema e dos jogos de computador. Sendo computacionalmente muito exigente, é hoje facilitada pela evolução dos processadores gráficos (**GPU**) [3]–[5].

Perante este cenário, a presente dissertação procura demonstrar o potencial do atual estado da arte da integração da simulação do comportamento humano ou multidões em BIM e como ferramenta de apoio à gestão e estudo permanente dos fenómenos sociais. O potencial destas ferramentas de simulação coincide em muito com o potencial do BIM, pois as ferramentas permitem relacionar os modelos e trabalhar por complementaridade. A introdução constante de novos processos e mecanismos mais acessíveis ao utilizador BIM poderá conduzir a um nível de maturidade BIM [6] assente na parametrização social dos modelos, com recurso a **Agentes** que simulam o comportamento humano, ao alcance do utilizador comum da indústria AEC. Integrar a simulação por via da interoperabilidade dos sistemas, que geram modelos de simulação por agentes paramétricos em metodologia BIM, acrescentará uma nova dimensão ao modelo, como instrumento para o estudo social do comportamento no espaço.

Na **perspetiva do arquiteto**, que tem por base uma formação empírica, mas complementada por modelos computacionais e pela observação de obras em projeto e/ou em uso, estas ferramentas digitais facilitam a simulação do desempenho das disciplinas técnicas numa fase prévia dos projetos e/ou monitorização do desempenho durante o tempo de vida útil, sendo cada vez mais a ferramenta

de trabalho principal presente em ateliers, cada vez mais acessíveis e com processos de trabalho mais simples, na obtenção e visualização em tempo real de resultados antes possíveis apenas por especialistas de cada disciplina individualmente. Torna-se assim possível compreender e evitar erros que teriam custos futuros a vários níveis. No entanto, o desempenho social continuará a ser um processo intrínseco à conceção arquitetónica pura. Sempre que arquiteto pensa o espaço e a funcionalidade a que se destina é o responsável direto na forma como transforma o contexto espacial onde o Homem habita. Apesar de se caminhar para a centralização da informação das disciplinas de projeto num único modelo de trabalho, o resultado final é sempre garantido pela experiência e conhecimento empírico desenvolvido, mesmo que apoiados em recursos de análise do desempenho sociológico dos projetos ou de estudo comportamental de cenários específicos.

## 1.2. OBJETIVOS

O objetivo de fundo da presente dissertação é caracterizar o estado da arte no âmbito da aplicação de metodologias BIM - FM e da simulação do comportamento humano e multidões por computação, e desenvolver aplicação a um caso concreto. Este objetivo é concretizado através dos seguintes passos:

- Estruturar um método de trabalho com base na aplicação da metodologia BIM-SM, que permita implementação de um processo evolutivo da simulação do comportamento humano em ambientes virtuais em colaboração com o Centro de investigação ISTAR-IUL e a UER, do campus universitário do ISCTE-IUL;
- Avaliar o desempenho do método aplicado;
- Verificar a capacidade do modelo na simulação de multidões (*Crowd Simulation*);
- Verificar a capacidade do modelo na simulação ambiente-comportamento (*Simulation Environment-Behavior*);
- Avaliar a capacidade do modelo em comportamentos guiados (*Steered Behaviors*);
- Demonstrar pelo estudo de um caso de estudo específico, o impacto na tomada de decisões em diferentes fases da vida útil dos edifícios, em fase de conceção de projeto e como ato de gestão.
- Testar e avaliar o desempenho dos resultados obtidos.

### 1.3. ESTRUTURA

Feita a contextualização geral da dissertação no presente capítulo, é exposto o enquadramento do estado da arte dos principais temas e seus autores no Capítulo 2, com destaque pontual sobre conteúdos tidos como relevantes no desenvolvimento da investigação, segundo o interesse do tema principal da dissertação e da viabilidade dos resultados. Inicialmente, aborda-se o tema da simulação de multidões, aflorando desde os estudos iniciais ao atual estado tecnológico e digital. Posteriormente apresenta-se uma contextualização da metodologia BIM-FM e principais conceitos associados. No Capítulo 3 é apresentada a metodologia de trabalho, com algumas considerações iniciais sobre a pesquisa necessária para o entendimento do meio em que se insere, conseqüente exposição metodológica, tendo em conta a viabilidade de execução e simplicidade processual, demonstrando o desenvolvimento das etapas processuais da modelação tridimensional paramétrica no software de simulação utilizado e preparação dos casos de estudo. O Capítulo 4 remete para os resultados obtidos com recurso a diferentes tipos de análises disponíveis. Por último, o Capítulo 5 remete para a interpretação dos resultados atingidos e uma breve reflexão sobre a metodologia proposta e potenciais mais valias numa perspetiva de trabalhos futuros para diferentes fases de projeto e estudo de diferentes cenários comportamentais.

## 2. ESTADO DA ARTE

O estudo cognitivo do comportamento humano no espaço iniciou-se ainda no século XIX, segundo métodos empíricos, limitado aos métodos de avaliação disponíveis, que evoluíram desde a observação direta, à fotográfica e visualização de filmes em *time-lapse* na década de noventa do século seguinte, quando surgem as primeiras tentativas de simulação, alavancado principalmente com o *input* tecnológico na área da computação e que abrange diversas áreas de investigação, desde a arquitetura, computação gráfica, física, robótica, sociologia entre outros [7]–[18].

A maior parte das abordagens eram específicas a uma aplicação concreta, focando-se em aspetos comportamentais diferentes, desde os que não distinguem indivíduos, aos que procuram representar cada indivíduo, controlados por regras base, assentes por exemplo nas leis da física [19], [20], nas equações da teoria do caos [21] ou comportamentos sociológicos [15].

No âmbito da simulação comportamental, segundo Thalmann e outros [22], existem dois caminhos a seguir no que toca à pesquisa de simulação de multidões. Numa vertente mais científica e analítica, procura-se o desenvolvimento do realismo comportamental, onde o objetivo consiste em melhorar o comportamento de movimentação e interação entre agentes autónomos e ambientes construídos, de forma a serem cada vez mais próximos da realidade. Normalmente estes modelos são representados em 2D, podendo-se considerar aqui o exemplo das ferramentas para o estudo da sintaxe espacial. Numa outra perspetiva, a simulação pretende a visualização integral no espaço construído e/ou máximo realismo da representação gráfica, que auxiliam na compreensão dos resultados, com representações 3D rigorosas de cenários ou ambientes construídos, que cada vez mais, são a base de trabalho da representação gráfica e

modelação em várias indústrias. Todavia, a tendência atual caminha para a convergência destas duas dimensões, onde sistemas orientados para a representação e visualização já permitem incorporar modelos comportamentais melhores e vice-versa. Verifica-se, então, a convergência do exponencial aumento da capacidade computacional e a mais lenta melhoria dos modelos cognitivos disponíveis, fundamentalmente suportada por estudos empíricos desenvolvidos no campo da sociologia, como se verificará no presente capítulo.

Para determinados padrões comportamentais foram desenvolvidos vários modelos de simulação comportamental, a exemplo do trabalho de *Wei Yane Yehuda Kalay* [23], que exploram a simulação da relação **ambiente-comportamento** em ambientes construídos, em busca do aperfeiçoamento dos níveis de interação com elementos convencionais da atividade básica de um indivíduo e que requerem ações humanas específicas, como o gesto de abrir uma porta ou até sentar em um banco, a exemplo.

Portanto, é com base nos modelos comportamentais empíricos, que novos modelos digitais de algoritmos complexos simulam os modelos cognitivos, que são reproduzidos com qualidade visual cada vez mais realista, tanto na representação gráfica do ambiente construído, como na dos agentes autônomos desenvolvidos na indústria digital de modelação, renderização e inteligência artificial.

## 2.1. COMPORTAMENTO DE MULTIDÕES - DO ESTUDO À SIMULAÇÃO

As primeiras investigações na área do estudo cognitivo do comportamento humano, surgiram na segunda metade do século XIX, com destaque para o sociólogo, psicólogo social e físico amador francês Gustave Le Bon, que estudou o comportamento de “multidões”. Defendeu o conceito de multidão, como sendo um conjunto de indivíduos, não relevando a importância de aspectos como o gênero, nacionalidade ou motivações de proximidade, assumindo que a sua influência é imprevisível [24]. No entanto, este conceito é rebatido numa publicação de 1992 por Clark McPhail e outros [25], que defende que as ações individuais e coletivas de grupos ou aglomerados temporários de um modelo de multidões é fundamentado pela teoria do controle de percepção [26] publicado em 1974 por Williams Stallings, em que cada indivíduo controla a sua própria experiência, de forma a manter uma relação particular com os restantes, sendo esta, designadas por relação espacial.

A teoria do **controle de percepção**, estudada por Fruin [27], define como o comportamento de uma “multidão” está relacionado com a “percepção” territorial de cada indivíduo. Segundo Fruin [27], a relação entre o fator de deslocação e posicionamento das pessoas entre si é afetado pela forma como estas detetam e avaliam o espaço envolvente. Segundo ele, a “avaliação” é feita pelo indivíduo, depois de identificado o espaço disponível, onde fatores como padrões sociais e culturais condicionam o comportamento e tomada de decisão, em contraponto com a tese de Gustave Le Bon. O espaço para a “deslocação” segundo Fruin [27] pode ser separado em duas zonas diferentes. A **zona do passo**, corresponde a área ocupada pelos pés e que difere consoante a idade, gênero e condição física de cada indivíduo é proporcional à velocidade e pode ser medida

fisicamente. A **zona sensorial**, que corresponde ao espaço necessário para detectar, avaliar e reagir, não é mensurável diretamente pois depende de fatores cognitivos e de percepção. No entanto, ambas estão sujeitas a influências externas, como o fluxo ou as condições espaciais de uso social. As condições espaciais de uso social foram universalmente definidas em 1966, pelo antropólogo americano Edward Twitchell Hall, segundo o qual existem quatro níveis de distância de uso social e comunicação ao redor do indivíduo, designadas por **proxémica** (*proxemics*), que está assente na relação entre os cinco sentidos humanos e no uso social do espaço. A percepção destas distâncias (adaptado à sociedade americana) é sensível a fatores culturais [28]:

- **Distância pública** (superior a 3,6m);
- **Distância social** (entre 1,2m e 3,6m);
- **Distância pessoal** (entre 0,45m e 1,2m);
- **Distância íntima** (entre 0,15m e 0,45m)

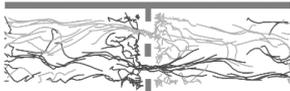


Figura 2 – Representação do fluxo através de passagens estreitas onde o campo de direcional mantém-se curto por um curto período, uma vez que os agentes seguintes tendem a seguir o anterior. Mais tarde o campo direcional aumenta, diminuindo a fluidez por força do fluxo contrário. [31]

É inserido neste contexto que o conceito de **sintaxe espacial** adquire maior relevância científica, muito por força do estudo desenvolvido por William Whyte, (1980) publicado em *The Social Life of Small Urban Spaces*, sobre a ocupação dos espaços públicos em Nova Iorque. Este estudo confronta casos de aparente insucesso, com pouca ocupação social e/ou fluxo pedonal, com algumas exceções, onde verificou maior permanência e/ou atividade social. Esta observação do ponto de vista da relação entre o espaço e uso social originou uma abordagem científica revolucionária, por força de uma metodologia de análise assente em variáveis como a hora do dia, parâmetros climáticos ou fluxos predominantes e que introduz uma nova consciência na forma de estudar e projetar o espaço público, com grande impacto na comunidade científica, sendo ainda hoje, reconhecido como uma base teórica de referência da sintaxe espacial em áreas como a sociologia, urbanismo, arquitetura, ou até conceção ambiental [29].



Figura 3 - Praças de Nova York (Whyte 1982a)

Segundo Helbing e outros, os peões têm preferências individuais como objetivos e/ou destinos. No entanto, a dinâmica das multidões pedestres é surpreendentemente previsível. Os peões podem mover-se livremente apenas numa zona de baixa densidade pedonal. Caso esta seja elevada, a seu movimento é afetado por interações de repulsão com outros peões, originando fenómenos de **auto-organização** [30]. Exemplos de padrões resultantes, são faixas separadas de curta direção uniforme de peões a moverem-se ou oscilações dissociadas de passagens em “gargalos”. Outro fenómeno da auto-organização pedestre, neste caso diferida no tempo, acontece quando peões deixam pegadas no piso (comum em espaços verdes como parques públicos), o que provoca uma interação de atração provocado pelo condicionamento do ambiente. O correspondente de simulações em computador são uma ferramenta valiosa para o desenvolvimento de instalações e modo pedestre otimizado de sistemas [31].

### MODELOS SOCIOLOGICOS DE MULTIDÕES

A área da sociologia é uma das principais no estudo do comportamento coletivo, mas onde se encontra menor quantidade de trabalhos em simulação de multidões. O programa de simulação *GATHERING* mostra graficamente o movimento e estrutura da multidão [26], sendo esse método usado mais tarde por Schweingruber para estudar os efeitos de sinais de referência comuns à coordenação do comportamento coletivo, e por Tucker e outros para estudar a **formação de arcos** e **formação de anéis** em grupos temporários [16], [32]. Jager e outros, modelaram agrupamentos em multidões de dois tipos. Uma multidão foi modelada por um agente múltiplo de simulação usando “*cellular automata*” com regras definindo o conflito aproximação-evasão. A simulação consiste em dois



Figura 4 - Representação da auto-organização do tráfego em cruzamentos, onde os agentes representados por vetores de deslocação e cor de grupo, a formam uma rotunda instável, com atravessamentos verticais e horizontais pontualmente. [31]

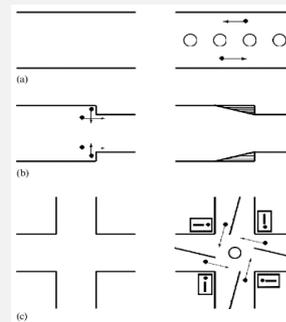


Figura 5 – Interseções convencionais (esq.) e melhoradas (dir.). [31]

grupos de agentes de três tipos diferentes: “extremistas”, “parasitas” e espectadores, com a diferença entre eles consistindo na frequência com a qual examinavam as redondezas. O objetivo da simulação foi estudar os efeitos do tamanho do grupo, simetria do tamanho e a composição do grupo em agrupamento e “lutas” [15].

### SIMULAÇÃO COMPORTAMENTAL DE GRUPOS E MULTIDÕES

A modelação comportamental de uma multidão humana é baseada nos princípios de simulações de grupo de entidades muito mais simples.

Um dos trabalhos pioneiros nesta área foi desenvolvido por Reynolds, que descreveu um modelo de distribuição comportamental para simular o movimento agregado de um bando de aves. Este documento foi acompanhado por um pequeno filme animado chamado “*Stanley and Stella in: Breaking the Ice*” [33] exibido no “Teatro Electrónico” do SIGGRAPH ’87. A ideia inovadora introduzida por Reynolds do **comportamento complexo** de um grupo de agentes podia ser obtida por regras simples para cada membro do grupo, ao invés da imposição de uma condição global. Assim, o bando foi simulado como um sistema de partículas designadas por “*boids*” (*bird+droid*), representado cada *boid* uma das aves. Cada *boid* é um agente independente, movendo-se de acordo com a sua percepção local do ambiente, tendo em conta as leis gerais da física: colisões entre agentes, obstáculos no cenário, etc. Cada *boid* procura igualar as velocidades dos agentes dos grupos mais próximos e move-se em torno do centro do grupo. O comportamento complexo do movimento do grupo é o resultado da interação destes agentes autónomos simulados individualmente. Gradualmente Reynolds, evoluiu o seu trabalho de simulação, incluindo novos comportamentos

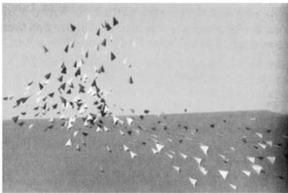


Figura 6 - Comportamento resultante dos elementos conhecidos por *boids*. [33]

controláveis, como a procura por objetivos, situações de fuga ou imposição de caminhos a seguir. Introduziu um controlador de comportamento de máquinas de estado-finito e otimizações de consultas espaciais em tempo real com interação com um grupo de personagens [10]. No seguimento do trabalho de Reynolds, Tu e Terzopoulos, propuseram um modelo de animação para peixes artificiais, onde além dos comportamentos complexos individuais baseados na percepção do movimento, os peixes virtuais demonstraram movimentos coletivos não programados, como comportamentos de educação/instrução e de evasão de predadores análogos aos grupos de *boids* [34].

Com base nestes modelos, Bouvier e outros dão os primeiros passos na aproximação à **simulação de multidões**. Com recurso a uma combinação de sistemas de partículas e redes de transições, com base nas leis do movimento de Newton, desenvolvem modelos de multidões para a visualização em espaços urbanos [35], [36]. No entanto, com os *boids* nem todas as propriedades das leis da física são simuladas e, neste sentido, Brogan e Hodgins introduzem propriedades como a conservação de momento linear e angular (a inércia), que comparativamente aos modelos anteriores, tornaram os movimentos mais realistas na simulação dos comportamentos de grupo para sistemas com **dinâmicas significativas** [11]. Um dos primeiros modelos de simulação em tempo real surge em 2000 por intermédio de Musse e Thalmann, apresentando um **modelo hierárquico** para a simulação em tempo-real de multidões humanas, onde os grupos são estruturas mais inteligentes, controlados com diferentes níveis de autonomia e que ordenam os indivíduos segundo especificações gerais (como ir para um determinado local ou realizar uma ação específica) ordenada pelo utilizador no decorrer da simulação [37], [38]. Posteriormente, Niederberger e Gross propu-

seram uma arquitetura de **agentes heterogêneos e hierárquicos** para aplicações em tempo real. Os comportamentos são definidos através da especialização de tipos de comportamento já existentes e heranças múltiplas de ponderações diferentes para a criação de novos tipos [39].

Ulicny e Thalmann apresentaram uma simulação de comportamento de multidão com uma arquitetura modular para múltiplos utilizadores permitindo o suporte do comportamento de utilizadores já definidos. Neste sistema, o comportamento é processado por camadas, em que as decisões são feitas por regras de comportamento e a execução é gerida hierarquicamente por máquinas de “estado finito” (*finite-state machines*) [13], [40].

Por fim, O’Sullivan e outros desenvolveram uma simulação de multidões e grupos com **níveis de detalhe (LOD)** para a geometria, movimento e comportamento. Na geometria, foram usadas técnicas de subdivisão para atingir alterações no nível de detalhe da renderização suave, enquanto que para os movimentos são simulados usando níveis de detalhe adaptativos [41].

#### MODELAÇÃO AMBIENTAL PARA MULTIDÕES

Para Woodcock ou DeLoura, em publicações sobre programação na indústria dos videojogos, defendem a perspectiva de que modelação ambiental está intimamente relacionada com a animação comportamental e que a intenção dos ambientes modelados, consiste em facilitar a simulação das entidades envolvidas. Para uma simulação ser mais credível e parecer espontânea ou imprevisível, deve evitar ao máximo comportamentos pouco reais, como o exemplo de criaturas atravessando paredes ou andando sobre a água. Segundo estes autores, a prioridade inicial era a representação e desenvolvimento de algoritmos que

evitassem comportamentos “proibidos”, mas a IA à data das publicações procurava já comportamentos mais complexos como planear rotas e evitar colisões não programadas [42], [43].

O modelo de cidade virtual apresentado em 1999 por Farenc e outros, introduz um ambiente informado dedicado à simulação de humanos virtuais em contexto urbano usando uma base de dados que integra **informação semântica e geométrica** sobre uma cidade virtual assente numa decomposição hierárquica de uma cena urbana em entidades ambientais, como quarteirões, bairros, ruas, cruzamentos e assim gradualmente [44]. Outra aplicação da modelação ambiental de larga escala e informação semântica serve para a animação comportamental do modelo de cidade virtual apresentado por Thomas e Donikian [45]. Este modelo procura principalmente a simulação de tráfego, contendo uma árvore de regiões poligonais, semelhante a base de dados com informação do meio ambiente, e uma estrutura topológica com um gráfico de uma rede de estradas. Mais tarde, Sung e outros apresentaram uma nova abordagem para controlar o comportamento de uma multidão, guardando informação comportamental no meio ambiente usando estruturas chamadas “situações” [46].

No que toca aos problemas de planeamento de rotas o trabalho de e outros propuseram um algoritmo de rápido “**path-planning**” com a dinâmica constrangida por completo assente numa **triangulação Delaunay** [47].

Bayazit e outros desenvolveram em 2002 um modelo que integra um *road-map* ajustado com a técnica de *flocking* (bando) desenvolvido por Reynolds e onde adicionaram regras comportamentais aos *boids* do bando [48]. Designado mais tarde por “**Rule-Based Roadmaps**”, além do mapa de estrada globais adicionaram outros comportamentos como regressar à origem, procura por objetivos, proteção ou orientação, através de regras introduzidas nos indivíduos dos

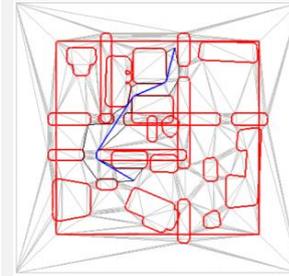


Figura 7 - Exemplo do caminho e canais do modelo de Kallman [47].

grupos e no elementos da estrutura do mapa de estradas [49]. Já Tang e outros usaram o **algoritmo A\* modificado** trabalhando numa grelha sobreposta a um mapa gerado com grande qualidade [50]. Em 2004, Lamarche e Donikian [51] apresentaram uma estrutura topológica do ambiente geométrico para um algoritmo rápido e hierárquico de planeamento de rotas e de navegação reativa para multidões virtuais. Mais recentemente ainda, surge um trabalho apresentado por Pettre e outros que mostra como se pode, de forma automática e robusta, calcular um gráfico de **navegação multinível** usando apenas cilindros tridimensionais. Este trabalho mostra como reutilizar a computação do planeamento de rotas resultantes para umas poucas centenas de usuários de forma a reagir ao congestionamento no percurso. [52]

Em 2007, Sud e outros sugeriram o uso de **diagramas de Voronoi** [53] para determinar uma estrutura de dados para navegação global designado **Multi-agent Navigation Graph (MaNG)**. O MaNG consiste da união dos grafos de Voronoi de primeira e de segunda ordem, onde cada agente ou obstáculo no ambiente é definido como um lugar. Usando o MaNG e o algoritmo A\*, sugeriram um algoritmo para o cálculo simultâneo dos caminhos globais de um grupo de agentes com objetivos diferentes no mesmo ambiente. Os agentes estão sujeitos à ação de forças de atração e de repulsão que podem ser introduzidas pelo utilizador [54].

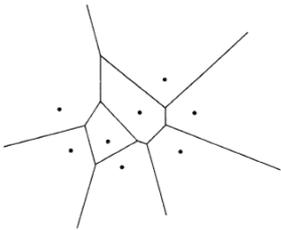


Figura 8 - Diagrama Voronoi de Franz Aurenhammer. [53]

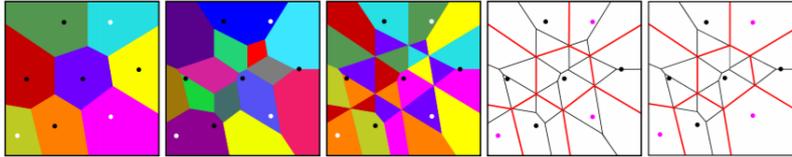


Figura 9 - Adaptação do diagrama voronoi ao modelo MaNG de Sud e outros [54].

### CRIAÇÃO DE UM CENÁRIO DE MULTIDÕES

Segundo Ulciny e outros, a qualidade da renderização da multidão ou do modelo computacional não interessa se for difícil produzir conteúdo para a simulação da. As possibilidades de criação são um fator importante que influencia o uso de um sistema de simulação de multidões, especialmente quando vão mais além de um número limitado de cenários de **“proof-of-concept”**. Quando aumentado o número de indivíduos envolvidos, torna-se mais difícil criar conteúdo de cenários únicos e variados com um número grande de entidades [55].

Em busca de uma forma eficiente de criar conteúdos para cenários de multidões, alguns investigadores começaram a resolver formas de criar estes cenários. Anderson e outros, alcançaram resultados interessantes para um caso particular de *“flocking animation”* depois de alguns constrangimentos. O método deles pode ser usado, por exemplo, para criar e animar *“flocks”* movendo-se em formas. O algoritmo gera um movimento de *“flocking”* constrangido por interação da simulação para a frente e para trás no tempo. No entanto, o algoritmo pode tornar-se muito caro quando se aumenta o número de entidades e do tempo de simulação [56]. Outro método proposto por Ulicny e outros consiste em criar cenas de multidão complexas de uma forma intuitiva usando uma ferramenta de

**"Pincel-Multidão"**, análogo às ferramentas de processamento de imagem. O utilizador pode distribuir, modificar e controlar membros da multidão em tempo real com feedback visual imediato. Esta abordagem trabalha bem para a criação e modificação de características espaciais, embora a criação de aspetos temporais do cenário seja limitada [57]. O método de Sung e outros, usa um mecanismo de controlo de distribuição baseado em situações que dá a cada utilizador numa multidão detalhes específicos sobre como reagir num dado momento com base no seu meio ambiente. Uma interface de pintura permite especificar situações facilmente através do desenho das regiões diretamente no meio ambiente, tal como se se desenhasse numa tela. Comparativamente a trabalhos anteriores onde o utilizador adiciona, modifica e apaga membros da multidão, esta interface opera sobre o meio ambiente [46]. Cheney apresentou uma nova técnica para representar e desenhar campos de velocidade usando mosaicos de fluxo. Ele aplicou este método num modelo de cidade com mosaicos definindo o movimento das pessoas através das estradas da cidade. Mosaicos de movimento dirigem a multidão usando a velocidade para definir a direção da viagem para cada elemento. O uso de mosaicos de divergência livre para definir o movimento da multidão garante que, dentro de condições razoáveis, os utilizadores não necessitam de nenhum tipo de forma de deteção de colisão [58].

Para a simulação comportamental de multidões em ambientes virtuais, vários aspetos devem ser tidos em conta de forma a obter uma aplicação convincente, como o comportamento da animação, o ambiente de modelação e a renderização da multidão. O objetivo da animação comportamental é facilitar o trabalho dos projetistas, tornando as personagens virtuais autónomas ou semiautónomas na realização de movimentos complexos de acordo com a natureza de cada indivíduo. Estes comportamentos só fazem sentido, se além dos agentes, o ambiente seja modelado graficamente e semanticamente, ficando os comportamentos dependentes do que existe ou não em cada ambiente.

O desenvolvimento da simulação de multidões, pode ser decomposta em quatro áreas menores relevantes, citadas em *Course on Populating Virtual Environments with Crowds* [22]:

**Geração comportamental da multidão (*Crowd behavior generation*)** – aborda o comportamento da multidão em relação a mudanças no ambiente em que está inserido; a reação comportamental entre agentes; a forma adequada da modelação para muitos agentes [10], [11], [13], [14], [20], [34], [36], [39], [59].

**Controle do movimento da multidão (*Crowd motion control*)** – foca-se no movimento de entidades virtuais e como estas evitam colisões entre o ambiente construído e os objetos dinâmicos; na forma de gerir o movimento de um grupo coordenadamente [51], [56], [60], [61].

**Integração de multidões em ambientes virtuais (*Integration of crowds in virtual environments*)** – que elementos do ambiente devem ser modelados; que

tipo de representação devem ter os objetos ambientais, de que forma a computação do comportamento pode ser mais rápida [44], [47], [49], [62].

**Renderização da multidão virtual e animação (*Virtual crowd rendering and animation*)** – reprodução de um grande número de personagens com animação sem perda de velocidade; como exibir grande variedade de aparências; como executar animações variadas [63]–[67].

**Interação com multidões virtuais (*Interaction with virtual crowds*)** – que tipo de informação deve ser trocada e como, entre o utilizador e a simulação [57], [68].

**Geração de indivíduos virtuais (*Generation of virtual individuals*)** - como gerar uma multidão heterogênea; como criar uma população com as características de distribuição desejada [69], [70].

#### SIMULADORES DE EVACUAÇÃO DE MULTIDÕES

Uma das áreas onde os comportamentos de multidões têm sido modelados é no domínio da ciência da segurança e da arquitetura, com o objetivo de ajudar os projectistas a compreender a relação entre a organização do espaço e o comportamento humano. O uso mais comum de simuladores de evacuação é a modelação em caso de uma evacuação forçada de um espaço fechado [71].

A Nota Técnica 1680 (2ª edição) “*A Review of Building Evacuation Models*, do *National Institute of Standards and Technology* (NIST) [72], do Departamento Comercial dos Estados Unidos da América, sobre 26 modelos de simulação de

evacuação, permite uma análise mais precisa das potencialidades, aplicações possíveis e características de diversos modelos (Figura 10).

Model	Available to public	Modeling Method	Purpose	Grid/ Structure	Perspective of MO	Behavior <sup>a</sup>	Movement <sup>a</sup>	Fire data	CAD	Visual	Valid
EVACNET4	Y	M-O	1	C	G	N	UC	N	N	N	FD
WAYOUT	Y	M	5	C	G	N	D	N	N	2-D	FD
STEPS <sup>2</sup>	Y	B	1	F	I	C, P	P, E	Y1,2	Y	2,3-D	C,FD,PE
PEDROUTE	Y	PB	3	C	G	I	D	N	Y	2,3-D	N
Simulex <sup>3</sup>	Y	PB	1	Co.	I	I	ID	N	Y	2-D	FD,PE, 3P
GridFlow	Y	PB	1	Co.	I	I	D	N	Y	2,3-D	FD, PE
FDS+Evac <sup>4</sup>	Y	PB	1	Co.	I	I, C, P	ID	Y3	N/Y	2,3-D	FD,PE,OM
Pathfinder 2009 <sup>5</sup>	Y	PB	1	Co.	I/G	I	D, ID	N	Y	2,3-D	C,FD,PE,OM
SimWalk <sup>6</sup>	Y	PB	1,3	Co.	I	C, P	P	N	Y	2,3-D	FD,PE,3P
PEDFLOW <sup>6</sup>	Y	B	1	Co.	I	C, P	ID	Y2	Y	2,3-D	PE
PedGo <sup>5</sup>	Y, N1	PB/B	1	F	I/L,G	I/C, P	P,E (CA), C	Y2	Y	2,3-D	FD,PE,OM,3P
ASERT <sup>4</sup>	Y	B-RA	1	Co.	I	C, P	ID	Y1,2	Y	2,3-D	FD, PE
BldEXO <sup>3</sup>	Y	B	1	F	I	C, P	P, E	Y1,2	Y	2,3-D	FD,PE,OM,3P
Legion <sup>2</sup>	Y, N1	B	1	Co.	I	AI, P	ID, C	Y1	Y	2,3-D	C,FD,PE,3P
SpaceSensor <sup>6</sup>	Y	B	3	Co.	I	C, P	C, Ac_K	N	Y	2,3-D	FD,OM
EPT <sup>7</sup>	Y, N1	B	1	F	I	AI	UC, C	Y2	Y	2,3-D	FD
Myriad II <sup>8</sup>	Y, N1	B	1	C, F, Co.	I	AI	D, UC, IP, Ac_K	Y1	Y	2,3-D	PE, 3P
MassMotion <sup>5</sup>	Y, N1	B	1	Co.	I/L,G	AI, P	C	N	Y	2,3-D	C,FD,PE,OM
PathFinder	N1	M	1	F	I/G	N	D	N	Y	2-D	N
ALLSAFE	N1	PB	5	C	G	I	Un_F	Y1,2	N	2-D	OM
CRISP	N1	B-RA	1	F	I	C, P	ED	Y3	Y	2,3-D	FD
EGRESS 2002	N1	B	1	F	I	C, P	P,D (CA)	Y2	N	2-D	FD
SGEM <sup>4</sup>	N1	PB	1	Co.	I	I	D	N	Y	2-D	FD,OM
EXIT89 <sup>9</sup>	N2	PB	1	C	I	I/C, P	D	Y1	N	N	FD,3P
MASSegress <sup>3</sup>	N2	B	1	Co.	I	C, AI	C	N	Y	2,3-D	PE,OM
EvacuatioNZ <sup>5</sup>	N2	B	1	C	I/L,G	I, C, P	D, UC	Y2	Y	2-D	FD, PE,OM

Figura 10 – Tabela com as principais características de cada modelo de evacuação. [72]

## Tabela resumo das etiquetas

### Disponibilidade de disponibilidade pública

- (Y) O modelo está disponível gratuitamente para o público ou uma taxa  
a empresa usa o modelo do cliente sob a base de consultoria  
(N1) o modelo ainda não foi lançado  
(N2)

### Método de modelagem

- (M) modelo de movimento  
(M-O) modelos de movimento / otimização  
(PB) modelo comportamental parcial  
(B) modelo comportamental  
(B-RA) modelo comportamental com capacidades de avaliação de risco

### Objetivo

- (1) Modelos que podem simular qualquer tipo de construção  
(2) Modelos residenciais especializados  
(3) Modelos especializados em estações de transporte público  
(4) Modelos que são capazes de simular edifícios de baixa elevação (menos de 15 pisos)  
(5) Modelos que apenas simulam 1 rota / saída do prédio

**Classificação / Estrutura**

(C)	rede grossa
(F)	malha fina
(Co)	Contínuo

**Perspetiva do modelo / ocupante**

(G)	perspetiva global
(I)	perspetiva individual

*Cada modelo é categorizado tanto pela perspetiva do modelo quanto pelo ocupante. Se apenas uma entrada estiver listada nesta coluna, tanto o modelo quanto o ocupante têm a mesma perspetiva.*

**Comportamento**

(N)	sem comportamento
(I)	implícito
(C)	condicionado ou baseado em regras
(AI)	Inteligência Artificial
(P)	Probabilista

**Movimento**

(D)	Densidade
(UC)	escolha do usuário
(ID)	distância entre pessoas
(P)	Potencial
(E)	Esvazie a próxima célula da grade
(C)	condicional
(Ac_K)	conhecimento adquirido
(Un_F)	fluxo livre
(CA)	autômatos celulares

**Dados de fogo**

(N)	o modelo não pode incorporar dados de fogo
(Y1)	o modelo pode importar dados de fogo de outro modelo
(Y2)	o modelo permite ao usuário inserir dados de fogo específicos em determinados momentos du-
(Y3)	o modelo tem seu próprio modelo de fogo simultâneo

**CAD**

(N)	o modelo não permite a importação de desenhos CAD
(Y)	o modelo permite a importação de desenhos CAD

**Visual**

(N)	o modelo não tem capacidades de exibição
(2-D)	exibição bidimensional disponível
(3-D)	exibição tridimensional disponível

**Validação**

(C)	Validação contra códigos
(FD)	Validação contra exercícios de incêndio ou outras experiências / movimento de pessoas
(PE)	Validação contra literatura em experimentos passados (taxas de fluxo, etc.)
(OM)	Validação contra outros modelos
(3P)	Validação de terceiros
(N)	Nenhum trabalho de validação pode ser encontrado em relação ao modelo

Figura 11 – Legenda da Figura 10

## 2.2. SIMULAÇÃO AMBIENTE-COMPORTAMENTO - DO CAD AO BIM



Figura 12 – Comparação do modelo comportamental da praça **Sproul Plaza**. esquerda: com fonte. direita: sem fonte. [23]

O trabalho *Simulating Human Behaviour in Built Environments* de Wei Yan e Yehuda Kalay de 2005, sobre o impacto da fonte na praça **Sproul Plaza** em **U.C. Berkeley**, sobre a relação do comportamento humano e uso social-espacial, descreve uma metodologia que introduz na simulação de multidões em ambientes 3D, não só o fator da mobilidade para análise de sintaxe espacial, como revela sobretudo, a importância destes modelos comportamentais com ferramentas de apoio para os arquitetos avaliarem a inter-relação entre o ambiente dos seus projetos e os utilizadores [23]. Apesar dos resultados finais atingidos em ambiente 3D (Figura 12), o processo inicia-se com recurso ao vídeo através da técnica de *tracking* (Figura 13), baseada num algoritmo de análise de imagem que deteta em cada *frame* a posição de cada indivíduo, registando a sua posição e que permite o estudo posterior de fatores como a duração, lugares predominantes e caminhos principais consoante a amostragem [23].

