Realidade Virtual em Arquitetura

Representação e simulação do campo de treino e formação militar da Aldeia Camões

ISCTE-Instituto Universitário de Lisboa
Guida Ramos | 2017

ISCTE IUL
Instituto Universitário de Lisboa

Escola de Tecnologias e Arquitetura

Departamento de Arquitetura e Urbanismo

Mestrado Integrado em Arquitetura

Guida de Jesus Macedo Ramos

Vertente Prática

Interface Rodoviário em Alenquer

Tutor Arq.º Pedro Viana Botelho, Prof. Auxiliar Convidado do ISCTE-IUL

Vertente Teórica

Realidade Virtual em Arquitetura:
Representação e simulação do campo de treino e formação militar da Aldeia Camões

Orientador Doutor Eng.º José Ricardo Pontes Resende, Prof. Auxiliar do ISCTE-IUL

Co-orientador Doutor Eng.º Miguel Sales Dias, Prof. Associado Convidado do ISCTE-IUL

Trabalho Prático e Teórico submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura

Lisboa | Outubro, 2017

Agradecimentos

À minha família pela motivação e ajuda.

Aos meus orientadores e professores Pedro Botelho e Ricardo Resende e co-orientador Miguel Sales Dias, pelo apoio prestado ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Aos investigadores e arquitetos Ricardo Miguel e Lázaro Ourique, do ISTAR-IUL, pelos conselhos e esclarecimento de dúvidas.

Vertente Prática

Interface Rodoviário em Alenquer

Índice

I **1. Introdução**

III 1.1. Apresentação

IV 1.2. Objetivos

V 1.3. Metodologia

01 **2. Localização**

09 **3. Vila de Alenquer**

13 3.1. Contextualização Histórica

19 3.2. Vila Alta e Baixa

30 3.3. Indústria Fabril

39 3.4. Rio de Alenquer

41 3.5. Pontes e Travessas

44 3.6. Rede Viária e Demografia

47 **4. Análise Territorial**

57 **5. Estratégia de Intervenção**

58 Memória Descritiva

61 **6. Proposta Interface Rodoviário**

87 **7. Referências Bibliográficas**

88 7.1. Livros, Monografias, Teses e Artigos

88 7.2. Créditos de Figuras

Índice de Figuras

II Fig. 01 Sketch for a Map. Pencil and ink on paper (Wigley *and* Zegher, 2001, p. 147).

05 Fig. 02 Mapa do Concelho de Alenquer, com delimitação e nome das atuais freguesias.

06 Fig. 03 Mapa morfológico do território de Alenquer (adaptado CMA (2008), 2017).

07 Fig. 04 Mapa hipsométrico, com linhas de água do território de Alenquer (adaptado CMA (2008), 2017).

13 Fig. 05 Gravura renascentista onde se vêm os restos da muralha e do castelo de Ribeiro Cristino, datada anterior a 1870 (Ribeiro, 1983, pp.24-25) [pp. 10-11].

15 Fig. 06 Alenquer Quinhentista numa reconstituição (a partir de documentos) de Mestre João Mário, século XVI (Lourenço, 2012a).

16 Fig. 07 Planta Medieval da Vila de Alenquer (adaptado Ferro, 1996).

17 Fig. 08 Casa da Torre ou Torre da Couraça, Portugal, 1890 (coleção de João H. L. Lourenço).

17 Fig. 09 Torre da Couraça, fotografia de 1941 (Rogeiro, 2002).

18 Fig. 10 Trabalhos de demolição das casas anexas à Porta da Conceição, fotografia de 1939 (Rogeiro, 2002).

18 Fig. 11 Porta da Conceição (Rogeiro, 2002).

20 Fig. 12 Vista Parcial de Alenquer, Portugal, 1890 (coleção de João H. L. Lourenço).

20 Fig. 13 A alta e parte da Baixa, vista do leste (Rogeiro, 2002).

21 Fig. 14 Vista da Ponte do Areal, a Igreja da Várzea e a Fábrica de Papel, 188 (Lourenço, 2014).

21 Fig. 15 Vista Parcial de Alenquer, Portugal, 1890 (coleção de João H. L. Lourenço).

22 Fig. 16 Vista de Alenquer (Arquivo Histórico Municipal de Alenquer, 1900).

22 Fig. 17 Vila Alta vista do Convento de S. Francisco (Arquivo Histórico Municipal de Alenquer, 1900).

23 Fig. 18 Praça Medieval e Casas Velhas da Câmara, 1873 [em cima à esquerda] (Lourenço, 2012c).

23 Fig. 19 Edifício dos Paços de Concelho datado de 1890, num postal do início do século XX [em cima à direita] (Grupo Municipal do Partido Socialista (PS), 2017).

23 Fig. 20 Panorâmica sobre a Câmara Municipal de Alenquer [em baixo à esquerda] (Rogeiro, 2002).

23 Fig. 21 Aspeto atual da Câmara Municipal de Alenquer [em baixo à direita] (Rogeiro, 2002).

24 Fig. 22 Rua Direita da Praça com edifícios dos CTT à direita e parte dos Paços do Concelho ao fundo [em cima] (Rogeiro, 2002).

24 Fig. 23 Rua Direita da Praça com parte da Igreja da Misericórdia à direita [em baixo à esquerda] (Rogeiro, 2002).

24 Fig. 24 Antiga Rua Direita [em baixo à direita] (Rogeiro, 2002).

25 Fig. 25 Largo do Espírito Santo, 1941 [esquerda] (Rogeiro, 2002).

25 Fig. 26 Largo do Espírito Santo, 2002 [direita] (Rogeiro, 2002).

26 Fig. 27 Bairro de Triana visto da Rua Pêro de Alenquer, 1941 (Rogeiro, 2002).

26 Fig. 28 Bairro de Triana visto da Rua Pêro de Alenquer, 2002 (Rogeiro, 2002).

27 Fig. 29 Rua de Triana [à esquerda] (Rogeiro, 2002).

27 Fig. 30 Rua de Triana três dias após as cheias de Novembro de 1967 [à direita] (Rogeiro, 2002).

28 Fig. 31 Barracas do mercado mensal ocupando ambas as margens da ribeira [à esquerda] (Rogeiro, 2002).

28 Fig. 32 Parte do mercado mensal [à direita] (Rogeiro, 2002).

29 Fig. 33 Bairro do Areal, Avenida Jaime Augusto Ferreira vistos da Rua Pêro de Alenquer e Estrada Nacional, 1939 (Rogeiro, 2002).

29 Fig. 34 Bairro do Areal, Avenida Jaime Augusto Ferreira vistos da Rua Pêro de Alenquer e Estrada Nacional, 2002 (Rogeiro, 2002).

32 Fig. 35 Vista da Fábrica da Moagem e Torre da Couraça de Alenquer, Portugal, 1890 [em cima, esquerda] (coleção de João H. L. Lourenço).

32 Fig. 36 Fábrica do Papel vista da estrada Lisboa-Porto, 1939 [em cima, direita] (Rogeiro, 2002).

32 Fig. 37 Panorâmica de Alenquer, Fábrica da Moagem e do Papel em primeiro plano [em baixo, esquerda] (Rogeiro, 2002).

32 Fig. 38 Baixa antiga em primeiro plano, fábrica da moagem e do papel no canto inferior direito [em baixo, direita] (Rogeiro, 2002).

33 Fig. 39 Ponte das Águas e Parte da Fábrica da Moagem de Alenquer, Portugal, 1890 [em cima à esquerda] (coleção de João H. L. Lourenço).

33 Fig. 40 Açude das Águas, 1939 [em cima à direita] (Rogeiro, 2002).

33 Fig. 41 Açude das Águas visto das proximidades da Ponte das Águas, 1939 [em baixo à esquerda] (Rogeiro, 2002).

33 Fig. 42 Limpeza do rio no sítio do Açude das Águas, 1941 [em baixo à direita] (Rogeiro, 2002).

34 Fig. 43 Parte das indústrias da Moagem e do Papel [à esquerda] (Rogeiro, 2002).

34 Fig. 44 Pavilhão da Fábrica de Papel destruído pelo impacto da enxurrada, 1969 [à direita] (Rogeiro, 2002).

35 Fig. 45 Paços do Concelho em construção na Vila Alta e a Fábrica de Lafaurie ou do Meio na Vila Baixa [em cima à esquerda] (Rogeiro, 2002).

35 Fig. 46 Fábrica do Meio a fazer frente ao rio, num postal de 1980 (Grupo Municipal do Partido Socialista [em cima à direita] (PS), no date).

35 Fig. 47 Vila Baixa com a Fábrica do Meio e Vila Alta vistas da estrada Lisboa-Porto, 1941 [em baixo à esquerda] (Rogeiro, 2002).

35 Fig. 48 Fábrica do Meio, Rio e Encosta vistos do final da Rua de Triana até ao Convento de São Francisco (1941) [em baixo à direita] (Rogeiro, 2002).

36 Fig. 49 Fábrica de Lanifícios da Chemina [em cima à esquerda] (Leite, 2012).

36 Fig. 50 Fábrica da Chemina ou de Lanifícios Tejo Lda. e edifício de apartamentos encaixados no vale [em cima à direita] (Rogeiro, 2002).

36 Fig. 51 Fábrica da Chemina e ao fundo a Fábrica da Romeira e Bairro de Santa Catarina, vistos da encosta sobre a Variante, 1939 [em baixo à esquerda] (Rogeiro, 2002).

36 Fig. 52 Fábrica da Chemina e no canto superior esquerdo a Fábrica da Romeira vistos da encosta sobre a Variante, 2002 [em baixo à direita] (Rogeiro, 2002).

37 Fig. 53 A ribeira e parte da antiga Fábrica da Romeira (Rogeiro, 2002).

40 Fig. 54 Troço do Rio de Alenquer, antes [à esquerda] e depois [à direita] do plano de urbanização de 1947 (adaptado Paviani, 1967, p. 38 e 39).

42 Fig. 55 Passadeiras da Rainha Santa Isabel, colocadas em 1305, postal de 1913 [em cima à esquerda] (Lourenço, 2012b).

42 Fig. 56 Ponte das Águas [em baixo à esquerda] (Lourenço, 2016).
42 Fig. 57 Açude ao lado da Ponte do Areal [em baixo à direita] (Grupo Municipal do Partido Socialista (PS), no date)
43 Fig. 58 Limpeza do rio abaixo da Ponte do Espírito Santo, construída em 1571, 1935 [esquerda] (Rogeiro, 2002).
43 Fig. 59 Ponte de Santa Catarina [direita] (Lourenço, 2015).
44 Fig. 60 Mapa das Linhas de Torres Vedras e sua ligação com Lisboa, nos anos de 1810 e 1811 [p. 43] (Câmara Municipal de Torres Vedras, 2008).
49 Fig. 61 Mapa hipsométrico.
50 Fig. 62 Mapas da evolução urbana da vila de Alenquer de 1927 [à esquerda], 1965 [à direita].
51 Fig. 63 Mapas da evolução urbana da vila de Alenquer de 1992 [à esquerda] e 2016 [à direita].
52 Fig. 64 Mapas de cheios e vazios.
53 Fig. 65 Mapa de equipamentos.
53 Fig. 66 Mapa de cinco linhas da rede viária.
54 Fig. 67 Mapa de áreas verdes.
55 Fig. 68 Ação de Regeneração Urbana de Alenquer (ARU).
58 Fig. 69 Planta estratégia de intervenção.
62 Fig. 70 Planta baixa.
63 Fig. 71 Planta de cobertura.
64 Fig. 72 Cortes AA', BB', CC' e DD'.
65 Fig. 73 Cortes EE', FF', GG' e HH'.
66 Fig. 74 Planta baixa.
67 Fig. 75 Planta de cobertura.
68 Fig. 76 Cortes AA', BB' e CC".
69 Fig. 77 Cortes DD', EE' e FF'.
70 Fig. 78 Cortes GG' e HH'.
71 Fig. 79 Planta baixa.
72 Fig. 80 Corte transversal do edifício.
73 Fig. 81 Cortes transversal do passadiço e ponte pedonal.
74 Fig. 82 Corte transversal do edifício.
76 Fig. 83 Corte longitudinal do edifício.
79 Fig. 84 P1 Cobertura do edifício.
80 Fig. 85 P2 Cobertura do passadiço.
81 Fig. 86 P3 Cobertura das paragens de autocarros.
82 Fig. 87 P4 Estrutura interior do edifício e cobertura.
83 Fig. 88 P5 Fundação do edifício treliçado e Gabiões permeáveis para margens do rio.
84 Fig. 89 Axonometria do projeto a 1/200.

1. Introdução

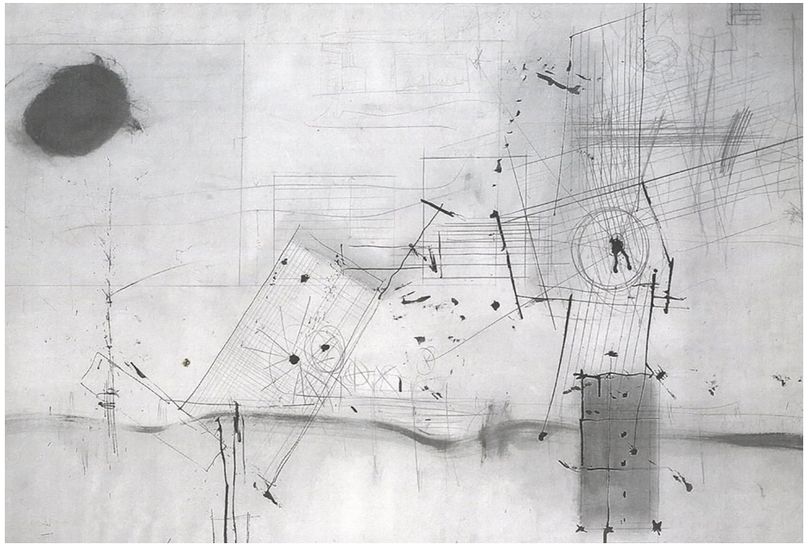


Fig. 01 Sketch for a Map. Pencil and ink on paper (Wigley *and* Zegher, 2001, p. 147).

1.1. Apresentação

O último ano do Mestrado Integrado em Arquitetura culmina com a conclusão da unidade curricular Projeto Final de Arquitetura (PFA), cujo estudo centraliza-se na leitura e interpretação territorial de Alenquer, inserida na Área Metropolitana de Lisboa (AML).

É dada a possibilidade de intervir na Vila de Alenquer, no Carregado e na estação de comboios da Vala do Carregado, de modo a criar relações dinâmicas entre o edificado existente e proposto, do espaço público e do território, marcado por uma rede infraestrutural rodoviária e ferroviária e por um sistema de produção industrial e agrícola.

No início do ano letivo é lançado o exercício para que os alunos demonstrem a capacidade de explorar aprofundadamente problemas complexos e que se desenvolvam envoltos numa perspetiva crítica, articulando as diversas áreas de conhecimento. A elaboração de um projeto de arquitetura, bem como, a solução e comunicação da solução desenvolvida devem refletir um rigoroso processo de investigação.

1.2. Objetivos

Segundo o enunciado, os objetivos de PFA apresentados são:

1. Desenvolver e aprofundar os domínios da prática do projeto de arquitetura enquanto processo que se materializa numa forma construída;
2. Desenvolver a capacidade de elaborar uma leitura critica e integrada de um território urbano concreto em processo de transformação e requalificação;
3. Propor e desenvolver uma estratégia geral e os programas de regeneração urbana e arquitetónica do território;
4. Trabalhar os objetivos, definidos em 1 e 2, num processo de simultaneidade e interação;
5. Desenvolver e comunicar uma síntese de projeto que estabeleça o cruzamento de componentes formais, culturais, construtivas e estruturais;
6. Exploração das potencialidades da relação entre os processos de conceção de projeto e a sua representação e comunicação gráfica e oral.

1.3. Metodologia

Para o desenvolvimento do trabalho é feita uma análise de investigação crítica do território, em grupo e com o apoio de aulas tutoriais e seminários/conferências, relevantes para a definição do tema de trabalho, estabelecendo desta forma a relação e interação entre a vertente teórica e de projeto.

A definição final da proposta de projeto apresenta-se individual, com caráter dinâmico e interativo, marcada por um processo não linear, de avanços e recuos, devido à permanente interação dos fatores envolvidos. Cabe a cada um apresentar uma estratégia de projeto de arquitetura através da investigação/descoberta da melhor relação entre a função e a forma arquitetónica.

2. Localização



Localizado na província da Estremadura, o concelho de Alenquer apresenta uma área de cerca de 302 km^2 e uma população com 43 mil habitantes, aproximadamente. Pertencente ao Distrito de Lisboa, o concelho é delimitado pelos concelhos de Azambuja e Cadaval, a norte; Vila Franca de Xira, Arruda dos Vinhos e Sobral de Monte Agraço, a sul; Torres Vedras, a poente; e Azambuja e Rio Tejo, a nascente (Maia 2008, p. 18; Morais 2012, p. 27).

Com a recente junção das freguesias, Alenquer é composto por 11 freguesias: Carnota, Meca, Olhalvo, Ota, Abrigada e Cabanas de Torres, Aldeia Galega da Merceana e Aldeia Gavinha, Alenquer (Santo Estêvão e Triana), Carregado e Cadafais, Ribafria e Pereiro de Palhacana, Ventosa e Vila Verde dos Francos [Fig. 02].

Alenquer apresenta um território orográfico acidentado [Fig. 03], o qual se divide em três núcleos: zona Serrana, zona Sub-Serrana e Zona de Planície. Com maior ou menor importância, a norte encontra-se a Serra do Montejunto com uma altitude máxima de 666 metros, que se estende até à Serra Galega e Serra Alta, esta última com 360 metros. Na zona sul situam-se as colinas e planícies que variam entre 4 e 290 metros de altitude, sendo as planícies da Várzea e Charneca as mais baixas e a colina Amaral a mais alta (Maia, 2008, p. 21).

O concelho de Alenquer é composto por uma grande variedade de declives [Fig. 04] devido aos diferentes tipos e estrutura do solo. A análise dos declives remete para um melhor entendimento dos principais fenómenos morfológicos da região, contribuindo também para a explicação da dinâmica das vertentes existentes (Bateira, 1991, p. 64).

Para além disso, a rede hidrográfica de Alenquer também apresenta um papel preponderante no estudo morfológico e de declives, com dois afluentes, o rio de Ota e de Alenquer, a confluírem para o rio Tejo, por meio de vales naturais e valas artificiais (Bateira, 1991, pp. 67–68).



Fig. 02 Mapa do Concelho de Alenquer, com delimitação e nome das atuais freguesias.

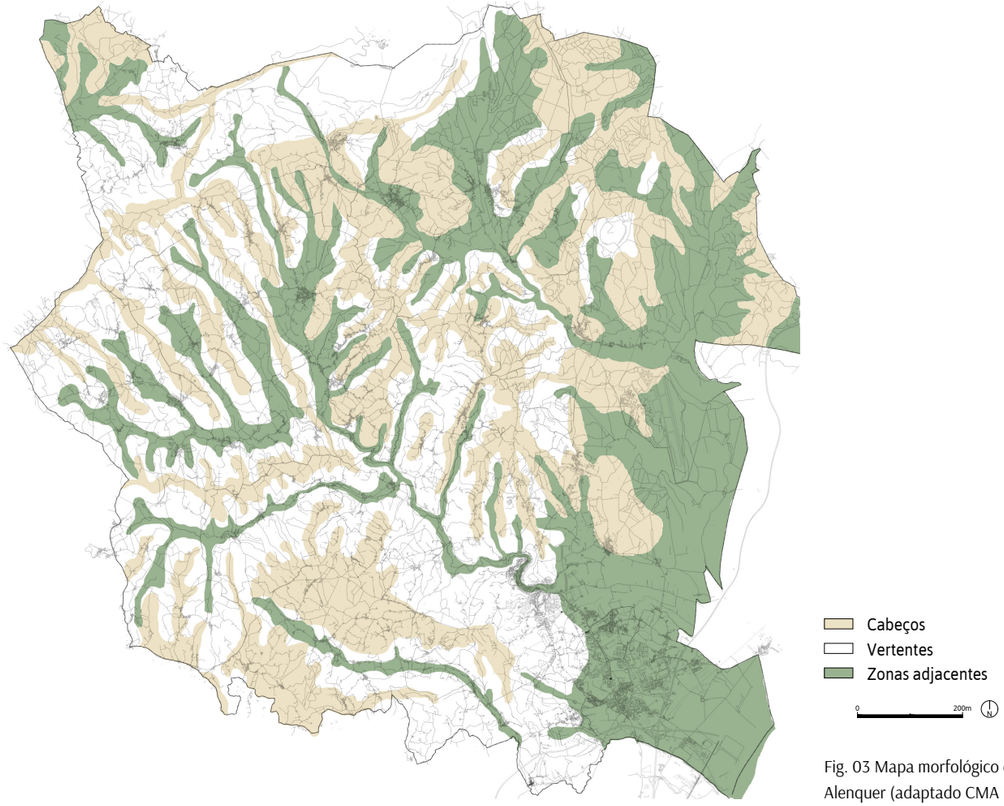


Fig. 03 Mapa morfológico do território de Alenquer (adaptado CMA (2008), 2017).

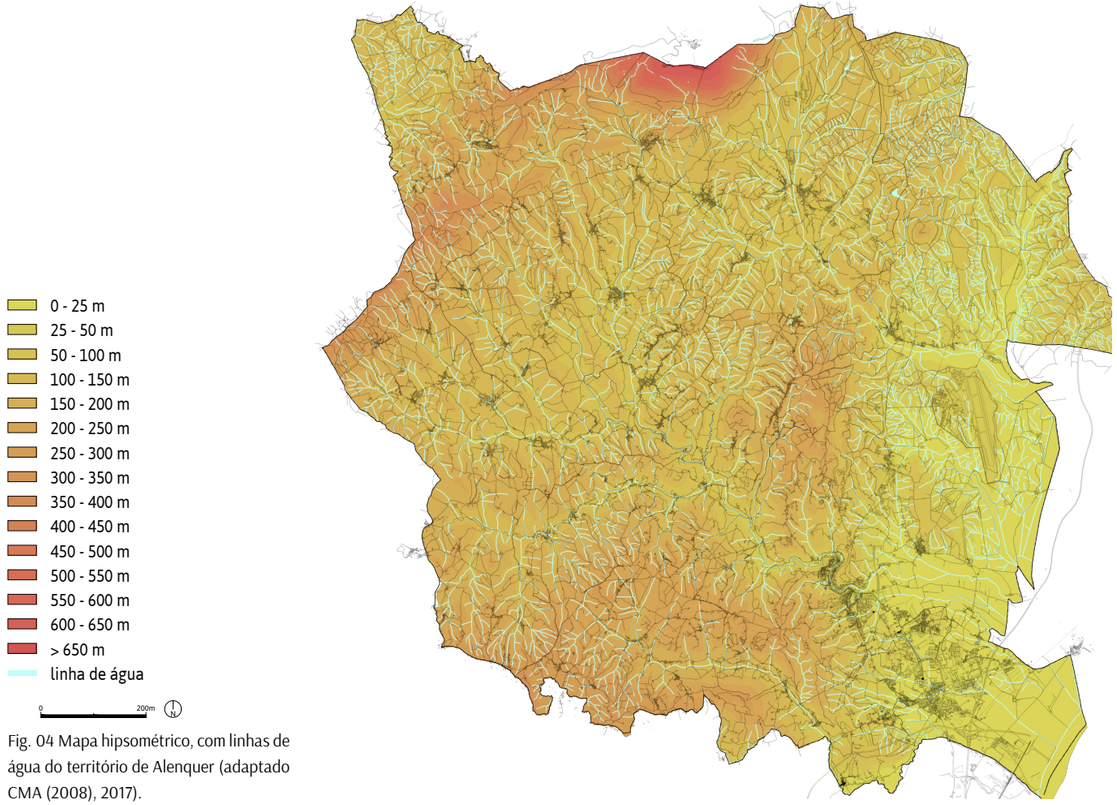


Fig. 04 Mapa hipsométrico, com linhas de água do território de Alenquer (adaptado CMA (2008), 2017).

3. Vila de Alenquer



3.1. Contextualização Histórica

Os vestígios arqueológicos encontrados por Hipólito Cabaço remetem para ocupações e domínios desde a pré-história, verificando-se a implantação do homem junto aos três principais cursos de água do concelho: Grande da Pipa, Alenquer e Ota (Costa, 2010, p. 18).

É durante o período Romano que Alenquer adquire o nome de Jerabrica, que mais tarde viria a adquirir outras designações etimológicas, como Alenen-Kerk, Alano-Kerk ou Alan-Kerk, com significado de igreja, templo, castelo ou fortaleza dos Álanos, Alankana, ou ainda Al-ain-Keir, (fonte abençoada) ou El-haquem, (o governador) (Rogeiro, p.14).

Durante o domínio muçulmano sabe-se que na Vila de Alenquer foi erguida uma fortaleza de grande importância estratégica e defensiva da margem direita do rio Tejo, lugar este que viria a ser conquistado por D. Afonso Henriques em 1148, e surgindo assim a lenda do "Alão Quer" (Rogeiro, 2005, p. 14).

Fig. 05 Gravura renascentista onde se vêm os restos da muralha e do castelo de Ribeiro Cristino, datada anterior a 1870 (Ribeiro, 1983, pp.24-25) [pp. 10-11].

Anos mais tarde, o rei D. Sancho I concede o território de Alenquer à sua filha D. Sancha, que em 1212 dá a primeira carta foral à região (Costa, 2010, p. 23) e manda construir o Convento de S. Francisco (Henriques, 1901, p. 13). Com a crise dinástica de 1383-85, o castelo de Alenquer vê parte das suas muralhas serem destruídas como forma de retaliação por parte de Mestre de Aviz (D. João I) e reconstruídas posteriormente nos reinados seguintes, sendo com o início da dinastia filipina que começa a sua decadência.

O seu estado de conservação é agravado com o terramoto de 1755 que destruiu as torres da porta da vila e a população tirou partido para utilizar parte das pedras nas suas próprias habitações, ficando alguns troços da muralha; a Torre da Couraça, que aportou uma construção do século XIX, encontrando-se atualmente em ruínas; e duas portas principais existentes: a da Vila ou de Santo António e a do Carvalho ou Arco de Nossa Senhora da Conceição (Beatriz, 2014, pp. 9–10).

Já em pleno século XIX, foram ainda realizadas obras após as invasões francesas, ficando por acabar, e destruída uma parte da muralha para dar lugar à estrada que viria ligar a Praça do Município à Porta da Conceição (Costa, 2010, p. 25).



Fig. 06 Alenquer Quinhentista numa reconstituição (a partir de documentos) de Mestre João Mário, século XVI (Lourenço, 2012a).

1 | Torre de Menagem; 2 | Porta da Vila ou de Santo António; 3 | Porta do Carvalho e mais tarde da Conceição; 4 | Postigo na muralha que dava para a encosta; 5 | Convento de S. Francisco; 6 | Igreja de Santiago junto da qual se situava a Porta da Traição; 7 | Igreja de Santo Estêvão no séc. XIX Aula Conde de Ferreira; 8 | Igreja de S. Pedro; 9 | Ermida de S. Sebastião; 10 | Torre da Couraça; 12 | Triana; 13 | Passadeira da Rainha; 14 | Moinho de Papel de Manuel Teixeira.



1| Paços do Concelho; 2| Igreja de Santo Estêvão (Museu Hipólito Cabaço); 3| Judiaria (Rua da Judiaria); 4| "Rua Direita" (Rua Maria Milne do Carmo, antiga Rua da Cadeia e Rua da Judiaria); 5| Escadinhas do Município; 6| Paços do Concelho (Câmara Municipal); 7| Castelo; 8| Alcáçova; 9| Torre de Menagem; 10| Igreja de Santiago; 11| Torre da Couraça; 12| Ponte da Couraça ou das Águas; 13| Ponte de Pancas ou Barnabé; 14| Igreja da Várzea; 15| Igreja de S. Pedro; 16| Igreja do Espírito Santo; 17| Paços Reais (Albergaria do Espírito Santo); 18| Convento de S. Francisco; 19| Cerca do Convento de S. Francisco; 20| Capela de Santo António; 21| Rossio; 22| Igreja de Triana; 23| Ponte de Triana; 24| Rua de Triana.

a| Porta da Vila ou de Santo António; b| Porta do Carvalho ou da Conceição; c| Porta de Santiago; d| Porta da Traição; e| Porta do Castelo f| Porta ou Postigo.



Fig. 07 Planta Medieval da Vila de Alenquer (adaptado Ferro, 1996).



Fig. 08 Casa da Torre ou Torre da Couraça, Portugal, 1890 (coleção de João H. L. Lourenço).

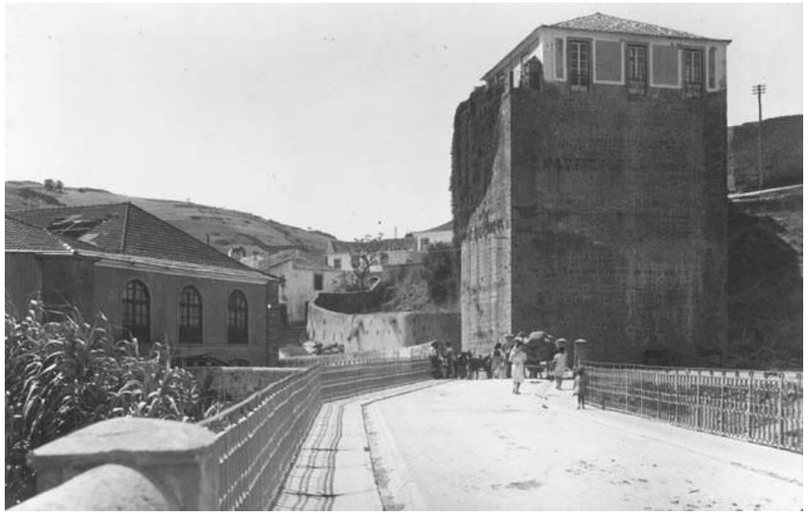


Fig. 09 Torre da Couraça, fotografia de 1941 (Rogeiro, 2002).



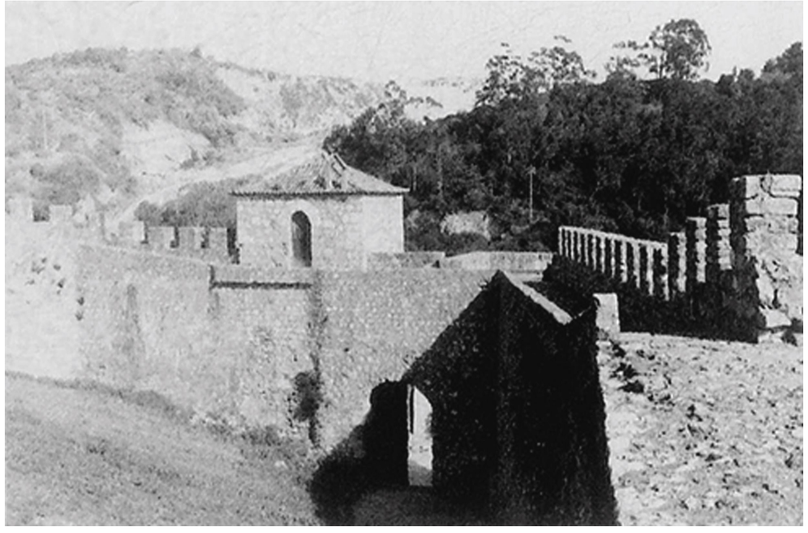


Fig. 10 Trabalhos de demolição das casas anexas à Porta da Conceição, fotografia de 1939 (Rogeiro, 2002).

Fig. 11 Porta da Conceição (Rogeiro, 2002).

3.2. Vila Alta e Baixa

Alenquer destaca-se pela sua importância enquanto centro administrativo, com a construção do notório edifício em 1887 e inaugurado em 1890. Com isso, a população passa a usufruir de serviços públicos localizados na parte Alta (Paviani, 1967, p. 62), enquanto a Baixa é ocupada por edifícios fabris, que utilizam a água para fazer movimentar as suas máquinas a vapor (Lourenço, 2009, p. 87).

Nesta fase desenvolvimento, a vila já é razoavelmente servida de água tratada (Paviani, 1967, p. 62) e de atividades comerciais, de cariz permanente, ao longo da margem esquerda, e esporádico, "mercado mensal". O sistema económico passa a centralizar-se na Avenida Eng.º Duarte Pacheco e na Rua de Triana, designada também de "rua direita", a qual faz a ligação entre os dois principais eixos de transportes rodoviários (Paviani, 1967, p. 64).



Fig. 12 Vista Parcial de Alenquer, Portugal, 1890 (coleção de João H. L. Lourenço).



Fig. 13 A alta e parte da Baixa, vista do leste (Rogeiro, 2002).



Fig. 14 Vista da Ponte do Areal, a Igreja da Várzea e a Fábrica de Papel, 188 (Lourenço, 2014).

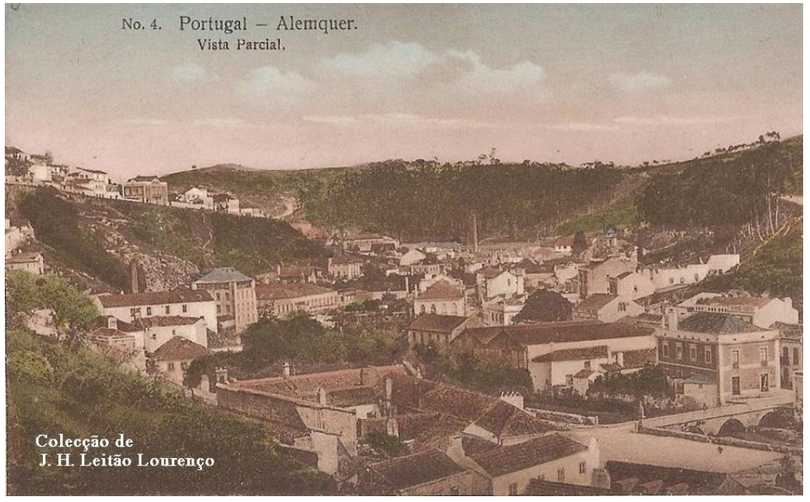


Fig. 15 Vista Parcial de Alenquer, Portugal, 1890 (coleção de João H. L. Lourenço).





Fig. 16 Vista de Alenquer (Arquivo Histórico Municipal de Alenquer, 1900).

Fig. 17 Vila Alta vista do Convento de S. Francisco (Arquivo Histórico Municipal de Alenquer, 1900).

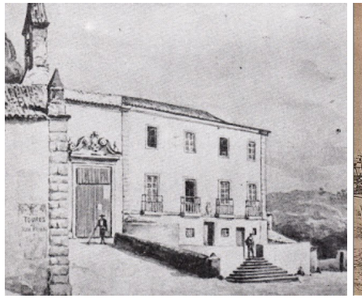




Fig. 18 Praça Medieval e Casas Velhas da Câmara, 1873 [em cima à esquerda] (Lourenço, 2012c).

Fig. 19 Edifício dos Paços de Concelho datado de 1890, num postal do início do século XX [em cima à direita] (Grupo Municipal do Partido Socialista (PS), 2017).





Fig. 20 Panorâmica sobre a Câmara Municipal de Alenquer [em baixo à esquerda] (Rogeiro, 2002).

Fig. 21 Aspeto atual da Câmara Municipal de Alenquer [em baixo à direita] (Rogeiro, 2002).





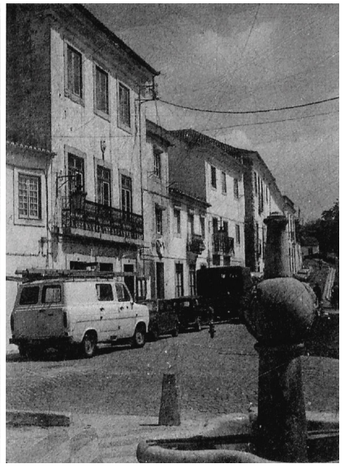


Fig. 22 Rua Direita da Praça com edifícios dos CTT à direita e parte dos Paços do Concelho ao fundo [em cima] (Rogeiro, 2002).

Fig. 23 Rua Direita da Praça com parte da Igreja da Misericórdia à direita [em baixo à esquerda] (Rogeiro, 2002).

Fig. 24 Antiga Rua Direita [em baixo à direita] (Rogeiro, 2002).





Fig. 25 Largo do Espírito Santo, 1941 [esquerda] (Rogeiro, 2002).

Fig. 26 Largo do Espírito Santo, 2002 [direita] (Rogeiro, 2002).





Fig. 27 Bairro de Triana visto da Rua Pêro de Alenquer, 1941 (Rogeiro, 2002).

Fig. 28 Bairro de Triana visto da Rua Pêro de Alenquer, 2002 (Rogeiro, 2002).

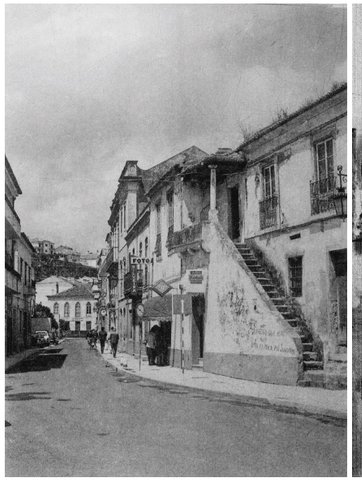
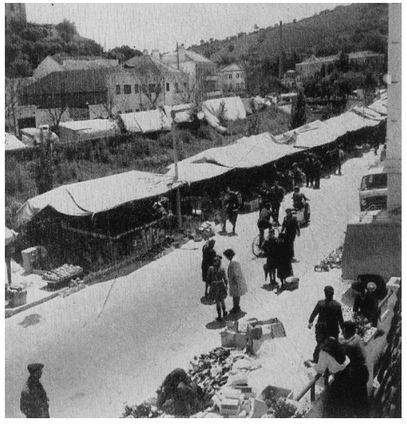




Fig. 29 Rua de Triana [à esquerda] (Rogeiro, 2002).