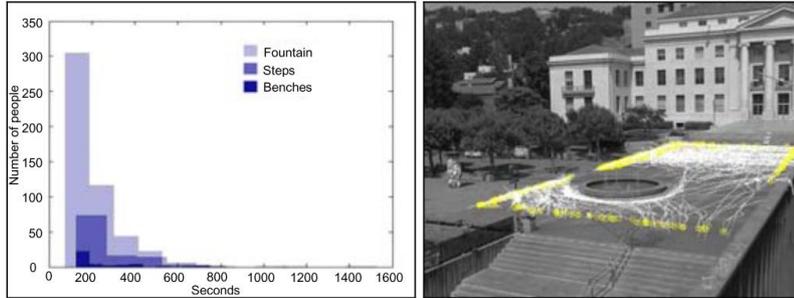


Figura 13 – Gráfico distribuição/duração (esq.). Daminhos percorridos (dir.) [23]

Segundo Yan e Kalay, para atingir uma simulação comportamental consistente com base em agentes autônomos, estes necessitam compreender e perceber todo o ambiente de forma a agirem corretamente, sendo necessário diferentes tipos de informação geométrica e semântica do projeto para simular, tendo em conta, a relação ambiente-comportamento como passar por uma porta, subir uma escada ou sentar num banco. Para tal, introduziram na equação do modelo comportamental dos agentes autônomos (Figura 15), regras com base teórica, relacionadas com o movimento individual e em espaços sociais (separação, alinhamento e coesão) já desenvolvidas por Reynolds em 1987 [10], regras sobre os padrões comportamentais registados (pontos de entrada e frequência associada, caminhos predominantes, probabilidade em sentar e quais lugares preferenciais,) e regras para comportamentos e decisões aleatórias que visam um maior realismo do modelo [23].

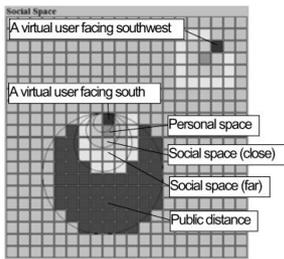


Figura 14 – diagrama das distâncias sociais. [23]

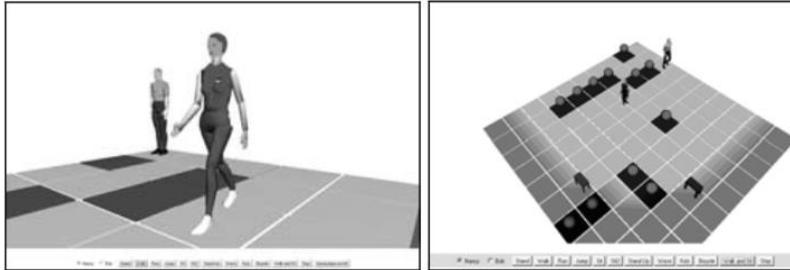


Figura 15 – esquerda: dois agentes a andar e subir. direita: os dois agentes a procurar os bancos com base no algoritmo A\*. [23]

Na publicação ***Environment-Behavior Simulation From CAD to BIM and Beyond*** [3] de 2008, a preocupação principal foi a modelação dos ambientes construídos, com todo o valor semântico intrínseco a certas atividades humanas, de modo a permitir uma maior humanização da simulação por agentes autónomos.

Segundo Yan e Kalay o **desenho assistido por computador (CAD)** carece de semântica espacial, pois representa apenas o desenho do espaço e não permite o entendimento real de um ambiente completo pelos agentes virtuais. No método apresentado, a informação semântica é adicionada a cada geometria do modelo CAD e posteriormente convertida de ***AutoCAD Drawing Exchange Format (DXF)*** para o formato ***Scalable Vector Graphics (SVG)***, agregando assim informação gráfica e informação escrita. O modelo construído integra assim a geometria espacial, a informação semântica e padrões que permitem aos agentes virtuais reconhecer e interpretar as propriedades do espaço além da geometria, simulando algumas atividades como andar, subir, passar por uma porta e sentar num banco em diferentes lugares.

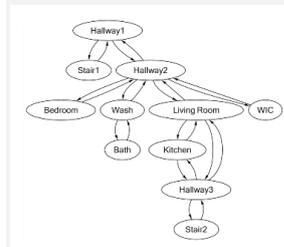


Figura 16 – Gráfico de concepções. [3]

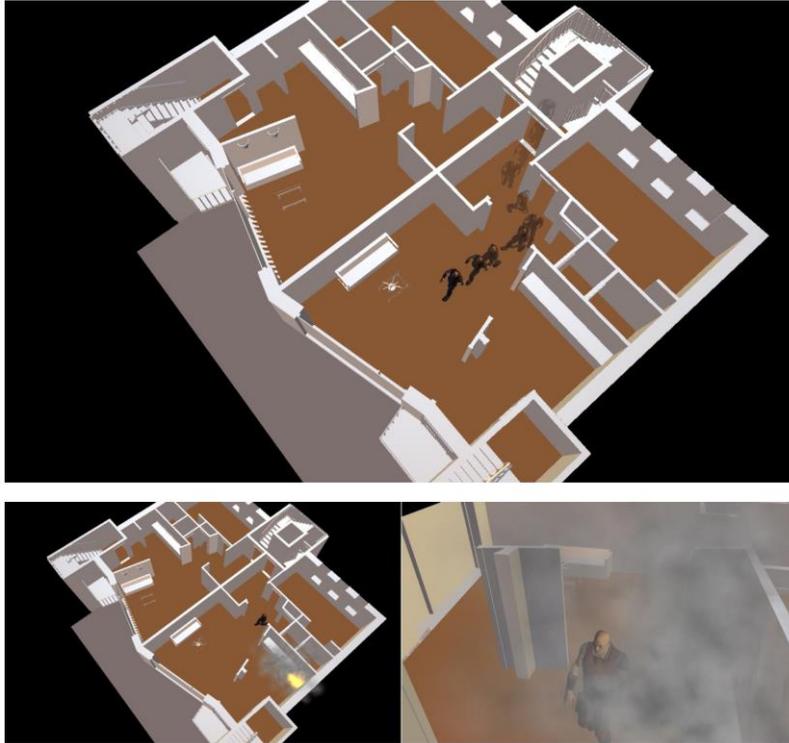


Figura 17 – Simulação do agente a circular e em evento de emergência [3].

Para eles, o BIM acrescenta informação construtiva e semântica indispensável à simulação de multidões, com elementos arquitetônicos mais consistentes e realistas como paredes, portas, janelas, colunas e escadas, com padrões associados e que podem ser acessados por programas de simulação externos através de **Interface de Programação de Aplicações (API)**, permitindo desenvolver um

modulo de software para **Revit**, que lhes permitiu utilizar o modelo BIM no seu programa de simulação [3].

Para Eastman e outros, o BIM tem sido importante na simulação de multi-dões, mais pela capacidade de modelar ambientes 3D rigorosos, do que pela informação semântica, devido à inexistência dos padrões comportamentais em BIM, não permitindo assim a simulação comportamental nos seus modelos [73]. Contudo, através de API de programação visual como o **Dynamo** [74] ou **Grasshopper** [75], é possível introduzir no BIM, padrões comportamentais cada vez mais complexos, revelando assim, os esforços necessários para colmatar a lacuna identificada por Eastman e outros em modelos BIM.

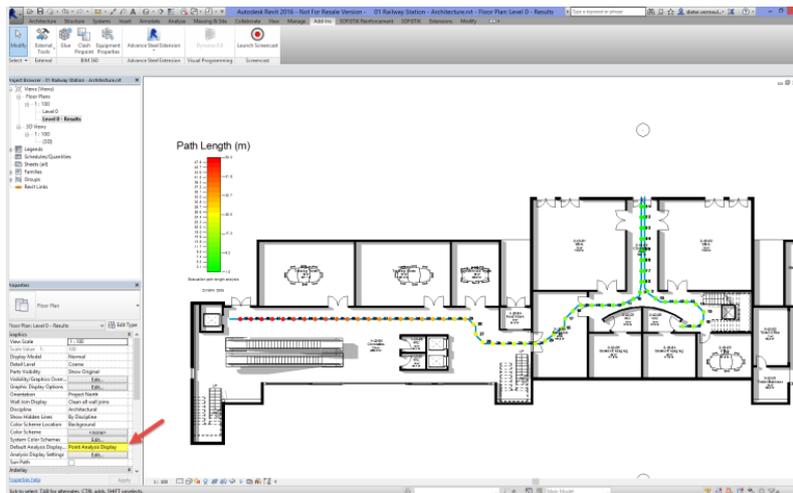


Figura 18 - Custo acumulado da distância a percorrer até à saída de emergência. [76]

A exemplo, um caso elaborado em **Dynamo** para o **Revit**, procura através de uma **script** calcular o custo dos percursos de evacuação, com menor “custo” na procura da saída de emergência, embora as limitações evidentes, sendo necessário desenhar a linha em planta, para a execução do **script** converter em segmentos e calcular o custo da distância acumulada (Figura 18). Outro exemplo semelhante, mostra uma **script** mais complexa que processa e indica o caminho de evacuação de emergência sobre os pavimentos de circulação, tendo em conta as propriedades das portas de saída de emergência, bem como a configuração espacial (Figura 19 e Figura 20). No entanto, é sempre necessário instruir a **script** de consoante o projeto, indicando os elementos que participam dos processos na API [76], [77].

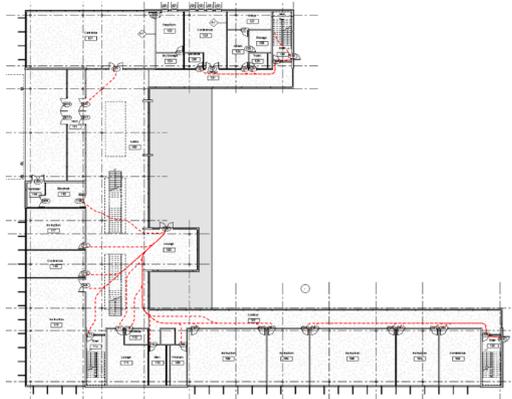


Figura 19 – Planta de evacuação executado por **script** em **Dynamo**. [77].

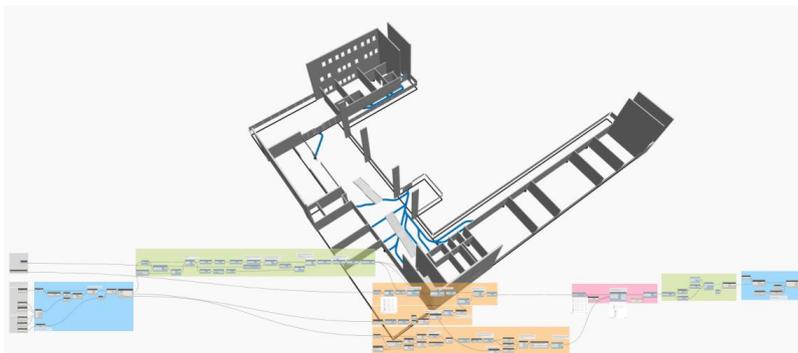


Figura 20 – Composição visual da *script* em *Dynamo*, com o modelo 3D e indicação a azul do caminho de evacuação. [77].

Commented [A1]:

### 3. METODOLOGIA PROPOSTA

A presente metodologia enquadra-se no atual estado da arte na área da simulação de multidões por múltiplos agentes com base em eventos, enquanto ferramenta de avaliação do espaço construído pós ocupação. O foco da investigação na componente ambiente-comportamento em toda a dimensão espacial, além das análises métricas e gráficas de sintaxe espacial, visa o desenvolvimento de uma metodologia de trabalho BIM-FM, que demonstra a atual interoperabilidade latente entre o BIM e softwares simulação comportamental humana, cada vez mais próximo do domínio dos arquitetos e projetistas da indústria AEC.

Para o desenvolvimento do modelo de simulação foram apenas usados dois softwares: **Autodesk Revit** para produção do modelo espacial e o **MassMotion** da Oasys, para o desenvolvimento integral da simulação comportamental e análises do modelo.

A estrutura da metodologia proposta inicia com o enquadramento geral do contexto atual das metodologias BIM-FM na área da simulação e objetivos pretendidos pela indústria AEC, tendo em conta os desafios a que a dissertação se propõe. Feito o enquadramento inicial e considerando a investigação desenvolvida sobre o estado da arte no âmbito da simulação de multidões e a relação entre o espaço projetado e o Homem, o passo seguinte refere-se à identificação do caso de estudo, compreendendo os pressupostos do BIM-FM e aplicação da metodologia de simulação comportamental como base em cenários reais identificados. O terceiro ponto remete para a seleção da ferramenta de simulação comportamental disponível e mais eficaz na aplicação do objetivo, tendo em conta o potencial dos modelos BIM, em encontrar um processo do domínio dos arquitetos e projetistas de AEC, que permita a avaliação da evolução pós ocu-

pação dos projetos. Por fim, o último ponto descreve a arquitetura da metodologia aplicada ao caso de estudo, com base nos processos e aplicações necessárias para a sua implementação.

### 3.1. ENQUADRAMENTO GERAL

Na **Gestão de Edifícios** ou **Facility Management (FM)**, que visa o bom funcionamento dos edifícios, segundo uma perspetiva global das suas diferentes componentes, as operações de gestão centralizada e uniformização da informação, provenientes de áreas como Gestão do Mercado e Marketing, Gestão Financeira, Gestão de Produção, Gestão de Recursos Humanos, Gestão de Projeto, Gestão de Património, Gestão de Património Edificado, produzem um vasto conjunto de dados essenciais no apoio às funções primárias das organizações. [5], [78]

Um dos recursos mais procurados é a simulação do desempenho dos edifícios, como uma importante vantagem dos sistemas BIM da fase de execução, permitindo uma melhor avaliação do comportamento do edifício. Modelos BIM integrais permitem, de forma centralizada, a consulta de toda a informação técnica do projeto, a simulação virtual da análise estrutural, avaliação acústica e térmica, análise da exposição solar, tal como permitem também um maior rigor no controle dos custos e previsão orçamental, através da elaboração de listagem com informação de áreas, volumes, materiais, custos parciais ou globais, entre outros. No entanto, a principal e revolucionária vantagem, é a visualização gráfica rigorosa de toda a informação técnica e construtiva, que em modelos convencionais, se encontra dispersa por diferentes áreas de gestão, onde a colaboração apenas se faz pontualmente e em fases distintas de um projeto ou edifício,

o que promove a inconsistência da informação no cruzamento dos dados de disciplinas diferentes. A informação proveniente da metodologia BIM pode ser vista em simultâneo, consoante critérios de seleção, em que os elementos gráficos podem ser apresentados com **nível de detalhe geométrico (LOD)** [79] e aspeto visual, ajustando-o ao objetivo do trabalho a que está sujeito (a exemplo, facultar um diagrama da rede de águas e esgotos ocultando os restantes elementos construtivos).

A par desta revolução na indústria AEC, também a simulação do comportamento humano, com o desenvolvimento tecnológico e digital ao nível da IA, apresenta cada vez mais recursos para a reprodução virtual do comportamento cognitivo desempenhado por agentes autónomos. Para tal, a comunidade digital tem ao seu dispor um conjunto vasto de ferramentas de modelação tridimensional e virtual de ambientes construídos, a exemplo das aplicações BIM como Revit da Autodesk [80], Archicad da Graphisoft [81] ou AECOSim Building Designer da Bentley [82], como existem ferramentas para a simulação de multidões por agentes autónomos, que na maioria exigem conhecimento e domínio de linguagens de programação, o que dificulta o uso pelos projetistas da indústria AEC.

Contudo, verifica-se atualmente a existência de softwares de simulação com ambientes de trabalho, processos e metodologias semelhantes aos existentes em BIM. A maioria destes softwares foca essencialmente a simulação dos comportamentos das multidões em cenários de emergência, sendo utilizados em fase de projeto para certificar e garantir que novos estádios, casas de espetáculo, escolas, entre outros, cumprem os requisitos legais impostos pelas normas de segurança. Os algoritmos científicos estão subjacentes ao comportamento dos agentes e permitem cada vez mais a introdução de atividades e ações mais

específicas, com variáveis ajustáveis consoante o cenário a reproduzir e o objetivo pretendido.

À medida que investigadores vão desenvolvendo algoritmos cognitivos mais realistas, também os métodos procuram ser mais acessíveis, sendo já possível este trabalho ser processado por computadores domésticos.

A interoperabilidade de BIM e a adaptação destes simuladores ao contexto da indústria AEC formam o ambiente perfeito à introdução da integração da simulação do ambiente comportamental e assim potenciar a expansão via BIM ou o desenvolvimento de aplicações, que o permitam fazer de raiz nestes sistemas. É expectável, pela taxa de adoção atual em torno do BIM por diferentes áreas de gestão de projeto, a integração da simulação do ambiente comportamental e com isso acrescentar toda uma nova dimensão social, que facilite quer na fase de projeto como na fase de uso a avaliação, controlo e gestão do ambiente construído tendo em conta a análise comportamental, consoante critérios e padrões sociais, até então apenas permitidos por ferramentas complexas e de difícil implementação, apenas possível por escrita de linguagens de programação avançada.

No entanto, existem ferramentas de sintaxe espacial que permitem a obtenção de simulações, mas que representam apenas parte da dimensão espacial do comportamento humano, essencialmente através de representações 2D, limitando os resultados ao nível da interação entre os indivíduos e o ambiente construído e reduzindo a observação dos dados à posição, permanência e deslocação dos agentes, em termos quantitativos.

Para atingir os desafios propostos da avaliação da relação entre a arquitetura e o comportamento humano através de um modelo de simulação comportamen-

tal humana que permita fazer uma análise global ou circunstancial do desempenho do edifício considerando a relação ambiente-comportamento, é necessário a possibilidade de evolução do modelo e atualização dos padrões sociais, como se verifica com as diferentes disciplinas presentes em metodologias BIM-FM.

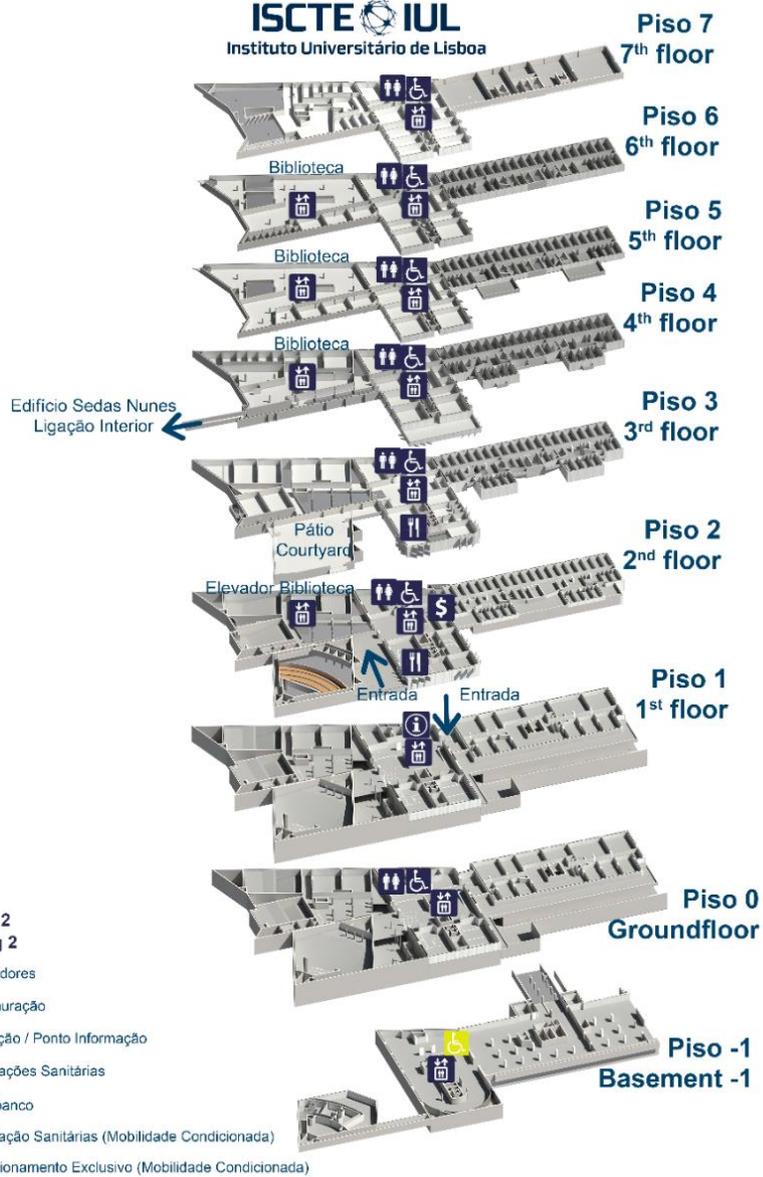
Torna-se ainda mais relevante, quanto mais complexa for a dimensão social e física, como é a gestão de grandes infraestruturas, como aeroportos, terminais de transportes públicos, hospitais, campus universitários (o caso de estudo) ou complexos de serviços ou indústria.

### 3.2. IDENTIFICAÇÃO DO CASO DE ESTUDO



"THE GOVERNMENT HAS STIPULATED THAT FROM 2016, ALL PUBLIC CONSTRUCTION PROJECTS MUST BE BUILT USING BIM. THIS MANDATE CALLS FOR THE ADOPTION OF LEVEL 2 BIM WITHIN ALL PARTS OF THE DESIGN AND BUILD PROCESS." [83]

O trabalho procura aproveitar do reconhecimento crescente as mais valias na adoção do BIM, como matriz de trabalho colaborativo e multidisciplinar por parte dos atuais modelos FM. Neste sentido, propõe-se desenvolver uma metodologia de simulação de multidões, como ferramenta de análise das dinâmicas sociais que permita intervir previamente sobre o ambiente comportamental dos utentes, sem que seja necessário interferir *in loco* para a obtenção dados para suporte de intervenções corretivas, com vista ao melhor e mais eficiente funcionamento, sem os constrangimentos próprios do mundo real. De acordo com a perspetiva de Yan e Kalay, principalmente para teste cenários, onde é impossível de serem executados com indivíduos reais, uma vez que estão desde logo condicionados na sua atuação pelo subconsciente. [3].



## **MODELO BIM-FM - CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ISCTE-IUL**

*“As instalações das instituições de Ensino Superior, que no caso do ISCTE-IUL estão concentradas num campus no centro de Lisboa, são usadas diariamente por vários milhares de utentes, acolhem inúmeros eventos e o exercício próprio da instituição, requer investimentos constantes de manutenção, renovação e adaptação.” [84]*

O modelo BIM-FM do caso de estudo pode ser definido por uma metodologia híbrida de gestão de edifícios e apoio ao utilizador, implementado atualmente no campus Universitário do ISCTE-IUL por uma equipa multidisciplinar e compreende áreas de investigação fulcrais na representação virtual de um mundo consistente, como é o grupo *Digital Living Spaces* (DLS), que investiga também numa componente sociológica através de agentes autónomos que humanizam os ambientes virtuais produzidos em laboratório, não obstante todo o potencial expectável na área das *Ciências da Informação, Tecnologias e Arquitetura* (IS-TAR-IUL), à qual pertence o DLS e responsável pelo desenho assistido por computação, realidade virtual e aumentada aplicada à AEC. [84], [85]. Não menos relevante, mas em área de gestão organizacional, envolve o Gabinete de Desenvolvimento de Sistemas de Informação (GDSI) responsável pelos mecanismos de informação e aumento contínuo da qualidade do ensino e investigação no ISCTE-IUL. Por último, a Unidade de Edifícios e Recursos (UER) faz a gestão dos edifícios e infraestruturas do campus, é o responsável maior pela adoção das metodologias BIM-FM. Os resultados obtidos são promissores e com excelente feedback, apesar do pioneirismo a nível nacional, verificável nos diferentes eventos sobre BIM que decorrem atualmente, onde participam frequentemente como caso de estudo e de referência na promoção do BIM-FM, a exemplo a comunicação aquando, do *1º Congresso Português de Building Information Modelling*, na Universidade do Minho, em 2016 [84].

De acordo com a Figura 21, o ponto de partida foi o nível 0 de maturidade BIM, que consistiu na uniformização e verificação de toda a documentação relativa aos projetos e equipamentos, em uma base 2D de *Autocad*. Atualmente, o nível 1 já está numa fase adiantada, embora os edifícios estejam em fases de desenvolvimento diferentes [6], [84].

A plataforma web Fenix (<https://fenix.iscte-iul.pt>), faculta ao modelo BIM-FM, toda a informação referente à gestão académica, como “salas de aulas, horários, exames, registo de presenças automático através de leitores de cartões nas salas, abertura de portas, eventos, etc.” e que poderá ter um papel relevante na parametrização dos agentes, como por exemplo, a definição de áreas de uso restrito, circuitos condicionais ou até a definição de agentes com planos de tarefas, como cumprir os horários dentro das salas de aulas.

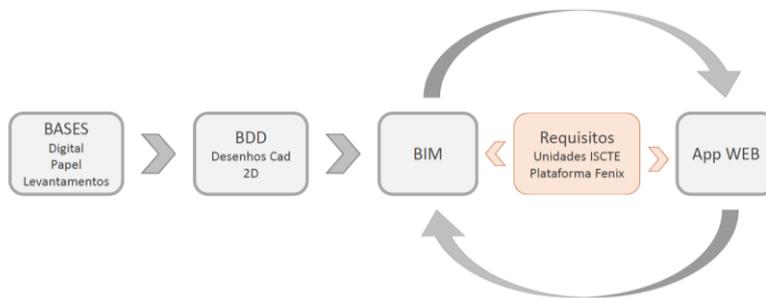


Figura 21 - Processo de desenvolvimento e fluxos de informação. [84]

## IDENTIFICAÇÃO DE CASOS REAIS A SIMULAR



Figura 22 – Fotografia da situação registada à entrada para o bar junto a entrada Sul do edifício II do ISCTE-IUL.

Numa primeira fase, procurou-se identificar cenários reais que permitam encontrar pontos de contato com a fundamentação teórica tida em conta, através dos mesmos meios empíricos, que permitiram o início do desenvolvimento de trabalhos científicos sobre o estudo cognitivo do comportamento humano em ambiente construído. Assim, foram identificados e registados fotograficamente cenários de situações de interesse, que focam fenómenos associados à circulação e com impacto direto no normal funcionamento do edifício.

Uma primeira situação identificada no edifício 2 de forma sistemática, compreende o período correspondente à hora de almoço e assinalado com a abertura do serviço de refeições aí existentes. Verificou-se, que de forma geral, o

acesso ao serviço, atinge um período de crítico de constrangimento do fluxo entre as ligações existentes nas entradas destes serviços condicionado por rotinas diárias como o período de refeição, mais ainda, quando a maioria dos utentes tem horário coincidente para esta **atividade diária**.

A segunda situação sistemática verificada é semelhante ao caso anterior, diferenciando-se apenas no horário, uma vez que as pausas a meio da manhã e tarde, permitem a um grande número de utentes recorrerem aos bares para o lanche novamente em simultâneo, resultando quase sempre na formação de filas de espera lineares que se prolongam e interferem com o desempenho da circulação do funcionamento do edifício.

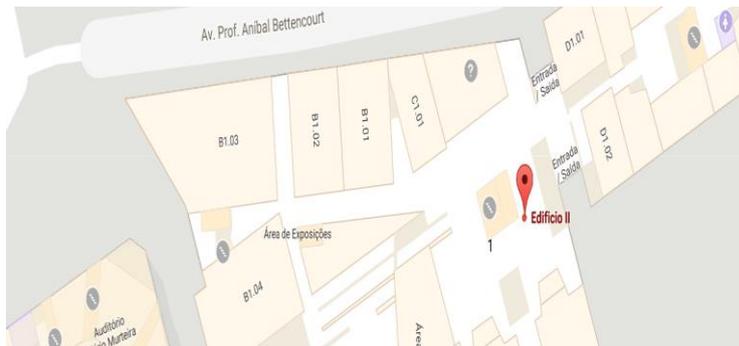


Figura 23 - Diagrama Piso 1 (auditório, escadas e rampas)



Figura 24 - Fotografia da situação registada à hora de almoço à entrada para a cantina do piso 3 do edifício II do ISCTE-IUL.

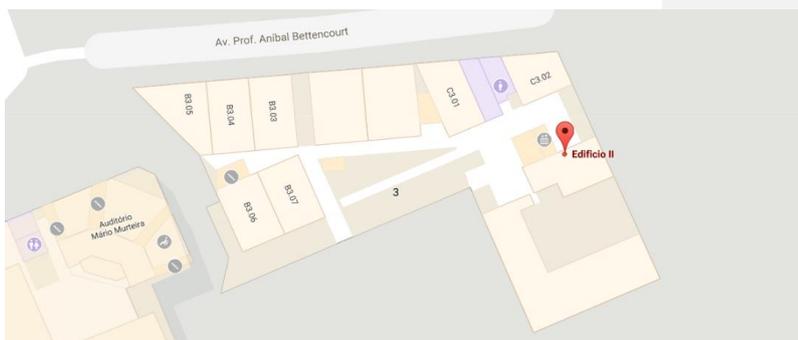


Figura 25 - Diagrama Piso 3 (acesso ao túnel ligação, cantina, escadas e rampas).

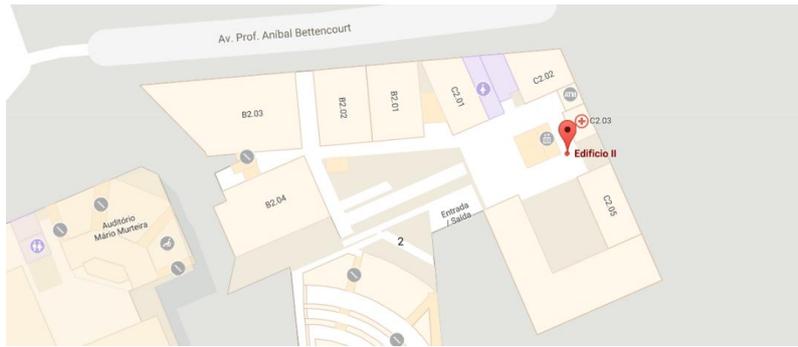


Figura 26 - Diagrama Piso 2 (entrada principal, bar, escadas e rampa).



Figura 28 – Fotografia da situação registada à saída de um evento temático no auditório B1.04 do piso 1 do edifício II do ISCTE-IUL.



Figura 28 – Fotografia do encaminhamento guiado pelas rampas com o objetivo comum rumo à saída principal do edifício II do ISCTE-IUL.

Nos dois casos acima referidos, podemos verificar uma **formação de fila** de pessoas para entrar nos espaços de refeição, enquanto aguardam por sua vez, revelando um **comportamento intuitivo de auto-organização em linha**.

A terceira situação apresentada, tem a haver com o contexto arquitetónico no condicionamento ou escolha do caminho a percorrer e como nem sempre o “custo” menor é a primeira opção. Embora as rampas de acessos tenham uma inclinação ligeiramente acentuada, os grupos de indivíduos à saída do auditório

no piso B1.04, dirigem-se na grande maioria para as rampas, mesmo sendo o percurso mais longo e sabendo da existência das escadas de apoio, à marcha de saída faz neste contexto quase todo pelas rampas.

### 3.3. SOFTWARE PARA A SIMULAÇÃO COMPORTAMENTAL

Durante a investigação efetuada para o entendimento do estado da arte e definição da metodologia a adotar para a simulação de multidões, foram identificadas duas vias projetadas em organograma (Figura 29). A metodologia mais distante do domínio e compreensão dos projetistas da indústria AEC, é por linguagem de programação de IA, através de ferramentas como **Unity** [86] ou **Maya** [87], onde é possível tirar proveito de API e algoritmos em **open source**, muito utilizado na indústria dos videojogos e cinema, onde se reproduzem comportamentos humanos mais realistas. No entanto, a via utilizada tem em conta os objetivos da dissertação no âmbito da simulação ambiente-comportamento, como encontrar uma metodologia de aproximação ao BIM, com vantagens processuais pela interoperabilidade do BIM, com interfaces intuitivas na ótica do utilizador e com etapas processuais que permita uma estrutura simples para implementação da simulação de padrões comportamentais por agentes e eventos em ambientes tridimensional de modelos BIM.

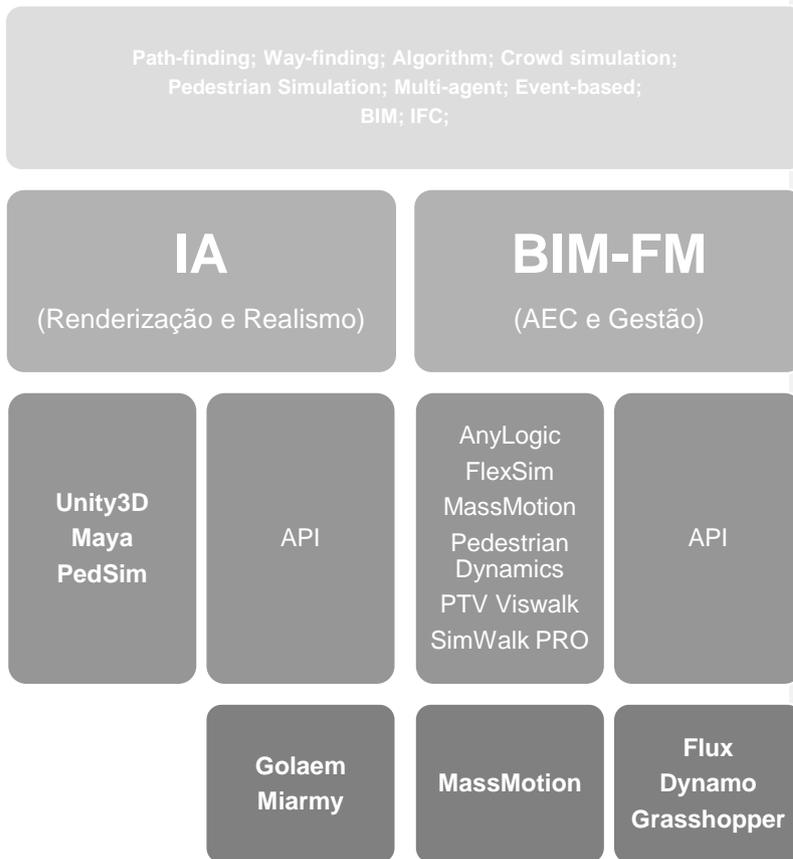


Figura 29 - Organograma sumário da evolução da pesquisa efetuada.

Neste sentido, entre os softwares de simulação por agentes, certificados pela norma técnica americana para estes modelos de simulação comportamental [72], a pesquisa baseou-se nos seguintes critérios de seleção:

<b>Interoperabilidade</b>	BIM (IFC)
<b>Metodologia de modelação</b>	comportamental
<b>Tipos de aplicação</b>	qualquer tipo de projeto e intervenção
<b>Estrutura ou grelha de modelação espacial</b>	espaço contínuo
<b>Perspetiva do modelo/agente</b>	individual e individual/global
<b>Comportamento</b>	inteligência artificial e/ou probabilística
<b>Movimento</b>	condicionável – com base em Fruin
<b>Escolha de rotas</b>	condicionável

Entre os modelos disponíveis com licenças de utilização experimentais, a escolha para o desenvolvimento do presente trabalho foi o software **MassMotion** da Oasys [88]. É um programa de simulação de evacuação e de dinâmicas pedestres em ambientes tridimensionais, que facilita o rápido acesso à simulação de larga escala, direcionado a projetistas da indústria AEC, sendo atualmente utilizado em projetos de diferentes escalas de intervenção e por entidades de áreas com objetivos diferentes na aplicação da simulação de multidões.

	<b>MassMotion</b>	<b>Simulex</b>	<b>STEPS</b>	<b>Legion</b>	<b>building EXODUS</b>
<b>Modelling Methodology</b>	Behavioural	Partial Behavioural	Behavioural	Behavioural	Behavioural
<b>Purpose</b>	Any Building Type	Any Building Type	Any Building Type	Any Building Type	Any Building Type
<b>Grid / Structure</b>	Continuous	Continuous	Fine Node	Continuous	Fine Network
<b>Perspective of Model / Occupant</b>	Individual and Individual / Global	Individual	Individual	Individual	Individual
<b>Behaviour</b>	Artificial Intelligence / Probabilistic	Implicit	Conditional / Probabilistic	Artificial Intelligence / Probabilistic	Implicit
<b>Movement</b>	Conditional (Fruin Speed-Density)	Inter-person Distance (Fruin Speed Density)	Inter-person Distance / Emptiness of Next Grid Cell	Inter-person Distance / Conditional	Potential, Emptiness of Next Grid Cell
<b>Route Choice</b>	Conditional	Shortest / Altered Distance Map	Conditional	Conditional	Various
<b>Validation</b>	Codes / Drills / Literature / Other Models	Drills / Literature / Third Party	Drills / Validation Against Past Experiment Literature	Codes / Drills / Validation Against Past Experiment Literature / Third Party Validation	Drills / Literature / Other Models / Third Party

Figura 30 – Quadro de comparação dos modelos mais proeminentes de simulação de evacuação. (Ove Arup & Partners Ltd, 2015)

O impacto da utilização destes softwares de simulação comportamental de multidões, com dinâmicas sociais complexas e de difícil gestão governamental em projetos de intervenção à escala da cidade, onde a intervenção tem por norma um “custo” associado e interfere no bom funcionamento, pode ser verificado no seguinte caso prático.



Figura 31 – Union Station - Galeria principal com simulação de pedestres. [89]

### CASO DE ESTUDO 1 – A GRANDE ESCALA DE INTERVENÇÃO

Neste sentido, o trabalho da ARUP [89] para a cidade de Toronto no Canadá, centrou-se no projeto de renovação para a *Union Station* e toda a área urbana envolvente, que além do terminal ferroviário regional faz o intercâmbio com a rede de metro, com o tram-train e a rede subterrânea de túneis pedestres *PATH (Toronto's Downtown Pedestrian Walkway)*. Este trabalho permite entender o potencial dos resultados obtidos, com recursos que estes softwares de simulação disponibilizam, centralizando à semelhança do BIM num único modelo de trabalho, o vasto conjunto de dados sobre os padrões sociais e modelo 3D do cenário, produzido com o valor semântico espacial necessário para a interação mais realista possível da relação homem/espço.

Em 2014 o volume de utentes máximo de manhã era de 30.000 pessoas e com um crescimento estimado para um volume 70.000 em 2021. Recorreram assim, ao **MassMotion** numa primeira fase, para entender o perfil do comportamento dos passageiros, mas evoluiu até à simulação completa da escala do projeto dos 15 minutos de fluxo máximo expectável numa manhã em 2021 [90]. O

resultado das mais valias da interoperabilidade entre modelos de simulação social e modelos BIM, como o recurso ao modelo 3D do projeto, com uma componente gráfica e técnica integral das disciplinas da AEC, permitiu não só identificarem questões críticas a serem revistas pelos projetistas, como verificar o benefício direto do **nível de maturidade** atingido pela inclusão da componente social. O resultado híbrido, entre o realismo da visualização BIM e da simulação comportamental em tempo real, permitiu com sucesso a integração de diferentes partes interessadas no projeto e maior aceitação das alterações propostas junto do cliente [91].

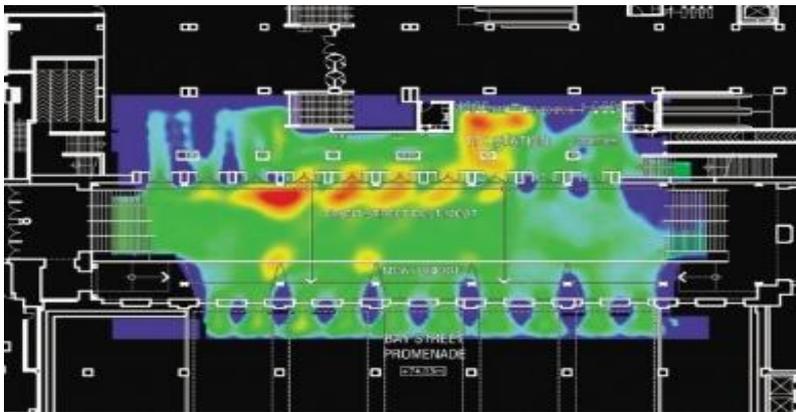


Figura 32 – Union Station – MassMotion – Mapa de densidade da simulação de 15 minutos. (ARUP/Oasys, 2014)

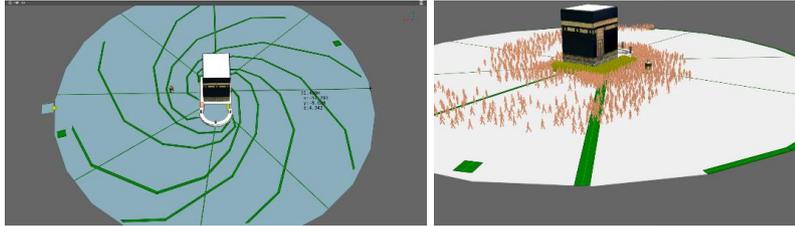


Figura 34 – esquerda (Massmotion – padrões de movimento no círculo interior); direita (Massmotion – simulação com agentes). [92]

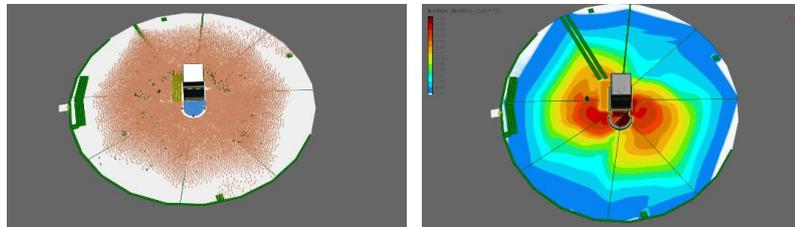


Figura 34 – esquerda (Massmotion – simulação da multidão em Tawaf); direita (“MassMotion – mapa de densidade média - o vermelho representa uma multidão de até 6,50 pessoas por  $m^2$ ”). [92]

## CASO DE ESTUDO 2 – A ESCALA DE INTERVENÇÃO ESPECÍFICA

Outro exemplo da aplicação do *MassMotion* fora do âmbito da indústria AEC e com uma escala de intervenção diferente, como componente de investigação académica, foi o estudo sobre os complexos padrões de mobilidade dos milhões de visitantes anuais em torno da Kaaba (“O Cubo”), na Mesquita Santa em Mecca na Arábia Saudita, realizado por uma equipa de investigação da universidade de Umm Al-Qura [92]. O objetivo, prende-se com o ato de difícil gestão da entrada e saída dos peregrinos na mesquita quando lotado de forma eficaz, respeitando os vários rituais culturais aí existentes, como as sete “circunambulações” anti-horários (*Tawaf*) em torno de *Kaaba*, entre outros. Os resultados

obtidos do software, permitiram analisar a densidade e áreas críticas junto da *Kaaba*, como o tempo necessário para as sete voltas ou a influência de construções futuras no padrão de mobilidade dos peregrinos, sendo este modelo posteriormente mantido, como base de trabalho em investigações [92].



Figura 35 – “O Hajar-Ismael em frente de Kaaba.” [92]



### 3.4. METODOLOGIA APLICADA

O modelo de simulação aplicado ao caso de estudo tem em conta a investigação desenvolvida e a fundamentação bibliográfica apresentada, tendo por referência o caso de estudo presente no ponto 2.2 da dissertação, sobre a investigação desenvolvida por Schaumann e outros, em 2016, para a Unidade de Medicina Interna, no Edifício do Coração Sammy Ofer, no Centro Médico Tel Aviv, Sourasky. As premissas presentes na simulação ambiente-comportamento está assente num sistema de arquitetura com **base em agentes e narrativa de eventos** (Figura 36), que possibilita a construção de padrões comportamentais mais complexos e aumenta a variedade dos cenários possíveis de simular, tendo em conta o contexto físico e social aplicado, conforme ficou fundamentado no estado da arte, enquadra-se nos objetivos da dissertação e responde ao desafio de encontrar um processo do domínio geral dos operadores BIM da indústria AEC, sobretudo na perspetiva do arquiteto.

Na metodologia de trabalho deles, o modelo espacial e equipamentos são elaborado em **Autodesk Revit**, enquanto que motor de simulação é em **Unity 3D** [86], com **linguagem de programação em C#** na produção da semântica espacial, dos perfis dos agentes, das atividades e eventos [93].

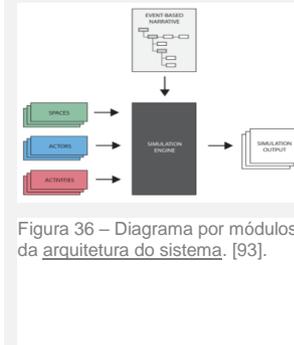


Figura 36 – Diagrama por módulos da arquitetura do sistema. [93].

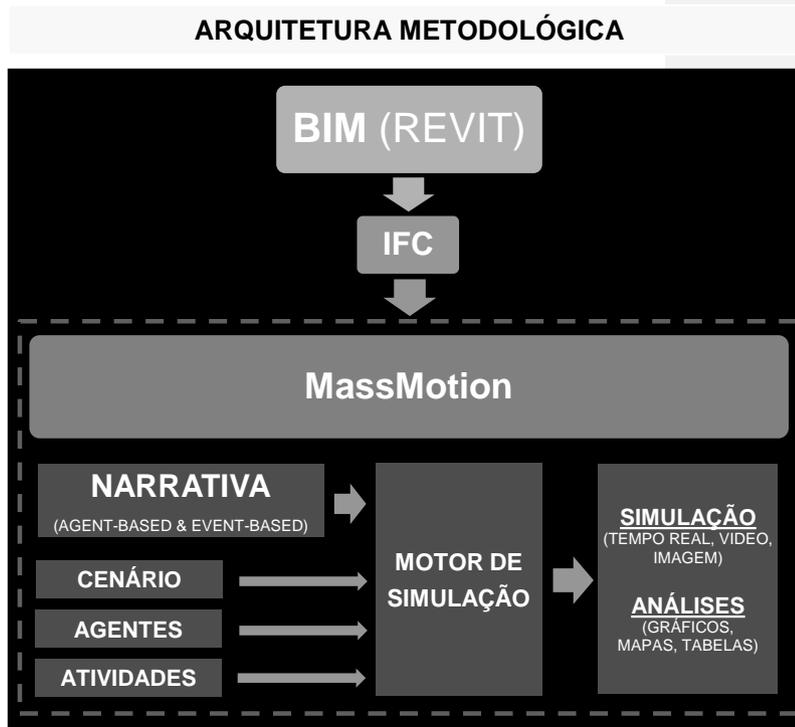


Figura 37 - Diagrama do sistema de arquitetura proposto.

#### ESTRUTURA DA METODOLOGIA DE TRABALHO

Na metodologia de trabalho aplicada é utilizado para modelação BIM o **Autodesk Revit 2018** (versão de estudante), sendo utilizado o modelo do caso de estudo sobre o Edifício 2 do ISCTE, proveniente do projeto BIM-FM, implementada e facultada pelos serviços da UER. Para o desenvolvimento da simulação com base em agentes múltiplos e em eventos, é usado o software **MassMotion**,

uma vez reconhecidas as características necessárias para o efeito e de acordo com o desenvolvedor procura adaptar-se ao domínio geral dos arquitetos e projetistas (o **MassMotion Flow** - versão simplificada focada nos projetistas em geral), evitando assim, métodos processuais em linguagens de programação avançada.

O desenvolvimento do trabalho prático percorre várias etapas processuais (Figura 38), estruturadas tendo por base o sistema de arquitetura proposto por Schaumann e outros, referenciado anteriormente, embora adaptado ao nível da simulação, sendo executada integralmente no **MassMotion** conforme descreve a **arquitetura metodológica** proposta (Figura 37).

<b>Software</b>	<b>Etapas para aplicação da metodologia proposta</b>
<b>Revit</b>	Etapa 1 – Preparação do modelo 3D
	Etapa 2 – Exportar o modelo BIM para formato IFC
<b>MassMotion</b>	Etapa 3 – Importação do formato IFC
	Etapa 4 – Modelação do <b>cenário</b> de simulação
	Etapa 5 – Introdução dos <b>agentes</b>
	Etapa 6 – Parametrização da <b>narrativa de eventos</b>
	Etapa 7 – Validação e Simulação
	Etapa 8 – Análise dos resultados

Figura 38 – Tabela das etapas processuais da metodologia aplicada.

#### 4. APLICAÇÃO PRÁTICA DA METODOLOGIA PROPOSTA

*“MassMotion Flow models real world spaces by breaking those spaces down into component parts and classifying the parts according to function. People in a MassMotion simulation know to walk around an obstruction because it has been marked as a barrier. Speed of movement is reduced when walking up a surface because that surface has been marked as a stair. The way in which classified objects are arranged can have a large impact on how people navigate a space, affecting their speed, their movement patterns, and the route choices they make.” [94]*

**From:** Oasys [mailto:oasys@arup.com]

**Sent:** 27 September 2017 17:03

**To:** Oasys

**Subject:** Software Trial Request

The following person would like a 30 day trial of MassMotion:

<b>Name:</b>	Bruno Miguel de Paiva Carvalho
<b>Company:</b>	ISCTE - architecture student
<b>Email Address:</b>	bmpco11@iscte-iul.pt
<b>Phone Number:</b>	+351917669172
<b>Country:</b>	Portugal
<b>Product:</b>	MassMotion
<b>Comments:</b>	N/A
<b>Date:</b>	Wed, 27th Sep 2017

---

Electronic mail messages entering and leaving Arup business systems are scanned for viruses and acceptability of content

Figura 39 – Comunicação por email ao pedido de licença de utilização por 30 dias.

#### 4.1. DOMÍNIO DO MASSMOTION

Para a utilização do *MassMotion*, foi necessário obter uma licença de utilização da versão de teste para 30 dias (Figura 39), disponibilizado gratuitamente por registo prévio online [88] e só depois da comunicação foi possível fazer o download e posterior instalação do software, que decorreu sem qualquer constrangimento.

Como um dos principais desafios é avaliar o alcance no domínio dos softwares de simulação com base em agentes e narrativa de eventos, foram elaborados trabalhos de adaptação inicial, procurando gradualmente aumentar a complexidade do cenário e o ambiente comportamental a simular pelos agentes, tendo em vista uma simulação com os principais elementos espaciais existentes na maioria dos projetos de arquitetura, inerentes da atividade básica da mobilidade individual em dimensão espacial de um ambiente 3D (subir ou descer escadas, percorrer rampas, atravessar portas, etc.), recolha dos dados de análises possíveis e observação direta em tempo real.



Figura 40 – Imagem legenda da interface da área de gestão do projeto em *MassMotion* (Oasys-Software, 2015).

## PASSO Nº1 – ENTENDIMENTO DO AMBIENTE DE TRABALHO E INTERFACE

O trabalho inicial concentrou-se no entendimento da interface principal (Figura 40), onde facilmente se identificam quatro áreas de trabalho, em conformidade com as etapas processuais da metodologia proposta (Figura 38).

A primeira é de gestão global do projeto (**Project tab**); a segunda refere-se à modelação **geométrica do cenário (Scene tab)**; a terceira é a que permite a **construção de padrões sociais (Activities tab)**, com base numa **narrativa de**

**eventos**, processualmente mais intuitiva e de fácil domínio da linguagem programação comportamental pelos **operadores BIM** dentro de uma base probabilística, conforme critério de seleção do software, e por último, onde se obtém as análises e a produção da simulação final (***Simulation & Analysis tab***). Existe ainda uma coluna à direita do ambiente de trabalho, com as ferramentas de modelação gerais, um painel de gestão à esquerda com a lista dos artigos dentro do modelo de trabalho e na base existe uma barra de controlo do tempo da visualização integral da simulação final (Figura 40).

ELEMENTOS DO CENÁRIO	FUNÇÃO	COR
<b>Piso (Floor)</b>	Pavimentos	Azul claro
<b>Ligação (Link)</b>	Ligações entre pavimentos	Amarelo
<b>Escada (Stair)</b>	Ligações entre pavimentos	Laranja
<b>Rampa (Ramp)</b>	Ligações entre pavimentos	Amarelo escuro
<b>Escadas automáticas (Escalator)</b>	Ligações entre pavimentos	Laranja escuro
<b>Caminho (Path)</b>	Ligações entre pavimentos	Linha azul
<b>Portal (Portal)</b>	Entrada, Saídas ou Destinos	Verde
<b>Barreira (Barrier)</b>	Obstáculos	Azul escuro

Figura 41 - Tabela dos elementos existentes em Massmotion e funcionalidade principal.

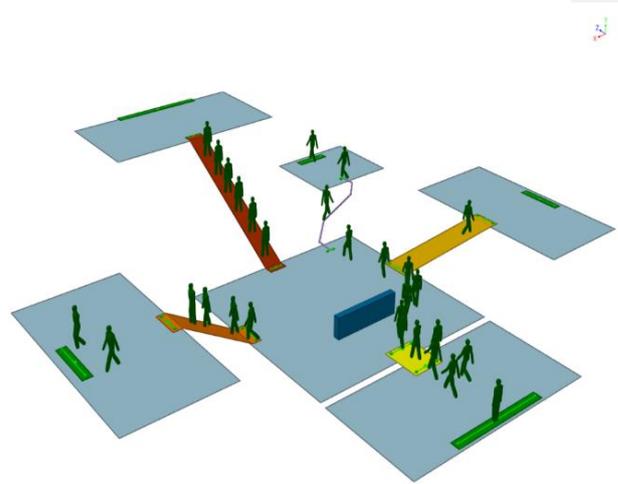


Figura 42 – Elementos de modelação do cenário em MassMotion (Oasys-Software, 2015).

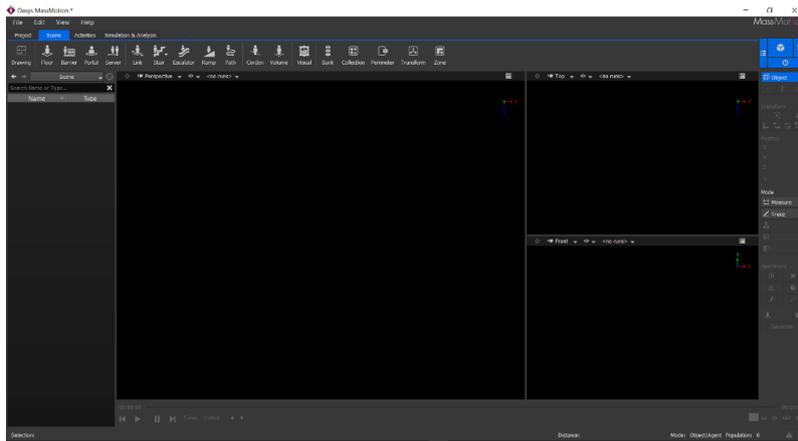


Figura 43 – Interface da área de modelação do cenário (3 janelas de visualização)

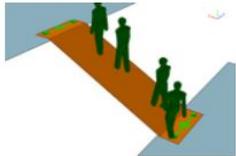
## PASSO Nº2 – MODELAÇÃO DO CENÁRIO

Este passo consiste no desenvolvimento do cenário de suporte à simulação, através da área de trabalho **Scene tab** (Figura 43), onde é possível projetar todos os elementos básicos da arquitetura (Figura 42). Com o objetivo de entender as potencialidades de modelação e controlo dos parâmetros associados, serão executados testes que permitam compreender as propriedades dos objetos (pavimentos, paredes e obstáculos) e das ligações básicas (portas, escadas e rampas).

Os elementos são distinguidos no software por quatro grupos funcionais: **Pisos**, **Ligações entre Pisos**, **Portais** e **Obstáculos** e podem ser modelados a partir de desenho 2D (.dwg), a partir de geometrias importadas ou de modelação 3D.



Link



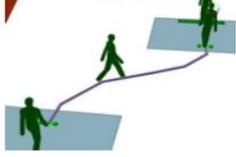
Stair



Ramp

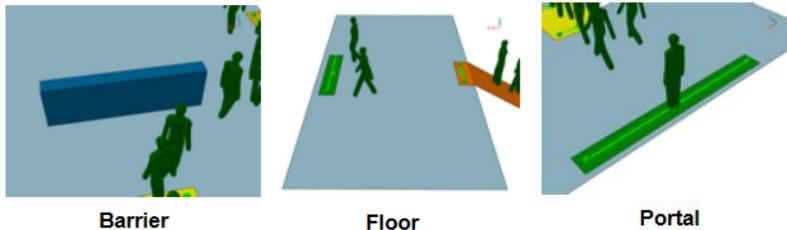


Escalator



Path

**Pisos** são os elementos da definição espacial que representam as áreas funcionais de cada projeto (salas, corredores, praças, estradas, passeios) que delimitam a área de ação espacial do **sistema IA de movimento** dos agentes. Para a interligação dos Pisos, existem um conjunto de **Ligações entre Pisos**, possíveis, representados por conectores que funcionam como escadas (*Stair*), escadas rolantes (*Escalator*), “portas” (*Link*), rampas (*Ramp*) e “elevadores” (*Path*), e que influenciam a decisão dos agentes na definição da sua **rota**, através dos parâmetros atribuídos das propriedades comuns em todos (Direção, Portões (**event-based**), Limites de fluxo, Fluxo de prioridade, Atraso no “Entrar” ou Sair, Bancos e Perímetro). Os Portais (**event-based**), servem de zonas de entrada e/ou destino (saída e/ou permanência) e onde nascem ou desaparecem os agentes na simulação visual final. Os **Obstáculos**, são fundamentais como elementos de representação volumétrica da planta do projeto em ambiente 3D, não permitindo a passagem dos agentes e influenciando o campo visual e os testes de interação dos agentes, através da volumétrica no piso, embora não disponham de propriedades controláveis.



Barrier

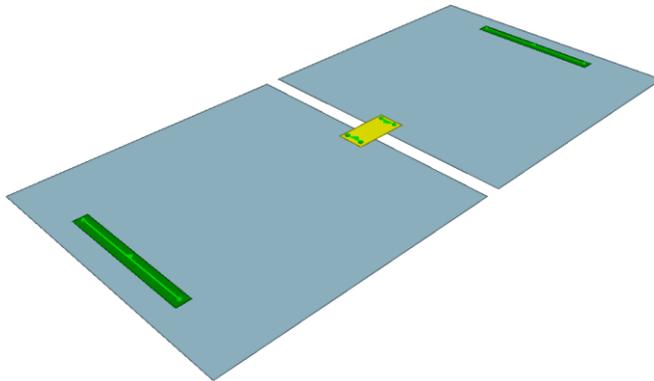
Floor

Portal

Figura 44 – Grupo de conectores de pisos (Guide, 2017).

Figura 45 – Grupo de elementos de composição do cenário (Obstáculos, Pisos e Portais) (Guide, 2017).

Teste nº1 (Figura 46)- duas áreas iguais com 100m<sup>2</sup> cada, ligadas por uma passagem de 1m de largura ao centro e com dois portais com 2,5m de comprimento (um de partida e outro de destino) em lados opostos do cenário.



Population: 0  
Time: 00:00:00

Figura 46 - Teste nº1 de modelação do cenário - cenário composto com 2 pavimentos (azul claro), 2 portais (verde) e 1 passagem (amarelo)

Teste nº2 (Figura 47) - duas áreas iguais com 100m<sup>2</sup> cada, ligadas por uma passagem de 1m de largura deslocada para a direita do cenário, no sentido do movimento dos agentes e com dois portais com 2,5m de comprimento (um de partida e outro de destino) em lados opostos do cenário.

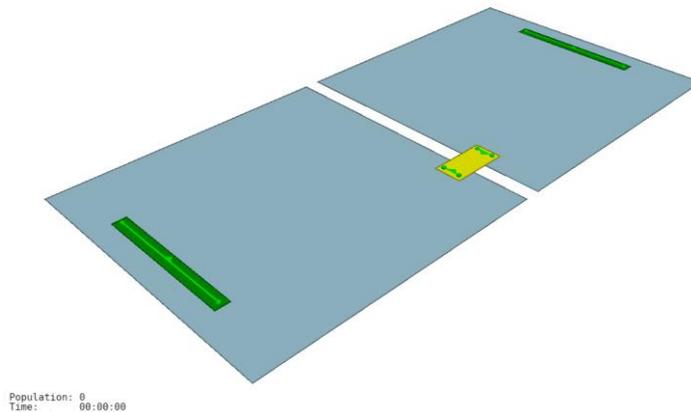
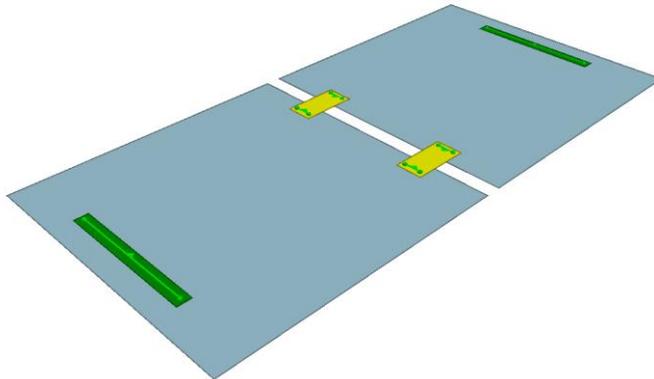


Figura 47 - Teste nº2 de modelação do cenário - cenário composto com 2 pavimentos (azul claro), 2 portais (verde) e 1 passagem (amarelo)

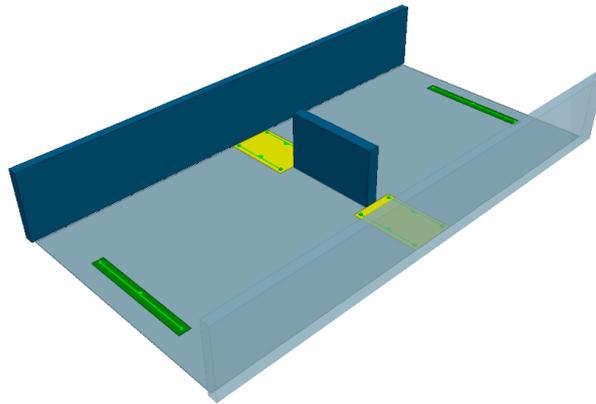
Teste nº3 (Figura 48) - duas áreas iguais com 100m<sup>2</sup> cada, ligadas por duas passagens de 1m de largura colocada à direita e esquerda do cenário, com dois portais com 2,5m de comprimento (um de partida e outro de destino) em lados opostos do cenário.



Population: 0  
Time: 00:00:00

Figura 48 - Teste nº3 de modelação do cenário - cenário composto com 2 pavimentos (azul claro), 2 portais (verde) e 2 passagens (amarelo)

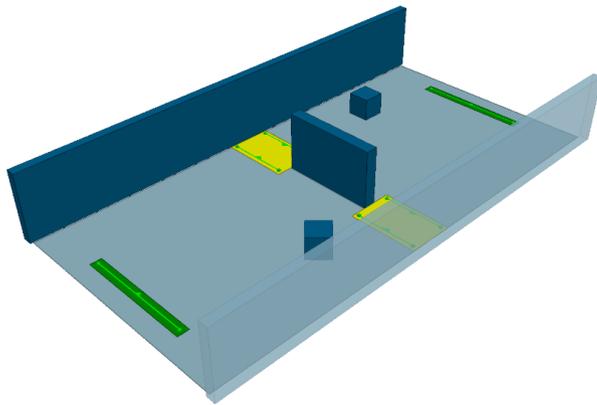
Teste nº4 (Figura 49) - duas áreas iguais com 100m<sup>2</sup> cada, ligadas por duas passagens de 3m de largura colocada à direita e esquerda do cenário, com dois portais com 2,5m de comprimento (um de partida e outro de destino) em lados opostos do cenário e introdução de obstáculos (paredes e volumes)



Population: 0  
Time: 00:00:00

Figura 49 - Teste nº4 de modelação do cenário - cenário composto com 2 pavimentos (azul claro), 2 portais (verde), 2 passagens (amarelo) e obstáculos (azul escuro)

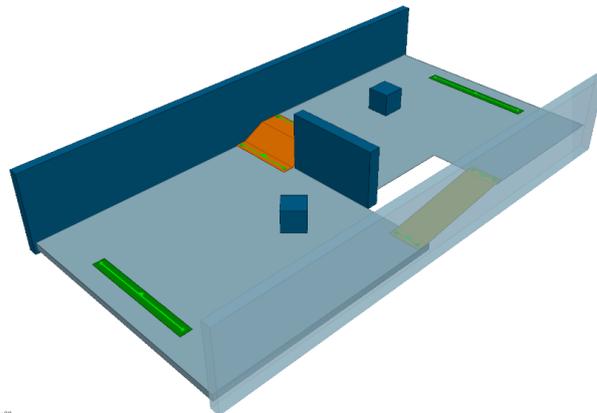
Teste nº5 (Figura 49) - duas áreas iguais com 100m<sup>2</sup> cada, ligadas por duas passagens de 3m de largura colocada à direita e esquerda do cenário, com dois portais com 2,5m de comprimento (um de partida e outro de destino) em lados opostos do cenário e introdução de obstáculos (paredes e volumes)



Population: 0  
Time: 00:00:00

Figura 50 - Teste nº5 de modelação do cenário - cenário composto com 2 pavimentos (azul claro), 2 portais (verde), 2 passagens (amarelo) e obstáculos (azul escuro)

Teste nº6 (Figura 51) - duas áreas iguais com 100m<sup>2</sup> cada, ligadas por uma escada com 3m de largura colocada à esquerda e do lado direito uma rampa de 1,5m de largura com um vazio do lado interior, com dois portais com 2,5m de comprimento (um de partida e outro de destino) em lados opostos do cenário e introdução de obstáculos (paredes e volumes)



Population: 0  
Time: 00:00:00

Figura 51 - Teste nº6 de modelação do cenário - cenário composto com 2 pavimentos (azul claro), 2 portais (verde), 1 escada (laranja), 1 rampa (amarelo escuro) e obstáculos (azul escuro)

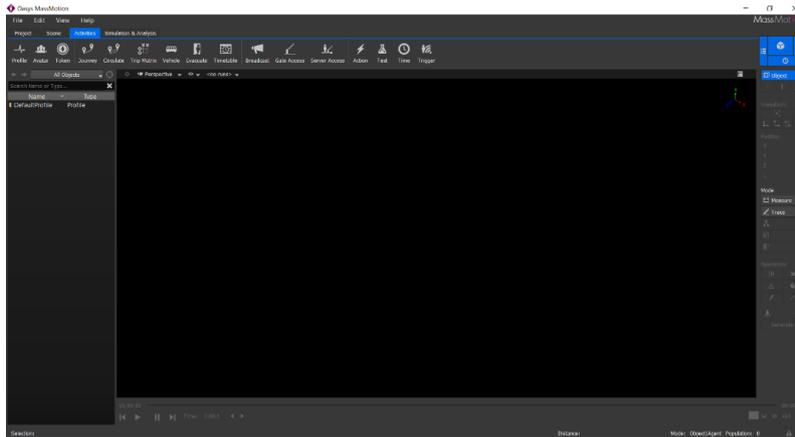


Figura 52 - Interface da área de modelação do cenário (1 janela de visualização)

### PASSO Nº3 – MODELAÇÃO COMPORTAMENTAL

Neste passo, através da área de trabalho (Figura 52) seguinte do software (**Activities tab**) dedicado à criação eventos e introdução dos agentes, encontramos diferentes tipos de atividades e instruções que atuam sobre padrões comportamentais.

Em **MassMotion** as pessoas são representadas por **agentes autónomos**, com capacidade de perceção e reação ao ambiente em que se encontre, de acordo com as características e objetivos de cada agente, colocados no cenário através de eventos. A características dos agentes são definidas por um perfil de agente e inclui características físicas e de personalidade. A entrada no cenário é feita por **eventos**, onde se define locais de entrada e saída, horário de entrada, tarefas como procurar um portal para sair, no caso do evento **Journey**, mas no

caso do evento **Evacuation** serão desencadeadas uma série de tarefas por ordem [95].

Cada **agente autônomo**, possui uma lista de tarefas a cumprir sequencialmente. Embora só trabalhe uma tarefa de cada vez (tarefa ativa), uma vez terminada essa tarefa o agente passa para a tarefa seguinte da lista e por aí em diante. No entanto, os agentes podem receber novas tarefas através das “ações”, que se sobrepõem na lista de tarefas de cada e executadas em ordem, voltando às tarefas anteriores quando concluídas. As tarefas mais comuns são normalmente relacionadas com a mudança do destino para um portal, entrar ou sair de uma cadeia de processo, evacuação de uma zona, esperar um determinado período numa zona específica, executar uma sequência de sub-tarefas por ordem ou apenas sair da simulação [95].

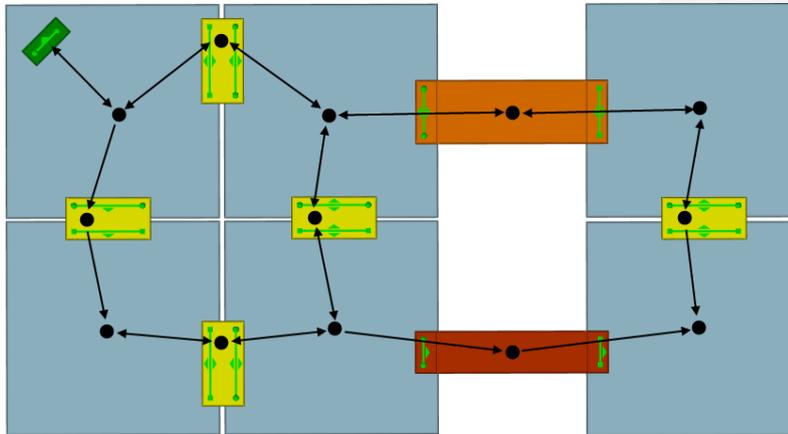


Figura 53 - Diagrama simples da "rede" de navegação - círculos pretos e linhas representam os nós e as rotas (Guide, 2017).

Existe uma maior variedade de tarefas e ações, que permitem um aumento exponencial da complexidade permitida ao nível dos comportamentos individuais e coletivos dos agentes, promovendo o desenvolvimento de narrativas mais específicas de cenários reais diferenciados. Para tal, é essencial um bom nível comportamental dos agentes na elaboração das tarefas, sendo que em **Mas-motion** existem dois sistemas de **IA** independentes: **Navegação** e **Movimento**.

O **sistema de Navegação** é o responsável por determinar a melhor forma de realizar uma tarefa com base no entendimento do meio ambiente avaliando, durante a rota escolhida, as distâncias envolvidas e as situações seguintes de tomadas de decisão, ao nível da sensação do limite de constrangimento. Neste sistema a ligação entre os elementos do cenário (pisos, portas, escadas, rampas, escadas rolantes, caminhos e portais) é designada por “rede” e descreve as rotas possíveis disponíveis ao navegar no cenário. De acordo como o diagrama (Figura 53), um agente escolhe a sua rota de acordo com as setas disponíveis em cada nó (círculos pretos) da rede [95].

O algoritmo de **IA do Movimento**, embora adaptado, está suportado no fundamento das forças sociais das dinâmicas pedestres revisto em 1995 por Dirk Helbing e Péter Molnár [96] e é responsável pelo controlo da forma como o agente, depois de escolhida a rota, se movimenta pela superfície ao encontro do objetivo pretendido. Para tal, o algoritmo reproduz uma série de forças com base na direção pretendida, na localização e movimento dos agentes vizinhos e na posição dos obstáculos mais próximos, somando estas a cada passo e utilizando-as para determinar o rumo e a velocidade de cada agente [95]. O sistema de Movimento de cada agente é composto por três componentes: **Encontro do alvo**, **Vizinhos** e **Forças Sociais**.

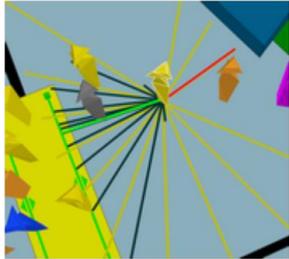


Figura 56 - Sensibilização do agente para direção a alvo (Guide, 2017).