Fig. 30 Rua de Triana três dias após as cheias de Novembro de 1967 [à direita] (Rogeiro, 2002).



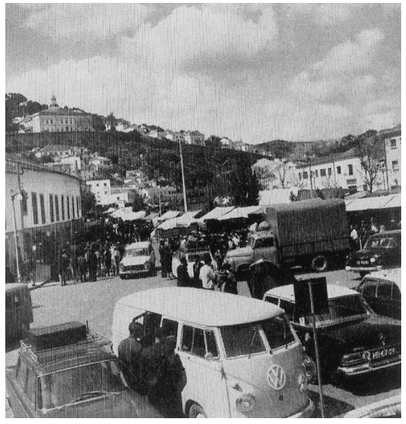


Fig. 31 Barracas do mercado mensal ocupando ambas as margens da ribeira [à esquerda] (Rogeiro, 2002).

Fig. 32 Parte do mercado mensal [à direita] (Rogeiro, 2002).

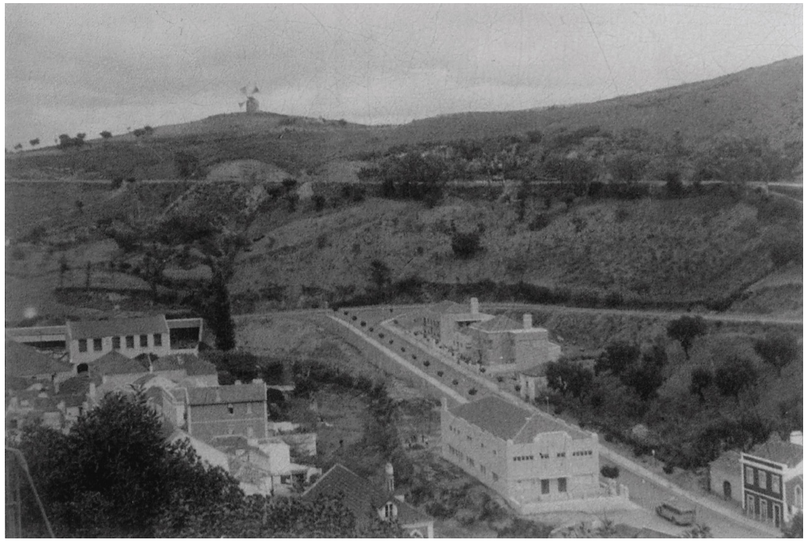




Fig. 33 Bairro do Areal, Avenida Jaime Augusto Ferreira vistos da Rua Pêro de Alenquer e Estrada Nacional, 1939 (Rogeiro, 2002).

Fig. 34 Bairro do Areal, Avenida Jaime Augusto Ferreira vistos da Rua Pêro de Alenquer e Estrada Nacional, 2002 (Rogeiro, 2002).

3.3. Indústria Fabril

Com o surgimento da indústria, fruto da industrialização europeia de meados do século XVIII, Alenquer passou a ter a maior economia de grande importância para a vila (Paviani, 1967, p. 56).

O estabelecimento de moinhos e azenhas ao longo dos anos permitiu que a navegabilidade do rio se perde, deixando assim de fora a importante ligação fluvial ao Tejo, que beneficiava do escoamento de mercadoria agrícola e industrial (Lourenço, 2009, p. 16). A juntar a isso, está a construção de vários açudes que contribuíram para a alteração progressiva do leito do rio, e consequentemente, para as violentas cheias que assolam a vila (Lourenço, 2009, p. 17).

Em finais do século XIX, encontravam-se em pleno funcionamento "quatro importantes fábricas" com cerca de mil operários (Lourenço, 2009, p. 19): uma de papel implantada em 1805 e três de tecido, em 1838, 1872 e 1889 (Paviani, 1967, p. 57). Afirma-se assim uma nova realidade para o comércio local, a nível concelhio, distinguindo a Vila Alta, com o poderio senhorial e administrativo, e a Vila Baixa, com poder comercial e fabril (Lourenço, 2009, p. 19).

Até 1801, existia uma Fábrica de Chitas, também designada de Estamparia de Guilherme de Roure & Companhia, localizada no mesmo local, onde há poucos anos funcionava uma fábrica de cartão e papel, chamada de Fábrica de Cartão e Papel de Ota (Rogeiro, 2005, p. 33).

Fundada em 1802, a Fábrica de Papel obrigou à expropriação de "moinhos ou azenhas, casas, quintais, hortas e pomares" para a sua construção em 1803. Após um período contornado, a fábrica acabaria por encerrar definitivamente "a escassa meia dúzia de anos" de 1994, sendo com esta que Alenquer volta a adquirir "o estatuto de produtora de papel que detivera em grande parte do século XIX" (cit. Rogeiro, 2005, p. 33 e 34).

Em 1838, no sítio onde outrora existia uma azenha antiga surge a Fábrica de Lafaurie ou do Meio, que esteve a funcionar até 1920. Após o seu encerramento os diversos edifícios foram vendidos, demolidos ou adaptados, sendo que as obras de retificação das margens do rio em 1947 levariam à construção da nova avenida e ao desaparecimento quase na íntegra da fábrica (Rogeiro, 2005, p. 34 e 35).

Edificada em finais de 1870, a Fábrica Nova da Romeira, que também substituiu uma antiga azenha, labora desde finais de 1872, com motores hidráulicos e de vapor, até à década de 1960, data do seu encerramento. O edifício principal pertence à Câmara Municipal, espaço este que alberga atividades culturais desde há alguns anos até então (Rogeiro, 2005, p. 35).

Construída em 1889 e inaugurada em 1890, a Fábrica da Chemina é fundada por uma sociedade de irmãos e projetada por José Juvêncio da Silva, também autor do edifício dos Paços do Concelho. Após alguns anos de fechar e mudar de proprietário, a fábrica volta a mudar de dono e a produzir lanifícios novamente até 1994, data do encerramento definitivo. Em 2000, o edifício sofre um violento incêndio, passando a propriedade para a Câmara até aos dias de hoje (Rogeiro, 2005, p. 35 e 36).







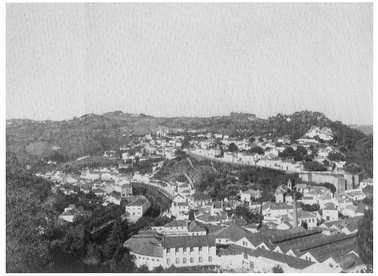


Fig. 35 Vista da Fábrica da Moagem e Torre da Couraça de Alenquer, Portugal, 1890 [em cima, esquerda] (coleção de João H. L. Lourenço).

Fig. 36 Fábrica do Papel vista da estrada Lisboa-Porto, 1939 [em cima, direita] (Rogeiro, 2002).

Fig. 37 Panorâmica de Alenquer, Fábrica da Moagem e do Papel em primeiro plano [em baixo, esquerda] (Rogeiro, 2002).

Fig. 38 Baixa antiga em primeiro plano, fábrica da moagem e do papel no canto inferior direito [em baixo, direita] (Rogeiro, 2002).







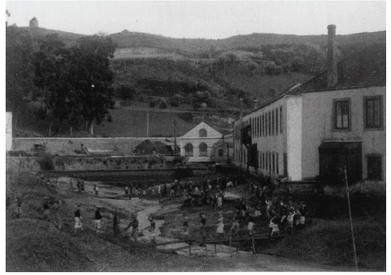
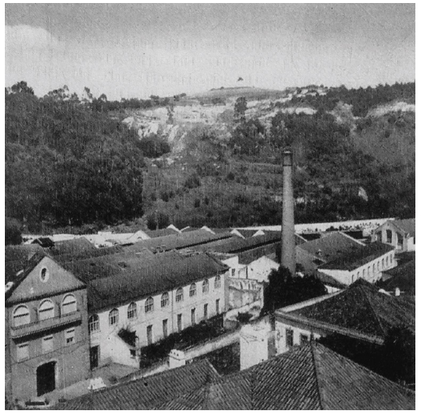


Fig. 39 Ponte das Águas e Parte da Fábrica da Moagem de Alenquer, Portugal, 1890 [em cima à esquerda] (coleção de João H. L. Lourenço).

Fig. 40 Açude das Águas, 1939 [em cima à direita] (Rogeiro, 2002).

Fig. 41 Açude das Águas visto das proximidades da Ponte das Águas, 1939 [em baixo à esquerda] (Rogeiro, 2002).

Fig. 42 Limpeza do rio no sítio do Açude das Águas, 1941 [em baixo à direita] (Rogeiro, 2002).



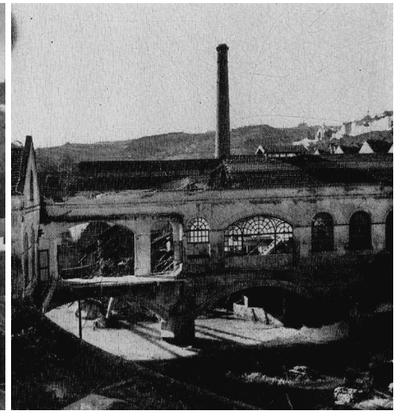


Fig. 43 Parte das indústrias da Moagem e do Papel [à esquerda] (Rogeiro, 2002).

Fig. 44 Pavilhão da Fábrica de Papel destruído pelo impacto da enxurrada, 1969 [à direita] (Rogeiro, 2002).

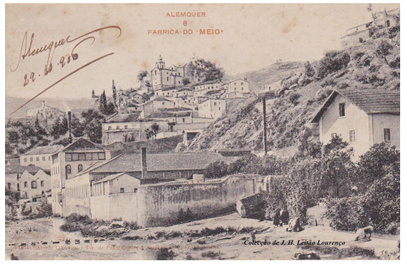
Fig. 45 Paços do Concelho em construção na Vila Alta e a Fábrica de Lafaurie ou do Meio na Vila Baixa [em cima à esquerda] (Rogeiro, 2002).

Fig. 46 Fábrica do Meio a fazer frente ao rio, num postal de 1980 (Grupo Municipal do Partido Socialista [em cima à direita] (PS), no date).

Fig. 47 Vila Baixa com a Fábrica do Meio e Vila Alta vistas da estrada Lisboa-Porto, 1941 [em baixo à esquerda] (Rogeiro, 2002).

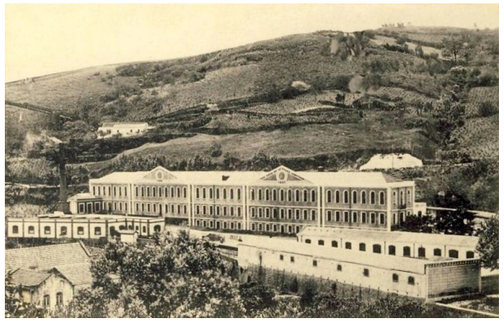
Fig. 48 Fábrica do Meio, Rio e Encosta vistos do final da Rua de Triana até ao Convento de São Francisco (1941) [em baixo à direita] (Rogeiro, 2002).

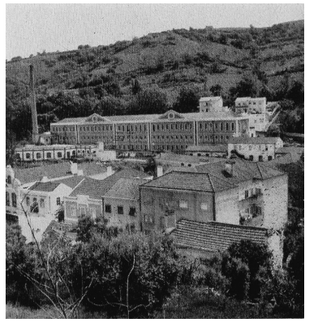












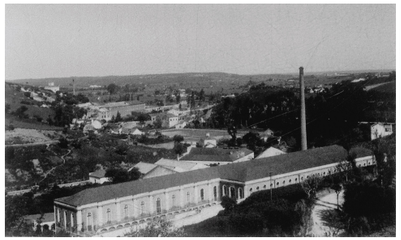




Fig. 49 Fábrica de Lanifícios da Chemina [em cima à esquerda] (Leite, 2012).

Fig. 50 Fábrica da Chemina ou de Lanifícios Tejo Lda. e edifício de apartamentos encaixados no vale [em cima à direita] (Rogeiro, 2002).

Fig. 51 Fábrica da Chemina e ao fundo a Fábrica da Romeira e Bairro de Santa Catarina, vistos da encosta sobre a Variante, 1939 [em baixo à esquerda] (Rogeiro, 2002).

Fig. 52 Fábrica da Chemina e no canto superior esquerdo a Fábrica da Romeira vistos da encosta sobre a Variante, 2002 [em baixo à direita] (Rogeiro, 2002).

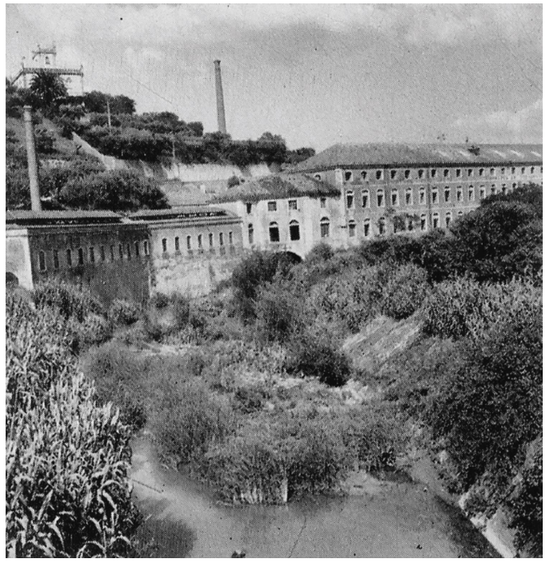


Fig. 53 A ribeira e parte da antiga Fábrica da Romeira (Rogeiro, 2002).

3.4. Rio de Alenquer

O Rio de Alenquer é uma via fluvial importante para a Vila, pois permite a comunicação desta com o Rio Tejo, e este com Santarém e Lisboa (Beatriz, 2014, p. 17). Esta proximidade, bem como o relevo (Paviani, 1967, p. 34), contribui para a fixação e desenvolvimento da população e serve como "uma linha de defesa natural que circundava quase na totalidade a vila de Alenquer" (cit. Beatriz, 2014, p. 17).

Em época de chuvas onde a pluviosidade é mais intensa, o caudal do rio tende a subir e a provocar enormes estragos na parte Baixa. Em contrapartida, nos Verões esse caudal tende a ser muito reduzido (Costa, 2010, p. 16). A subida do curso de água acontece sazonalmente, com registos desde há dois séculos até então (1876, 1909, 1945, 1967, 1983), sendo a cheia de Novembro de 1967 que melhor se encontra documentada (Bateira, 1991, p. 121)

Para contornar este problema, em 1946, o Ministério das Obras Públicas dá início a obras de melhoramento no rio de Alenquer por forma a reduzir as cheias sazonais que a vila tinha sido alvo. A par disso é elaborado um plano de urbanização, concluído em 1955, para reestruturar a zona da baixa, com duas novas avenidas e quarteirões, facilitando a passagem do trânsito e o crescimento da vila (Alenquer História, 2011).



Fig. 54 Troço do Rio de Alenquer, antes [à esquerda] e depois [à direita] do plano de urbanização de 1947 (adaptado Paviani, 1967, p. 38 e 39).

3.5. Pontes e Travessas

Até meados do século XVIII, Alenquer não tinha qualquer tipo de meio de atravessamento do rio, tendo por isso a Rainha Santa Isabel mandado colocar "cinco pedras" em 1305, de modo a ir ver o decorrer das obras da Igreja de Triana (Paviani, 1967, p. 36; Rogeiro, 2005, p. 31).

A montante das passadeiras foram construídas as Pontes de Pancas ou do Barnabé e da Couraça ou do Areal, respetivamente de montante para jusante (Rogeiro, 2005, p. 30 e 31). Uma destas pontes acabaria por ceder e agravar os estragos das cheias de 1967, agravadas também pela dificuldade de escoamento da água por um dos pavilhões da Fábrica de Papel, construído sobre a ribeira, o qual parte deste acabaria por ruir (Bateira, 1991, p. 121).

Mais três pontes foram construídas, a Ponte de Triana ou do Areal, de construção posterior ao reinado D. Dinis; a Ponte do Espírito Santo, mandada construir em 1571 pela Câmara de Alenquer, que acabaria por ficar à entrada do Parque Vaz Monteiro após várias alterações de sítio; e, por fim, a Ponte de Santa Catarina, edificada para substituir a Ponte Nova demolida em 1885 (Rogeiro, 2005, p. 31).





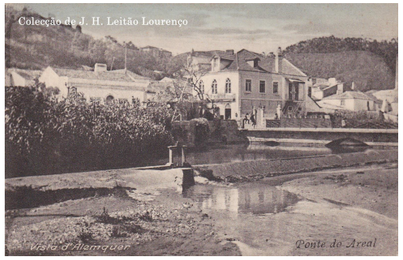


Fig. 55 Passadeiras da Rainha Santa Isabel, colocadas em 1305, postal de 1913 [em cima à esquerda] (Lourenço, 2012b).

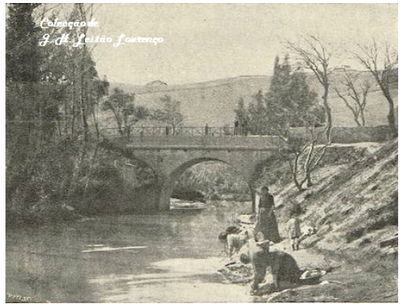
Fig. 56 Ponte das Águas [em baixo à esquerda] (Lourenço, 2016).

Fig. 57 Açude ao lado da Ponte do Areal [em baixo à direita] (Grupo Municipal do Partido Socialista (PS), no date)

Fig. 58 Limpeza do rio abaixo da Ponte do Espírito Santo, construída em 1571, 1935 [esquerda] (Rogeiro, 2002).

Fig. 59 Ponte de Santa Catarina [direita] (Lourenço, 2015).





3.6. Rede Viária e Demografia

Os vestígios romanos permitem perceber a existência de importantes vias de comunicação em Alenquer, que ligam Lisboa a Braga (a via XIV, Olisipo-Bracara), Lisboa a Mérida (as vias XIV e XV, Olisipo-Emerita) e, a nível concelhio, tem-se o que liga Torres Vedras a Alenquer e um outro que vai de Vila Franca de Xira a Alenquer, permitindo a movimentação de pessoas e bens (Costa, 2010, p. 74, 76 e 77; Beatriz, 2014, p. 20). Estes itinerários são utilizados ao longo da época medieval e continuam a desenvolver-se conforme as especificidades humanas e geográficas, de forma auto-organizada, por vezes planificada (Costa, 2010, p. 77).

A evolução da rede viária alenquerense e suas múltiplas ramificações deve-se sobretudo às atividades económicas e ao fluxo de pessoas, as quais tendem a concentrar-se junto a áreas industriais e de serviços, ou seja, em Alenquer e no Carregado (Maia, 2008, p. 25; Costa, 2010, p. 76 e 77).

Ao longo do tempo, a população no concelho de Alenquer evolui de modo contínuo e moderado, até à data de 1960. Durante a década de 60 há um recuo da evolução, resultado da emigração para a Europa e ex-colónias, verificando-se na década seguinte o retomar do crescimento. Entre 1981 e 1991, observa-se de novo um decréscimo, devido à "diminuição da taxa de natalidade", e, a partir dos anos 90 até às estimativas de 2005, volta-se a ter um crescimento, causado pelo fluxo imigratório de pessoas no concelho (Maia, 2008, p. 36 e 37).

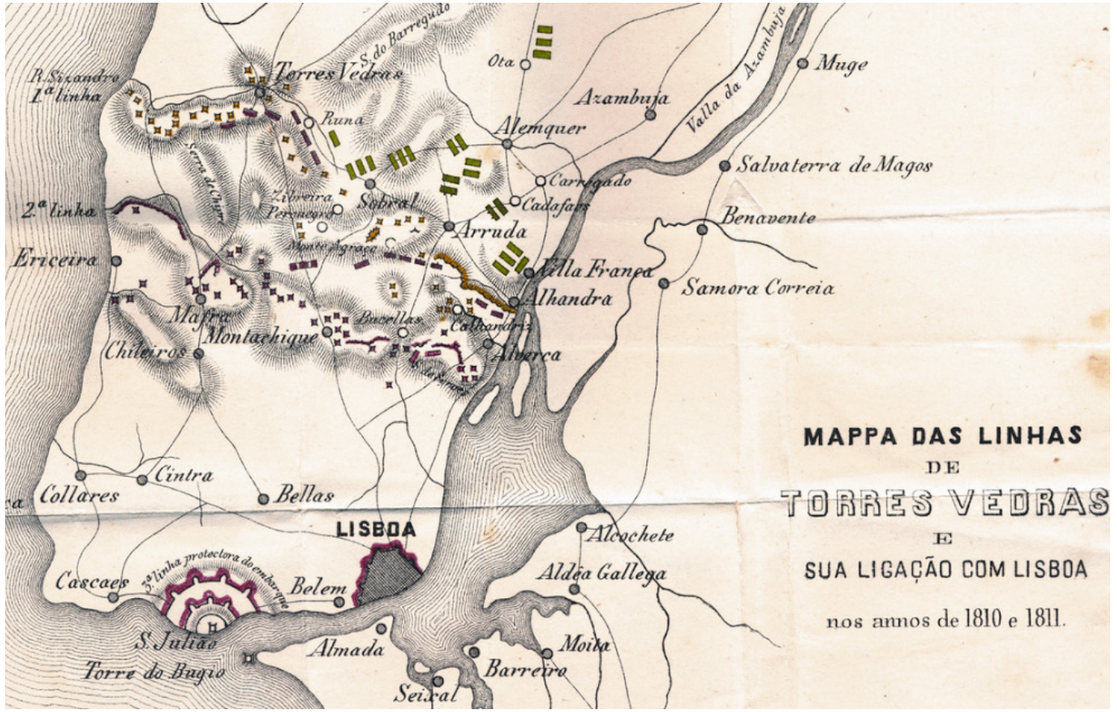


Fig. 60 Mapa das Linhas de Torres Vedras e sua ligação com Lisboa, nos anos de 1810 e 1811 [p. 43] (Câmara Municipal de Torres Vedras, 2008).

4. Análise Territorial



Fig. 61 Mapa hipsométrico.

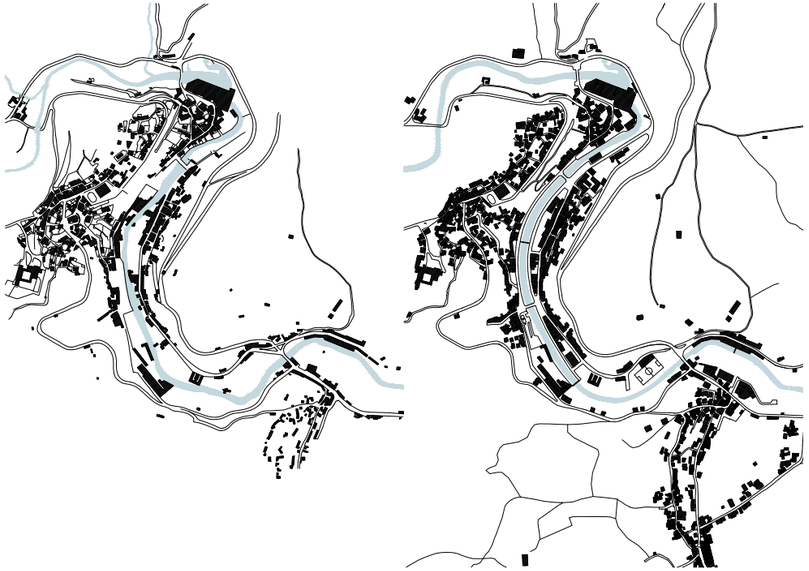


Fig. 62 Mapas da evolução urbana da vila de Alenquer de 1927 [à esquerda], 1965 [à direita].

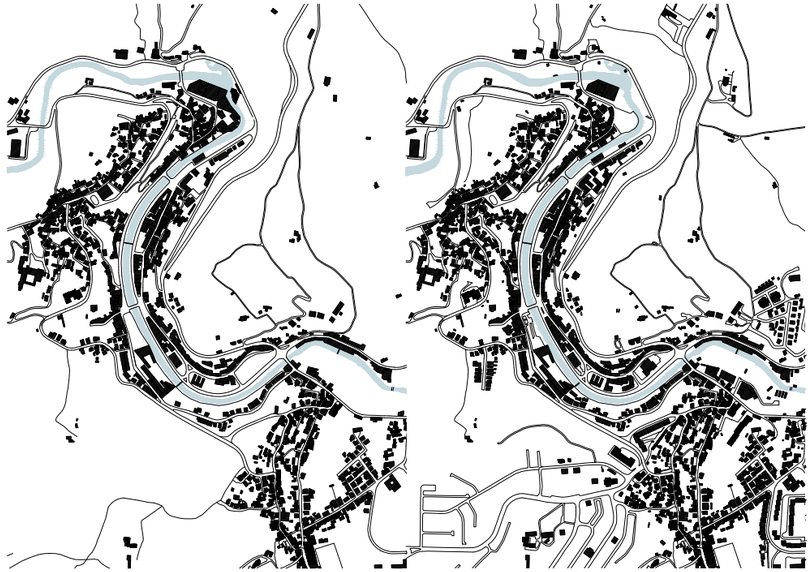


Fig. 63 Mapas da evolução urbana da vila de Alenquer de 1992 [à esquerda] e 2016 [à direita].



Fig. 64 Mapas de cheios e vazios.



Fig. 65 Mapa de equipamentos.

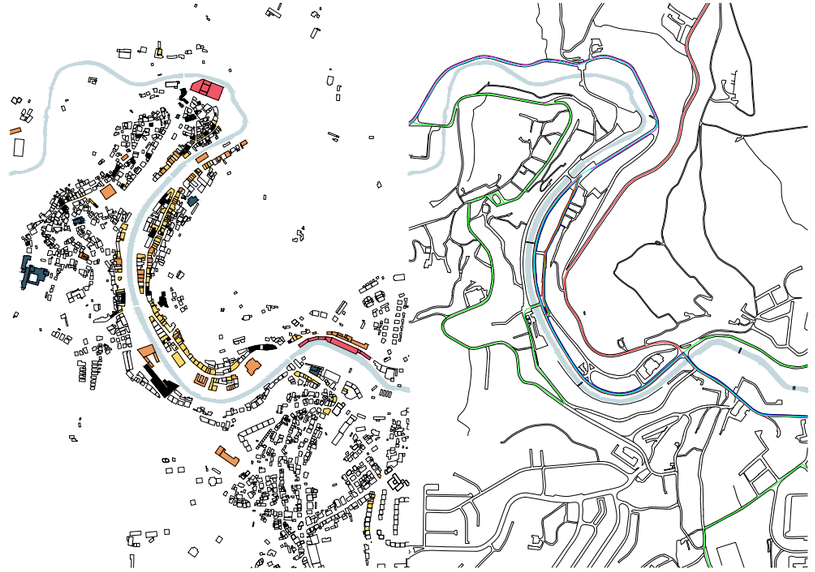


Fig. 66 Mapa de cinco linhas da rede viária.



Edificado
Vias
Rio
Alta densidade arbórea
Média densidade arbórea
Baixa densidade arbórea
Construído
Não construído
Área agrícola
Areal
Parque de estacionamento

0 25 100m

Fig. 67 Mapa de áreas verdes.

1 Requalificação e dinamização da Mata do Areal e Parque das Tílias
2 Requalificação urbana e ambiental da frente ribeirinha do rio Alenquer
3 Promoção de percursos pedonais e turísticos na Zona Histórica
4 Reabilitação do espaço público envolvente à Alcáçova: Castelo de Alenquer (II)
5 Adequação do interface de transportes públicos de Alenquer
6 Reabilitação do edificado do Bairro Angra do Heroísmo
7 Reabilitação e refuncionalização da Antiga Escola Conde Ferreira
8 Reabilitação e refuncionalização do Convento de Nossa Sra da Conceição
9 Reabilitação do Auditório Damião de Góis
10 Reabilitação urbana do Largo Palmira Bastos
11 Reabilitação e reconversão do edifício da Antiga Fábrica da Chemina e requalificação do espaço público envolvente
12 Reabilitação e revitalização económica do Mercado Municipal de Alenquer e requalificação urbana da envolvente
13 Reabilitação dos claustros do Convento de Santa Catarina
14 Reabilitação do espaço público da envolvente à Vila Operária da Antiga Romeira

0 25 100m

Fig. 68 Ação de Regeneração Urbana de Alenquer (ARU).

5. Estratégia de Intervenção

5.1. Memória Descritiva

A estratégia de intervenção proposta para este trabalho parte da análise realizada sobre a zona norte da vila de Alenquer, visando a criação de um percurso pedonal que liga a parte Baixa e a Alta da vila. Este percurso integra o largo da Câmara Municipal, o parque das Tílias (parque das merendas), o bairro da Judiaria (local histórico), o bairro do Areal (próximo da antiga fábrica da moagem e do papel) e a proposta do Interface Rodoviário.

Com o estudo realizado sobre o território, o Interface Rodoviário será importante para a mobilidade da população, quer para norte, quer para sul, com acesso à linha ferroviária. Os pressupostos para a proposta passam por ter uma arquitetura pouco invasiva a nível do território e económico, mantendo as características do existente, sobretudo a estrada nacional 9 e a mata. O edifício é pensado como ponte de ligação entre o terminal de autocarro e o areal, que acondiciona a feira mensal, a praça de touros em dias festivos e o estacionamento diário. Segregada à ideia está o alargamento do rio para evitar futuras cheias e uma passagem que liga à avenida Jaime Ferreira, para uma maior aproximação aos serviços da vila de Alenquer.

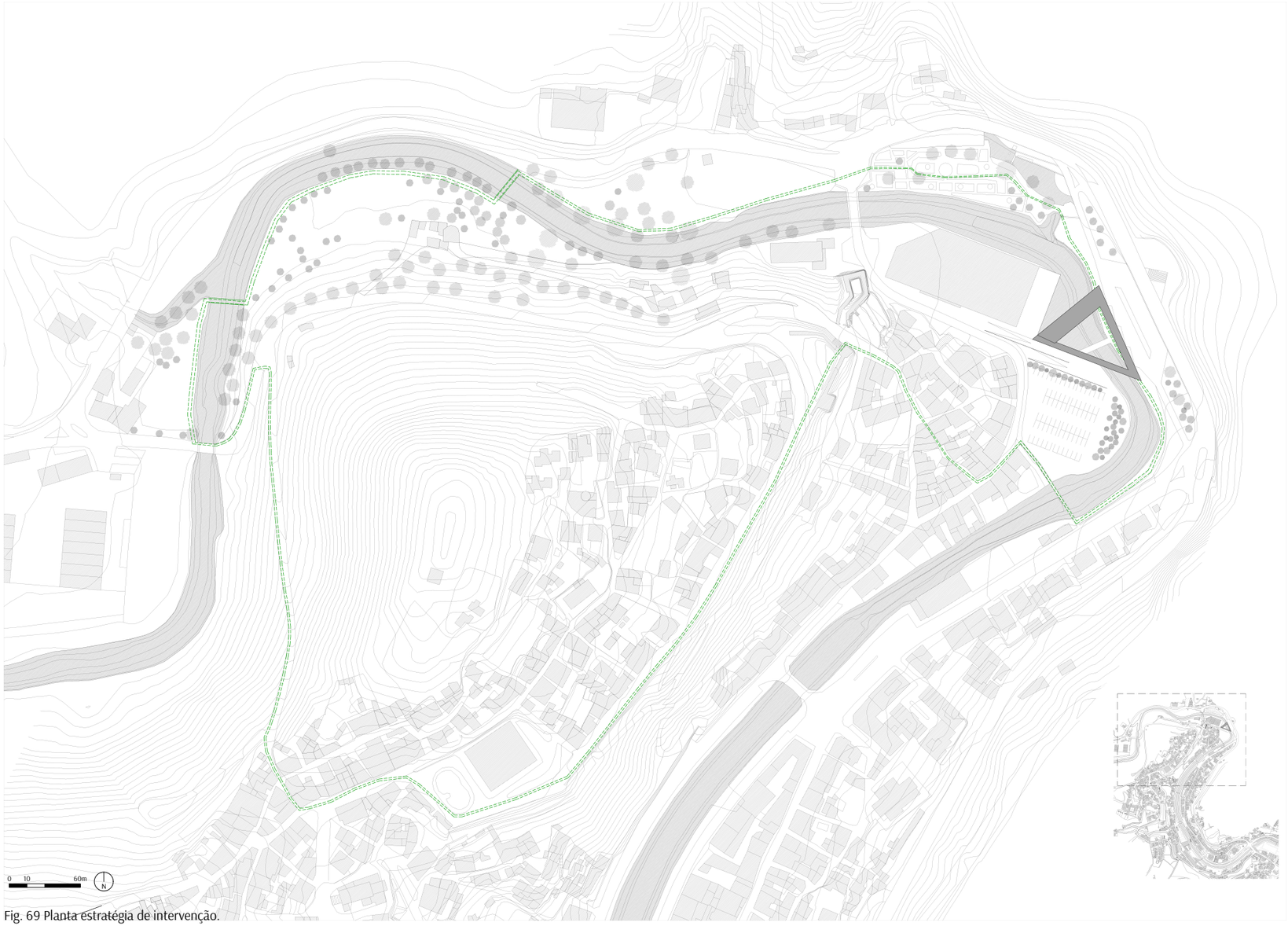


Fig. 69 Planta estratégia de intervenção.

6. Proposta Interface Rodoviário

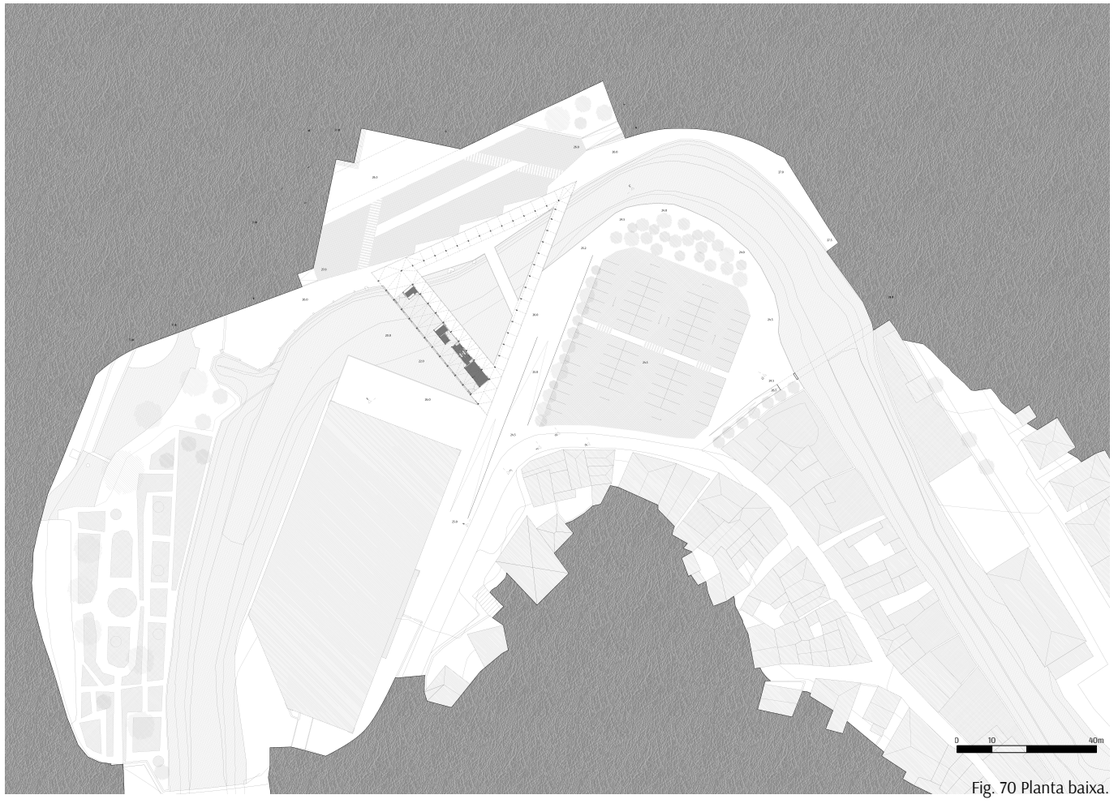


Fig. 70 Planta baixa.