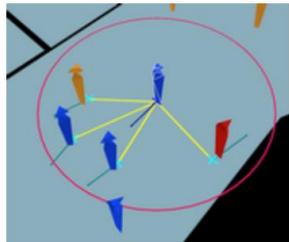


Figura 56 - Consciência dos Vizinhos circundantes (Guide, 2017).



Figura 56 - Forças atuantes no agente (Guide, 2017).

**Encontro do alvo:** é o processo para um agente procurar um alvo local específico, onde projeta em várias direções “raios” para medir a distância ao alvo de forma a encontrar o mais curto e assumir como direção a tomar [95].

**Vizinhos:** cada agente tem consciência dos outros agentes dentro de um raio específico, que varia com a densidade local e velocidade do agente. Dentro deste raio de consciência, o agente tem consciência da localização, velocidade e tamanho dos demais agentes, que são designados por vizinhos[95].

**Forças Sociais:** este algoritmo relaciona várias forças (Coesão, Colisão, Deriva, Enfileiramento ordenado e Canto) com base no alvo desejado do agente, na presença de agentes vizinhos e na localização de obstáculos, somando-as e utilizando-as para modificar a aceleração do agente[95].

Além de agentes que reconhecem o ambiente e desenvolvem tarefas específicas, existem cinco tipos de recursos importantes para a personalização dos padrões comportamentais e construção de **narrativas de eventos** mais complexas (eventos, agendamento, ações, testes, gatilhos e correntes de processos). Os **eventos** (Figura 57) são aqueles que criam agentes ou modificam a cena durante a simulação, podendo ser configurado para se ativarem de acordo com um horário especificado ou então através de gatilhos (**Triggers**) para ligar ou desligar consoante mudanças nas condições do cenário. **Eventos gerais** (Figura 58) modificam a cena ou agentes existentes durante a simulação ou fornecem informações para outros eventos [95].

---

### Eventos para agentes

<b>Viagem</b>	Criar uma única onda de agentes, cada uma com uma única origem e um único destino, onde as origens e destinos são atribuídos de um conjunto.
<b>Circular</b>	Criar agentes que se movam várias vezes entre um conjunto de portais de "circulação".
<b>Evacuar</b>	Criar agentes, diga-lhes que esperem por um período especificado, evacue a cena através de um conjunto de destinos.
<b>Calendário</b>	Criar agentes, atribua tarefas do agente e abra os portões com base em uma série de arquivos de entrada de texto coordenados. Adequado para modelagem de horários de comboios, horários de voos, horários de autocarros, palestras universitárias ou horários de portas de interseção.
<b>Trip Matrix</b>	Criar uma onda de agentes, cada uma com uma única origem e destino, onde as origens e os destinos são atribuídos a partir de uma matriz de origem / destino.
<b>Veículo</b>	Criar uma série de chegadas de veículos. Os portões podem ser abertos em cada chegada para controlar o acesso à área do veículo. Também podem ser criados agentes de embarque e desembarque para cada chegada.

Figura 57 - Tabela de eventos para agentes [95].

---

### Eventos Gerais

<b>Transmissão</b>	Aplica uma ação aos agentes num horário especificado.
<b>Acesso ao portão</b>	Abrir ou fechar objetos de conexão fechados.
<b>Acesso ao servidor</b>	Abrir ou fechar o acesso aos servidores.
<b>Tempo</b>	Este evento virtual não faz nada para a cena, mas pode ser usado pelos tempos de referência de outros eventos para se referir a um tempo comum.

Figura 58 - Tabela de eventos gerais [95].

Outro recurso fundamental para a construção das narrativas complexas são os “testes”, que através de operações *booleanas* numa lógica de verdadeiro ou falso, quando aplicado a agentes são importantes para controlar como os eventos e outros mecanismos de controle interagem com os agentes, como determinar se as ações serão ou não aplicadas a um agente específico, ou aplicados em cadeia de processo e em vários eventos.

Teste nº 1, 2 e 3 – as propriedades do **Profile** dos agentes foram mantidas com base nos modelos de Fruin (Figura 60) e através da função **Journey**, foi criada uma população de 100 agentes, com uma distribuição aleatória durante 1 minuto de forma uniforme durante o tempo de simulação (Figura 59), considerando um portal como ponto de origem (ENTRADA) e outro como destino (SAÍDA).

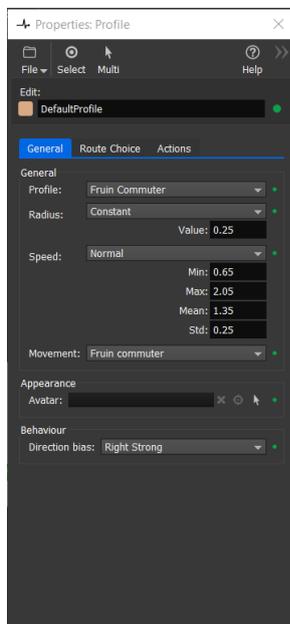


Figura 60 - Modelação comportamental – Propriedades do comportamento dos agentes (*Profile*).

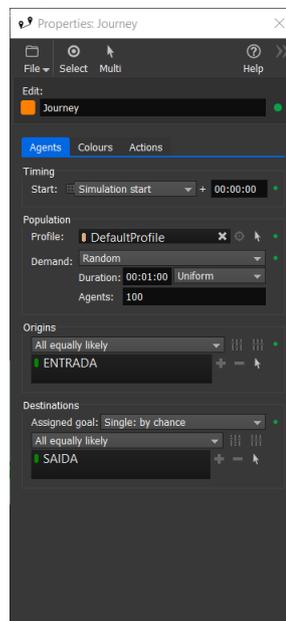


Figura 59 - Modelação comportamental – Propriedades do evento a simular (*Journey*).

Teste nº4, 5 e 6 - as propriedades do **Profile** dos agentes foram mantidas com base nos modelos de Fruin (Figura 62) e através da função **Journey**, foi criada uma população de 150 agentes, com uma distribuição aleatória durante 1 minuto de forma triangular com uma moda de 30 segundos durante o tempo de simulação (Figura 61), considerando um portal como ponto de origem (ENTRADA) e outro como destino (SAÍDA).



Figura 62 - Modelação comportamental – Propriedades do comportamento dos agentes (*Profile*).

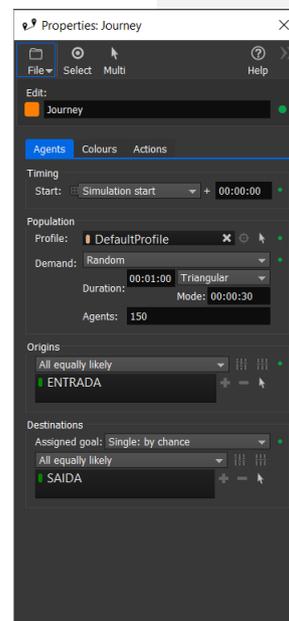


Figura 61 - Modelação comportamental – Propriedades do evento a simular (*Journey*).

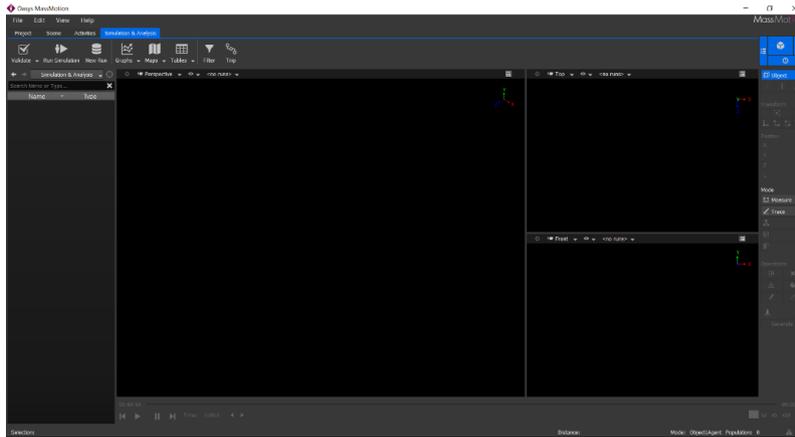


Figura 63 - Interface da área de validação e produção da simulação (3 janelas de visualização)

#### **PASSO Nº4 – SIMULAÇÃO E ANÁLISE**

Este passo concretiza-se na última área de trabalho (***Simulation & Analysis tab***), onde encontramos ferramentas para a validação e produção da simulação, bem como existe um conjunto de análises possíveis (gráficos, mapas e tabelas).

Para se obter a simulação, o modelo não poderá conter erros estruturais ou conflitos de parametrização das propriedades dos elementos espaciais e regras comportamentais, bem como na relação entre ambas. Será sempre produzida uma verificação de validação do projeto e produção de um relatório dos parâmetros a serem corrigidos, caso existam. Só depois de resolvidos todos os erros é permitido correr a simulação, processo este que demora mais tempo, quanto

mais se aumenta a duração da simulação e número de agentes. Durante o processo é possível acompanhar o relatório das operações que são executadas em tempo real, informação útil do resultado final e que ajuda a tomar a decisão de manter ou abortar o processo de imediato, economizando tempo de trabalho.

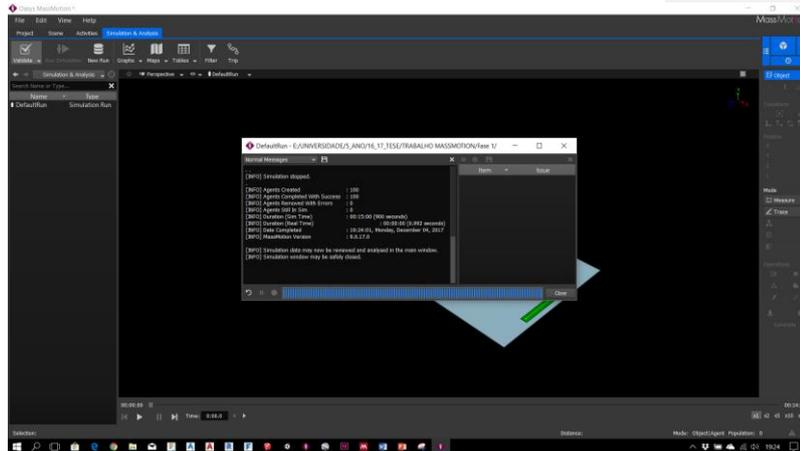


Figura 64 – Painel com o relatório da simulação.

Teste nº1 - através da função **Journey**, foi introduzido uma população de 100 agentes pré-definidos, com uma distribuição aleatória durante 1 minuto de forma uniforme durante o tempo de simulação, considerando um portal como ponto de origem (ENTRADA) e outro como destino (SAÍDA). sendo necessário para saída de todos do cenário, **97 segundos**.

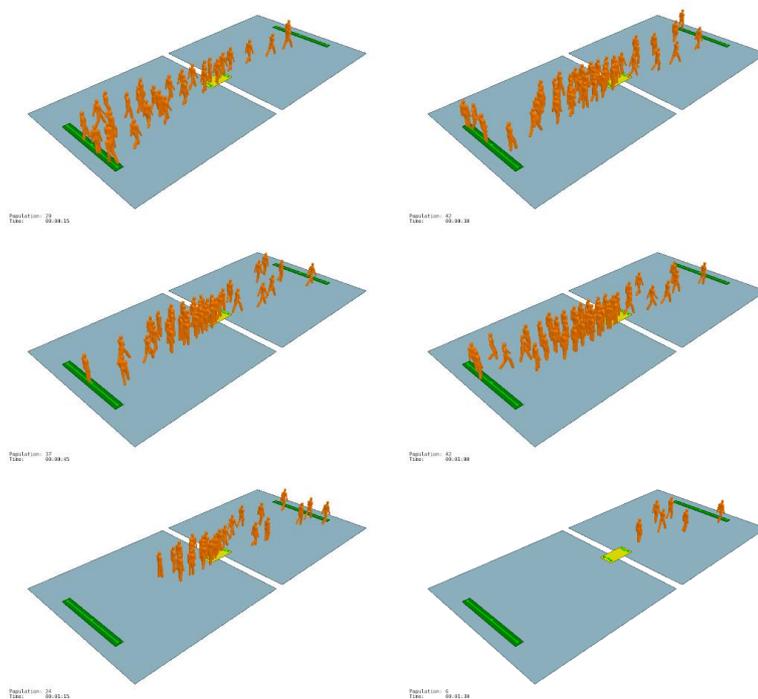


Figura 65 - composição de frames da simulação com início ao segundo 15 (de 15 em 15 segundos - lê-se da esquerda para a direita), com os agentes coloridos de acordo com o "nível de serviço" de Fruin Walkways (Fruin LOS)

Teste nº2 - através do evento **Journey**, foi introduzido uma população de 100 agentes pré-definidos, com uma distribuição aleatória durante 1 minuto de forma uniforme durante o tempo de simulação, considerando um portal como ponto de origem (ENTRADA) e outro como destino (SAÍDA), sendo necessário para saída de todos do cenário, **99 segundos**.

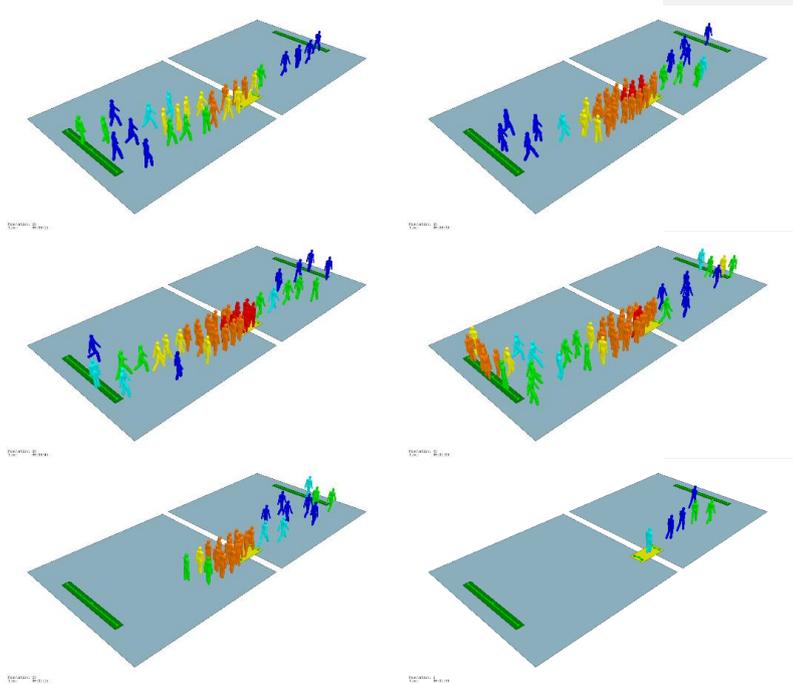


Figura 66 - composição de frames da simulação com início ao segundo 15 (de 15 em 15 segundos - lê-se da esquerda para a direita), com os agentes coloridos de acordo com o "nível de serviço" de Fruin Walkways (Fruin LOS)

Teste nº3 - através do evento **Journey**, foi introduzido uma população de 100 agentes pré-definidos, com uma distribuição aleatória durante 1 minuto de forma uniforme durante o tempo de simulação, considerando um portal como ponto de origem (ENTRADA) e outro como destino (SAÍDA), sendo necessário para saída de todos do cenário, **86 segundos**.

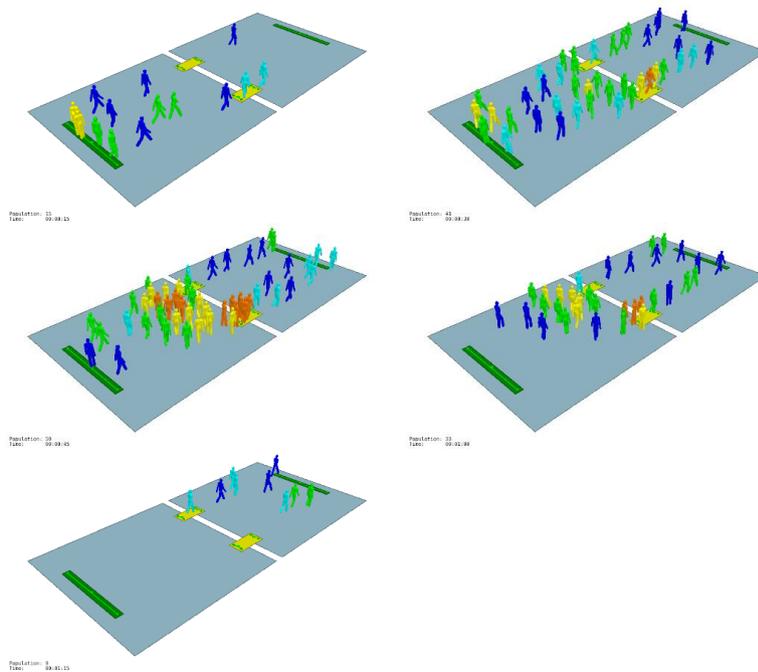


Figura 67 - Composição de *frames* da simulação com início ao segundo 15 (de 15 em 15 segundos - lê-se da esquerda para a direita), com os agentes coloridos de acordo com o "nível de serviço" de Fruin Walkways (Fruin LOS)

Teste nº4 - através do evento **Journey**, foi introduzido uma população de 150 agentes pré-definidos, com uma distribuição aleatória durante 1 minuto de forma triangular com uma moda igual a 30 segundos durante o tempo de simulação, considerando um portal como ponto de origem (ENTRADA) e outro como destino (SAÍDA), sendo necessário para saída de todos do cenário, **72 segundos**.

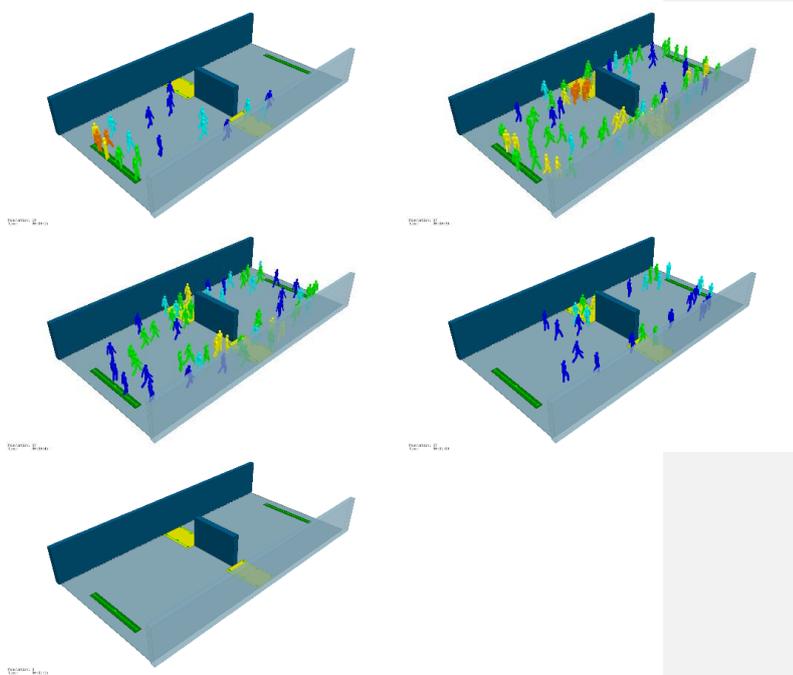


Figura 68 - composição de *frames* da simulação com início ao segundo 15 (de 15 em 15 segundos - lê-se da esquerda para a direita), com os agentes coloridos de acordo com o "nível de serviço" de Fruin Walkways (Fruin LOS)

Teste nº5 - através do evento **Journey**, foi introduzido uma população de 150 agentes pré-definidos, com uma distribuição aleatória durante 1 minuto de forma triangular com uma moda igual a 30 segundos durante o tempo de simulação, considerando um portal como ponto de origem (ENTRADA) e outro como destino (SAÍDA), sendo necessário para saída de todos do cenário, **77 segundos**.

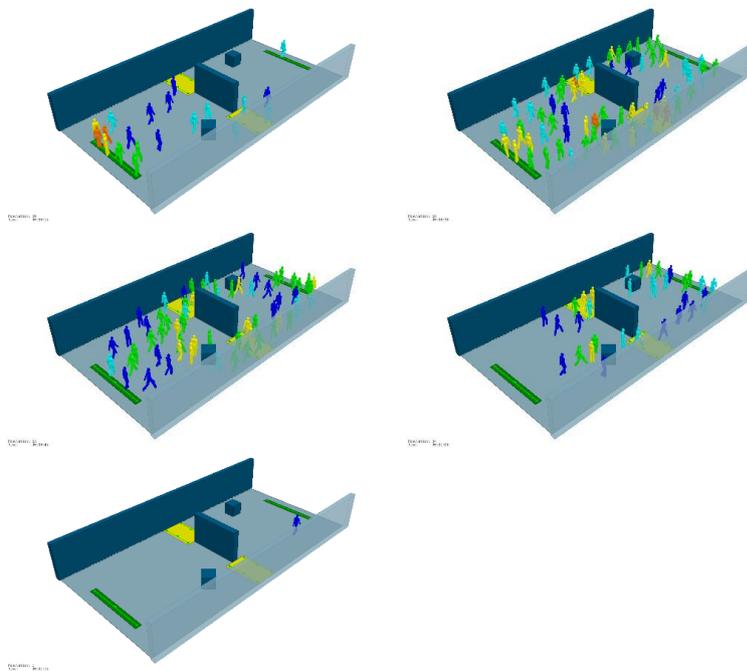
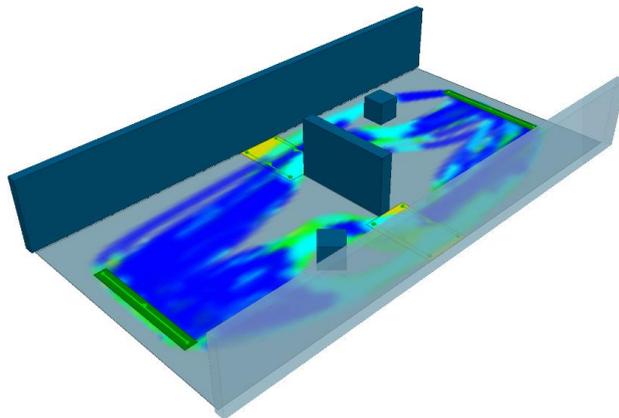
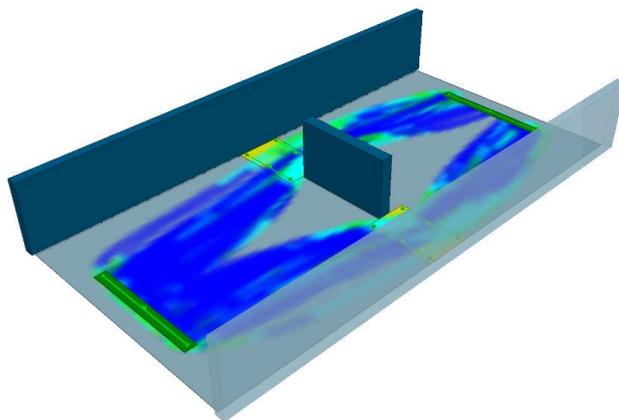


Figura 69 - composição de *frames* da simulação com início ao segundo 15 (de 15 em 15 segundos - lê-se da esquerda para a direita), com os agentes coloridos de acordo com o "nível de serviço" de Fruin Walkways (Fruin LOS)



Population: 0  
Time: 00:00:00



Population: 0  
Time: 00:00:00

Teste nº6 - através do evento **Journey**, foi introduzido uma população de 150 agentes pré-definidos, com uma distribuição aleatória durante 1 minuto de forma triangular com uma moda igual a 30 segundos durante o tempo de simulação, considerando um portal como ponto de origem (ENTRADA) e outro como destino (SAÍDA), sendo necessário para saída de todos do cenário, **83 segundos**.

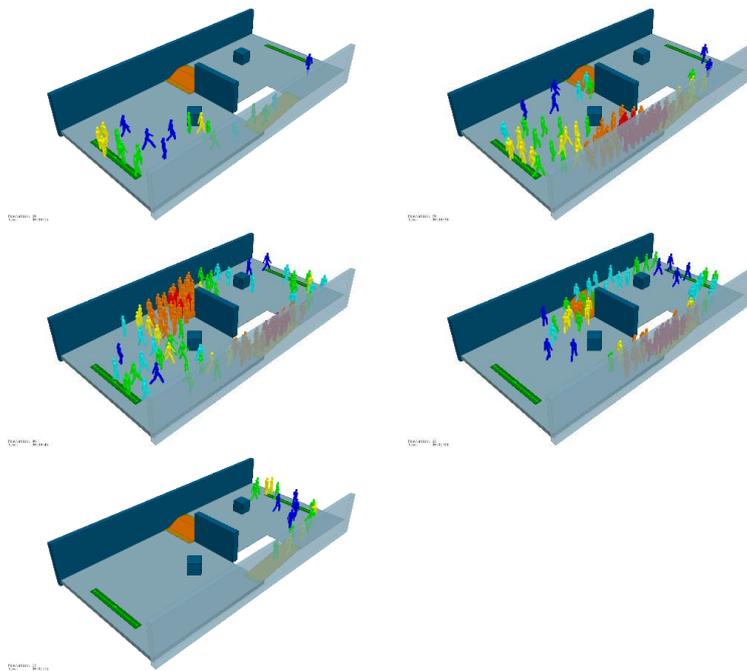
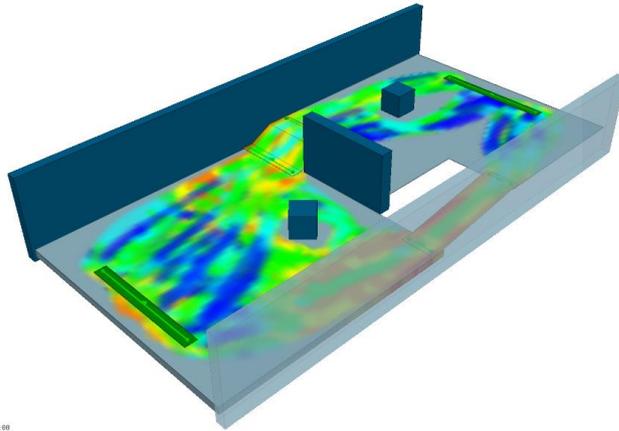
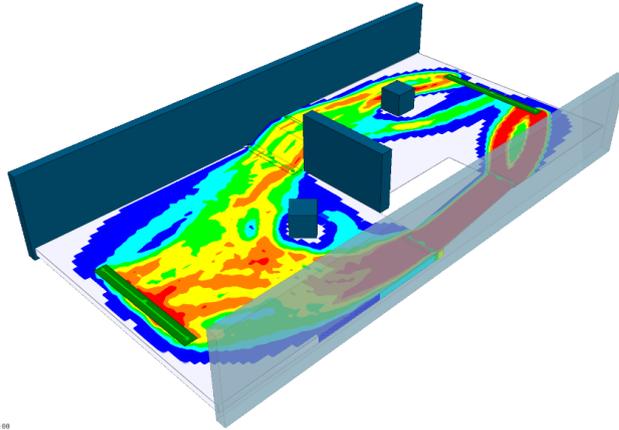
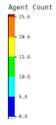
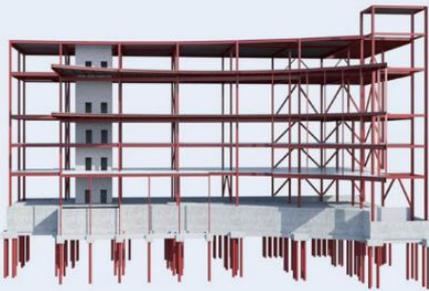
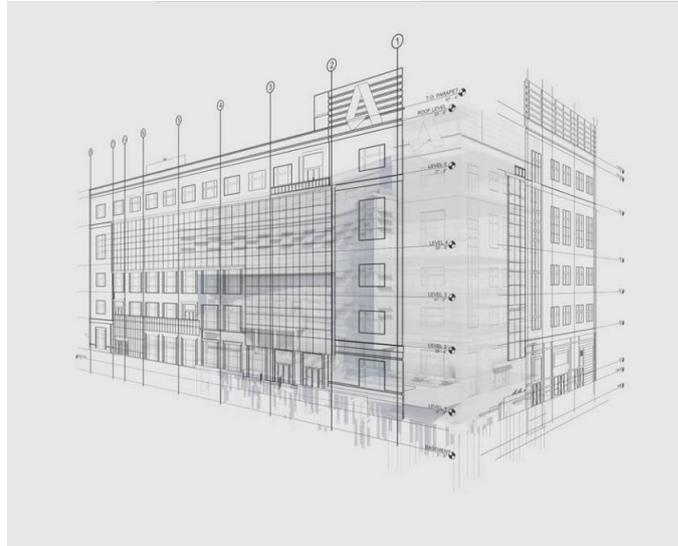
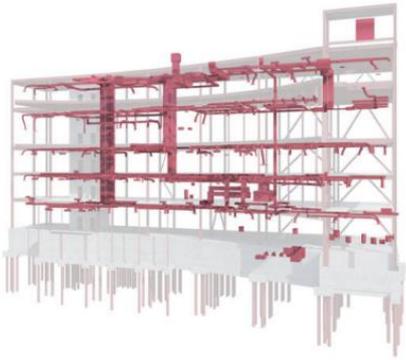


Figura 70 - composição de *frames* da simulação com início ao segundo 15 (de 15 em 15 segundos - lê-se da esquerda para a direita), com os agentes coloridos de acordo com o "nível de serviço" de Fruin Walkways (Fruin LOS)







## 4.2. REVIT: O MODELO E A INTEROPERABILIDADE DO BIM

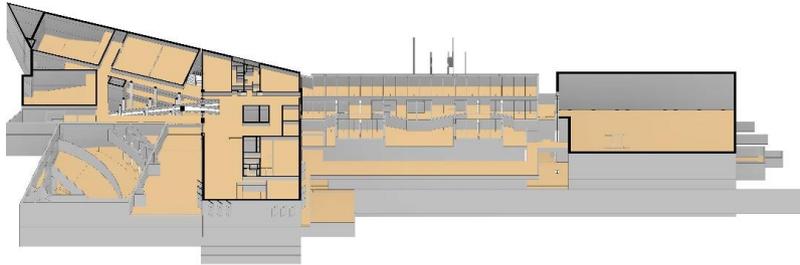


Figura 71 – Imagem de uma seção geral 3D do modelo BIM do Edifício 2 do ISCTE-IUL.

### **ETAPA 1 – PREPARAÇÃO DO MODELO 3D**

*"Interoperability – the sharing of information between these different models – is critical to the success of BIM." [97]*

A primeira etapa prende-se com a modelação do elementos necessários em BIM, tendo em conta um ambiente espacial de acordo com as exigências da simulação pretendida, de forma a apresentar apenas os elementos indispensáveis para o cenário de simulação e conforme os objetivos finais (representação visualização final ou estudo comportamental apenas), e assim, evitar sobre carregamento de informação no modelo de simulação, diminuindo o esforço do processamento gráfico e tempos de execução.

Neste sentido, foi necessário introduzir alguns elementos de ligação inexistentes no modelo fornecido pela UER e fundamentais para a caracterização ambiental do Edifício 2, como as rampas de ligação entre pisos, caixas de escadas

e portas, que serão elementos importantes na construção do cenário de simulação, tirando vantagem processual de uma característica **Massmotion** de “**auto conversão**” dos elementos geométricos importados, segundo as suas características semânticas para elementos equivalentes da modelação do cenário do software de simulação.

### ETAPA 2 – EXPORTAR O MODELO BIM PARA FORMATO IFC

“...o IFC foi desenvolvido para criar um grande conjunto de dados consistentes para representar um modelo de dados de um edifício, com o objetivo de permitir a troca de informações entre diferentes fabricantes de software na AEC.” [73]

O processo de exportação do modelo de **Revit** é feito para o formato **Industry Foundation Class (IFC)** (especificação padrão internacional em *open source* para modelação geométrica e dados de informação do projeto em BIM [98]), uma vez que permite troca e partilha consistente entre as várias disciplinas de um projeto, provando a interoperabilidade existente em sistema BIM, sendo este crucial para integração da informação da semântica espacial do projeto na simulação ambiente-comportamento de acordo com ambiente real pretendido. Ou seja, não basta partilhar a geometria, é necessário transmitir a caracterização funcional dos espaços.

Para o caso de estudo, foram exportados apenas os elementos associados ao hall principal de distribuição onde foram identificadas as situações críticas (casos reais – subcapítulo 3.2) e objeto do estudo desenvolvido na simulação comportamental.

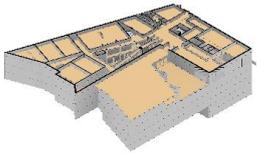
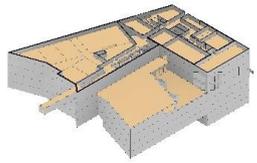


Figura 72 - 3 secções por pisos da área do caso de estudo observada do modelo 3D do Revit do Edifício 2 do ISCTE-IUL (Piso 4, Piso 3 e Piso 2).



### 4.3. MASSMOTION - CASO DE ESTUDO



### **ETAPA 3 – IMPORTAÇÃO PELO FORMATO IFC**

Para além do formato IFC (critérios de seleção - subcapítulo 3.3), o MassMotion reconhece uma grande variedade de outros formatos comuns na área da modelação 3D como o Sketchup (.skp) ou 3DStudio Scene (.3ds), da área de projeto em 2D como o Autocad (.dwg), sendo este software bastante versátil na implementação em áreas de trabalho de modelação tridimensional e/ou renderização, cada vez mais presentes na indústria AEC para apresentação final dos projetos junto do cliente e como modelo único de trabalho em metodologias BIM.

A importação do ficheiro que resulta da etapa anterior pode ser feita através da primeira área do MassMotion, dedicada à gestão de projeto e que inclui a função “Import” e “Export”, uma vez tratar-se de funções que facilitam a saída e entrada de informação entre diferentes sistemas.

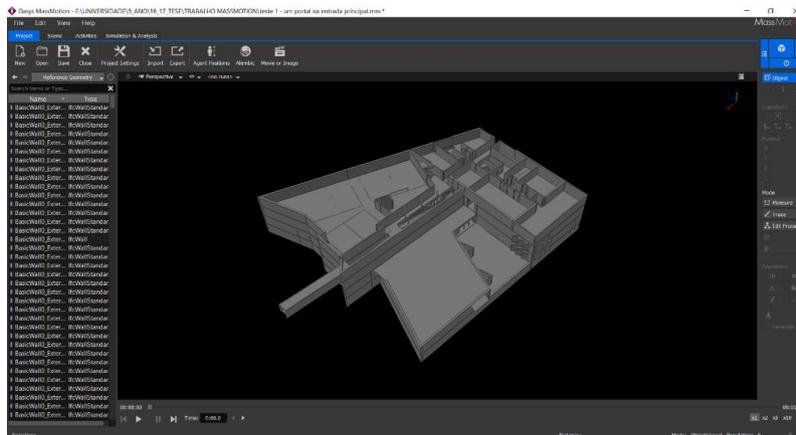


Figura 73 - Geometria importada em formato IFC do modelo BIM referente ao caso de estudo.

Depois de processado o carregamento do modelo IFC, surge automaticamente o painel “**Transform**” (Figura 74), que tem particular relevância sempre que é necessário editar as propriedades da localização espacial, posição e escala dos objetos inseridos, de forma a manter as referências provenientes de ficheiros externos ou do próprio sistema. As geometrias importadas são geradas de acordo com o detalhe do modelo BIM e organizados por classes tipológicas de IFC (Figura 73).

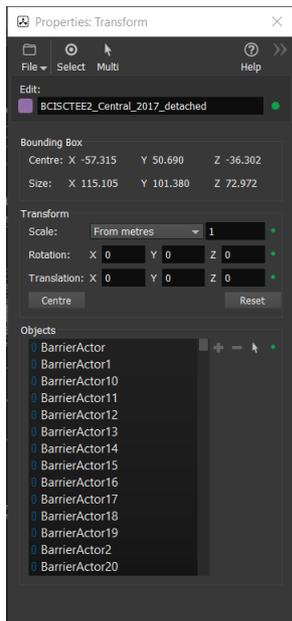


Figura 74 – Painel *Transform*

### Principais formatos de modelação 3d e 2d, suportados por MassMotion.

3DStudio Scene (.3ds)

AutoCAD Drawing Exchange Format (.dxf)

AutoCAD Drawing Database (.dwg)

Sketchup (.skp)

Collada (.dae)

Industry Foundation Classes (.ifc)

Wavefront 3D Object (.obj)

Figura 75 - Tabela de formatos suportados pelo **MassMotion** para importação (Guide, 2017).