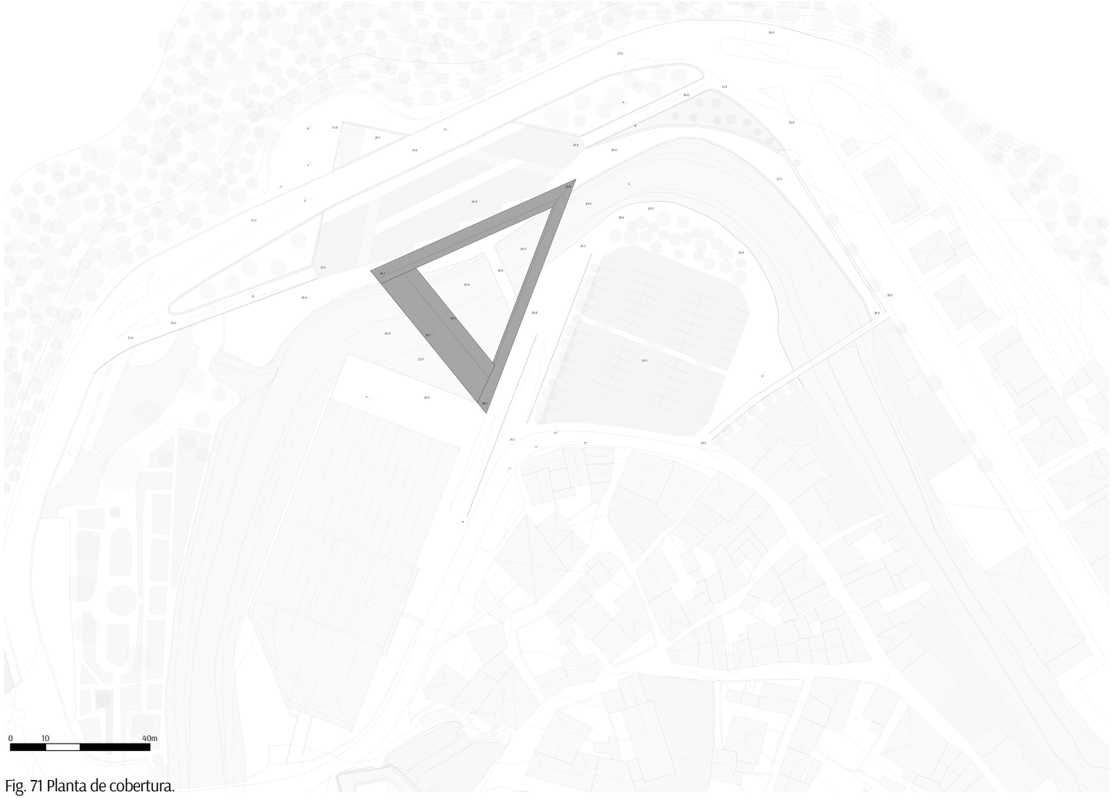


Fig. 71 Planta de cobertura.

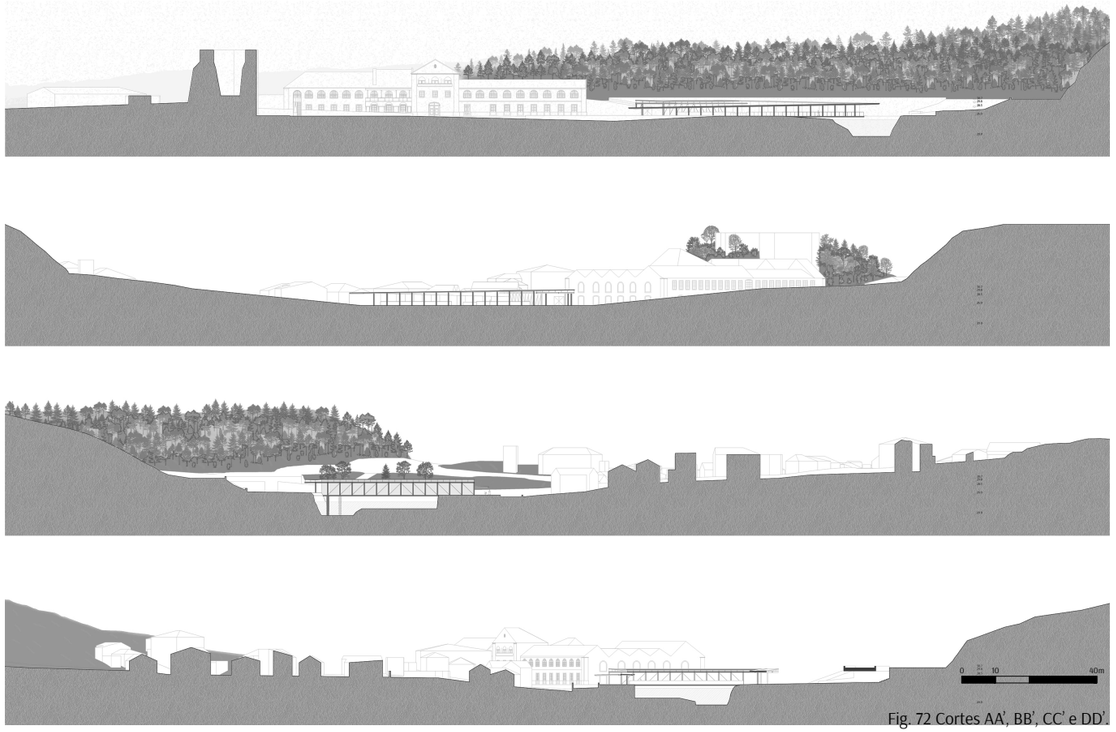


Fig. 72 Cortes AA', BB', CC' e DD'.

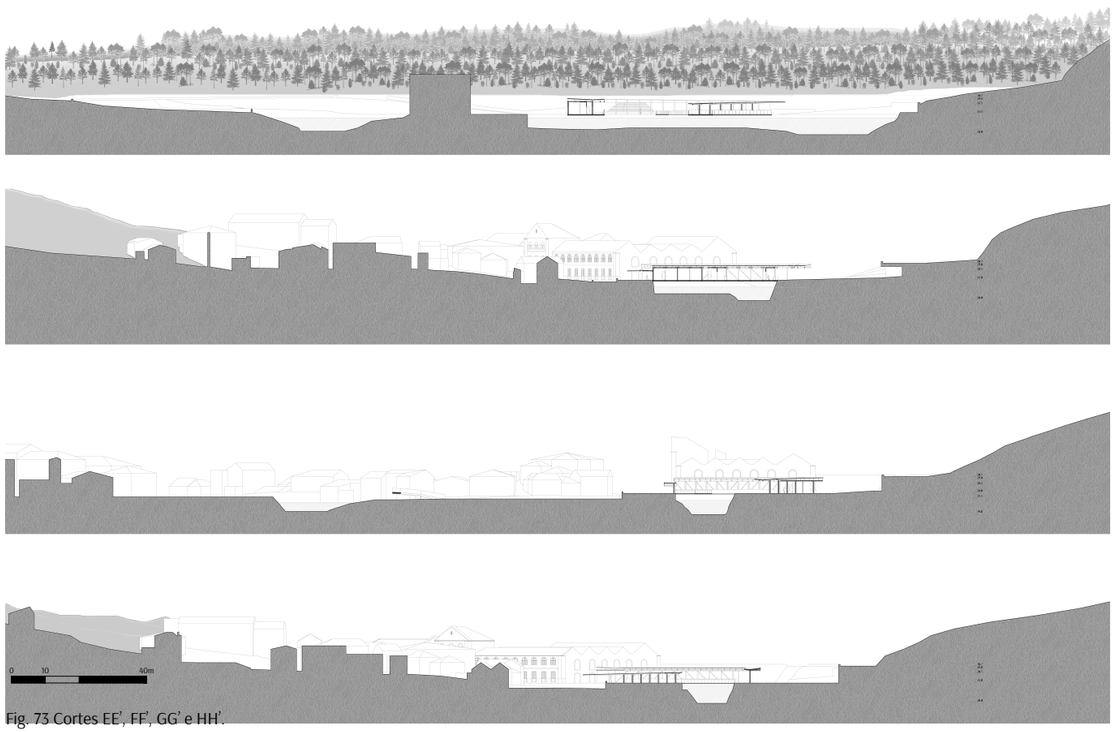


Fig. 73 Cortes EE', FF', GG' e HH'.

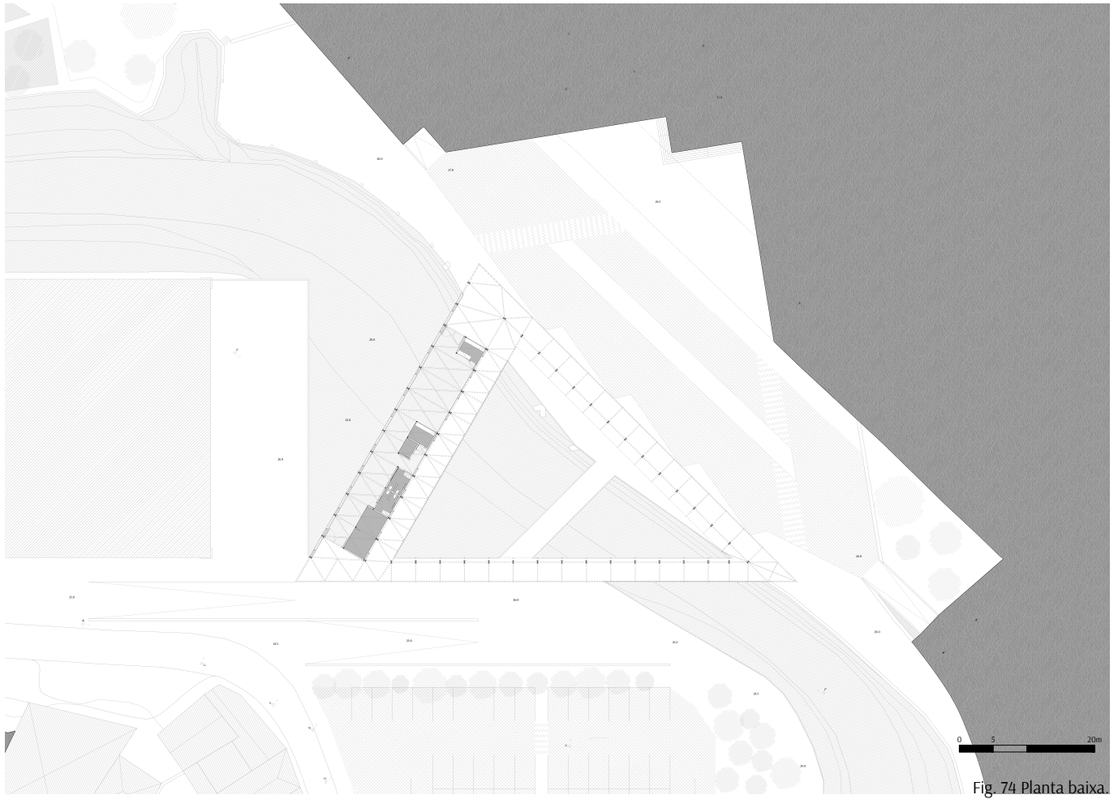


Fig. 74 Planta baixa.

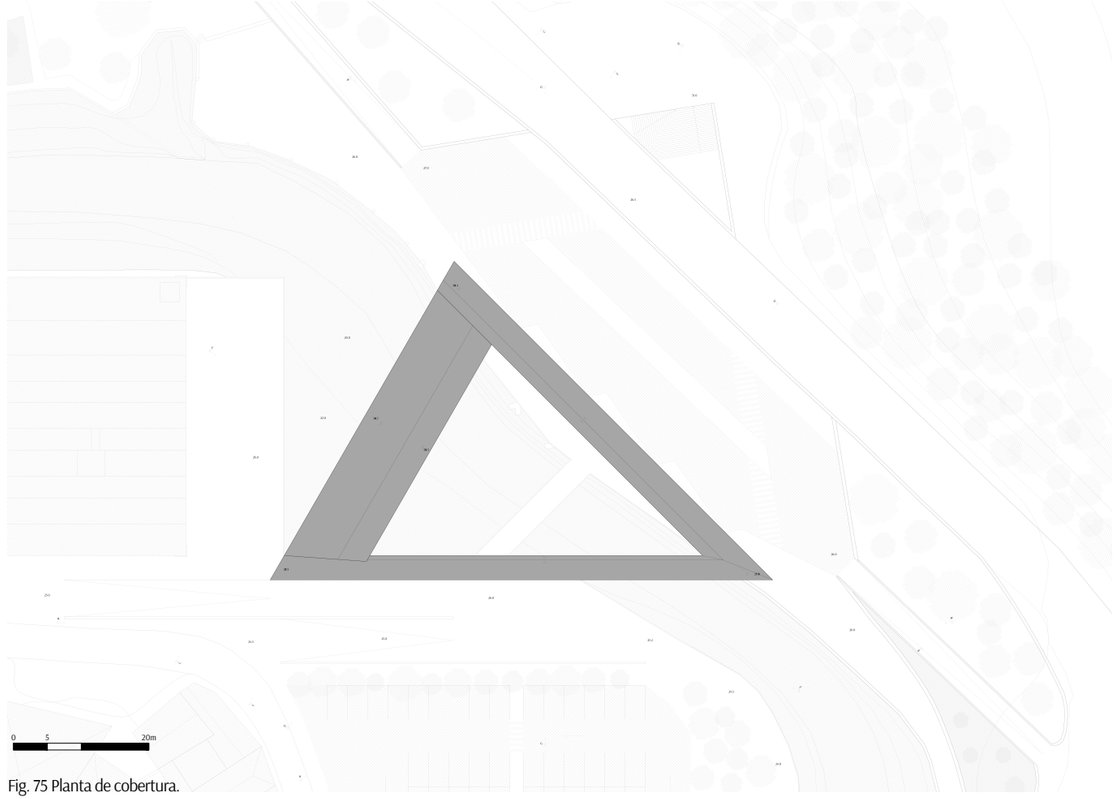


Fig. 75 Planta de cobertura.

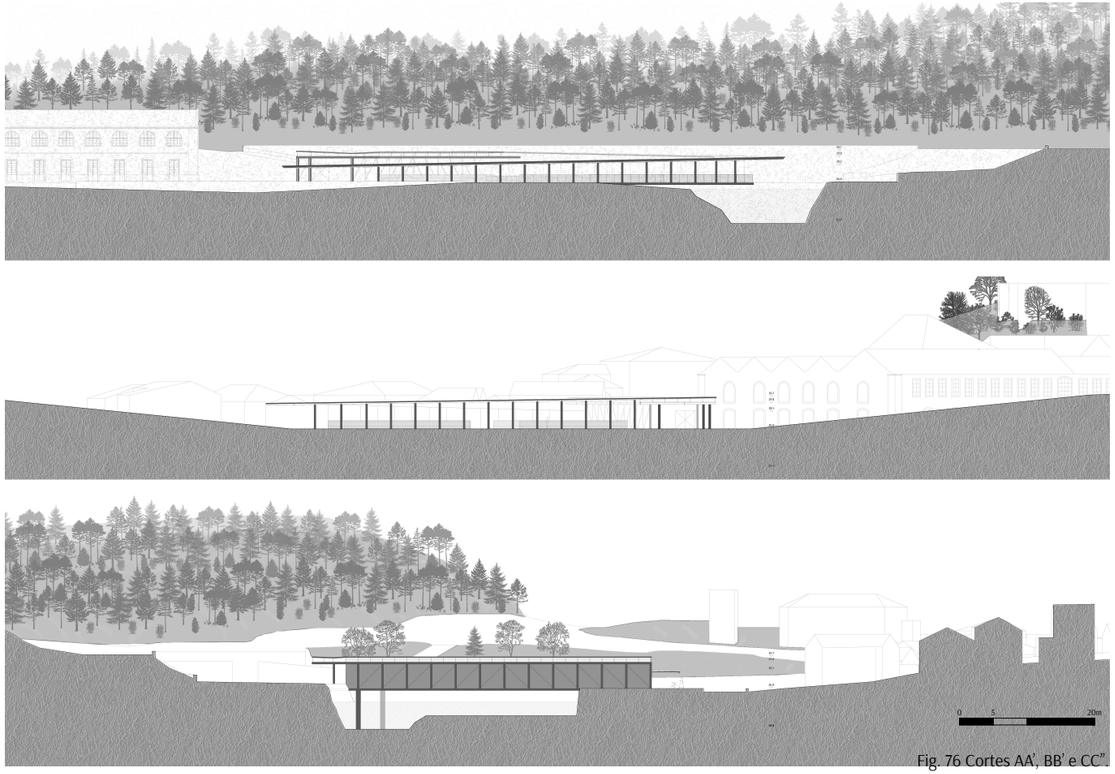


Fig. 76 Cortes AA', BB' e CC".

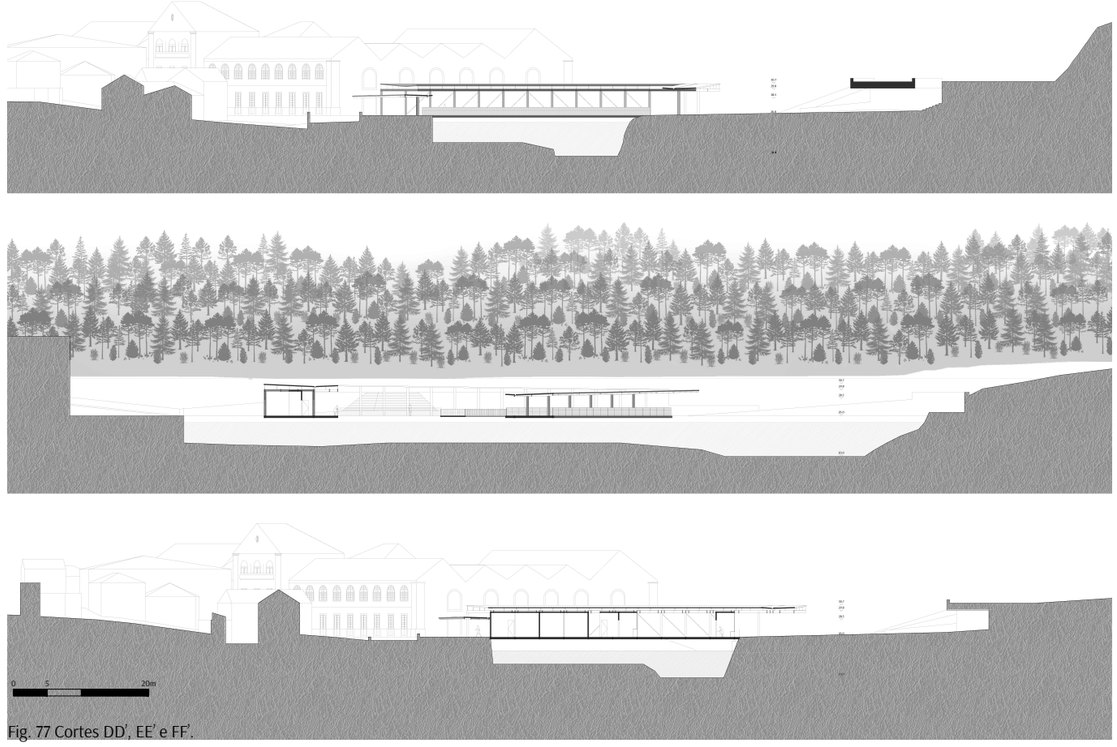


Fig. 77 Cortes DD', EE' e FF'.