#### ETAPA 4 – MODELAÇÃO DO CENÁRIO DE SIMULAÇÃO

Uma vez que as geometrias estão classificadas, através função “**Generate**” (Figura 77) é possível converter em elementos do cenário de simulação, todos os objetos selecionados, o que reduz em muito a quantidade de trabalho de modelação através do desenho, atribuindo a cada elemento as propriedades da função a que se destinam (Figura 78).

Neste sentido, depois de gerados os elementos do cenário, foram mantidos apenas os conteúdos volumétricos próximos à zona do hall do piso 2 e 3, juntamente com as áreas de circulação mais relevantes como as caixas de escadas, rampas e corredores adjacentes. As geometrias irrelevantes para a simulação pretendida foram eliminadas e mantidas ocultas as referências geométricas dos elementos convertidos, mantendo o modelo de simulação com a informação mínima necessária de forma a garantir uma utilização fluida (Figura 76).



Figura 76 - Sequência da modelação do cenário.

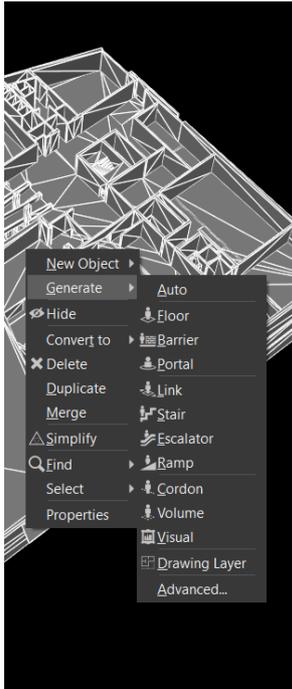


Figura 77 - Painel de funções do botão direito do rato sobre os artigos selecionados.

IFC Type	IFC Geometry Type	Auto-converts to
Space	IfcSpace	Floor
Slab Landing	IfcSlab_Landing	Floor
Escalator	IfcTransportElement_Escalator	Escalator
Moving Walkway	IfcTransportElement_MovingWalkway	Escalator
Door	IfcDoor	Link
Stair	IfcStair	Stair
Stair Flight	IfcStairFlight	Stair
Wall	IfcWall	Barrier
Wall Standard Case	IfcWallStandardCase	Barrier
Railing	IfcRailing	Barrier
Column	IfcColumn	Barrier
Furnishing Element	IfcFurnishingElement	Barrier
Ramp	IfcRamp	Ramp
Ramp Flight	IfcRampFlight	Ramp

Figura 78 - Tabela adaptada da "auto conversão" das geometrias IFC reconhecidas por elementos de cenário no Massmotion (Guide, 2017).

Embora haja grande vantagem no processo de auto conversão, são necessários alguns ajustes nos elementos de ligação dos pisos. Para que as escadas fiquem devidamente configuradas com os pisos, ativas na rede de navegação do sistema e disponíveis para reconhecimento dos agentes, é necessário reposicionar as suas linhas de meta (linhas verdes quando ativas) devendo ter no mínimo 0,2m de cada lado e com os marcadores (bolas e cubos na extremidade de

cada linha) em contacto com os pisos (Figura 79). Outra situação, prende-se com o facto de as rampas terem sido reconhecidas como pisos durante o processo (Figura 76) devido ao facto de terem sido modeladas no Revit como lajes inclinadas e não como rampas, embora se possa corrigir facilmente pela função “Convert to” especificando o elemento que se pretende. No que diz respeito a outro elemento essencial nas ligações entre pisos são as portas, que depois de convertidas são representadas por retângulos amarelos (*links*) e que na conversão é deduzida a sua volumetria da parede correspondente.

Reduzidas as imperfeições dos elementos de ligação vertical, foram introduzidos portais de entrada e destino de forma a reproduzir as principais dinâmicas existentes no hall do piso 3, designados da seguinte forma:

- a. **Portal\_P2\_Entrada** – corresponde à entrada pelo Pátio Sul.
- b. **Portal\_P3\_Docentes** – corresponde a ala dos docentes e elevadores do piso 3.
- c. **Portal\_P3\_Salas\_Arq** – corresponde as salas de arquitetura no piso 3.
- d. **Portal\_P3\_Varanda** – corresponde a entrada exterior pelo piso 3.
- e. **Portal\_P4\_Tunel** – corresponde a passagem de ligação para o Edifício 1.

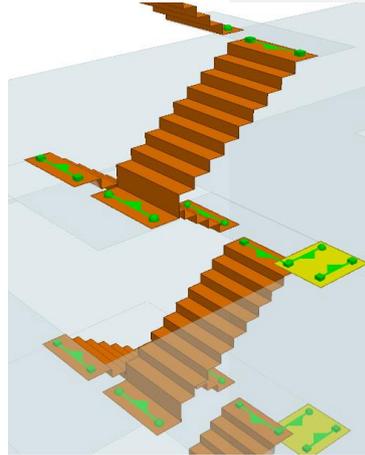
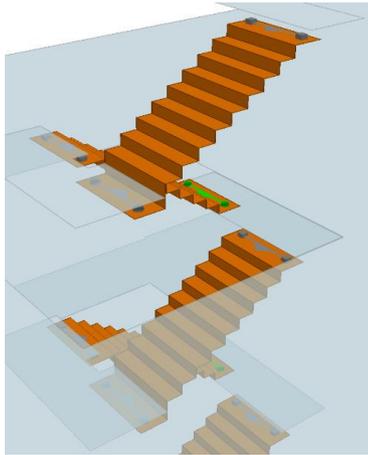
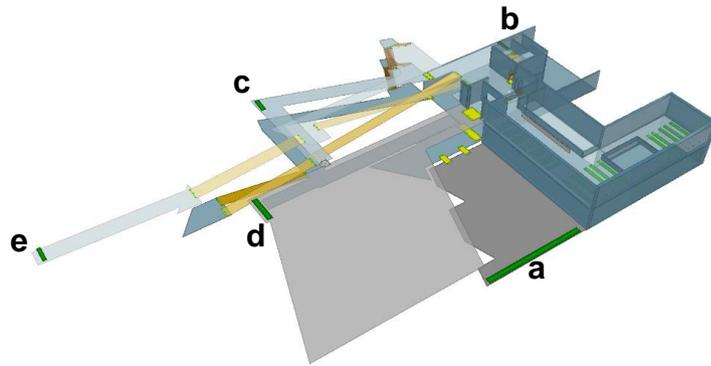


Figura 79 - Escadas - antes e depois de editadas.



Population: 8  
Time: 00:00:00

Figura 80 – Diagrama da localização dos portais.

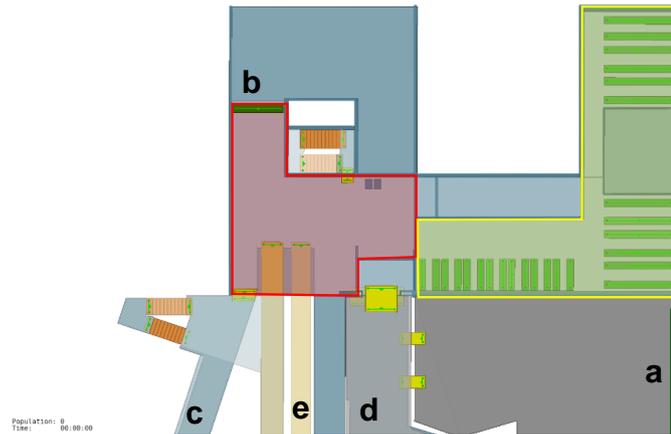


Figura 81 - Diagrama do Cenário Principal.

O cenário principal resume-se à zona de observação da ação principal, composta por duas áreas de ação, hall de distribuição (vermelho) e cantina (amarelo) do piso 3 (Figura 81). Desta forma foi importante representar as volumetrias do ambiente, de forma a interagir com os agentes condicionando as suas decisões uma vez reconhecidos como obstáculos ao movimento e a percepção espacial que cada agente faz do ambiente. Estes terão influência sobre resultados produzidos e devem ser tidos em conta consoante os resultados pretendidos.



## ETAPA 5 – INTRODUÇÃO DOS AGENTES

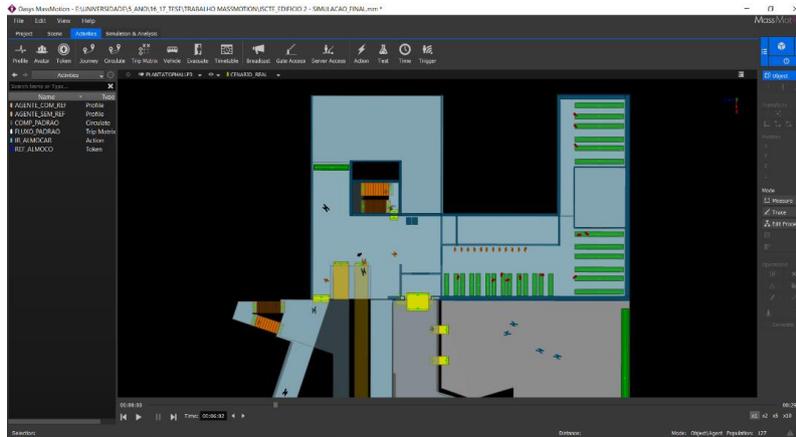


Figura 82 - Interface da área de modelação comportamental (vista: PLANTATOPHALLP3).

O ambiente criado para o cenário da simulação procurou gerar as principais condições de influência sobre mobilidade e dinâmicas dos agentes, consciência da IA e base probabilística implícita no sistema comportamental deste software, conforme, critério de seleção do software (Subcapítulo 3.3).

Com base no conhecimento empírico sobre o caso de estudo, resultado da observação direta do local, registo fotográfico e vídeo, focado na atividade em hora de almoço e centrando o estudo do conflito nos fluxos aí existentes entre quem vai almoçar à cantina e quem está apenas de passagem.

Foram assim criados:

- **2 perfis de agentes (f., g.)**, com o mesmo padrão de comportamento e movimento (“Fruin Commeter”), diferenciados por uma ação de atribuição de um *Token* aquando da entrada no cenário.

- f. **AGENTE\_COM\_REF** – corresponde a quem pode almoçar e possui um “Token” (REF\_ALMOCO);
- g. **AGENTE\_SEM\_REF** – corresponde a quem está apenas de passagem entre dois Portais;

- **2 eventos de criação de agentes (h., i.)**, sendo o primeiro um evento de “Circulação” que cria uma população de 125 agentes, com uma distribuição aleatória durante 25 minutos, de forma triangular com uma moda de 5 minutos durante o tempo de simulação (Figura 83), **que define o movimento dos agentes entre portais de origem e destino por ponderação**, e o segundo por um evento “TripMatrix” que cria uma população de 125 agentes, com uma distribuição aleatória durante 25 minutos de forma triangular com uma moda de 7 minutos e 30 segundos, durante o tempo de simulação (Figura 61), **que define o movimento dos agentes entre portais de origem e destino por uma matriz:**

- h. **COMP\_PADRAO** – corresponde ao padrão de circulação entre vários Portais;
- i. **FLUXO\_PADRAO** – corresponde a quem está apenas de passagem entre 2 “Portais”;

<b>Portais</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>
<b>a</b>	0	17	13	18	21
<b>b</b>	13	0	10	11	12
<b>c</b>	8	12	0	14	17
<b>d</b>	15	11	13	0	22
<b>e</b>	12	14	25	17	0

Figura 83 – Matriz de distribuição do evento “FLUXO\_PADRAO” (Entrada – na coluna esquerda; Saída – na linha); (a - “Portal\_P2\_Entrada”; b - “Portal\_P3\_Docentes”; c – “Portal\_P3\_Salas\_Arq”; d – “Portal\_P3\_Varanda”; e – “Portal\_P4\_Tunel”);

**1 ação de agente (j.)** que instrui para ir almoçar segundo o processo de uma fila de espera (FILA\_REAL; FILA\_EXT\_PROPOSTA; FILA\_INT\_PORPOSTA1):

- j. **IR\_ALMOCAR** – corresponde ao comportamento de quem vai almoçar à cantina;

**1 objeto de agente (k.),** é um “Token” que permite entrar no processo de fila de espera;

- k. **REF\_ALMOCO** – corresponde ao pagamento obrigatório para executar a ação IR\_ALMOCAR;

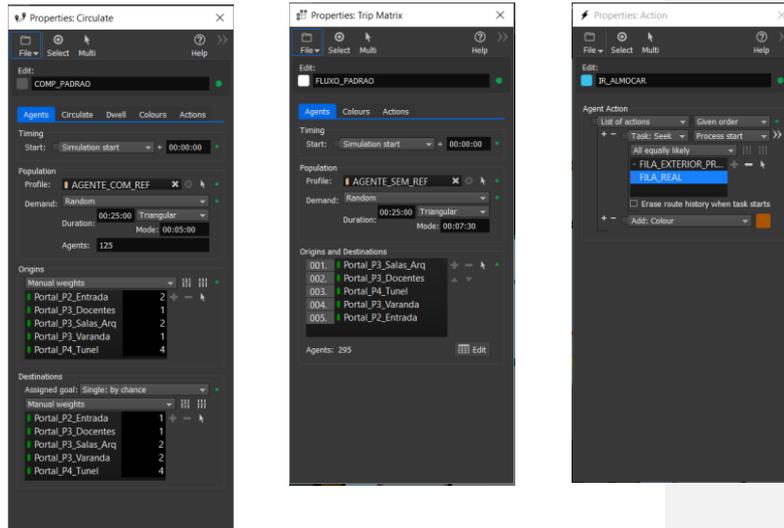
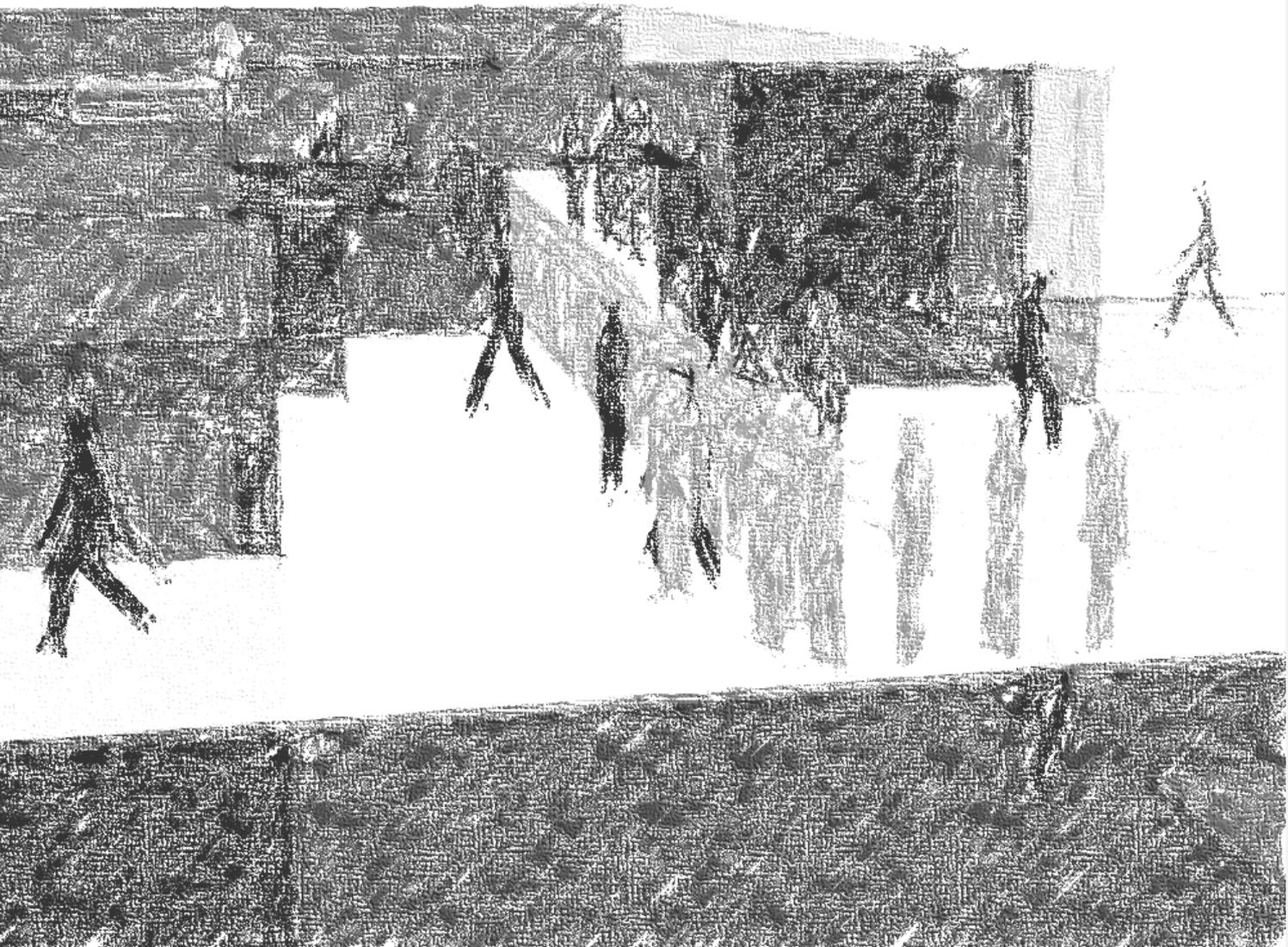


Figura 84 - Propriedades e atributos do COMP\_PADRAO, FLUXO\_PADRAO e IR\_ALMOCAR.







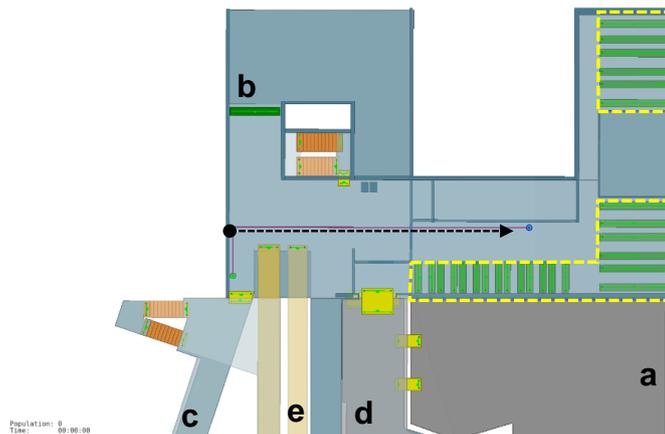


Figura 85 - Diagrama do perfil da fila de serviço à cantina

#### **ETAPA 6 – PARAMETRIZAÇÃO DA NARRATIVA DE EVENTOS**

A narrativa foi construída para se aproximar dos fluxos e dinâmicas médias observadas durante o ponto de saturação máxima e durante um período de 30 minutos, procurando simular assim a evolução da fila de espera para a cantina.

A estrutura da narrativa está condicionada por agentes que “podem” ir almoçar, de cor cinza escuro, ou não ir almoçar, de cor negra, sendo para tal obrigatório que o agente apresente o Token (REF\_ALMOCO). A condição para almoçar está implícita no piso Hall do piso 3 (PISO\_HALLCANTINA), que ativa a ação (IR\_ALMOCAR) e encaminha o agente para a fila de serviço da cantina (FILA\_REAL), passando para a cor laranja. O processo de serviço na fila, tem um tempo de despacho uniforme entre 10 e 30 segundos, onde é retirado o Token (REF\_ALMOCO) e concluído este processo, encaminha o agente para uma

zona de refeição com base numa ponderação de preferência entre zonas de refeição (PORTAL\_CADEIRAS\_1 a 26) e altera a cor do agente para vermelho. A permanência na zona de refeição tem um período de tempo que varia de forma uniforme entre 8 minutos e 20 minutos, com um comportamento fixo do agente e terminado esta tarefa, permanece a vermelho retomando o evento de circulação principal (COMP\_PADRAO) sem o Token inicial (REF\_ALMOCO).



**FLUXO PADRAO** (AGENTE\_SEM\_REF)  
**COMP PADRAO** (AGENTE\_COM\_REF)

= PISO\_HALLCANTINA  
+ REF\_ALMOCO

≠ PISO\_HALLCANTINA

**IR ALMOCAR**  
AGENTE\_COM\_REF  
+ REF\_ALMOCO

**FLUXO PADRAO**  
AGENTE\_SEM\_REF

**COMP PADRAO**  
AGENTE\_COM\_REF

**FILA REAL**  
+ REF\_ALMOCO

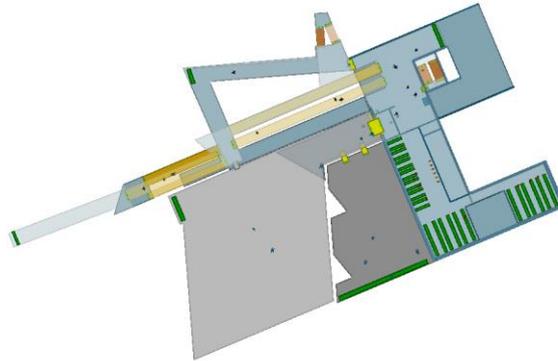
**PORTAL CADEIRAS**  
- REF\_ALMOCAR

**COMP PADRAO**  
AGENTE\_COM\_REF



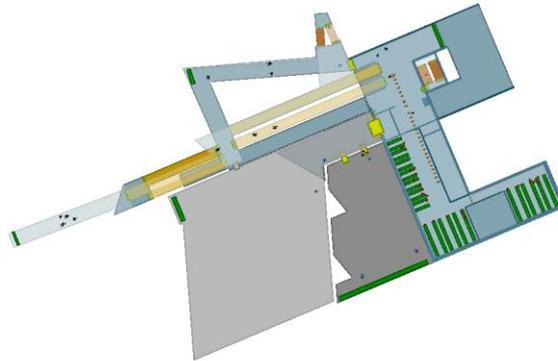
## ETAPA 7 – VALIDAÇÃO E SIMULAÇÃO

Vista de Topo | Geral | Edifício 2 do ISCTE



🕒 05'

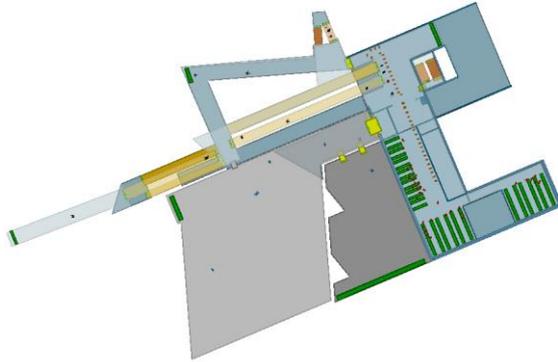
Population: 46  
Time: 00:05:00



🕒 10'

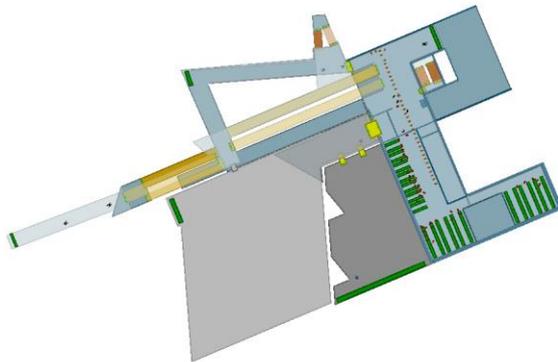
Population: 79  
Time: 00:10:00

Vista de Topo | Geral | Edifício 2 do ISCTE



Population: 98  
Time: 00:15:00

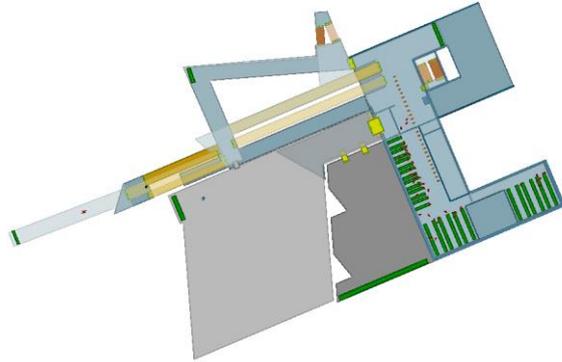
🕒 15'



Population: 85  
Time: 00:20:00

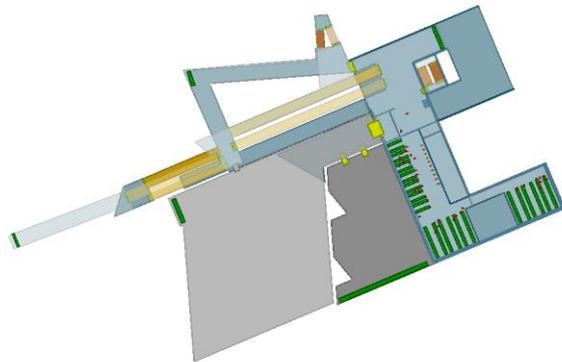
🕒 25'

Vista de Topo | Geral | Edifício 2 do ISCTE



🕒 25'

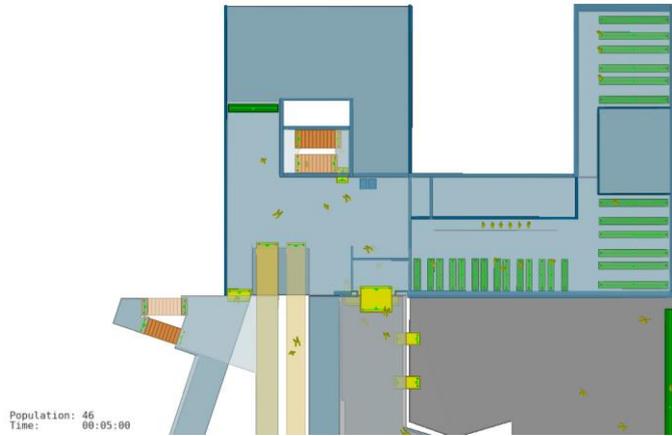
Population: 72  
Time: 00:25:00



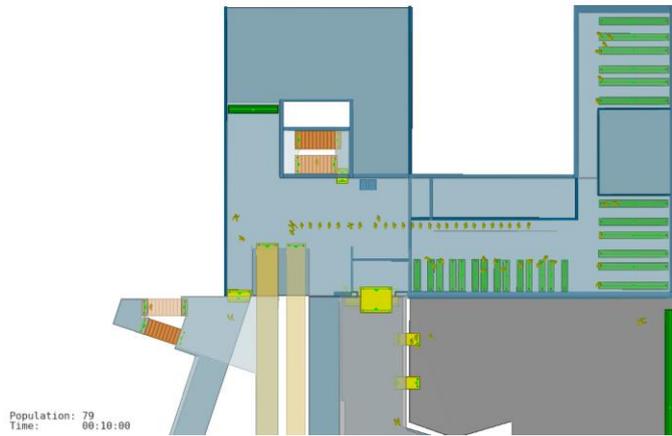
🕒 30'

Population: 58  
Time: 00:29:59

Vista de Topo | Hall Principal | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE



🕒 05'

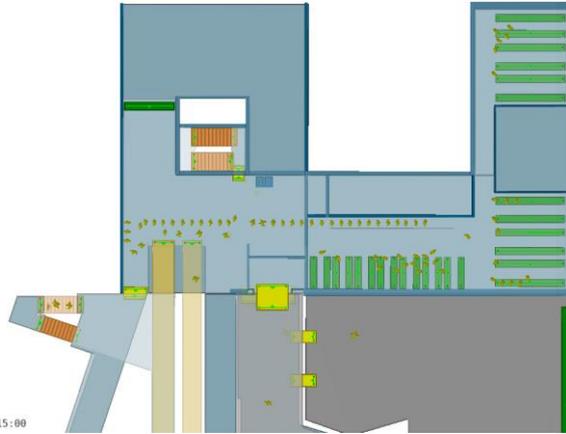


🕒 10'

Vista de Topo | Hall Principal | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE

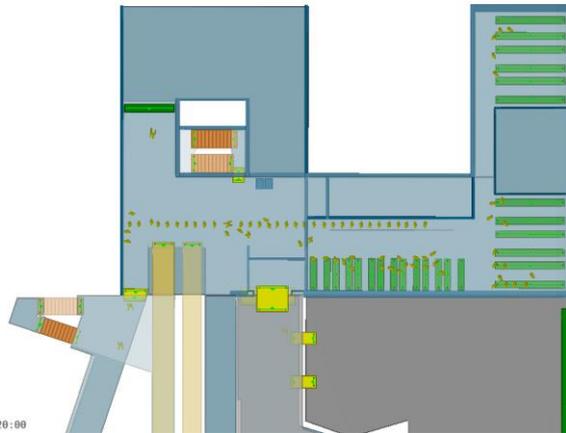
🕒 15'

Population: 98  
Time: 08:15:00

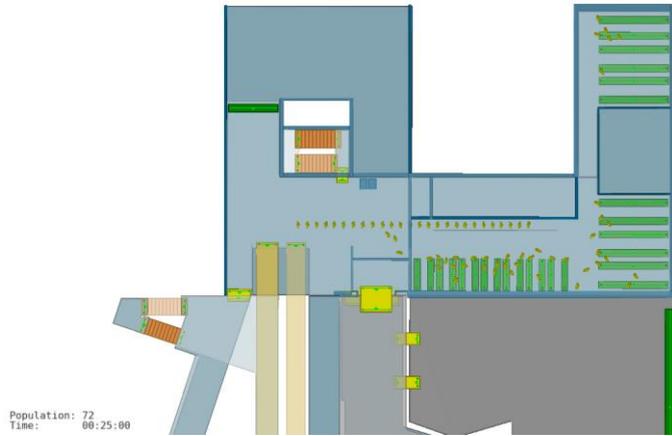


🕒 20'

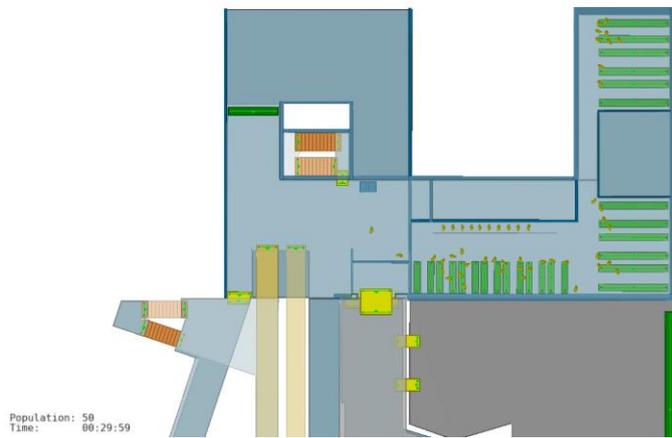
Population: 85  
Time: 08:20:00



Vista de Topo | Hall Principal | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE



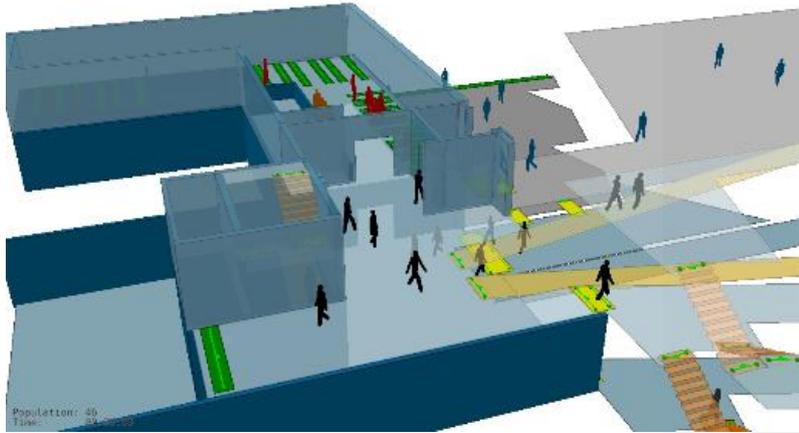
🕒 25'



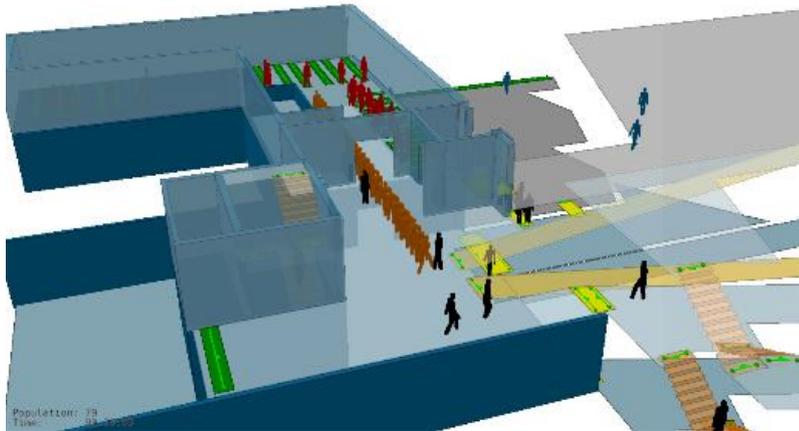
🕒 30'

Perspetiva 3D | Hall Principal | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE

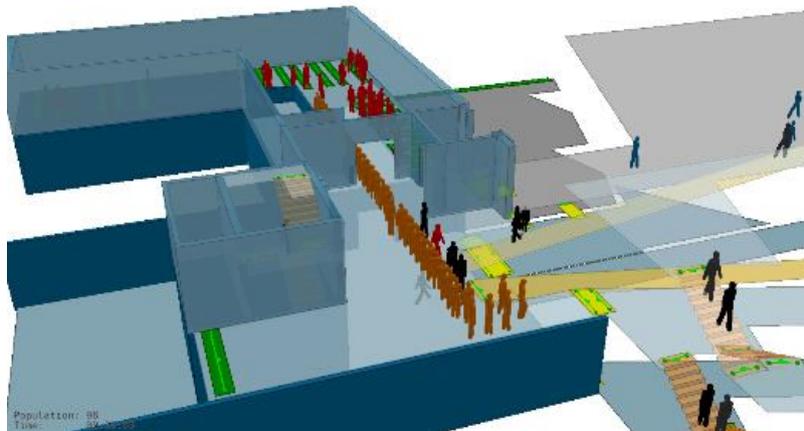
🕒 05'



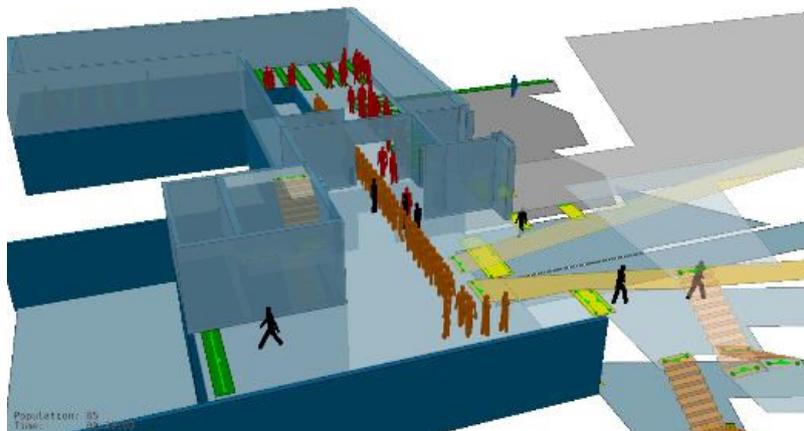
🕒 10'