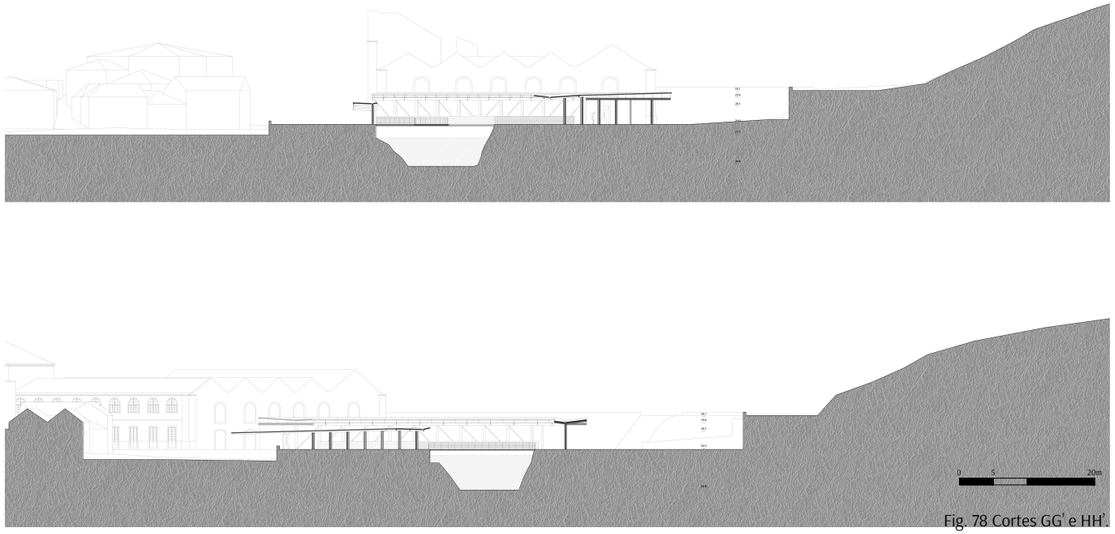


Fig. 78 Cortes GG' e HH'.

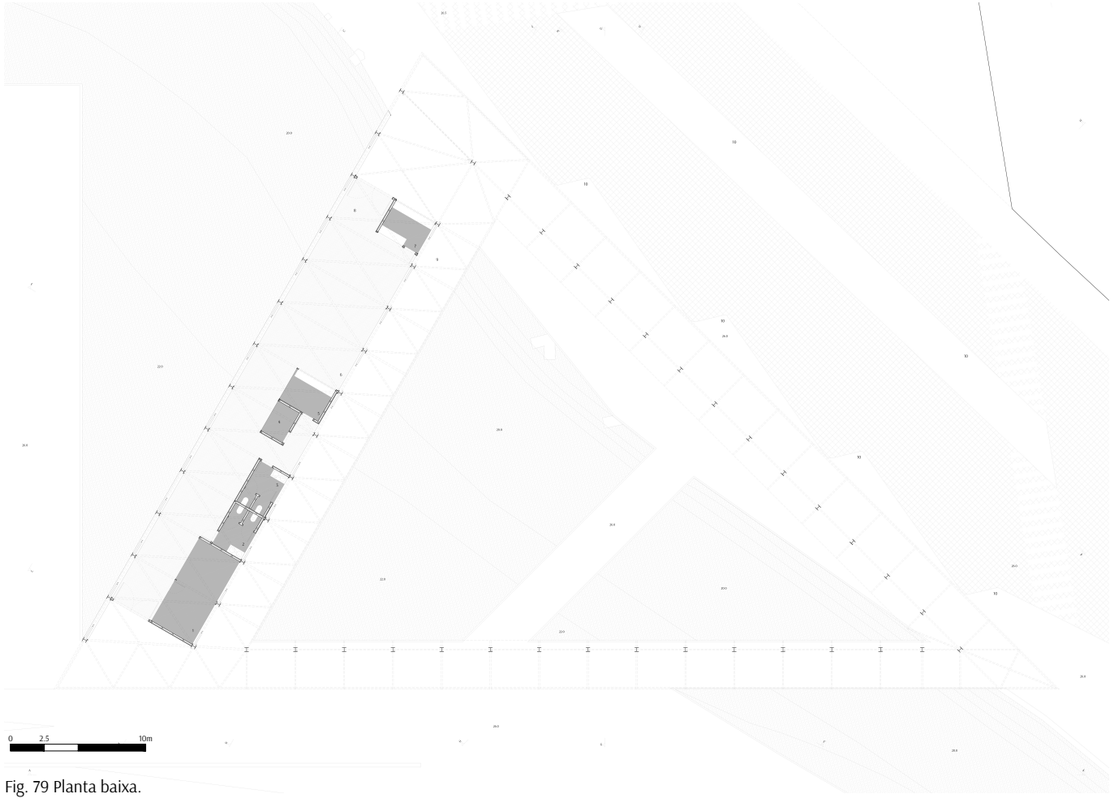


Fig. 79 Planta baixa.

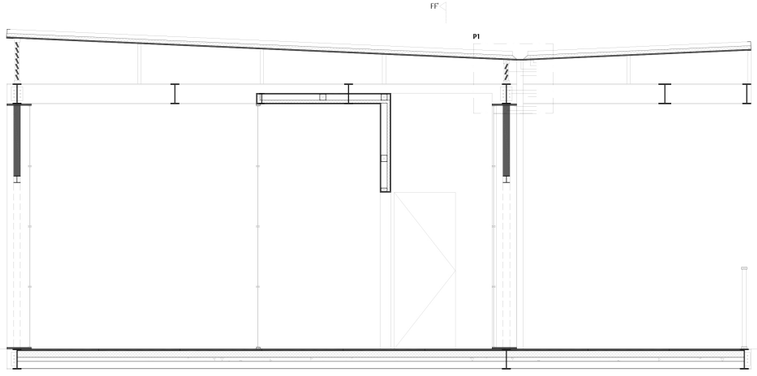


Fig. 80 Corte transversal.

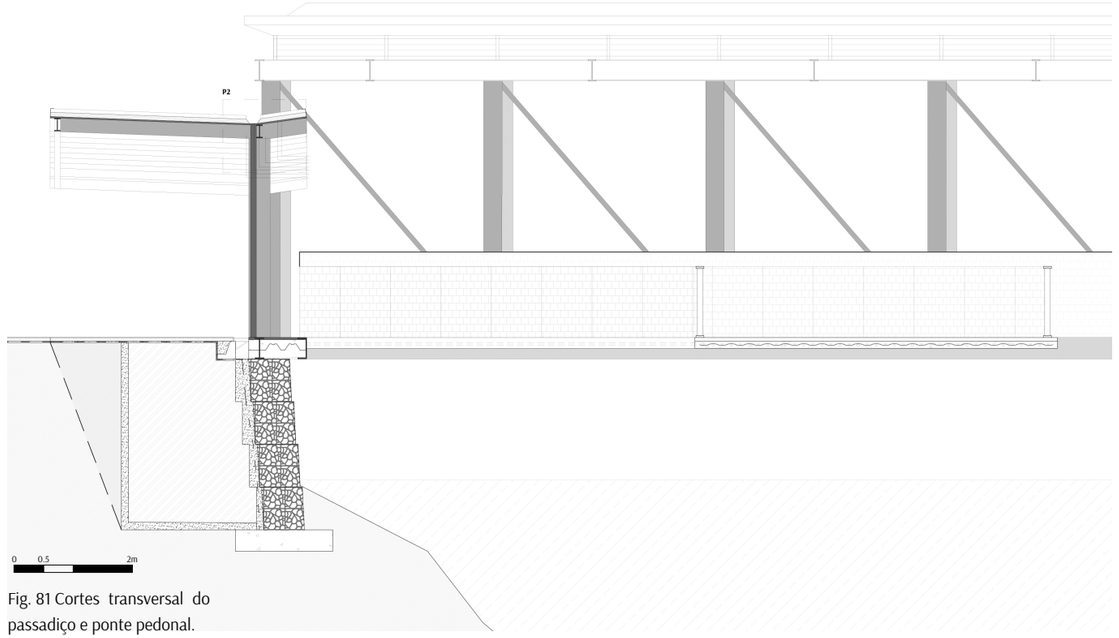


Fig. 81 Cortes transversal do passadiço e ponte pedonal.

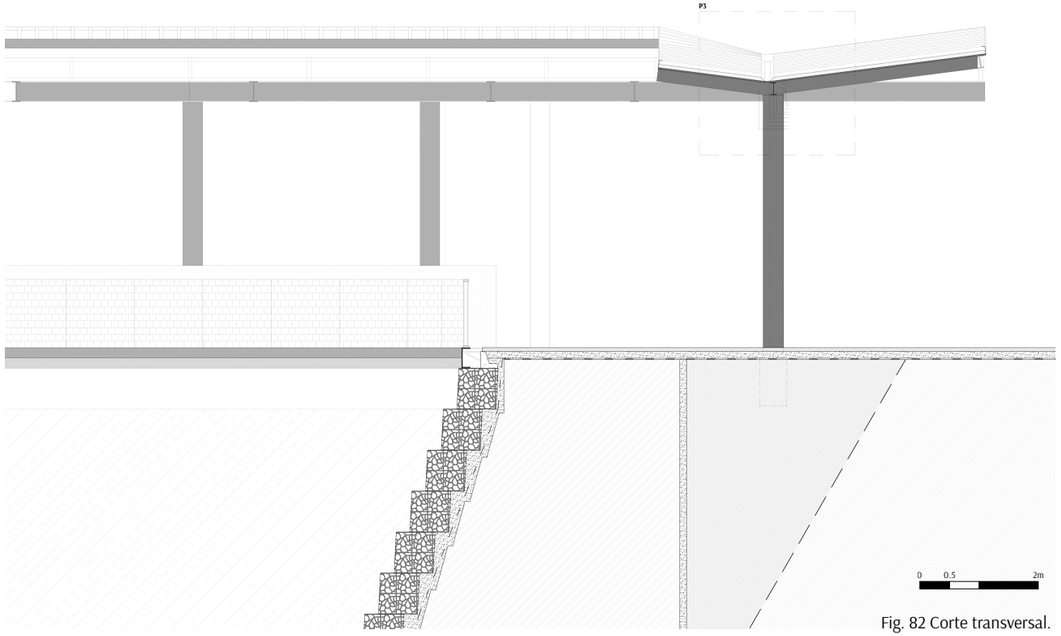


Fig. 82 Corte transversal.

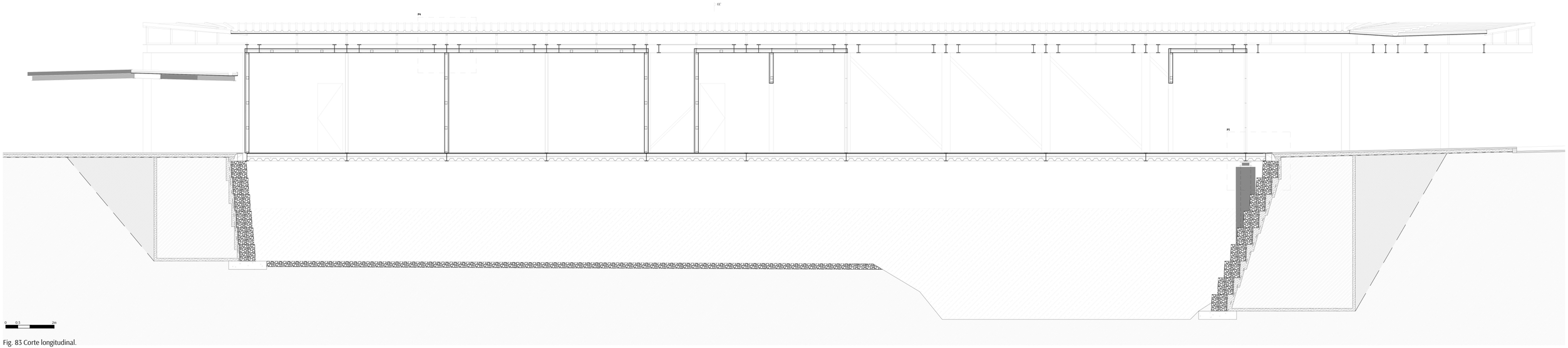


Fig. 83 Corte longitudinal.

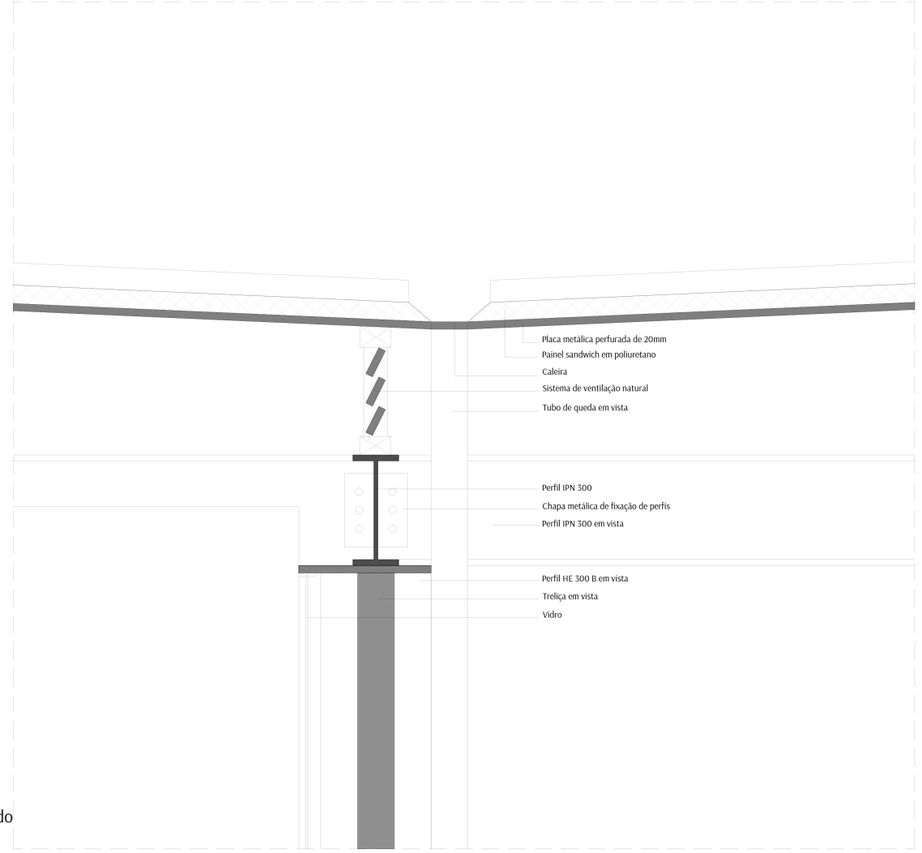


Fig. 84 P1 Cobertura do edifício.

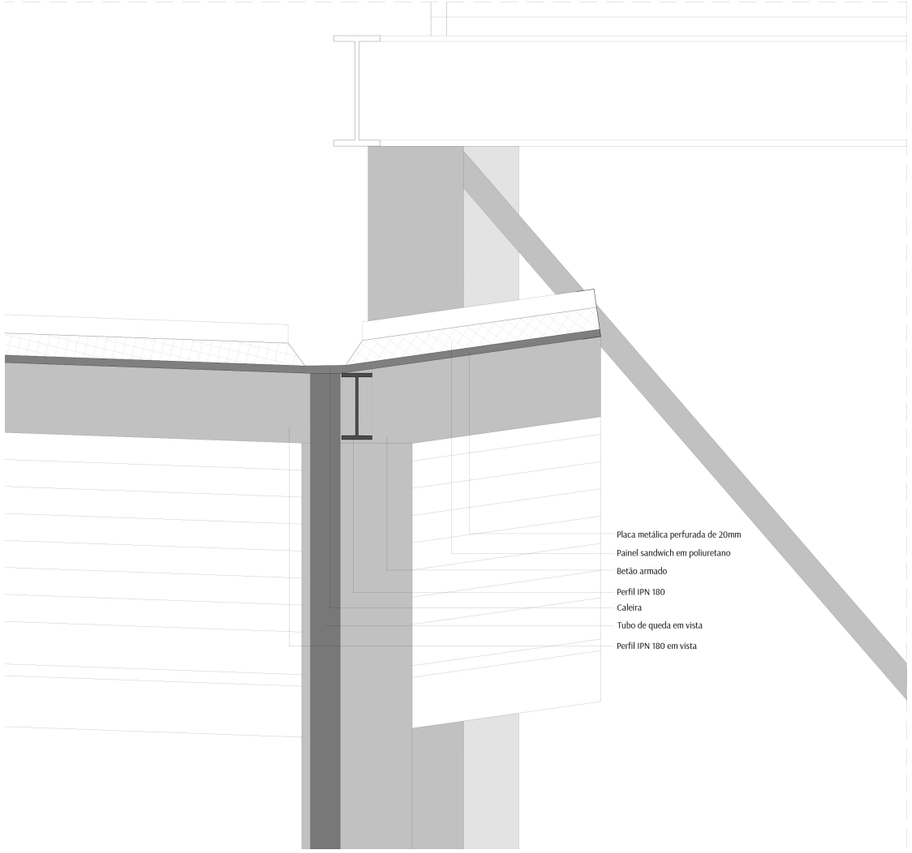


Fig. 85 P2 Cobertura do passadiço.

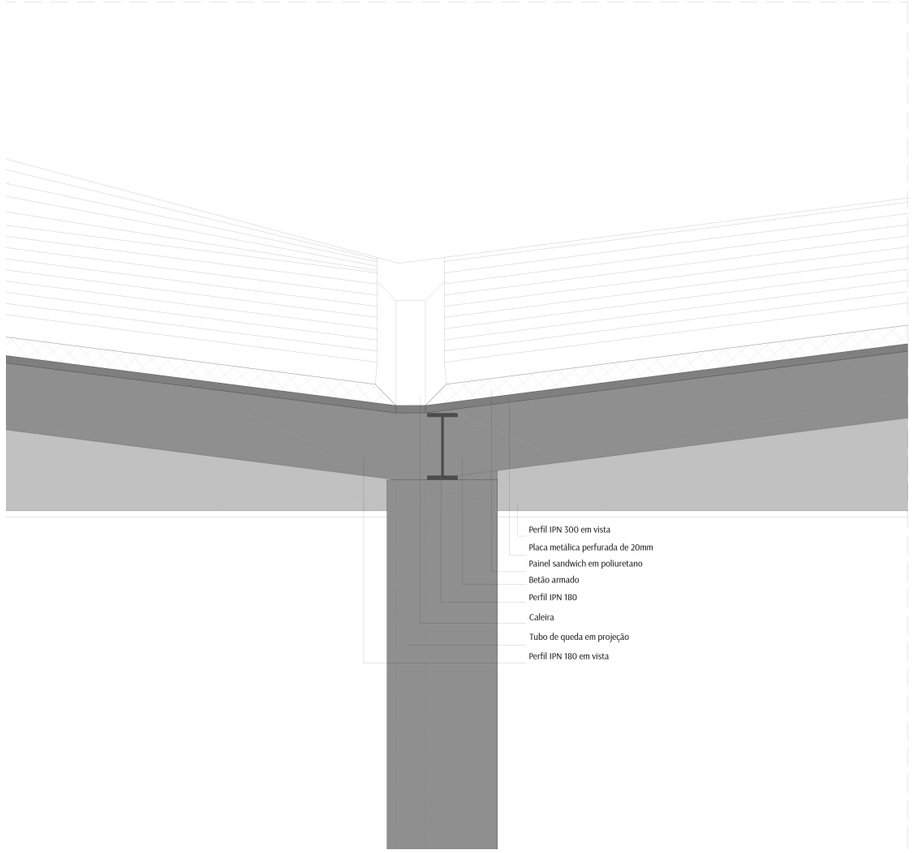


Fig. 86 P3 Cobertura das paragens de autocarros.