Perspetiva 3D | Hall Principal | Piso 3| Edifício 2 do ISCTE



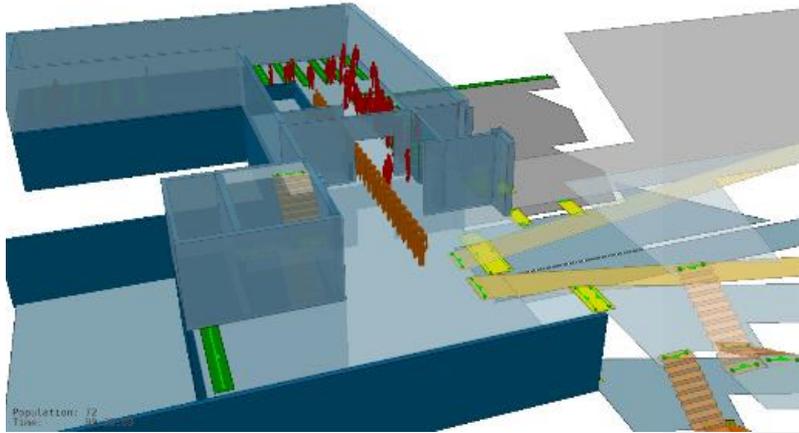
🕒 15'



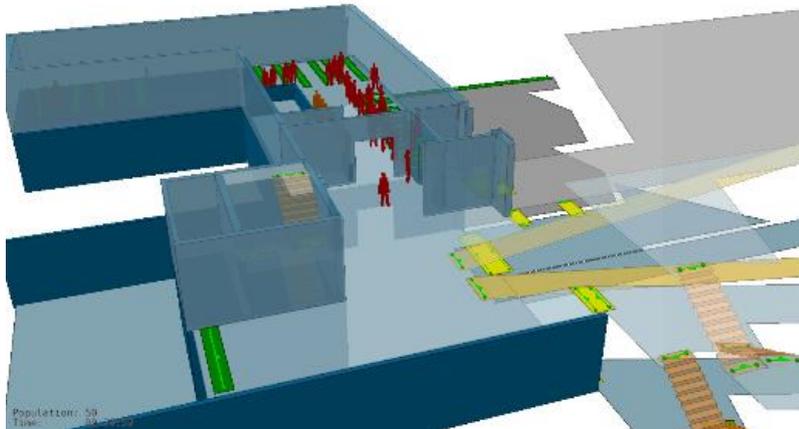
🕒 20'

Perspetiva 3D | Hall Principal | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE

🕒 25'



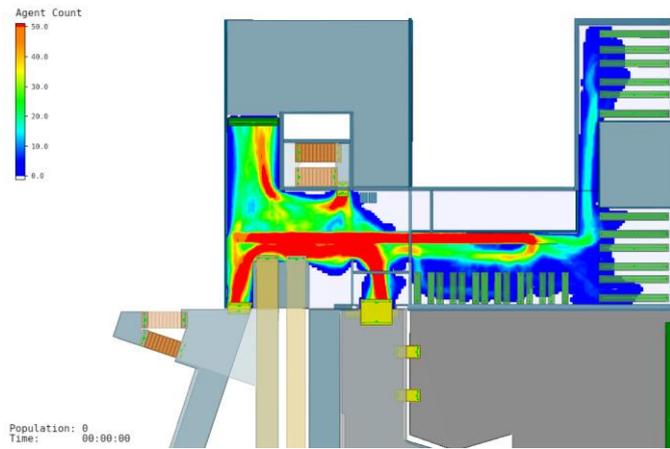
🕒 30'





## ETAPA 8 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

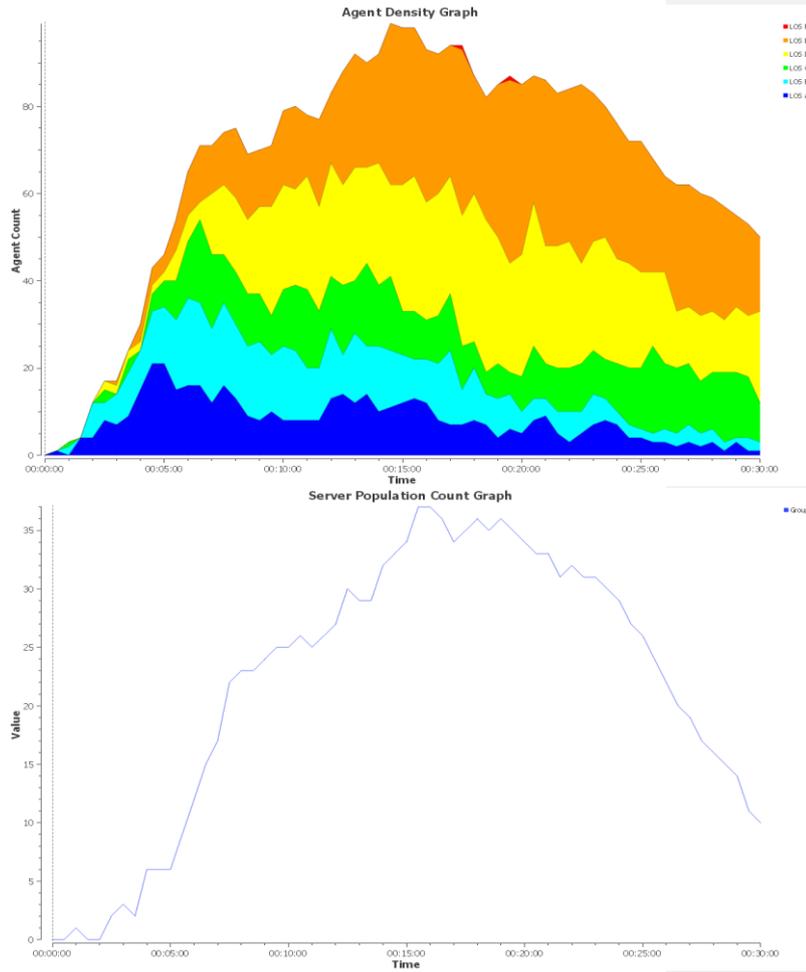
Vista de Topo | Hall e Cantina | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE



Vista de Topo | Hall e Cantina | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE



Gráfico | Hall e Cantina | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE



### OBSERVAÇÕES FINAIS

Foram apresentadas sequências compostas por *frames* com um intervalo de tempo de 5min, segundo diferentes pontos de visualização da simulação do "Cenário Real", como apresentados dados para análise da seguinte ordem:

- Mapa de contagem de agentes
- Mapa da densidade máxima
- Mapa da densidade média
- Mapa da duração da ocupação por agentes
- Gráfico da densidade por agentes
- Gráfico da população da fila de espera

Com base nos resultados visuais obtidos, é possível encontrar pontos de contacto com o comportamento da realidade existente e que vão de encontro os objetivos da dissertação, garantir um meio simples para um resultado de simulação simples e eficaz. Os dados dos mapas, mostram claramente o conflito provocado pela extensão da fila, sobretudo pelo "corte" que representa entre os fluxos predominantes da ala poente para a ala nascente durante o período da hora de almoço, influenciando negativamente as dinâmicas de entrada e saída dos utilizadores que aumentam consideravelmente neste período de almoço, afetando o bom funcionamento do espaço e a noção de conforto do utilizador diário.

#### 4.4. MASSMOTION - PROPOSTA 1

Com base no cenário real simulado, a proposta apresentada não procura medir apenas o impacto sobre o problema existente no conflito entre fluxos e dinâmicas predominantes do caso de estudo, mas sobretudo avaliar os processos para atingir os resultados da metodologia proposta e o alcance da metodologia como ferramenta de apoio à gestão do bom funcionamento do edifício.

Numa perspectiva exploratória, foi desenvolvida uma simulação onde são mantidas todas as condições comportamentais do cenário real, mas proposto um novo perfil de fila de serviço no interior da cantina, salvaguardando uma área de transição neutra à entrada para continuação da fila no exterior e cruzamento entre agentes na inversão do sentido para ir sentar.

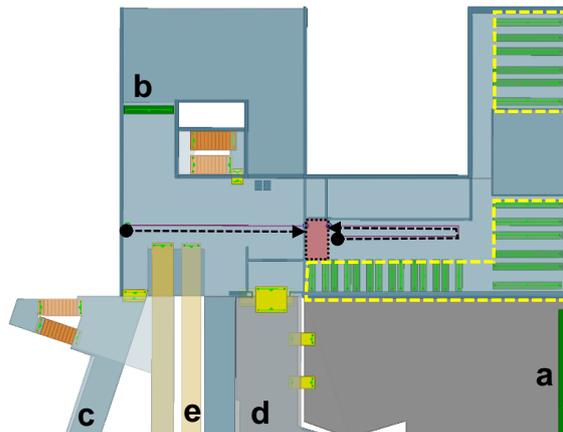


Figura 86 - Diagrama do perfil da fila de serviço à cantina.

#### **ETAPA 6 – PARAMETRIZAÇÃO DA NARRATIVA DE EVENTOS**

Tendo em conta as mesmas condições comportamentais do cenário real, é estudado um novo perfil de fila de serviço para a cantina. Consiste numa fila interior de sentido inverso duplicando a capacidade da fila atual verificada no interior da cantina, e permitido o fluxo por interdição de espera na entrada da cantina, de modo a permitir inverter o sentido de encontro as zonas de refeição (Figura 86).

A estrutura da narrativa, está condicionada entre agentes de passagem que não vão almoçar (preto) e por agentes que circulam e podem ir almoçar (cinza escuro), com um custo obrigatório de 1 Token (REF\_ALMOCO). A condição para almoçar está implícita nas propriedades do piso Hall do piso 3 (PISO\_HALLCANTINA), que ativa a ação de agente (IR\_ALMOCAR) se tiver o Token (REF\_AL-

MOCO), com a tarefa (FILA\_EXT\_PROPOSTA1) de o encaminhar a fila de serviço proposta, alterando a sua a cor (laranja). Sempre que a fila de serviço (FILA\_INT\_PROPOSTA1) está lotada, os agentes aguardam no exterior da cantina, num processo encadeado (FILA\_EXT\_PROPOSTA1), até existir espaço interior. O processo de serviço na fila, tem um tempo de despacho uniforme entre 10 e 30 segundos, onde é retirado o Token (REF\_ALMOCO) e corresponde ao tempo médio do ato de pagamento observado. Concluído este processo, o agente dirige-se para uma zona de refeição com base numa ponderação de preferência entre portais (PORTAL\_CADEIRAS\_1 a 26) e altera a cor do agente para vermelho. A permanência na zona de refeição tem um período de tempo que varia de forma uniforme entre 8 minutos e 20 minutos, com um comportamento fixo do agente e terminado esta tarefa, permanece a vermelho retomando o evento de circulação principal (COMP\_PADRAO) sem o Token inicial (REF\_ALMOCO).



Figura 87 - Situação no ponto crítico máximo observado na proposta.

**FLUXO PADRAO** (AGENTE\_SEM\_REF)  
**COMP PADRAO** (AGENTE\_COM\_REF)

= PISO\_HALLCANTINA  
+ REF\_ALMOCO

≠ PISO\_HALLCANTINA

**IR ALMOCAR**

AGENTE\_COM\_REF  
+ REF\_ALMOCO

**FLUXO PADRAO**

AGENTE\_SEM\_REF

**COMP PADRAO**

AGENTE\_COM\_REF

**FILA INTERIOR**  
**+ FILA EXTERIOR**

AGENTE\_COM\_REF  
+ REF\_ALMOCO

**PORTAL CADEIRAS**

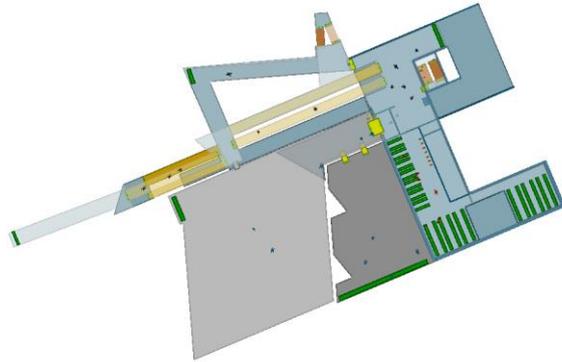
AGENTE\_COM\_REF  
- REF\_ALMOCAR

**COMP PADRAO**

AGENTE\_COM\_REF

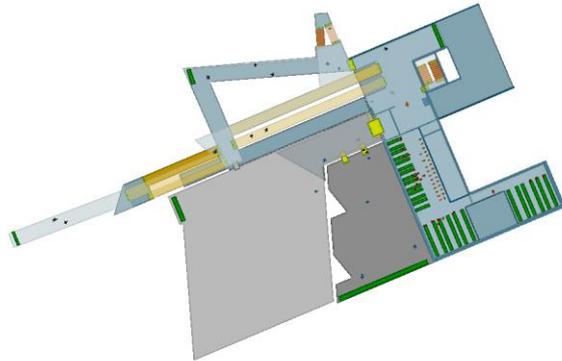
## ETAPA 7 – VALIDAÇÃO E SIMULAÇÃO

Vista de Topo | Geral | Edifício 2 do ISCTE



🕒 05'

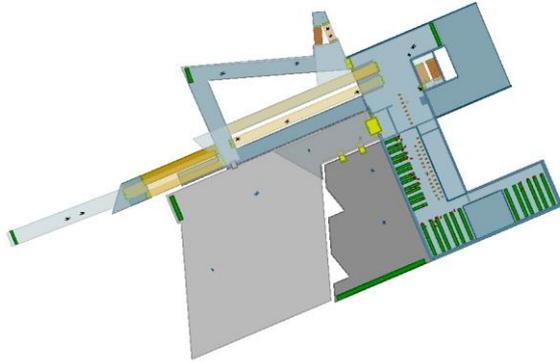
Population: 46  
Time: 00:05:00



🕒 10'

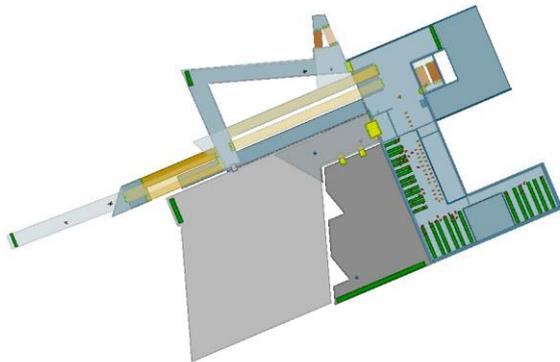
Population: 76  
Time: 00:10:00

Vista de Topo | Geral | Edifício 2 do ISCTE



Population: 96  
Time: 00:15:00

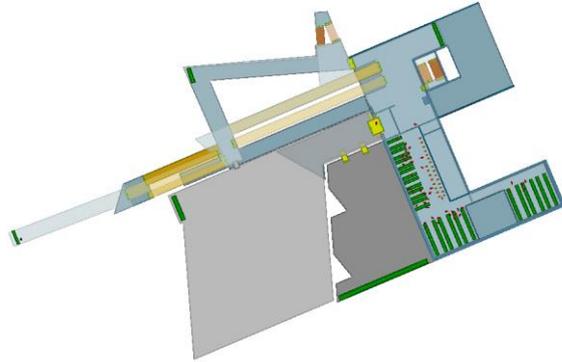
🕒 15'



Population: 86  
Time: 00:20:00

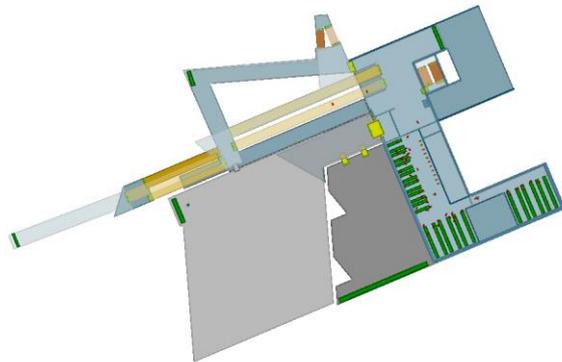
🕒 25'

Vista de Topo | Geral | Edifício 2 do ISCTE



🕒 25'

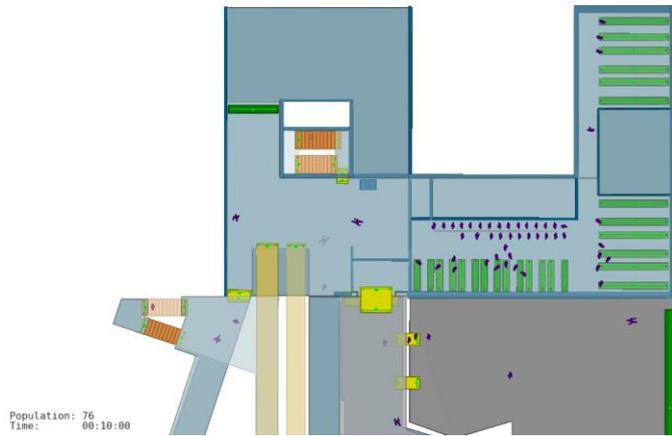
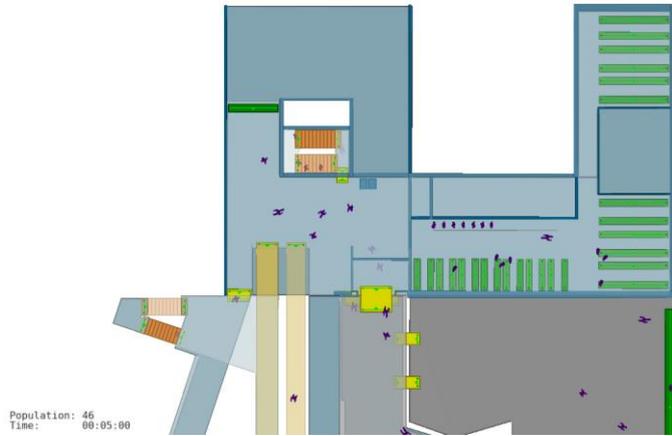
Population: 69  
Time: 08:25:00



🕒 30'

Population: 58  
Time: 08:29:59

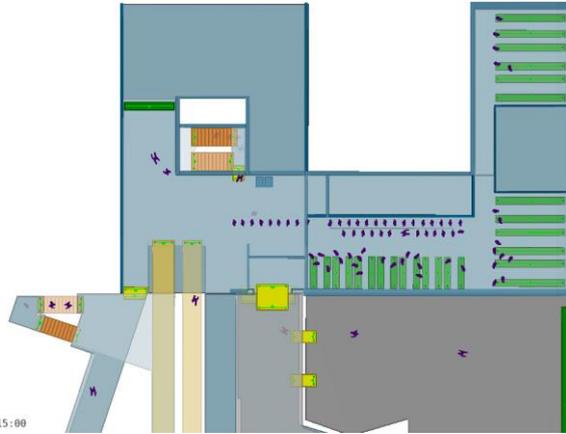
Vista de Topo | Hall Principal | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE



Vista de Topo | Hall Principal | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE

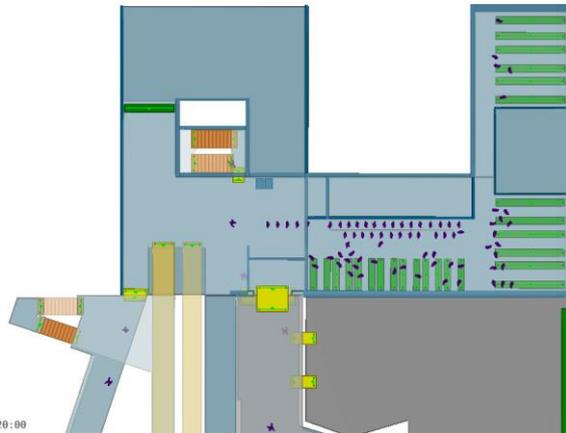
🕒 15'

Population: 96  
Time: 00:15:00

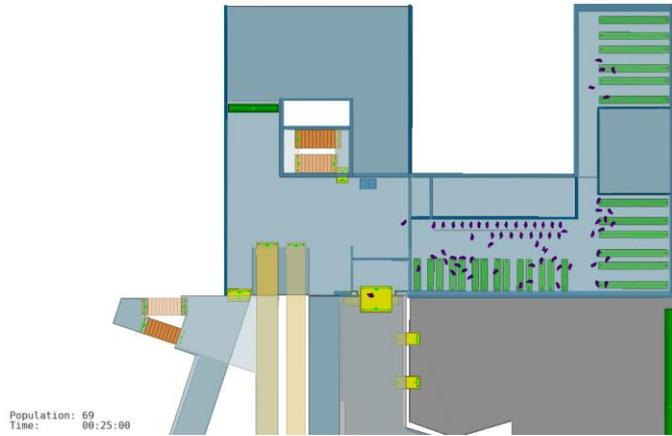


🕒 25'

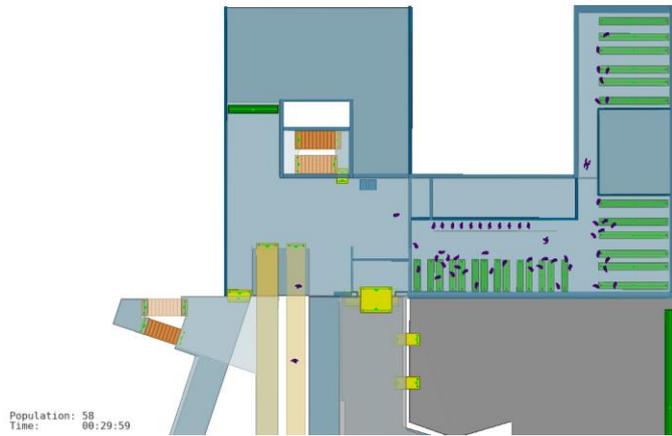
Population: 86  
Time: 00:20:00



Vista de Topo | Hall Principal | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE



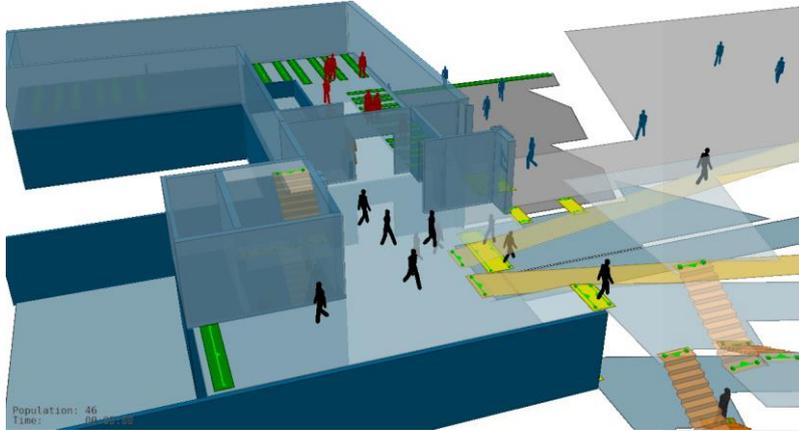
🕒 25'



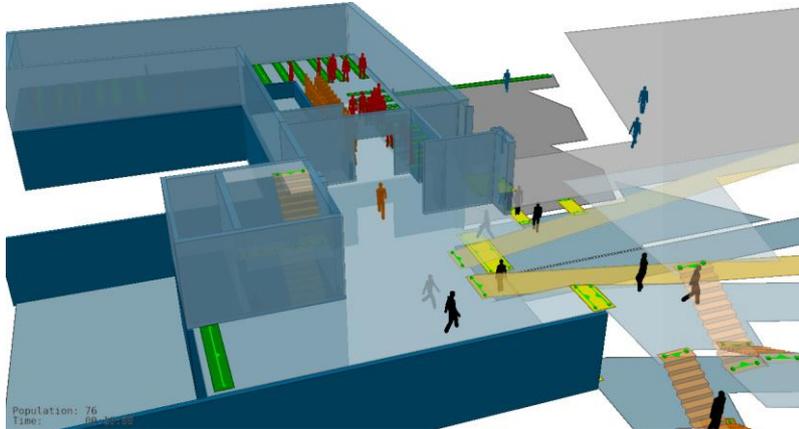
🕒 30'

Perspetiva 3D | Hall Principal | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE

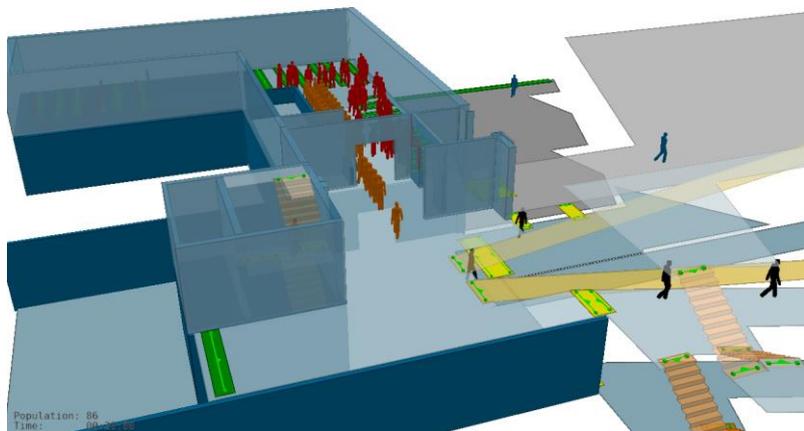
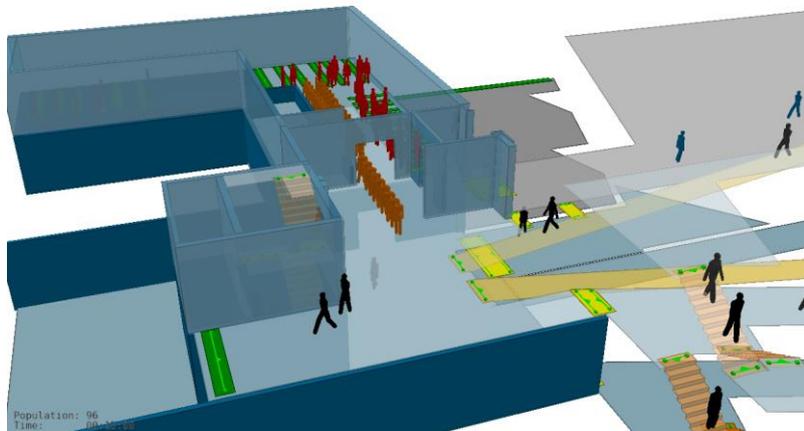
🕒 05'



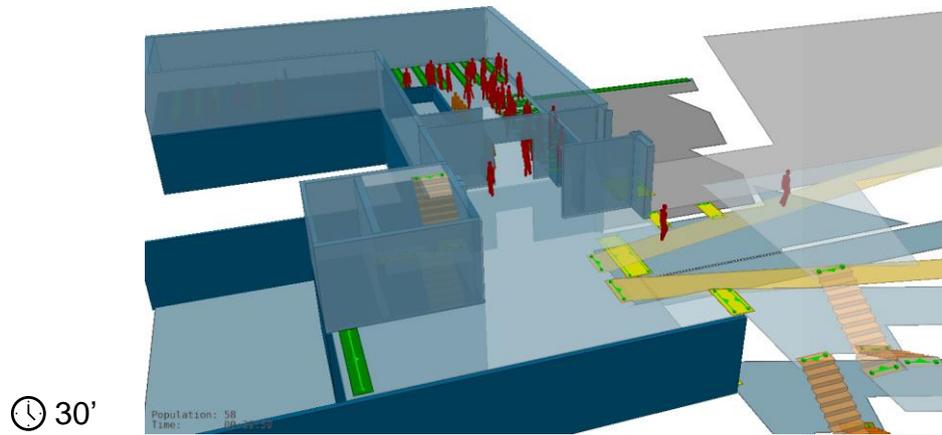
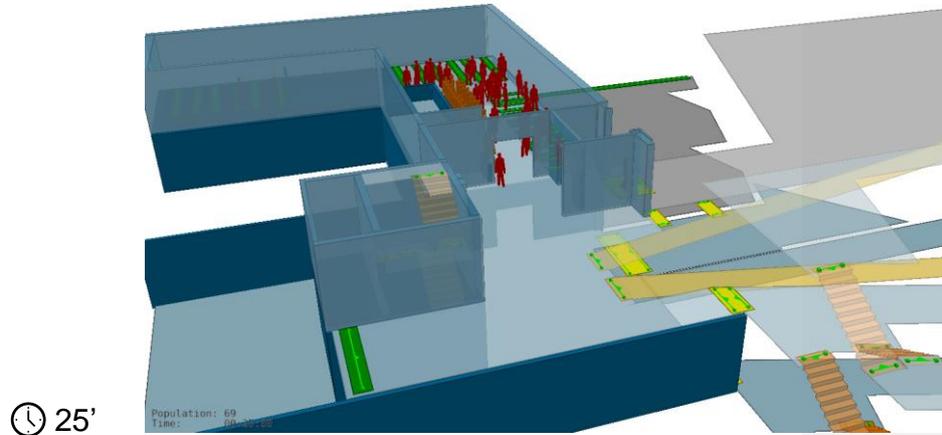
🕒 10'



Perspetiva 3D | Hall Principal | Piso 3| Edifício 2 do ISCTE

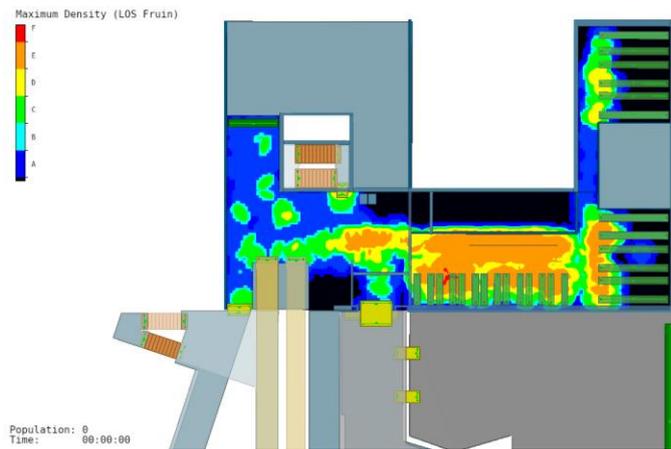


Perspetiva 3D | Hall Principal | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE

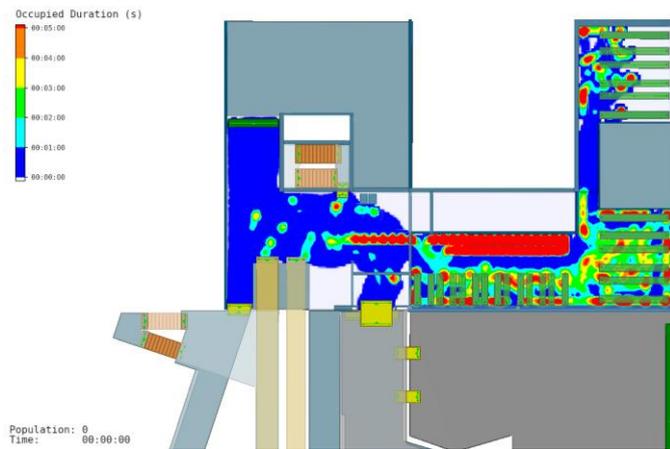
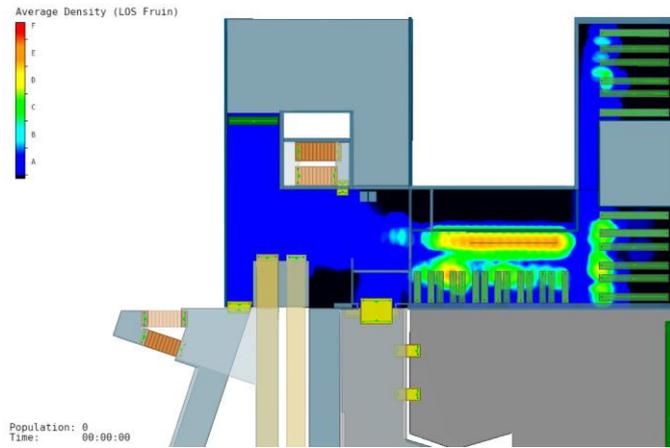


## ETAPA 8 – ANÁLISE DOS RESULTADOS DA PROPOSTA 1

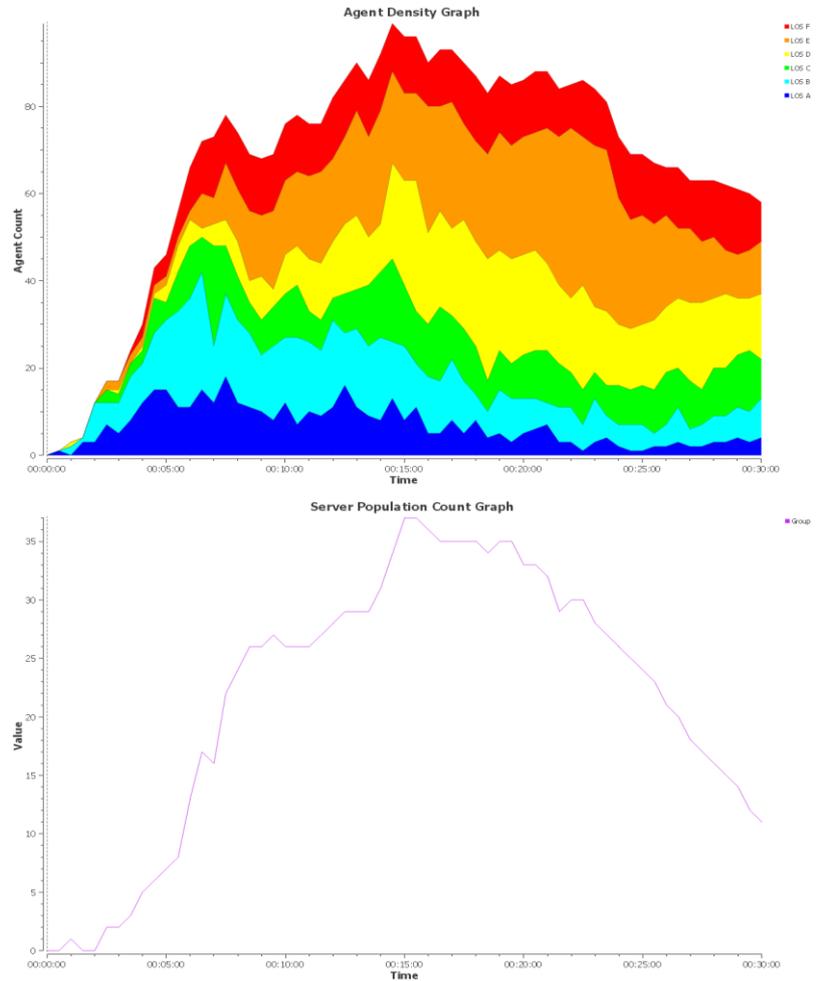
Vista de Topo | Hall e Cantina | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE



Vista de Topo | Hall e Cantina | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE



# Gráfico | Hall e Cantina | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE



### OBSERVAÇÕES FINAIS

Foram apresentadas sequências compostas por *frames* com um intervalo de tempo de 5min, segundo diferentes pontos de visualização da simulação da "Proposta 1", como apresentados dados para análise da seguinte ordem:

- Mapa de contagem de agentes
- Mapa da densidade máxima
- Mapa da densidade média
- Mapa da duração da ocupação por agentes
- Gráfico da densidade por agentes
- Gráfico da população da fila de espera

Com base nos resultados visuais obtidos, verifica-se que a proposta testada, reduz substancialmente impacto da fila de serviço no exterior da cantina, permitindo manter a fluidez dos fluxos existentes. Existe uma menor densidade no Hall, contudo o constrangimento no interior, obrigaria a uma redução de número de lugares de refeição, bem como uma sinalética que comunique as condições de permanência na fila junto da entrada da cantina de modo a permitir quem está servido "cruzar" e seguir para almoçar, embora o comportamento dos agentes aquando da escolha do lugar de refeição não corresponda exatamente a um lugar único sentado, mas sim a uma zona linear que representa a fila das cadeiras (o comportamento dos agentes é similar a quem vai sentar num banco comprido). Os dados dos mapas, comprovam o que a simulação revela no interior da cantina, onde os níveis de serviço aumentam de forma geral, mas o ganho funcional no Hall é elucidativo da interferência mínima provocada pela fila no exterior e por um período menor.

#### 4.5. MASSMOTION - COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS E ANÁLISES

Para comparação visual, foi produzido na etapa 7 uma simulação em simultâneo dos dois modelos comportamentais (a amarelo os agentes do Caso de Estudo e a roxo os agentes da Proposta 1), mantendo as características de cada com o objetivo principal de visualizar as diferenças em tempo real nas ações dos agentes.

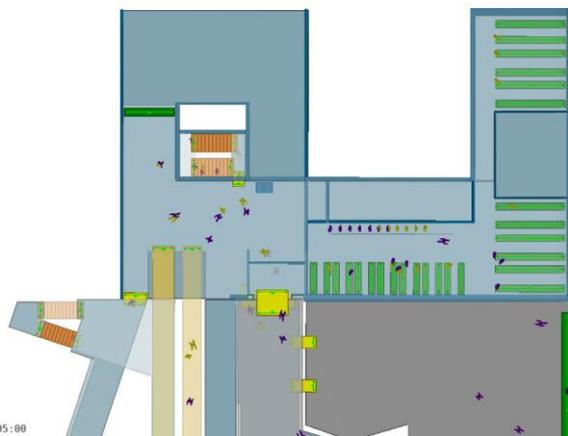


## ETAPA 7 – VALIDAÇÃO E SIMULAÇÃO

Vista de Topo | Hall e Cantina | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE

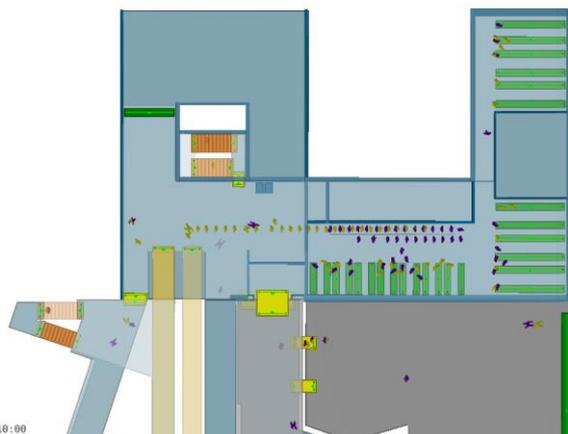
🕒 05'

Population: 92  
Time: 00:05:00

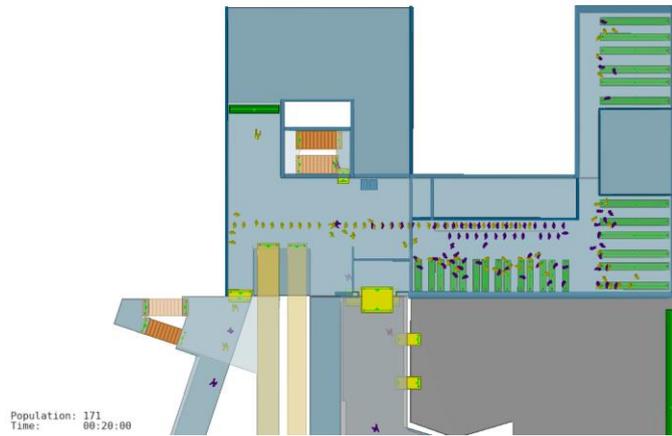
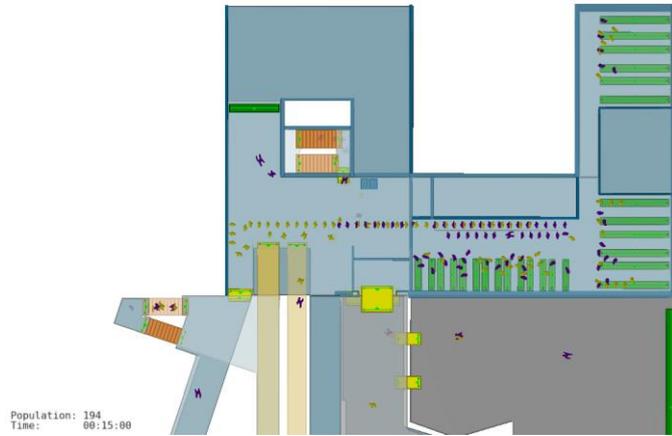


🕒 10'

Population: 155  
Time: 00:10:00



Vista de Topo | Hall e Cantina | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE



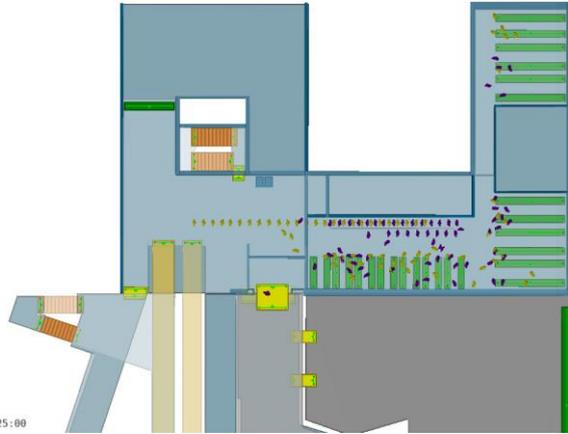
🕒 15'

🕒 25'

Vista de Topo | Hall e Cantina | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE

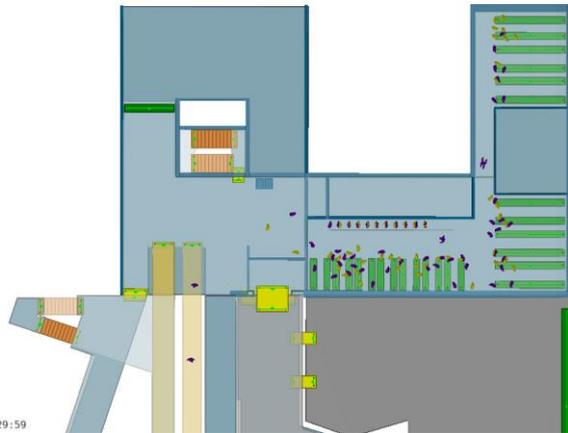
🕒 25'

Population: 141  
Time: 00:25:00

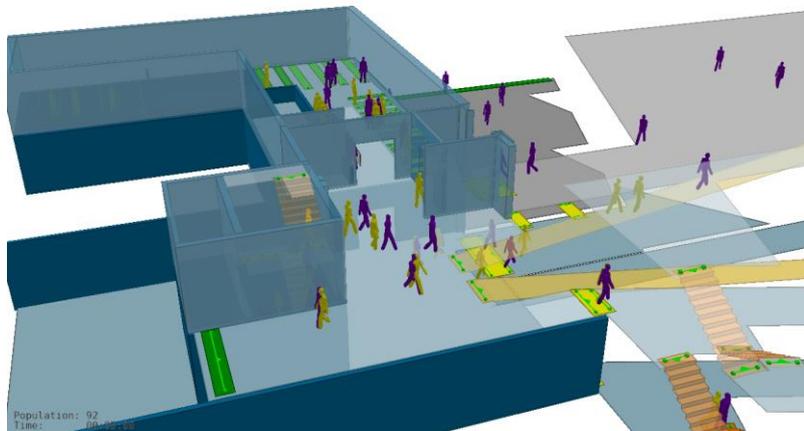


🕒 30'

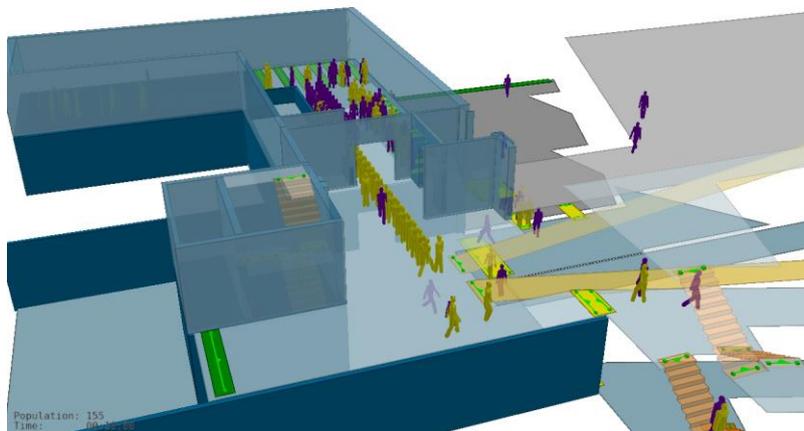
Population: 188  
Time: 00:29:59



Vista de Topo | Hall Principal | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE

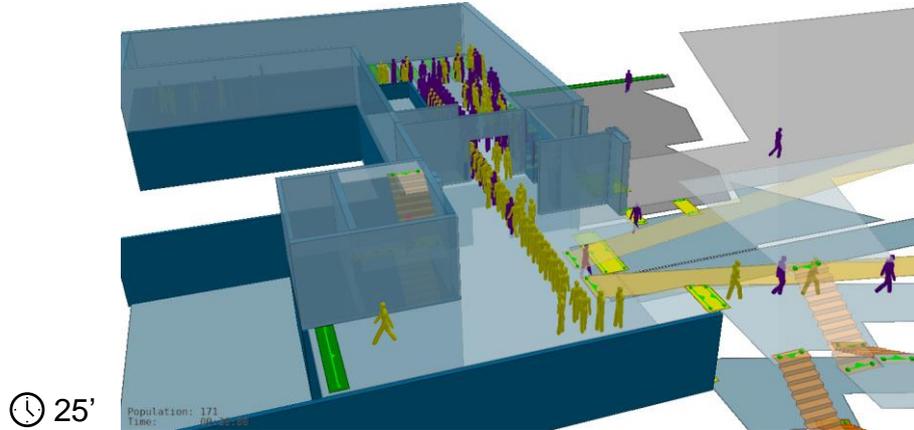
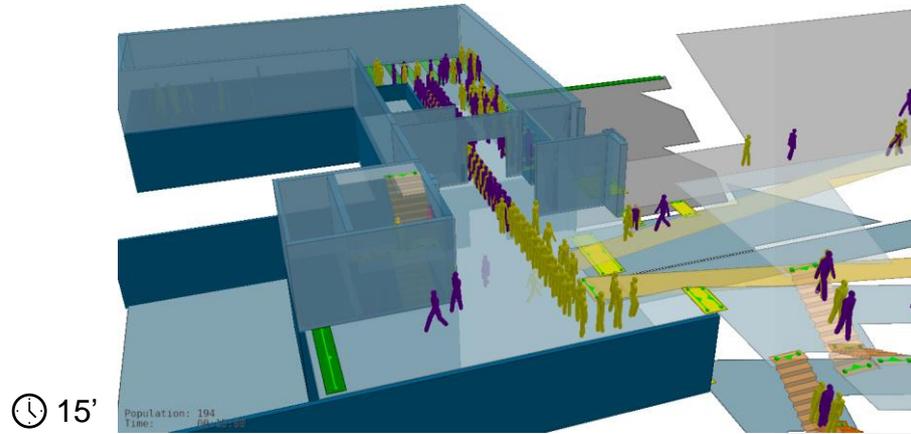


🕒 05'

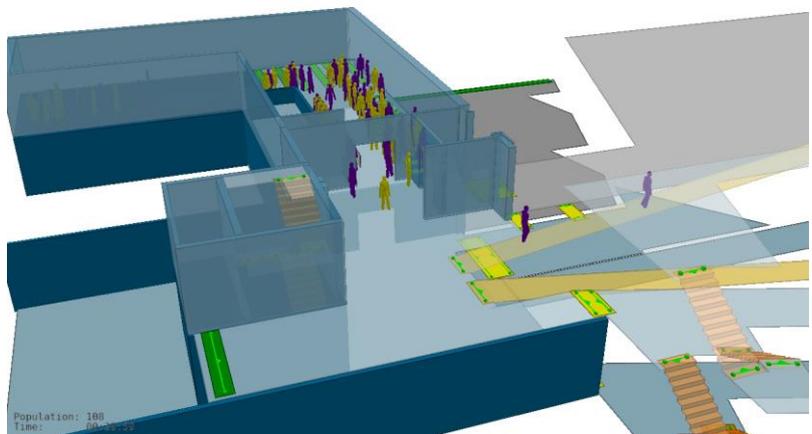
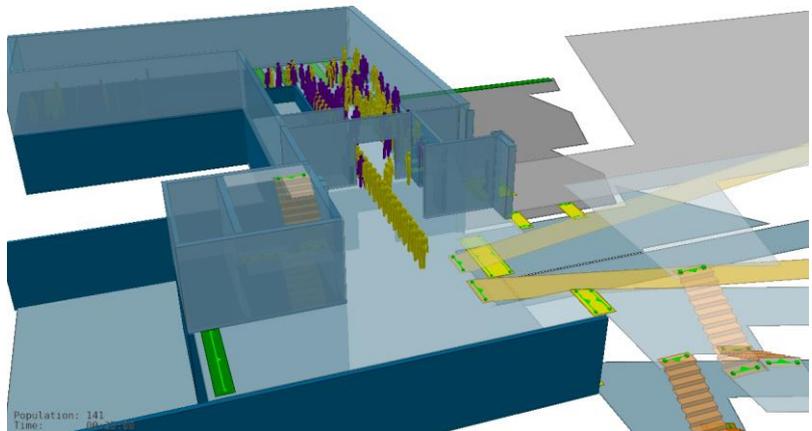


🕒 10'

Vista de Topo | Hall Principal | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE

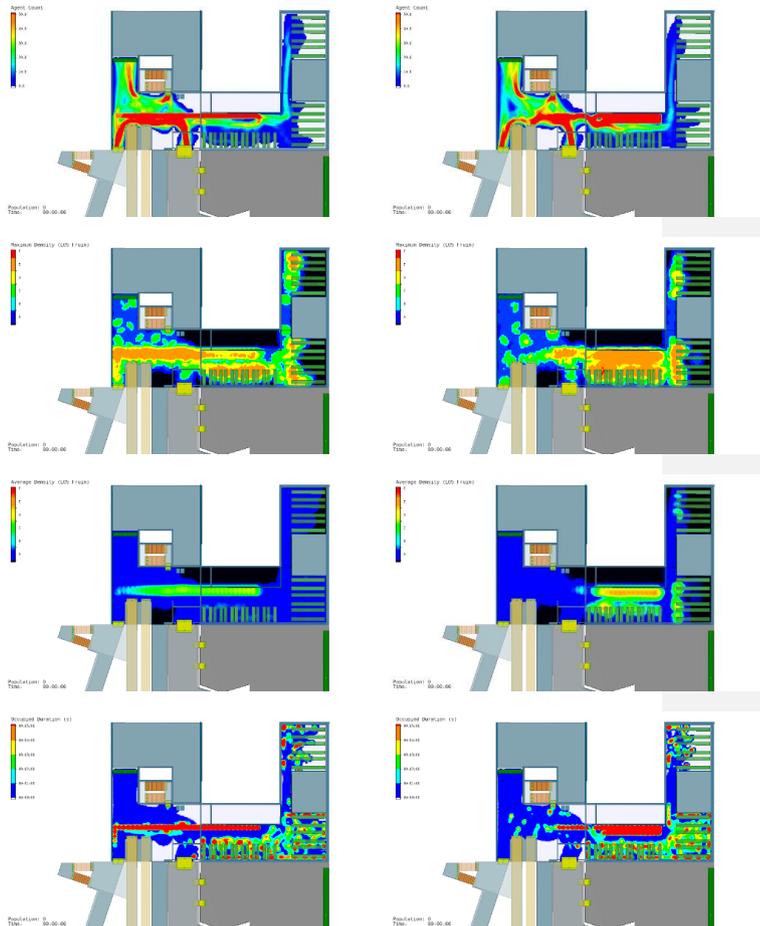


Vista de Topo | Hall Principal | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE

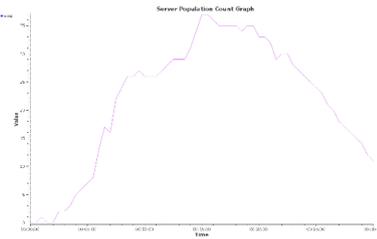
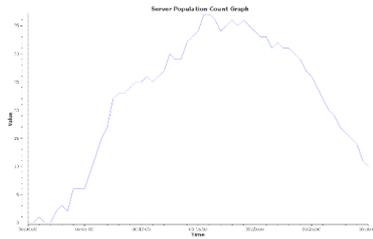
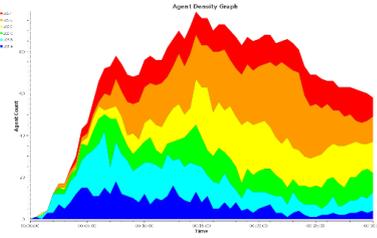
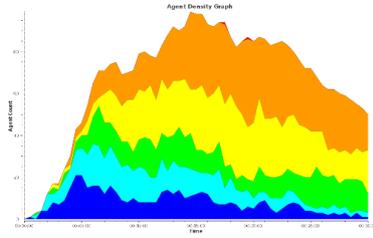


## ETAPA 8 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Vista de Topo | Hall e Cantina | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE



### Gráfico | Hall e Cantina | Piso 3 | Edifício 2 do ISCTE



### OBSERVAÇÕES FINAIS

Foram apresentadas sequências compostas por *frames* com um intervalo de tempo de 5min, segundo diferentes pontos de visualização da simulação simultânea do “cenário real” e proposta, como apresentados os seguintes dados (esq: “Cenário Real”; dir: “Proposta 1”) para análise da seguinte ordem:

- Mapa de contagem de agentes
- Mapa da densidade máxima
- Mapa da densidade média
- Mapa da duração da ocupação por agentes
- Gráfico da densidade por agentes
- Gráfico da população da fila de espera

A observação direta em tempo real, é uma vantagem para promover e estudar o comportamento humano no espaço projetado, além dos dados analíticos comuns e presentes para estudo como o mapa de exposição visual ou os dados e histórico de um agente em específico, permitindo uma melhor comunicação das ideias propostas ou estudos comportamentais. Os resultados visuais obtidos mostram o impacto direto de ambas as filas e a sua extensão máxima sobre as dinâmicas dos agentes no Hall e o constrangimento verificado dentro da cantina, como comprovam os mapas de densidades, que revelam uma transferência do exterior para o interior da cantina. No entanto e com base nos gráficos, verifica-se que de forma geral a densidade no caso de estudo, atinge o “LOS E”, enquanto que no modelo proposto este atinge “LOS F” (com base nos níveis de serviço de Fruin implícitos no software utilizado), revelando que apesar das melhorias conseguidas em termos de fluxo e conseqüente bom funcionamento do edifício nesta área estudada, este pode ser interpretado por quem vai almoçar como uma situação de desconforto agravando a percepção generalizada do bom funcionamento e satisfação dos utilizadores.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### CONSIDERAÇÕES

A simulação foi desenvolvida de forma evolutiva tendo como objetivo a aproximação ao cenário do caso de estudo. Neste sentido o trabalho carece de uma observação e registo estatístico mais rigoroso, embora a simulação reproduza um cenário expectável e dentro do ambiente observado localmente na hora de almoço.

O trabalho desenvolvido nas diferentes etapas, tendo em consideração a experiência em BIM (Revit) e em softwares de modelação 3D na ótica do utilizador, mostrou fluidez dos processos, embora com alguns obstáculos encontrados provenientes das lógicas funcionais do MassMotion e relacionados principalmente com a construção da narrativa e o comportamento esperado.

Uma situação registada, prende-se com o facto das pessoas ao irem almoçar posicionam-se de forma linear e organizada, por aparente auto-organização que resulta da perceção da organização do serviço da cantina e que se prolonga pelo Hall, mesmo interferindo com os fluxos predominantes a fila prevalece. Simular esta situação em MassMotion, foi apenas possível, impondo o perfil de fila de serviço de acordo com o observado na realidade, uma vez que o software assume a entrada na fila de serviço um a um e quando a procura excede a capacidade da fila, funciona como um “estrangulamento” que origina uma “formação de arco” na entrada da cantina impedindo totalmente o fluxo, cenário não verificado muito devido ao perfil de utilizador comum de quem ali almoça estar consciente da situação e conhecedor da organização do serviço (Figura 88). Para

ultrapassar esta interpretação comportamental dos agentes foi desenhado o perfil completo da fila, e uma vez que os elementos “Server” (geram o comportamento em fila de espera) não podem ligar pisos diferentes nem ser “acorrentados”. Foram testadas operações *booleanas* de modo a contornar o problema, mas a solução passou por simplificar o cenário, retirando as portas da cantina e criando um piso único para o Hall e Cantina (PISO\_HALLCANTINA).



Figura 88 - Formação em arco na entrada da cantina para aceder à entrada na fila de serviço de acordo com os limites reais existentes.

## CONCLUSÕES

A simulação por eventos em ambientes construídos permite diferentes tipos de avaliações, sendo uma delas avaliar sistematicamente os atributos escolhidos e estudar como elas interagem. Como os eventos estão assentes numa base de

distribuição probabilística e estatística, facilitam o controlo dos atributos e construção de uma narrativa de eventos de forma evolutiva, acrescentado gradualmente maior rigor. Contudo, o foco da dissertação, está na validação da metodologia proposta com a integração da simulação comportamental de acordo com os objetivos da dissertação, sem que para tal seja obrigatório desenvolver competências na área da programação avançada.

Neste sentido e como os resultados obtidos mostram que representar a simulação no tempo e espaço em simultâneo, pode ser uma grande vantagem para arquitetos e projetistas observarem os eventos programados e não programados, resultantes das interações possíveis entre agentes, mas sobretudo avaliar a funcionalidade das conexões entre espaços durante a fase de projeto tendo em conta o ambiente espacial exato de cada projeto e um perfil de utilizador específico.

#### **TRABALHOS FUTUROS**

Um trabalho seguinte a tomar em consideração, passaria por um levantamento rigoroso dos dados estatísticos, como o número de refeições máximo e médio, como tempo de atendimento médio e sua distribuição estatística.

De seguida poderia simular-se o impacto de dois terminais de atendimento em vez de um, como atualmente.

O fato do modelo ser expansível e exportável, torna-o versátil para trabalhos com foco na representação visual em tempo real e realidade virtual.

Também os diferentes outputs possíveis de se obter além da simulação 3D em tempo real, como o exemplo do mapeamento 3D do tempo de exposição

visual das superfícies, considerando o nível de percepção dos agentes do ambiente espacial, pode ajudar no desenvolvimento de estudos urbanísticos, como ferramenta complementar a trabalhos com base em “Iso vistas”; ou ajudar em áreas ligadas à sociologia para estudo das dinâmicas pedestres sociais em ambientes construídos, ou até na área do marketing como metodologia de avaliação das áreas comerciais mais rentáveis, com maior fluxo de agentes, encontrar as superfícies com maior valor comercial.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] R. Waterhouse e D. Philp, «National BIM Report 2017», 2016.
- [2] B. I. M. C. Studies, «BIM Case Studies 9.0», *Building*, n. September, pp. 319–465, 2008.
- [3] W. Yan, «Environment-Behavior Simulation: From CAD to BIM and Beyond», em *Acadia*, 2008, pp. 478–485.
- [4] L. Deusdado, D. Belo, e A. Fernandes, «Simulação comportamental de pedestres em ambientes 3d desconhecidos», em *3ª Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información*, 2008, p. 12.
- [5] R. M. G. C. Rodrigues, «Gestão de edifícios Modelo de simulação técnico-económica», 2001.
- [6] NBS, «BIM Levels explained», *Nbs*, 2014. [Em linha]. Disponível em: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>. [Acedido: 07-Out-2017].
- [7] T. Schelhorn, D. O'Sullivan, M. Haklay, e M. Thurstain-goodwin, «Streets: An Agent-based Pedestrian Model», *Rizzi, P. CUPUM'99 Comput. urban Plan. urban Manag. edge millenium Proc. 6th Int. Conf. Fr. Venice, Italy*, p. 14, 1999.
- [8] A. Penn e A. Turner, «Space syntax based agent simulation», *Pedestr. Evacuation Dyn.*, pp. 99–114, 2001.
- [9] A. Turner e A. Penn, «Encoding natural movement as an agent-based system: An investigation into human pedestrian behaviour in the built environment», *Environ. Plan. B Plan. Des.*, vol. 29, n. 4, pp. 473–490, 2002.
- [10] C. W. Reynolds, «Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model», *ACM SIGGRAPH Comput. Graph.*, vol. 21, n. 4, pp. 25–34, 1987.
- [11] D. C. Brogan e J. K. Hodgins, «Group Behaviors for Systems with Significant Dynamics», *Auton. Robots*, vol. 4, n. 1, pp. 137–153, 1997.

- [12] F. Tecchia, C. Loscos, e Y. Chrysanthou, «Visualizing crowds in real-time», em *Computer Graphics Forum*, 2002, vol. 21, n. 4, pp. 753-765.
- [13] B. Ulicny e D. Thalmann, «Towards interactive real-time crowd behavior simulation», em *Computer Graphics Forum*, 2002, vol. 21, n. 4, pp. 767-775.
- [14] A. Braun, S. R. Musse, L. P. L. De Oliveira, e B. E. J. Bodmann, «Modeling individual behaviors in crowd simulation», em *Proceedings - IEEE Workshop on Program Comprehension*, 2003, vol. 2003-Janua, pp. 143-148.
- [15] W. Jager, R. Popping, e H. Van De Sande, «Clustering and fighting in two-party crowds: Simulating the approach-avoidance conflict», *JASSS*, vol. 4, n. 3, 2001.
- [16] C. W. TUCKER, D. SCHWEINGRUBER, e C. MCPHAIL, «Simulating arcs and rings in gatherings», *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 50, n. 6, pp. 581-588, 1999.
- [17] G. K. Still, «Crowd dynamics», *Ph.D. thesis, Math. Dep.*, n. University, Coventry, UK, p. 264, 2000.
- [18] P. A. Thompson e E. W. Marchant, «A computer model for the evacuation of large building populations», *Fire Saf. J.*, vol. 24, n. 2, pp. 131-148, 1995.
- [19] D. Helbing *et al.*, «Simulating dynamical features of escape panic.», *Nature*, vol. 407, n. 6803, pp. 487-90, 2000.
- [20] M. Hosoi, S. Ishijima, e A. Kojima, «Dynamical Model of a Pedestrian in a Crowd», *IEEE Int. Work. Robot Hum. Commun.*, n. 1, pp. 44-49, 1996.
- [21] N. Saiwaki, T. Komatsu, e S. Nishida, «Automatic generation of moving crowds in the virtual environment», em *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 1999, vol. 1554, pp. 422-432.
- [22] D. Thalmann, C. O'Sullivan, P. de H. Ciechomski, e S. Dobbyn, «EG 2006 Course on Populating Virtual

- Environments with Crowds», *Eurographics 2006 Tutorials*, p. 95, 2006.
- [23] W. Yan e Y. Kalay, «Simulating Human Behaviour in Built Environments», em *Computer Aided Architectural Design Futures 2005*, n. Whyte, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2005, pp. 301–310.
- [24] G. Le Bon, *Psychologie des foules.*, vol. 3, n. 1. 1896.
- [25] C. McPhail, W. T. Powers, e C. W. Tucker, «Simulating Individual and Collective Action in Temporary Gatherings», *Soc. Sci. Comput. Rev.*, vol. 10, n. 1, pp. 1–28, Abr. 1992.
- [26] W. Stallings, «William T. Powers. Behavior: The control of perception. Chicago: Aldine publishing co., 1973. 296 pp», *Behav. Sci.*, vol. 19, n. 6, pp. 415–417, Nov. 1974.
- [27] J. J. Fruin, «Pedestrian Planning and Design», *Elev. World Inc.*, vol. 77, n. 4, pp. 556–561, 1971.
- [28] Edward Twitchell Hall, *The Hidden dimension*. Garden City, 1966.
- [29] W. H. Whyte, «The Social Life of Small Urban Spaces», *Ebook*, vol. 10, n. 4, pp. 466–468, 1982.
- [30] D. Helbing e P. Molnar, «Self-Organization Phenomena in Pedestrian Crowds», *ArXiv*, pp. 1–10, 1998.
- [31] D. Helbing, P. Molnár, I. J. Farkas, e K. Bolay, «Self-organizing pedestrian movement», *Environ. Plan. B Plan. Des.*, vol. 28, n. 3, pp. 361–383, Jun. 2001.
- [32] D. Schweingruber, «A computer simulation of a sociological experiment», *Soc. Sci. Comput. Rev.*, vol. 13, n. 3, pp. 351–359, 1995.
- [33] Larry Malone, *Stanley and Stella in: Breaking the Ice*. EUA, 1987.
- [34] X. Tu e D. Terzopoulos, «Artificial Fishes: Physics, Locomotion, Perception, Behavior», em *Proceedings of the 21st Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques - SIGGRAPH '94*, 1994, pp. 43–50.
- [35] E. Bouvier e P. Guilloteau, «Crowd Simulation in Immersive Space Management», 1996, pp. 104–110.

- [36] E. Cohen, E. Cohen, e L. Najman, «From crowd simulation to airbag deployment: particle systems, a new paradigm of simulation», *J. Electron. Imaging*, vol. 6, n. 1, p. 94, 1997.
- [37] M. Soraia R., «Human Crowd Modelling with Various Levels of Behaviour Control», 2000.
- [38] S. R. . Musse e D. . c Thalmann, «Hierarchical model for real time simulation of virtual human crowds», *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 7, n. 2, pp. 152-164, 2001.
- [39] C. Niederberger e M. Gross, «Hierarchical and Heterogenous Reactive Agents for Real-Time Applications», em *Computer Graphics Forum*, 2003, vol. 22, n. 3, pp. 323-330.
- [40] B. Ulicny e D. Thalmann, «Crowd simulation for interactive virtual environments and VR training systems», *Comput. Animat. Simul. 2001, Proc. Eurographics Work.*, pp. 163-170, 2001.
- [41] C. O'Sullivan *et al.*, «Levels of detail for crowds and groups», *Comput. Graph. Forum*, vol. 21, n. 4, pp. 733-741, 2002.
- [42] S. WoodCock, «Game AI: The State of the Industry», *Game Developer Magazine*, 1999.
- [43] M. DeLoura, «Game Programming Gems», *Game Program. gems 2*, p. 575, 2000.
- [44] N. Farenc, R. Boulic, e D. Thalmann, «An Informed Environment Dedicated to the Simulation of Virtual Humans in Urban Context», *Comput. Graph. Forum*, vol. 18, n. 3, pp. 309-318, 1999.
- [45] G. Thomas e S. Donikian, «Modelling virtual cities dedicated to behavioural animation», *Comput. Graph. Forum*, vol. 19, n. 3, pp. 71-80, 2000.
- [46] M. Sung, M. Gleicher, e S. Chenney, «Scalable behaviors for crowd simulation», em *Computer Graphics Forum*, 2004, vol. 23, n. 3 SPEC. ISS., pp. 519-528.
- [47] M. Kallmann, H. Bieri, e D. Thalmann, «Fully Dynamic Constrained Delaunay Triangulations», *Geom. Model. Sci. Vis.*, pp. 241-257, 2003.

- [48] O. B. Bayazit, J. M. Lien, e N. M. Amato, «Roadmap-based flocking for complex environments», em *Proceedings - Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*, 2002, vol. 2002-Janua, pp. 104-113.
- [49] O. B. Bayazit, J. M. Lien, e N. M. Amato, «Better group behaviors using rule-based roadmaps», em *Springer Tracts in Advanced Robotics*, 2004, vol. 7 STAR, pp. 95-111.
- [50] W. Tang, T. R. Wan, e S. Patel, «Real-time crowd movement on large scale terrains», em *Proceedings - Theory and Practice of Computer Graphics, TPCG 2003*, 2003, pp. 146-153.
- [51] F. Lamarche e S. Donikian, «Crowd of virtual humans: A new approach for real time navigation in complex and structured environments», em *Computer Graphics Forum*, 2004, vol. 23, n. 3 SPEC. ISS., pp. 509-518.
- [52] J. Pettre, J. Laumond, e D. Thalmann, «A navigation graph for real-time crowd animation on multilayered and uneven terrain», *First Int. Work. Crowd Simul.*, vol. 47, n. 2, pp. 81-90, 2005.
- [53] F. Aurenhammer, «Voronoi diagrams---a survey of a fundamental geometric data structure», *ACM Comput. Surv.*, vol. 23, n. 3, pp. 345-405, 1991.
- [54] A. Sud, E. Andersen, S. Curtis, M. Lin, e D. Manocha, «Real-time path planning for virtual agents in dynamic environments», em *Proceedings - IEEE Virtual Reality*, 2007, pp. 91-98.
- [55] S. M. Branislav Ulicny, Pablo Ciechowski, Daniel Thalmann, «State-of-the-Art - Real-time Crowd Simulation», em *EG 2006 Course on Populating Virtual Environments with Crowds*, 2006.
- [56] M. Anderson, E. Mcdaniel, e S. Chenney, «Constrained animation of flocks», em *SCA '03: Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer animation*, 2003, pp. 286-297.
- [57] B. Ulicny, P. Ciechowski, e D. Thalmann, «Crowdbrush: interactive authoring of real-time crowd scenes», *Proc. 2004 ACM ...*, pp. 243-252, 2004.

- [58] S. Chenney, «Flow tiles», *Flux*, pp. 233–242, 2004.
- [59] C. W. Reynolds, «Steering behaviors for autonomous characters», *Game Dev. Conf.*, pp. 763–782, 1999.
- [60] K. Ashida, S.-J. L. S.-J. Lee, J. M. Allbeck, H. Sun, N. I. Badler, e D. Metaxas, «Pedestrians: creating agent behaviors through statistical analysis \nof observation data», *Proc. Comput. Animat. 2001. Fourteenth Conf. Comput. Animat. (Cat. No. 01TH8596)*, pp. 84–92, 2001.
- [61] S. Goldenstein, M. Karavelas, D. Metaxas, L. Guibas, E. Aaron, e A. Goswami, «Scalable nonlinear dynamical systems for agent steering and crowd simulation», *Comput. Graph.*, vol. 25, n. 6, pp. 983–998, 2001.
- [62] C. Loscos, D. Marchal, e A. Meyer, «Intuitive Crowd Behaviour in Dense Urban Environments using Local Laws», *Proc. Theory Pract. Comput. Graph. 2003*, pp. 122–129, 2003.
- [63] A. Aubel, R. Boulic, e D. Thalmann, «Real-time display of virtual humans: Levels of details and impostors», *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 10, n. 2, pp. 207–217, 2000.
- [64] C. Loscos, F. Tecchia, e Y. Chrysanthou, «Real-time shadows for animated crowds in virtual cities», *Proc. ACM Symp. Virtual Real. Softw. Technol. - VRST '01*, p. 85, 2001.
- [65] F. Tecchia, C. Loscos, e Y. Chrysanthou, «Image-based crowd rendering», *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 22, n. 2, 2002.
- [66] M. Wand e W. Straßer, «Multi-resolution rendering of complex animated scenes», em *Computer Graphics Forum*, 2002, vol. 21, n. 3, pp. 483–491.
- [67] P. de Heras Ciechowski, S. Schertenleib, J. Maïm, D. Maupu, e D. Thalmann, «Real-time shader rendering for crowds in virtual heritage», *VAST 2005 6th Int. Symp. Virtual Reality, Archaeol. Intell. Cult. Heritage, Inc. 3rd Eurographics Work. Graph. Cult. Herit. ISTI-CNR Pisa, Italy, Novemb. 8-II, 2005*, pp. 91–98, 2005.
- [68] N. Farenc *et al.*, «A paradigm for controlling virtual humans in urban environment simulations», *Appl.*

- Artif. Intell.*, vol. 14, n. 1, pp. 69–91, 2000.
- [69] T. Goto, S. Kshirsagar, e N. Magnenat-Thalmann, «Automatic face cloning and animation: Using real-time facial feature tracking and speech acquisition», *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 18, n. 3, pp. 17–25, 2001.
- [70] H. S. H. Seo, L. Yahia-Cherif, T. Goto, e N. Magnenat-Thalmann, «GENESIS: generation of E-population based on statistical information», *Proc. Comput. Animat. 2002 (CA 2002)*, vol. 2002, n. Ca, 2002.
- [71] S. Okazaki e S. Matsushita, «A Study of Simulation Model for Pedestrian Movement with Evacuation and Queuing», *Proc. Int. Conf. Eng. Crowd Saf.*, n. 1, p. 428, 1993.
- [72] E. D. Kuligowski, R. D. Peacock, e B. L. Hoskins, «Technical Note 1680 A Review of Building Evacuation Models , 2nd Edition», *Secretary*, 2010.
- [73] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, e K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modelling For Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors Second Edition*, vol. 1, 2011.
- [74] Autodesk, «Dynamo BIM», 2017. [Em linha]. Disponível em: <http://dynamobim.org/>. [Acedido: 11-Jan-2018].
- [75] Scott Davidson, «Grasshopper», 2017. [Em linha]. Disponível em: <http://www.grasshopper3d.com/>. [Acedido: 11-Jan-2018].
- [76] Revit beyond BIM, «Evacuation Path Analysis with Dynamo | Revit beyond BIM», 2016. [Em linha]. Disponível em: <https://revitbeyondbim.wordpress.com/2016/04/22/evacuation-path-analysis-with-dynamo/>. [Acedido: 16-Out-2017].
- [77] Revit beyond BIM, «Fire Exit Risk Assessment with Revit and Dynamo | Revit beyond BIM», 2017. [Em linha]. Disponível em: <https://revitbeyondbim.wordpress.com/2017/01/03/fire-exit-risk-assessment-with-revit-and-dynamo/>. [Acedido: 04-Jan-2018].
- [78] K. O. Roper e R. P. Payant, «The Facility Management Handbook», *AMACOM*, 2014.