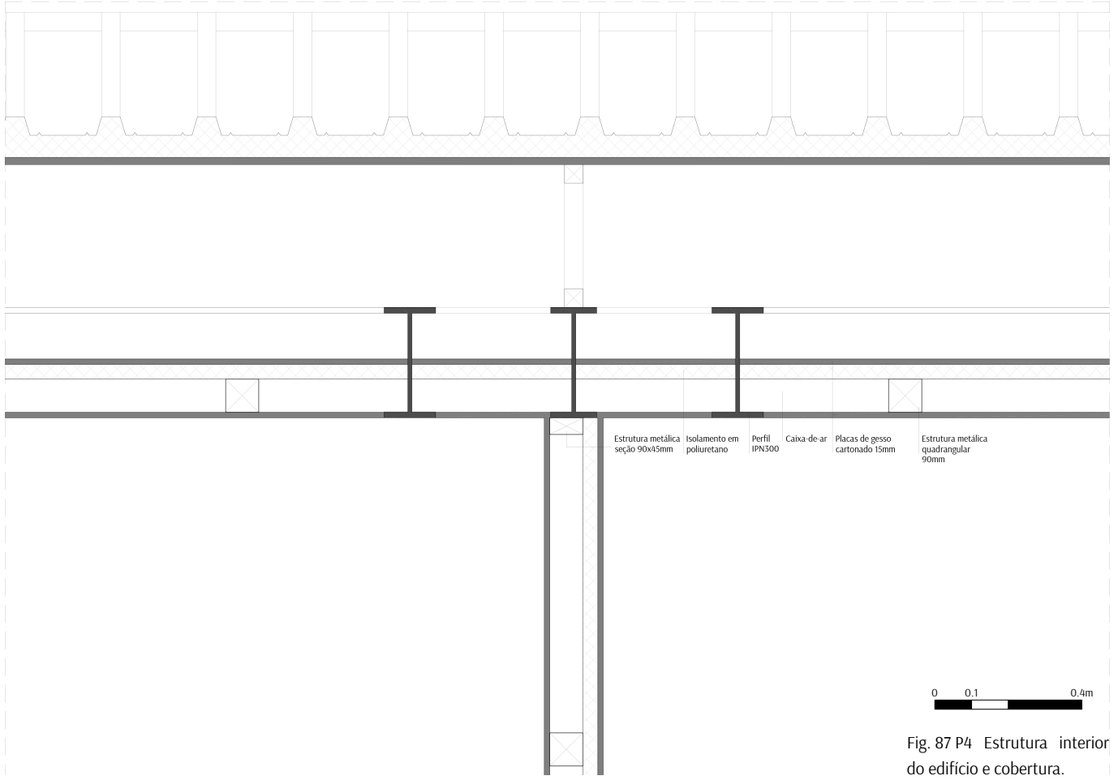


Fig. 87 P4 Estrutura interior do edifício e cobertura.

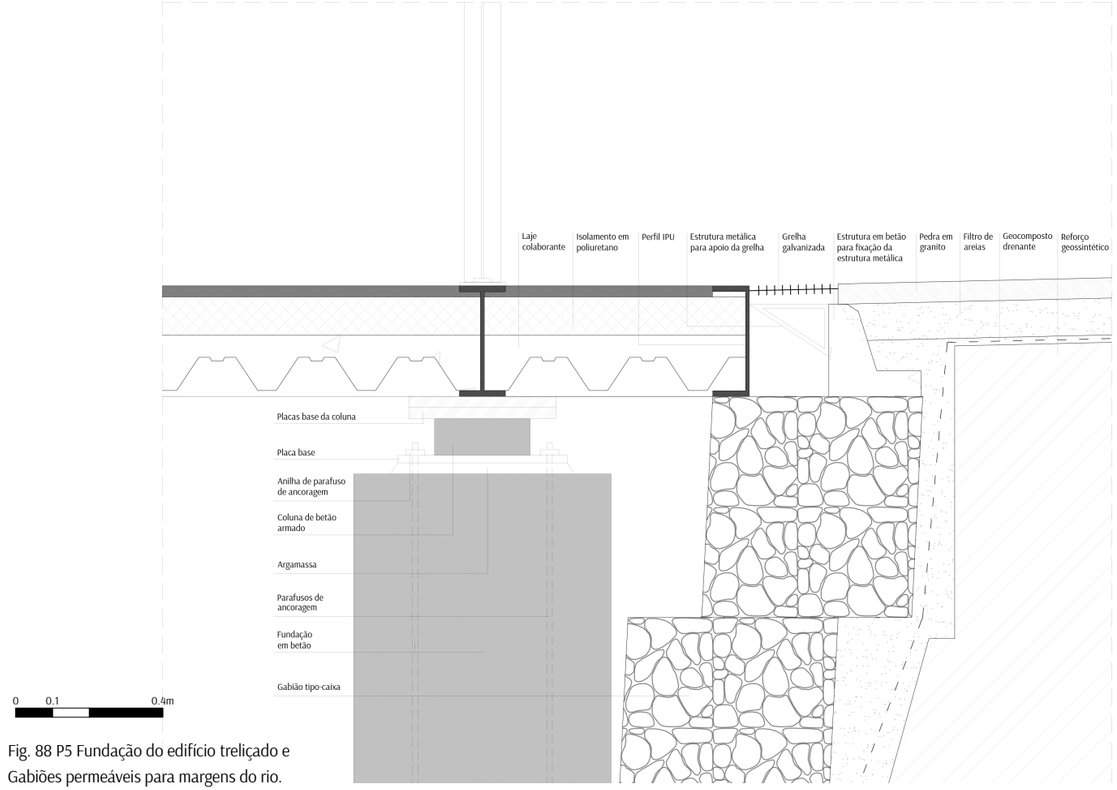


Fig. 88 P5 Fundação do edifício treliçado e Gabiões permeáveis para margens do rio.

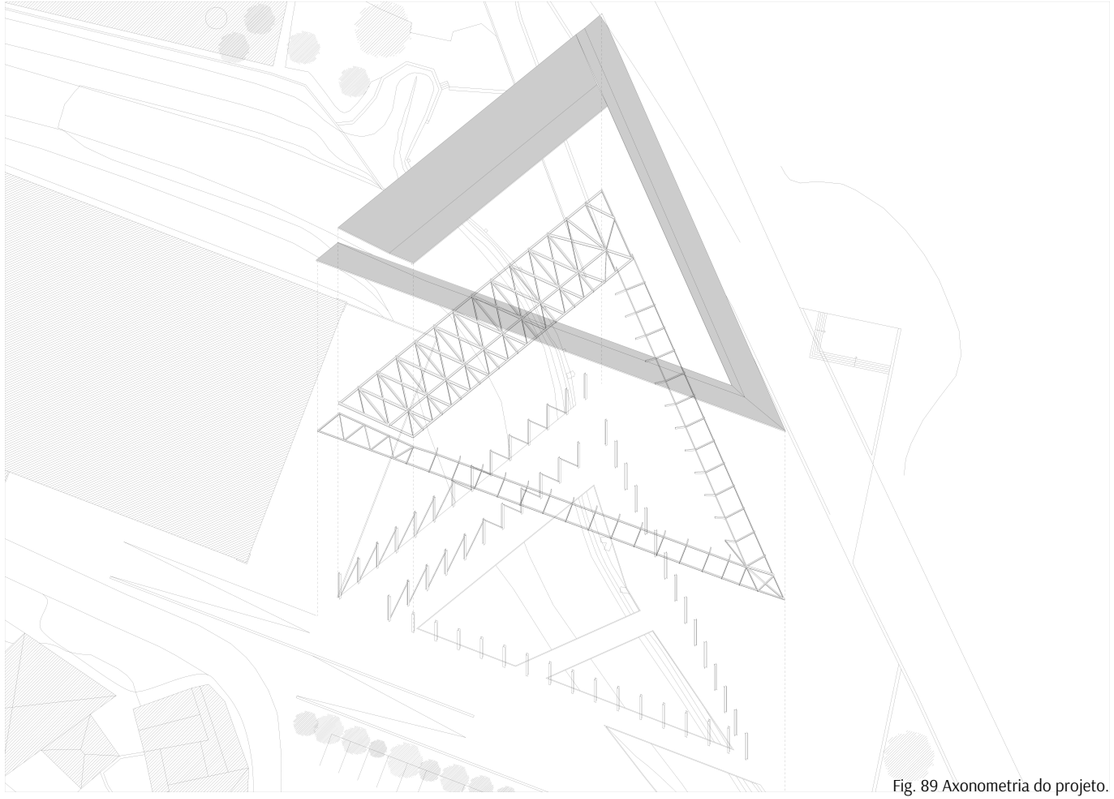


Fig. 89 Axonometria do projeto.

7. Referências Bibliográficas

7.1. Livros, Monografias, Teses e Artigos

Bateira, C. (1991) 'Contributo para o estudo da dinâmica actual e riscos naturais na depressão de Ota e colinas de Alenquer-Merceana', pp. 57–138.

Beatriz, M. A. V. (2014) *O Castelo de Alenquer: o contributo da arqueologia da arquitetura.*

Costa, M. C. E. (2010) *Redes viárias de Alenquer e suas dinâmicas: Um estudo de arqueogeografia.* Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.

Henriques, G. J. C. (1901) *Alenquer e seu concelho.* 2a edição. Alenquer: Alenquer: Typ. e Pap. H. Campeão.

Lourenço, J. H. T. L. (2009) *A indústria na vila de Alenquer (1565-1931).* Universidade de Lisboa, Faculdade de Letras.

Maia, I. (2008) *Um Aeroporto na Ota? Impactos de desenvolvimento local.* Universidade Nova de Lisboa.

Morais, J. C. (2012) *Construção de um Índice Municipal de Desenvolvimento Sustentável: o estudo de caso do concelho de Alenquer.*

Paviani, A. (1967) *Alenquer, aspectos geográficos de uma vila portuguesa.*

Rogeiro, F. S. (2005) *Alenquer: Presépio de Portugal.* Ferraz & A. Alenquer: Colprinter, Lda.

7.2. Créditos de Figuras

Alenquer História (2011) *Arquivo Municipal de Alenquer/Museu Municipal Hipólito Cabaço.* Available at: http://arquivomuseualenquer.blogspot.pt/2011_10_01_archive.html.

Câmara Municipal de Torres Vedras (2008) *História: Mapa das Linhas de Torres Vedras*, Slingshot. Available at: http://www.linhasdetorresvedras.com/historia/documentos/#transcricao (Accessed: 26 August 2017).

Cristino, R. (1983) *Gravura do Vale de Alenquer: Alenquer 1870.* Alenquer Concelho Multissecular e Monumental.

Ferro, J. P. (1996) *Alenquer Medieval (Séculos XII-XV) – Subsídios para o seu estudo.* Edited by Patrimonia.

Grupo Municipal do Partido Socialista (PS) (2017) *Grupo Municipal Socialista - Alenquer.* Available at: http://grupomunicipalps.blogspot.pt/2017/ (Accessed: 23 August 2017).

Grupo Municipal do Partido Socialista (PS) (no date) *Grupo Municipal Socialista - Alenquer: Subsídios para a história da nossa administração local.* Available at: http://grupomunicipalps.blogspot.pt/p/subsidios-para-historia-da_11.html (Accessed: 22 August 2017).

Leite, J. (2012) *Restos de Colecção: Indústria Têxtil em Portugal e a FNIL.* Available at: http://restosdecoleccao.blogspot.pt/2012/09/industria-textil-em-portugal-e-fnil.html (Accessed: 26 August 2017).

Lourenço, J. H. T. L. (2012a) *AL AIN KEIR.* Available at: http://couraca.blogspot.pt/2012_10_01_archive.html (Accessed: 21 August 2017).

Lourenço, J. H. T. L. (2012b) *AL AIN KEIR: Alenquer Desaparecida.* Available at: http://couraca.blogspot.pt/2012/06/alenquer-desaparecida.html (Accessed: 26 August 2017).

Lourenço, J. H. T. L. (2012c) *AL AIN KEIR: O Castelo de Alenquer - III.* Available at: http://couraca.blogspot.pt/2012/10/o-castelo-de-alenquer-iii.html (Accessed: 23 August 2017).

Lourenço, J. H. T. L. (2014) *AL AIN KEIR: As pontes que Alenquer teve...* Available at: http://couraca.blogspot.pt/2014/12/ (Accessed: 25 August 2017).

Lourenço, J. H. T. L. (2015) *AL AIN KEIR: 'Alenquer Terra da Vinha e do Vinho' - Apontamento Histórico II.* Available at: http://couraca.blogspot.pt/ (Accessed: 26 August 2017).

Lourenço, J. H. T. L. (2016) *Janela do Tempo: Um Pequeno Portal da História Local Alenquerense.* Available at: http://jhtll.blogspot.pt/2016/08/publicado-no-jornal-nova-verdade-de-1.html (Accessed: 22 August 2017).

Rogeiro, F. S. (2002) *Alenquer desaparecida: fotografias das décadas de trinta e quarenta da colecção de Graciano Troni.* Arruda Edi. Arruda dos Vinhos.

Serviço Cartográfico do Exército (1965) 'Alenquer'. Lisboa: 3a ed. [Lisboa]: S.C.E., p. 1 mapa cartográfico.

Serviço Cartográfico do Exército (1992) 'Alenquer'. Lisboa: 4a ed. [Lisboa]: S.C.E., p. 1 mapa topográfico.

Wigley, M. in and Zegher, C. de (2001) 'Sketch for a Map. Pencil and ink on paper', *010 Publishers.* Available at: https://thefunambulist.net/architectural-projects/great-speculations-new-babylon-by-constant-drawings (Accessed: 18 August 2017).

Vertente Teórica

Realidade Virtual em Arquitetura

Representação e simulação do campo de treino e formação militar da Aldeia Camões

Resumo

A Realidade Virtual como meio de representação tem vindo a ser alvo de cada vez maior interesse pelas mais variadas áreas. Os resultados são tido como satisfatórios em relação ao esforço de produção; a utilização é intuitiva e a experiência é considerada cativante e deixa impressão duradoura. Esta dissertação testa estas hipóteses, com o objetivo principal de desenvolver e testar ferramentas de representação e simulação de um ambiente em Realidade Virtual usando a plataforma Unity3D e, após a análise da oferta tecnológica atual, diversos dispositivos de interação: Oculus Rift, Microsoft Hololens e ecrã. O caso de estudo decorre do projeto de investigação "Virtual and Augmented Reality for Military Training Simulation", correntemente em desenvolvimento no centro de investigação ISTAR-IUL, e diz respeito à Aldeia Camões, centro de treino de combate urbano da Escola de Armas do Exército Português, localizada na tapada de Mafra. Apresentam-se as características da representação que mais contribuem para a criação de sensações através de imersão, navegação e interação em Realidade Virtual, apontando formas de desenvolver experiências mais eficazes.

Palavras-Chave | Realidade Virtual, Unity, Representação, Simulação, Ambiente onstruído.

Abstract

Virtual Reality as a mean of representation has been an under increasing interest in a wide range of areas. The results are said to be satisfactory in relation to the production effort; the use is intuitive and the experience is considered captivating, leaving a lasting impression. This dissertation tests these hypotheses, with the main objective of developing and testing tools of representation and simulation of a Virtual Reality environment using the Unity3D platform and, after analysis of the current technological offer, several interaction devices: Oculus Rift, Microsoft HoloLens and a PC screen. The study case is the result of the research project "Virtual and Augmented Reality for Military Training Simulation", currently under development at ISTAR-IUL research centre, and concerning Aldeia Camões, the urban combat training centre of the Army Weapons School Portuguese, located in Mafra. The representation characteristics that contribute most to the creation of sensations through immersion, navigation and interaction in Virtual Reality are presented and discussed, thus laying the path for developing more effective experiences.

Key Words | Virtual Reality, Unity, Representation, Simulation, Built Environment

Índice

V **1. Introdução**

VI 1.1. Apresentação

VI 1.2. Objetivos

VII 1.3. Metodologia

91 **2. Representação em Arquitetura**

93 2.1. As bases da Representação

95 2.2. Evolução do CAD

101 2.3. Desenho, Maqueta e Modelo Digital

103 **3. Realidade Virtual**

107 3.1. História da Realidade Virtual

114 3.2. Fundamentos da Realidade Virtual

118 3.3. Imersão, Interação e Navegação

120 3.4. Aplicabilidade da Realidade Virtual

120 3.4.1. Arquitetura, Computação Gráfica e Robótica

124 3.4.2. Defesa

125 3.4.3. Medicina e Saúde

127 3.4.4. Educação e Formação

127 3.4.5. Videojogos, Entretenimento e Cinema

131 3.5. Dispositivos

132 3.5.1. Dispositivos Visuais

134 3.5.2. Dispositivos Auditivos

135 3.5.3. Dispositivos Físicos

138 3.5.4. Dispositivos de Interação

139 3.5.5. Dispositivos de Trajetória

142 3.6. Geração de Conteúdos

147 **4. Caso de Estudo: Aldeia Camões**

151 4.1. Unity

151 4.1.1. História

153 4.1.2. Funcionalidades

160 4.2. Representação e Simulação da Aldeia Camões

161 4.2.1. Terreno

168 4.2.2. Geometria

174 4.2.3. Texturas

180 4.2.4. User Interface (UI)

186 4.2.5. Cenas

192 4.2.6. Animações

198 4.2.7. Interação com o ambiente

201 4.2.8. Avatares com navegação autónoma

207 4.2.9. Câmaras

209 4.2.10. Iluminação global

210 4.2.11. Compilação e Oculus Rift

213 **5. Considerações Finais**

217 5.1. Conclusões

219 5.2. Resultados

220 5.3. Trabalho Futuro

223 **6. Referências Bibliográficas**

224 6.1. Livros, Monografias, Teses e Artigos

226 6.2. Créditos de Tutoriais

227 6.3. Créditos de Figuras

229 **7. Anexos**

230 7.1. Anexo A - Fotografias Aldeia Camões

240 7.2. Anexo B - *Scripts* para Unity

Índice de Figuras

94 Fig. 01 Perspetiva com ponto de fuga "Della Pittura Alberti perspectiva" (Alberti, 1804, p. 147).

98 Fig. 02 Sketchpad desenvolvido por Ivan Sutherland, no MIT em 1963 (Rauterberg, 2002, p. 20).

99 Fig. 03 Modelação de um motor da BMW no CATIA (Sheaves, no date)

100 Fig. 04 Museu Guggenheim de Frank Ghery, Bilbao, Espanha (Kajimoto, 2008).

110 Fig. 05 "Sensorama" criado por Morton Heilig em 1962 (Pinheiro, 2016).

111 Fig. 06 "Headsight" desenvolvido por Charles Comeau e James Bryan, que se uniram à empresa Philco em 1961 (Pinheiro, 2016).