- [79] W. Ikerd *et al.*, «Level of Development Specification», *Bim Forum*, pp. 0-124, 2013.
- [80] Autodesk, «Revit Family | BIM Software | Autodesk», 2018. [Em linha]. Disponível em: <https://www.autodesk.eu/products/revit-family/overview>. [Acedido: 03-Jan-2018].
- [81] Graphisoft, «ARCHICAD», 2018. [Em linha]. Disponível em: <http://www.graphisoft.com/archicad/>. [Acedido: 03-Jan-2018].
- [82] Bentley, «AECOSim Building Designer», 2018. [Em linha]. Disponível em: <https://www.bentley.com/pt/products/product-line/building-design-software/aecosim-building-designer>. [Acedido: 03-Jan-2018].
- [83] NBS National BIM Library, «BIM Explained – NBS National BIM Library», 2015. [Em linha]. Disponível em: <https://www.nationalbimlibrary.com/bim-explained>. [Acedido: 09-Out-2017].
- [84] ISCTE-IUL, «Plataforma Web-BIM para Gestão de Instalações de um Campus Universitário», 2016.
- [85] R. G. Kreider e J. I. Messner, «The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses», *Pennsylvania State Univ.*, n. September, pp. 0-22, 2013.
- [86] Unity3d, «Unity», 2017. [Em linha]. Disponível em: <https://unity3d.com/pt>. [Acedido: 04-Jan-2018].
- [87] Autodesk, «Maya», 2017. [Em linha]. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/maya/overview>. [Acedido: 04-Jan-2018].
- [88] Oasys Software, «Oasys Software - MassMotion: Crowd Simulation and Pedestrian Modelling Software», 2017. [Em linha]. Disponível em: <http://www.oasys-software.com/products/engineering/massmotion.html>. [Acedido: 06-Jan-2018].
- [89] ARUP, «We shape a better world - Arup», 2017. [Em linha]. Disponível em: <https://www.arup.com/>. [Acedido: 04-Jan-2018].
- [90] Oasys MassMotion, *Union Station Planning Simulation*. 2011.

- [91] Oasys, «Union Station Pedestrian Planning Study Toronto, Ontario, Canada», 2017. [Em linha]. Disponível em: [http://www.oasys-software.com/casestudies/casestudy/union\\_station\\_pedestrian\\_planning\\_study\\_toronto](http://www.oasys-software.com/casestudies/casestudy/union_station_pedestrian_planning_study_toronto). [Acedido: 04-Jan-2018].
- [92] Oasys, «Pedestrian simulation study of Mecca», 2017. [Em linha]. Disponível em: [http://www.oasys-software.com/casestudies/casestudy/Mecca\\_Pedestrian\\_Simulation\\_Study](http://www.oasys-software.com/casestudies/casestudy/Mecca_Pedestrian_Simulation_Study). [Acedido: 04-Jan-2018].
- [93] Y. K. Davide Schaumann; Michal Gath Morad; Einat Zinger; Nirit Putievsky Pilosof; Hadas Sopher; Michal Brodeschi; Kartikeya Date; E., «A computational framework to simulate human spatial behavior in built environments Davide», em *Simulating Human Behaviour in Built Environments*, 2016, pp. 121–128.
- [94] Oasys-Software, «MassMotion Flow», *AEC Mag.*, n. March, 2015.
- [95] H. Guide, *MassMotion*. London, 2017.
- [96] D. Helbing e P. Molnár, «Social force model for pedestrian dynamics», *Phys. Rev. E*, vol. 51, n. 5, pp. 4282–4286, 1995.
- [97] I. Howell e B. Batcheler, «48-Building Information Modeling Two Years Later – Huge Potential , Some Success and Several Limitations», *Newforma*, p. 9, 2003.
- [98] «Case Studies - OpenBIM». [Em linha]. Disponível em: <http://www.openbim.org/case-studies>. [Acedido: 04-Out-2017].



**Vertente Projetual**

ESTRATÉGIA GERAL

**REGENERAÇÃO DO RIO ALENQUER**

PROJETO URBANO

**COMPLEXO DESPORTIVO DA ROMEIRA**

PROJETO DE ARQUITETURA

**CENTRO DE REABILITAÇÃO E TREINO DE ALTO RENDIMENTO**

## **7. VERTENTE PROJETUAL**

### **7.1. ESTRATÉGIA GERAL**

REGENERAÇÃO DO RIO ALENQUER

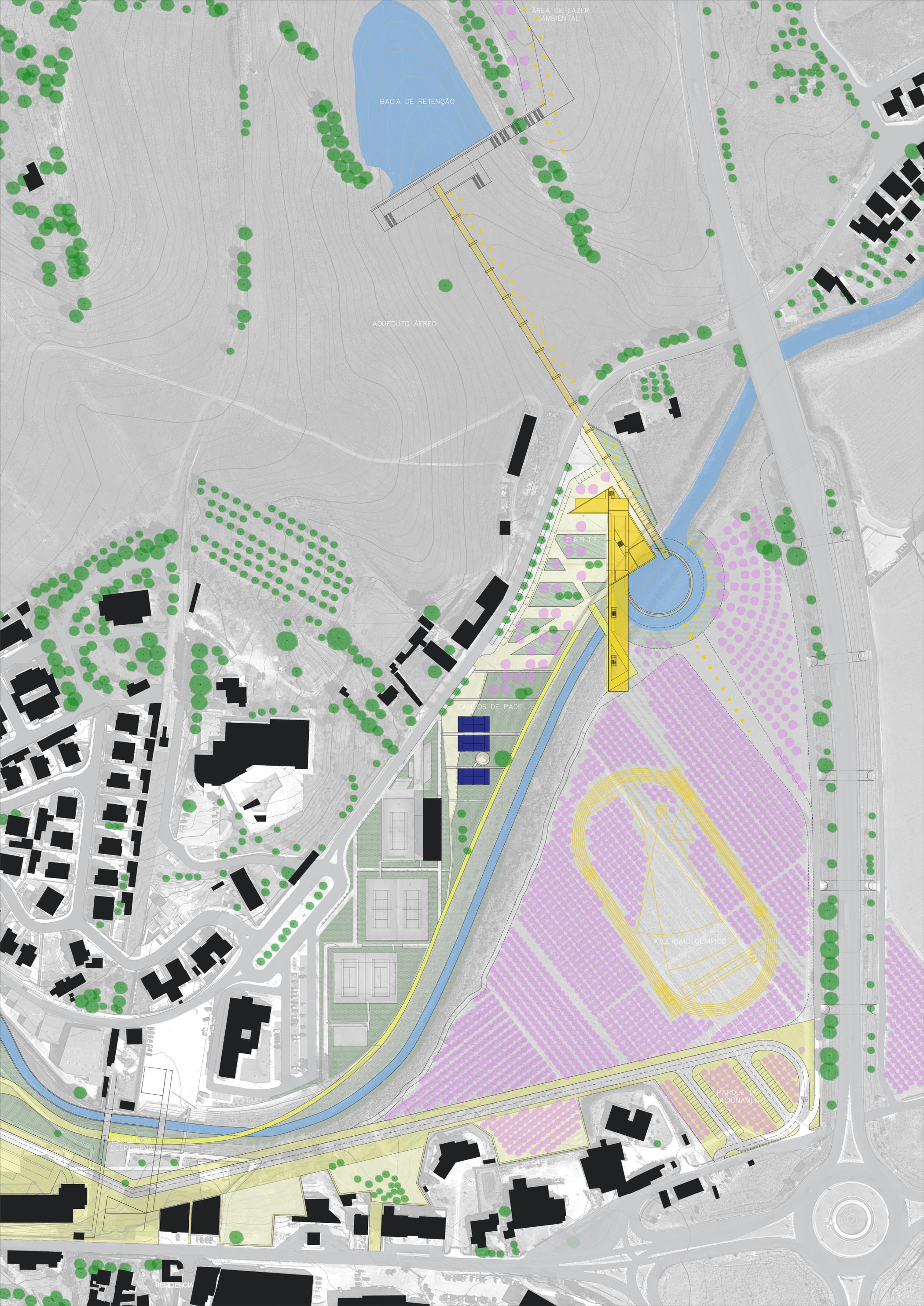
### **7.2. PROJETO URBANO**

COMPLEXO DESPORTIVO DA ROMEIRA

### **7.3. PROJETO DE ARQUITETURA**

(CRETAR) - CENTRO DE REABILITAÇÃO E TREINO DE ALTO RENDI-  
MENTO





ÁREA DE LAZER  
ÁREA AMBIENTAL

BACIA DE RETENÇÃO

AQUEDUTO AÉREO

C.A.R.T.E.

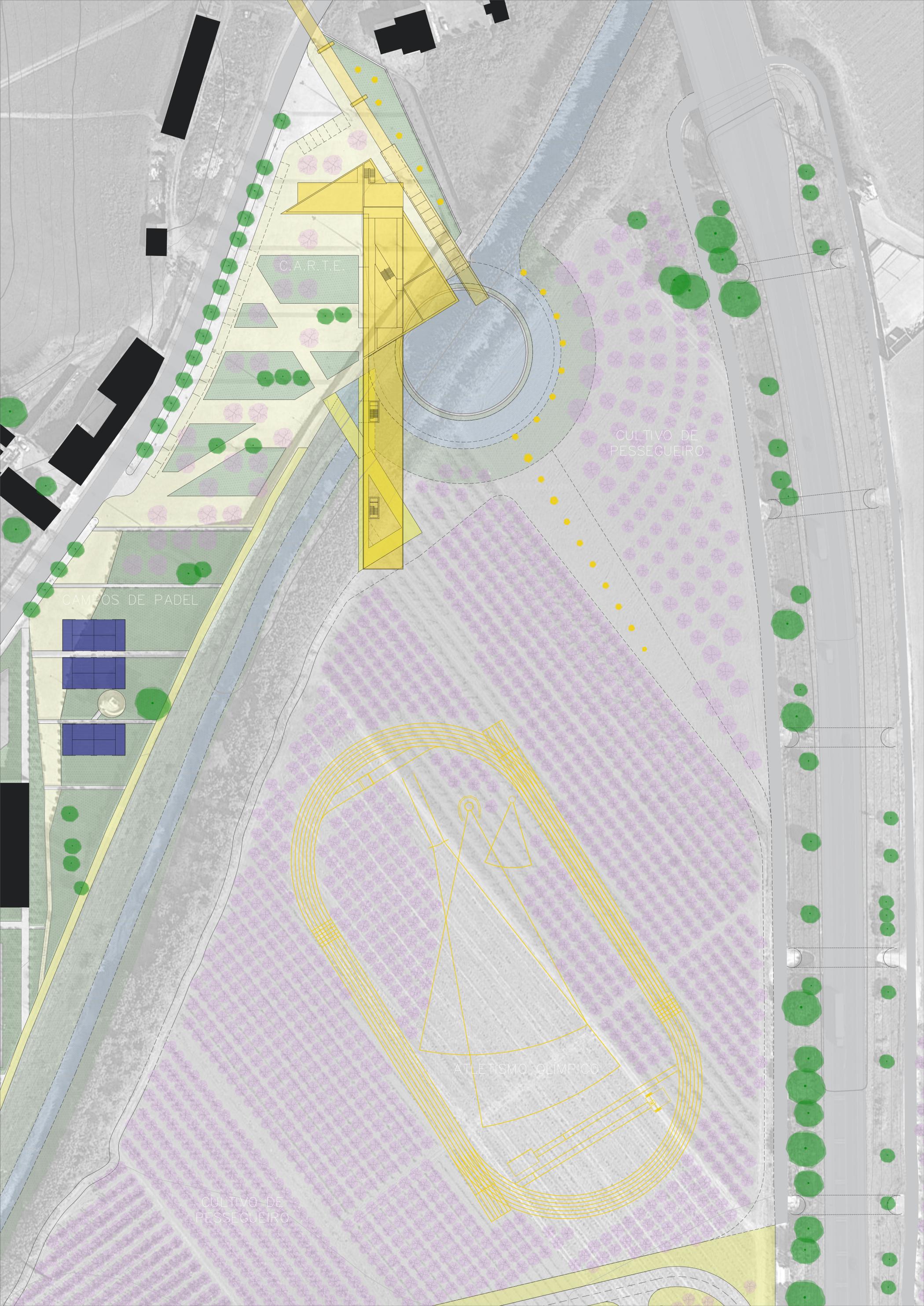
CAMPOS DE PADEL

ATLETISMO OLÍMPICO

PARQUE DE ESTACIONAMENTO

RESIDÊNCIA DESPORTIVA

RESIDÊNCIA



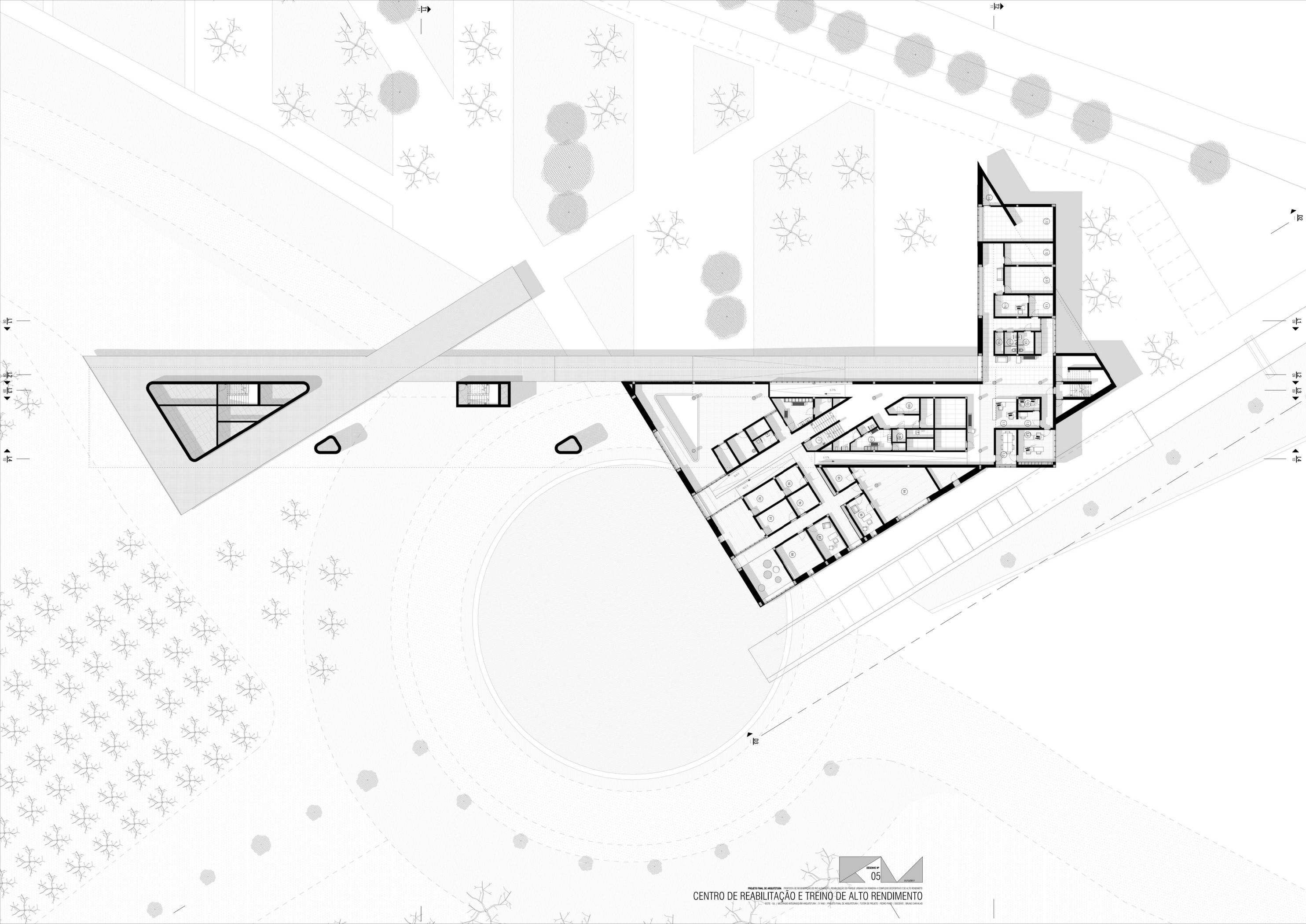
C.A.R.T.E.

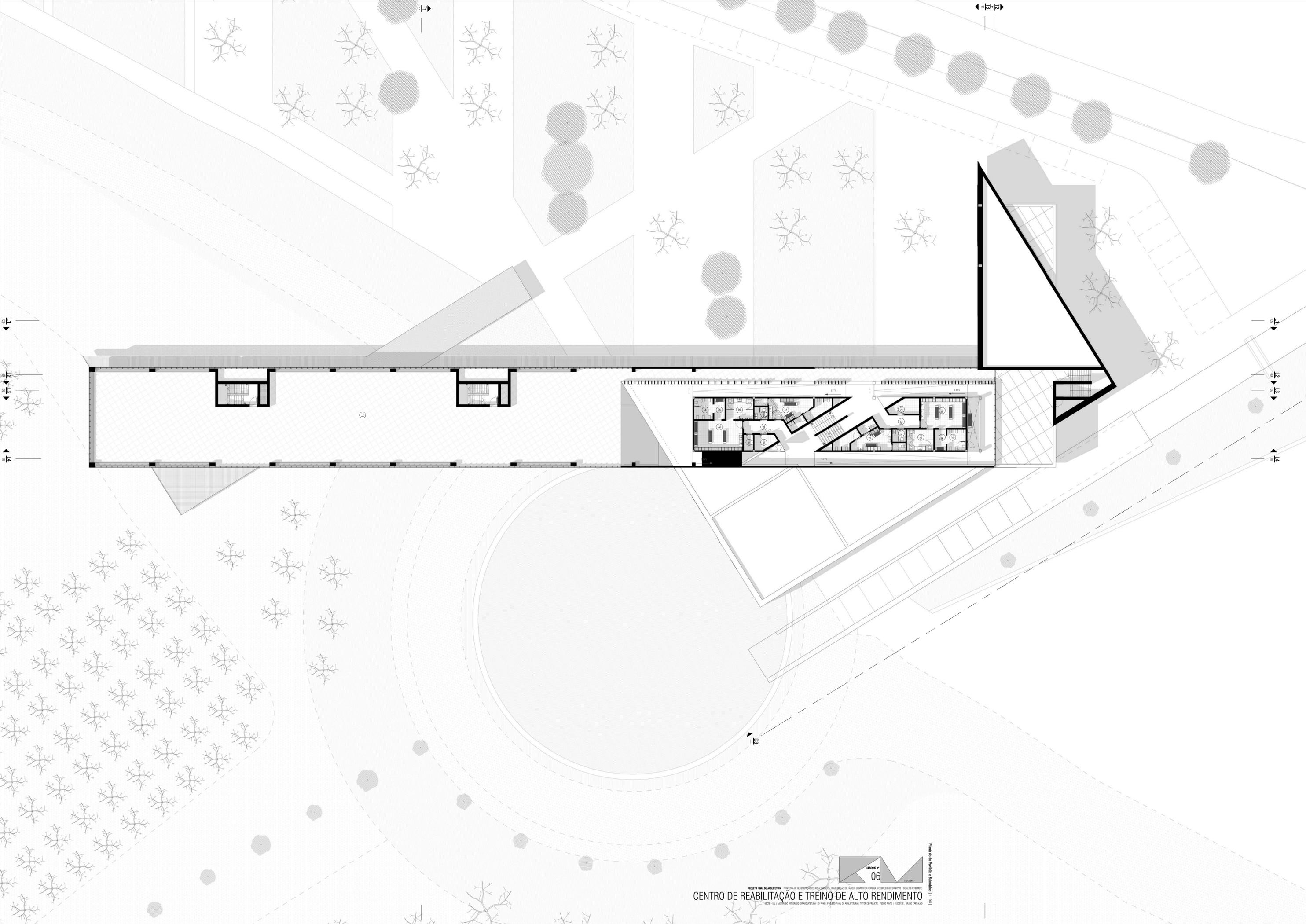
CULTIVO DE PESSEQUEIRO

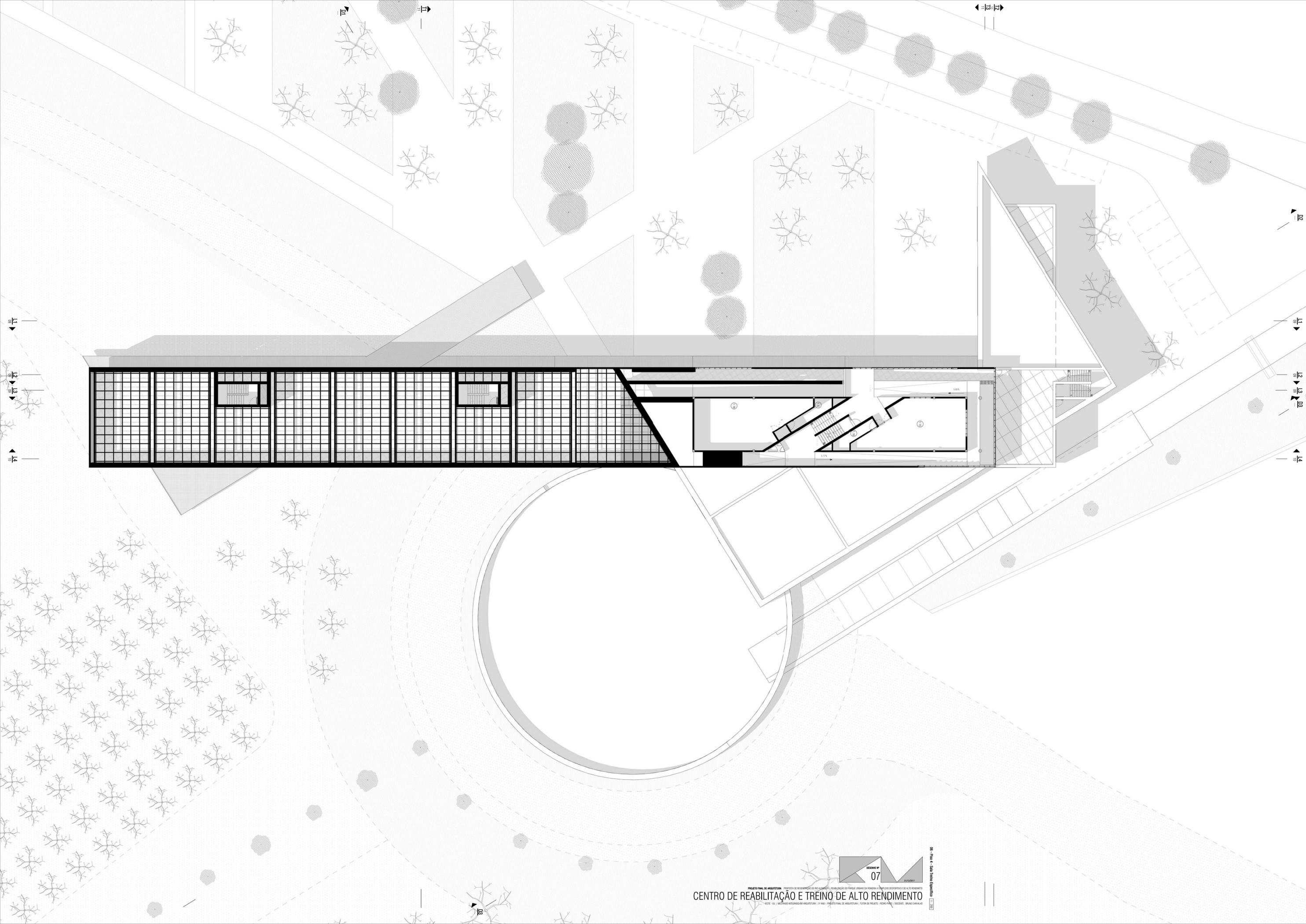
CAMPOS DE PADEL

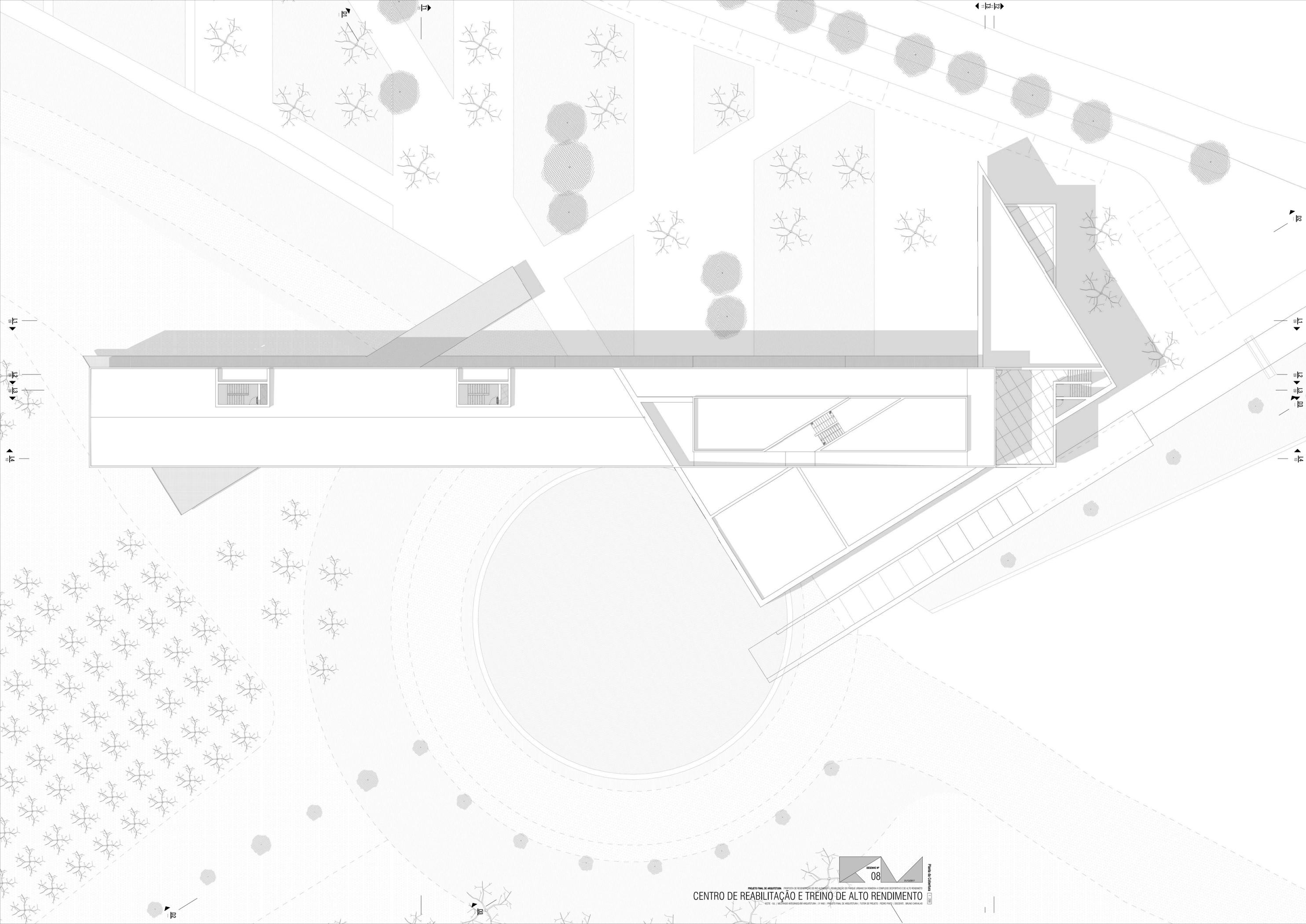
ATLETISMO OLÍMPICO

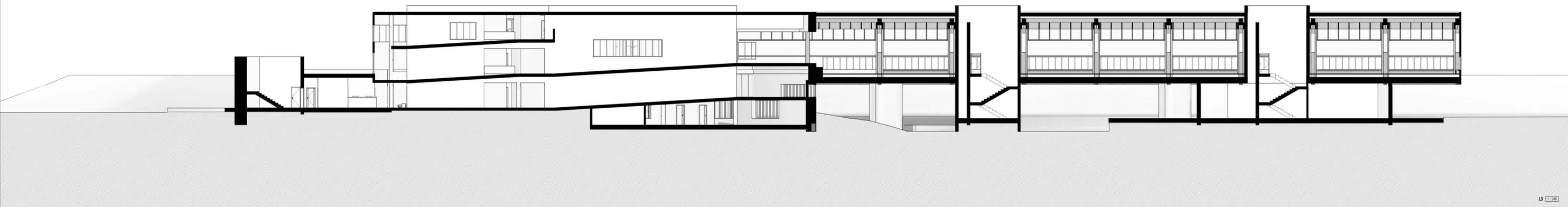
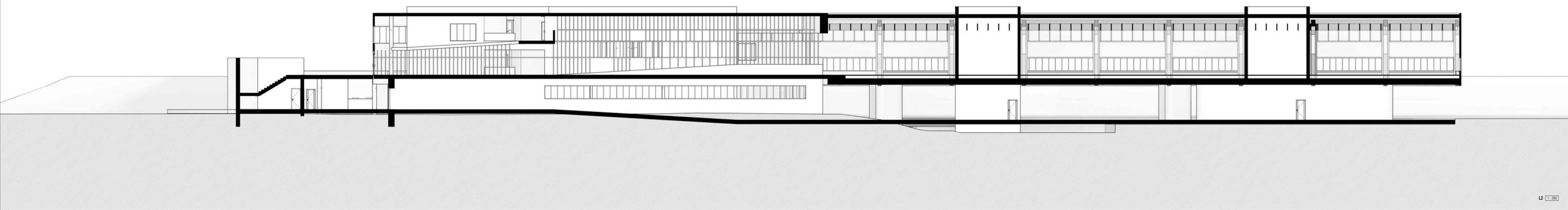
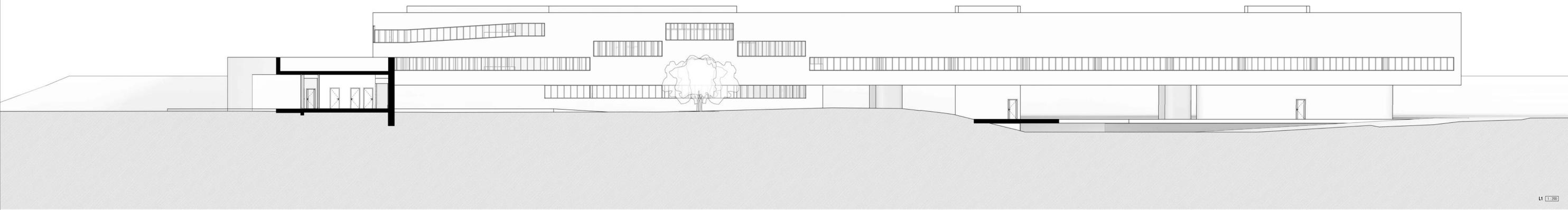
CULTIVO DE PESSEQUEIRO





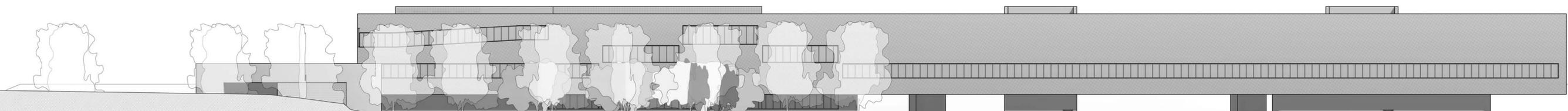








Corte L4 1:200



Alçado Poente 1:200



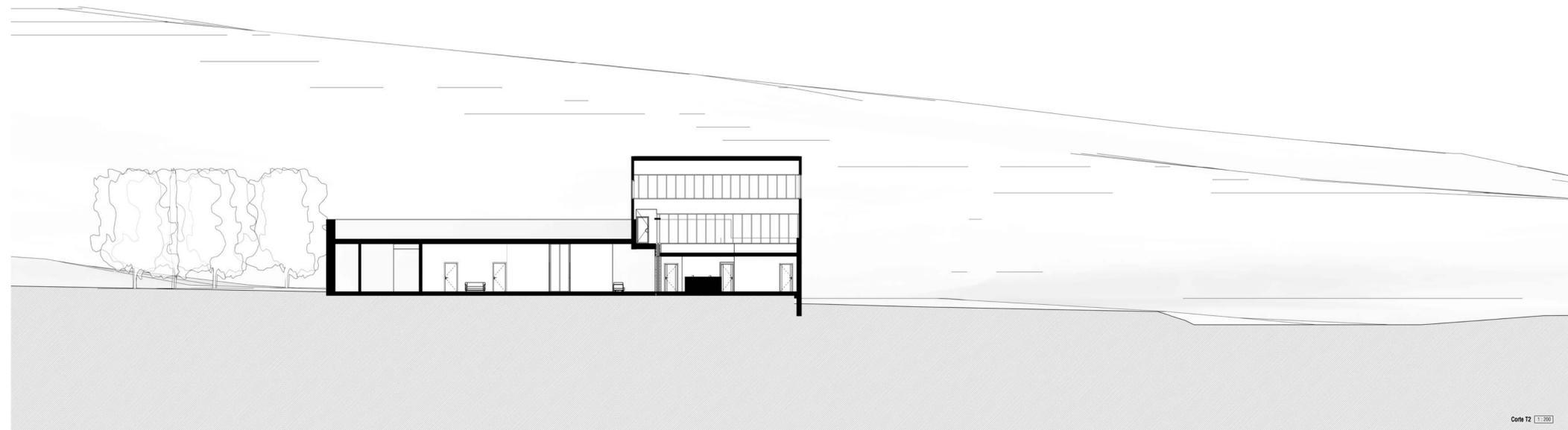
PROJETO FINAL DE ARQUITETURA | PROPOSTA DE REABILITAÇÃO DO RIO ATACURÁ | REABILITAÇÃO DO PARQUE URBANO DA RIBEIRA A COMPLEXO DESPORTIVO E DE ALTO RENDIMENTO  
CENTRO DE REABILITAÇÃO E TREINO DE ALTO RENDIMENTO

ESCR: ILL | MESTRADO INTEGRADO EM ARQUITETURA | 2º ANO | PROJETO FINAL DE ARQUITETURA | TUTOR DE PROJETO: PEDRO PIRES | EXERCÍCIO: BRANCO CARVALHO

Alçado Nascente 1:200



Corte T1 1:200



Corte T2 1:200



Corte T3 1:200



PROJETO FINAL DE ARQUITETURA | PROPOSTA DE REABILITAÇÃO DO RIO ATENAS | REABILITAÇÃO DO PARQUE ARANHA FERREIRA E COMPLEXO DE ESPORTES E DE ALTO RENDIMENTO  
**CENTRO DE REABILITAÇÃO E TREINO DE ALTO RENDIMENTO**  
SECTE - 02 | MÉDIA ANO 2014 | PROJETO FINAL DE ARQUITETURA | AUTOR DA PROPOSTA: PEDRO PAULO | SOCIEDADE: BRUNO CARVALHO