112 Fig. 07 "Head-Mounted Display" (HMD) produzido por Ivan Sutherland em 1965 (Pinheiro, 2016).

113 Fig. 08 "Super Cockpit" desenvolvido por Thomas Furness em 1982 (Sears, 2016).

114 Fig. 09 Representação simplificada "Reality-Virtuality Continuum" (adaptado Milgram et al., 1994, p. 283).

117 Fig. 10 Projeto pioneiro de Realidade Aumentada, desenvolvido por Tom Caudell e David Mizell, em 1992 (Week 3, no date; Dixon, 2010).

122 Fig. 11 Mesa interativa *Responsive Workbench* (Responsive Workbench, 1998).

123 Fig. 12 "Wind Tunnel", projeto pioneiro da NASA Ames Research Center (Wild, 2015).

126 Fig. 13 Close Combat Tactical Trainer (CCTT), Camp Casey, Coreia do Sul (United States Army, 2014).

129 Fig. 14 Realidade Virtual no filme "Star Wars: The Force Awakens" (Price, 2015).

133 Fig. 15 Sistema estereoscópico do Head-Coupled Display ou BOOM, com movimento de 6DOF (Netto et al., 1998, p. 14).

134 Fig. 16 Diferença entre som estéreo e 3D virtual (Cardoso *and* Machado, no date, p. 14).

135 Fig. 17 Dispositivo háptico Phantom Sensable (Immersion, 1994).

136 Fig. 18 Luva de Dados com atuadores para promover força de retorno (feedback) (Cardoso *and* Machado, no date, p. 15).

137 Fig. 19 Exemplo de um colete com sensores biológicos (Bourque, 2016).

138 Fig. 20 Exemplo de um dispositivo com 6 graus de liberdade (6DOF) (Gabriel W, 2004).

139 Fig. 21 Estrutura de um exosqueleto de um dispositivo de trajetória mecânico (Cardoso *and* Machado, no date, p. 6).

140 Fig. 22 Componentes constituintes de um dispositivo de trajetória magnético (Cardoso *and* Machado, no date, p. 6).

141 Fig. 23 Esquema de um dispositivo de trajetória ultrassónico, Logitech (Cardoso *and* Machado, no date, p. 7).

144 Fig. 24 Representação de um ambiente virtual em CAVE (Faria, 2005, p. 66).

144 Fig. 25 Oculus Rift, 2013, lançamento 2016 (Fineman, 2016, p. 9).

144 Fig. 26 Google Cardboard, 2014 (Fineman, 2016, p. 10).

144 Fig. 27 Gear VR, 2015 (Fineman, 2016, p. 12).

145 Fig. 28 HTC Vive, 2015 (Fineman, 2016, p. 13).

145 Fig. 29 Hololens da Microsoft, 2015 (Fineman, 2016, p. 18).

149 Fig. 30 Ortofotomapa da Tapada Militar de Mafra com a delimitação da Aldeia Camões, cedido pela Escola de Armas p. 148].

150 Fig. 31 Envolvente à zona da Aldeia Camões (Março 2017).

150 Fig. 32 Uma das zonas de túneis da Aldeia Camões (Março 2017).

153 Fig. 33 Interface do Unity, versão 2017 [p. 152].

158 Fig. 34 Janela de Hierarchy [em cima à esquerda].

158 Fig. 35 Janela de Scene [em cima à direita].

158 Fig. 36 Janela de Game [em baixo à esquerda].

158 Fig. 37 Janela de Project [em baixo à direita].

159 Fig. 38 Janela de Inspector [à esquerda].

159 Fig. 39 Janela de Console [em cima à direita].

159 Fig. 40 Janela da Asset Store [em baixo à direita].

162 Fig. 41 Ortofotomapa aproximado da Aldeia Camões, cedido pela Escola de Armas [p. 163].

162 Fig. 42 Planta de implantação da Aldeia Camões, em formato DWG, disponibilizada pela Escola de Armas .

164 *Fig. 43 Plug-in* de Mesh to Terrain.

165 Fig. 44 Importação do Package Environment.

166 Fig. 45 Adição de árvores.

167 Fig. 46 Adição da componente Wind Zone ao terreno.

170 Fig. 47 Modelação da estrutura do piso do rés-do-chão do edifício 2.

171 Fig. 48 Edição do guarda-corpos do edifício 2.

172 Fig. 49 Modelo tridimensional da Aldeia Camões em Revit.

173 Fig. 50 Modelo tridimensional da Aldeia Camões em Unity.

176 Fig. 51 Textura Albedo das telhas cerâmicas em Photoshop

177 Fig. 52 Definição de Offset para a textura Albedo em Photoshop.

177 Fig. 53 Textura Bump Map das telhas cerâmicas em Photoshop.

178 Fig. 54 Criação de um novo material.

179 Fig. 55 Textura do vidro, com a definição de transparência.

182 Fig. 56 Seleção de Canvas em Game Object, seguido de UI.

183 Fig. 57 Seleção de Panel em Game Object, seguido de UI.

184 Fig. 58 Seleção de Button em Game Object, seguido de UI.

185 Fig. 59 Enquadramento de Canvas na Camera.

188 Fig. 60 Build Settings com as cenas do projeto [à esquerda].

188 Fig. 61 Definições do *script* SelectOnInput de Panel [à direita].

189 Fig. 62 Entrada de LoadSceneOnClick seguido de LoadByIndex (int) de Button "Start".

190 Fig. 63 Entrada de QuitOnClick seguido de Quit() de Button "Quit".

191 Fig. 64 Duas cenas em modo *play*.

194 Fig. 65 Componentes de um objeto.

195 Fig. 66 Componentes do objeto Door.
196 Fig. 67 Animações de rotação.
197 Fig. 68 Parâmetros de Animator.
199 Fig. 69 Importação do Package Particle Systems.
200 Fig. 70 Controller com o *script* Launch Grenade, onde se encontra a *prefab* "m26".
203 Fig. 71 Componentes de um Avatar.
204 Fig. 72 Editar a animação do Package SoldierPack da Asset Store.
205 Fig. 73 Seleção de objetos com a NavMesh.
206 Fig. 74 Objeto com o NavMesh e o *script* Patrol.
208 Fig. 75 Valores de componentes da Camera.
210 Fig. 76 Ciclo de horas do dia e noite.
212 Fig. 77 Player Settings.
213 Fig. 78 Definições para utilização de Oculus Rift.
213 Fig. 79 Definições para inserir logos de entrada do projeto.
240 Fig. *80 Script* para selecionar um botão a partir de um menu principal.
241 Fig. *81 Script* para carregar a cena a partir de um menu principal.
242 Fig. *82 Script* para retornar ao menu principal.
243 Fig. *83 Script* para mudar de cena a partir de um menu principal.
244 Fig. *84 Script* para manter objetos quando se muda de cena.
245 Fig. *85 Script* para reconhecer a Box Collider de um objeto.
246 Fig. *86 Script* para mudar as coordenadas x e y do objeto ou do avatar.
247 Fig. *87 Script* para lançar objetos.
248 Fig. *88 Script* para fazer explodir objetos com o sistema de partículas.
249 Fig. *89 Script* para fazer a rotação do sol (directional light), com variáveis de tempo e intensidade.

Índice de Tabelas

144 Tabela 1 Comparação entre quatro tipos de plug-ins para Revit
145 Tabela 2 Comparação entre quatro tipos de dispositivos de visualização RV

Índice de Anexos

230 Foto 01 Maqueta conceptual Aldeia Camões (Maio 2017).
231 Foto 02 Maqueta conceptual Aldeia Camões (Maio 2017).
232 Foto 03 Fachada principal do edifício 1 (Março 2017).
232 Foto 04 Interior do edifício 1 (Março 2017).
233 Foto 05 Fachada principal do edifício 2 (Março 2017).
233 Foto 06 Interior do edifício 2 (Março 2017).
234 Foto 07 Edifício 3 (Março 2017).
234 Foto 08 Interior do edifício 3 (Março 2017).
235 Foto 09 Fachada principal do edifício 4 (Março 2017).
235 Foto 10 Interior do edifício 4 (Março 2017).
236 Foto 11 Fachada lateral do edifício 4 (Março 2017).
236 Foto 12 Fachada principal do edifício 5 (Março 2017).
237 Foto 13 Cobertura e primeiro piso do edifício 5 (Março 2017).
237 Foto 14 Fachada principal do edifício 6, laboratório (Março 2017).
238 Foto 15 Primeiro piso do edifício 6, laboratório (Março 2017).
238 Foto 16 Edifícios da Aldeia Camões (Janeiro 2017).
239 Foto 17 Fachada do edifício 8 (Março 2017).
239 Foto 18 Estruturas em alvenaria de betão (Janeiro 2017).

Glossário de Siglas e Acrónimos

RV	Realidade Virtual
RA	Realidade Aumentada
RM	Realidade Misturada (*Mixed Reality*)
2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
CAD	*Computer-Aided Design*
CAM	*Computer-Aided Manufacture*
CNC	*Computer Numerical Control*
CATIA	*Computer Aided Three-dimensional Interactive Applications*
CAE	*Computer Aided Engineering*
PLM	*Product Lifecycle Management*
MIT	*Massachusetts Institutte of Technology*
HMD	*Head-Mounted Display*
HCD	*Head-Coupled Display*
VCASS	*Visually Coupled Airborne Systems Simulator*
VIVED	*Virtual Visual Environment Display*
NASA	*National Aeronautics and Space Administration*
LCD	*Liquid Crystal Display*
CAVE	*CAVE Automatic Virtual Environment*
VCD	*Visually Coupled Displays*
BOOM	*Binocular Omni-Oriented Monitor*
HLA	*High-Level Architecture*
CCTT	*Close Combat Tactical Trainer*

1. Introdução

1.1. Apresentação

O Mestrado Integrado em Arquitetura termina com a unidade curricular Projeto Final de Arquitetura (PFA), no ano letivo 2016/2017 do ISCTE-Instituto Universitário de Lisboa, que se divide em duas componentes: teórica e prática.

A escolha do tema da vertente teórica deveu-se ao interesse pelas tecnologias para a representação em arquitetura. Com isso, houve a oportunidade de explorar o motor de jogos Unity, também em fase inicial de estudo no Centro de Investigação em Ciências da Informação, Tecnologias e Arquitetura (ISTAR-IUL), para criar um ambiente de Realidade Virtual de simulação e formação. O projeto designado de "Virtual and Augmented Reality for Military Training Simulation", apresentado pelo professor Miguel Sales Dias no Centro de Investigação da Academia Militar (CINAMIL), a 22 de Junho de 2016, terá como modelo tridimensional a Aldeia Camões, localizada na tapada de Mafra e será desenvolvido especificamente para o treino e formação de combate militar em ambiente urbano.

1.2. Objetivo

Este trabalho visa o desenvolvimento de técnicas de simulação de Realidade Virtual em Unity, que satisfaçam os requisitos de representação real, para mostrar a imersão, navegação e interação dentro de um modelo tridimensional de uma pequena povoação.

1.3. Metodologia

A presente dissertação de mestrado de arquitetura desenvolve-se ao longo de cinco capítulos. O primeiro capítulo engloba a introdução, com a apresentação de uma sucinta base introdutória; do principal centralizado em técnicas de simulação em Realidade Virtual; e da metodologia de trabalho definida para esta investigação.

O segundo e terceiro capítulos correspondem ao Estado de Arte. No segundo capítulo dá-se ênfase à Representação em Arquitetura, de modo a mostrar a evolução das técnicas de trabalho que têm sido desenvolvidas desde o surgimento das bases da geometria descritiva até à introdução das ferramentas digitais. O terceiro capítulo centraliza-se especificamente na Realidade Virtual, conceito este conhecido há cerca de meio século e que tem vindo a ganhar destaque nos últimos anos. Será ainda apresentada uma análise de plug-ins de RV que funcionam com Oculus Rift para o software de modelação em arquitetura e construção Autodesk Revit. No quarto capítulo será apresentado, como caso de estudo, a modelação da Aldeia Camões, localizada na tapada de Mafra, que serve de centro de treino e formação de combate em ambiente urbano do exército português. Será feito o levantamento dos edifícios e ambiente envolvente e sua representação tridimensional e simulação virtual com recurso aos programas Revit e Unity, respetivamente. No último capítulo serão apresentadas as conclusões, apreciações e críticas ao trabalho e hipóteses de desenvolvimento futuro.

2.1. As bases da Representação

O ser humano sempre teve a necessidade de representar o que o envolvia, através do desenho, para ter uma visão abstrata da realidade. Até ao século XV, as representações eram feitas a duas dimensões, mas rapidamente passaram a ser a três dimensões, sendo a profundidade introduzida e esquematizada por Leon Batista Alberti, em 1935, no seu tratado "Della Pinttura" [Fig. 01] (Figueiredo, 2007, pp. 7–8).

Em finais do século XVIII, com o matemático francês Gaspard Monge, surgiram as bases da Geometria Descritiva com as quais era possível ter uma visão abstrata de um objeto tridimensional, num sistema ortogonal bidimensional. Mais tarde as projeções ficaram associadas à ideia de profundidade rigorosa e noção espacial, aquando da introdução das sombras projetadas (Carreiro *and* Pinto, 2012, pp. 1–2; Palaré, 2013, pp. 22–23). Verifica-se no século seguinte uma progressiva evolução de formas de representação através de sistematizações da perspetiva (Palaré, 2013, p. 24).

No século XX com a introdução de novas técnicas inovadoras, a imagem passou assim a ser um meio de comunicação cada vez mais importante para a compreensão da perceção e linguagem da arquitetura. Em meados do mesmo século, dá-se a conhecer uma nova cultura de imagem através da difusão da fotografia, cinema e televisão (Carreiro *and* Pinto, 2012, pp. 1–2; Palaré, 2013, p. 3).

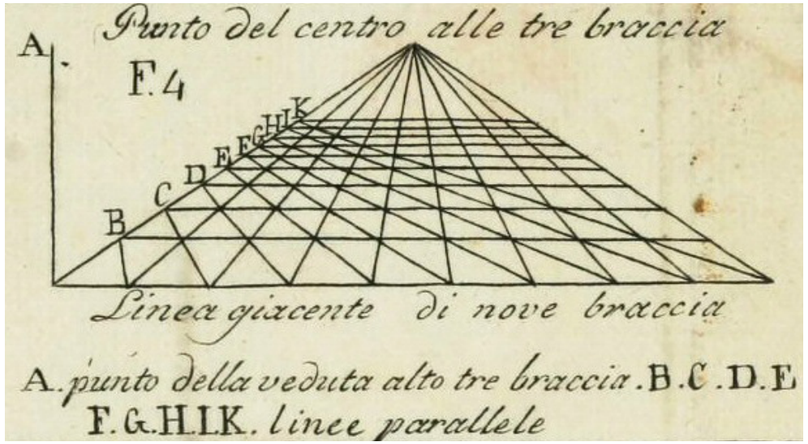


Fig. 01 Perspetiva com ponto de fuga "Della Pittura Alberti perspectiva" (Alberti, 1804, p. 147).

2.2. Evolução do CAD

No início da década de 60, as novas tecnologias computacionais associaram-se à representação gráfica através da criação de uma interface gráfica designada de "Sketchpad" [Fig. 02], apresentada pelo americano Ivan Sutherland na sua tese de doutoramento em 1963. A partir deste software foi possível desenvolver elementos geométricos, tais como curvas, retas e polígonos, havendo uma aproximação ao desenho bidimensional (2D).

Nas duas décadas seguintes, deu-se o desenvolvimento e domínio deste tipo de sistema, em que o interesse passava essencialmente por interfaces gráficas, levando ao surgimento do *Computer-Aided Design* (CAD) ou Desenho Assistido por Computador.

O CAD era usado sobretudo para desenho a duas dimensões, pois à época ainda não existiam computadores suficientemente sofisticados e a técnica de desenho tradicional estava ainda enraizada, devido à sua boa qualidade e de baixo custo (Figueiredo, 2007, p. 13; Carreiro *and* Pinto, 2012, p. 2; Miguel, 2014, p. 138). Com a evolução gráfica, massificação dos computadores e diversas evoluções, que se listam de seguida, verificou-se um contrariar deste

tipo de produção tradicional de imagem, pois pretendia-se dar resposta às necessidades e contextos da nova Era Digital (Araújo, 2015, p. 7), nomeadamente através da representação 3D.

Na década de 80 são lançados programas de desenho assistido da Autodesk, como o AutoCAD e Revit, este último diferencia-se pelo seu vasto nível de informação e visualização e fácil controlo face à complexidade de representação (Carreiro *and* Pinto, 2012, p. 2). Apesar da controvérsia inicial em torno do uso deste tipo de programas, o AutoCAD passou a fazer parte integrante no desenvolvimento do projeto de arquitetos (Miguel, 2014, p. 139), que posteriormente associaram novas ferramentas digitais de representação e edição de imagem, de modo a que esta fosse o mais real possível (Rebelo, 1999, pp. 11–12).

Atualmente, o funcionamento conjunto da representação tridimensional em CAD (*Computer Aided Design*), com o CAM (*Computer-Aided Manufacture*) e o CNC (*Computer Numerical Control*) culmina na "Fabricação Digital", ou seja, na fabricação direta de objetos a partir das suas representações tradicionais (Carreiro *and* Pinto, 2012, p. 2). Os profissionais e estudantes de arquitetura recorrem a estas tecnologias para produzir maquetas físicas, ferramenta indispensável para o desenvolvimento do projeto arquitetónico, de forma precisa, rápida e económica, (Miguel, 2014, pp. 140–141).

Quando se procuram desenvolver peças ou produtos complexos típicos da engenharia industrial, opta-se por multiplataforma como o CATIA (*Computer Aided Three-dimensional Interactive Applications*) [Fig. 03], desenvolvida pela empresa francesa Dassault Systemes em 1977 (Bernard, 2010), que permite a integração do CAD, CAM, CAE (*Computer Aided Engineering*) e PLM (*Product Lifecycle Management*) (Ispas C, Zapciu M *and* Mitrache A, 2008, p. 121).

O arquiteto Frank Gehry foi um dos pioneiros na utilização deste tipo de sistema de modelação e visualização tridimensional no projeto do Museu Guggenheim em Bilbao, Espanha [Fig. 04]. A complexidade da forma requereu a representação do modelo 3D para que o arquiteto conseguisse observar e avaliar com rigor para posteriormente tomar decisões ao longo de desenvolvimento do projeto, recorrendo caso necessário a desenhos rigorosos facilmente extraídos do modelo digital.

Para além desta valia, o modelo digital permite ter representações fiéis e pormenorizadas do objeto, avaliar a sua implementação no terreno, ter uma noção da sua proporção, escala, cor, textura, sombras, entre outras características inerentes ao projeto de arquitetura (Coroado, 2014, pp. 172–173).

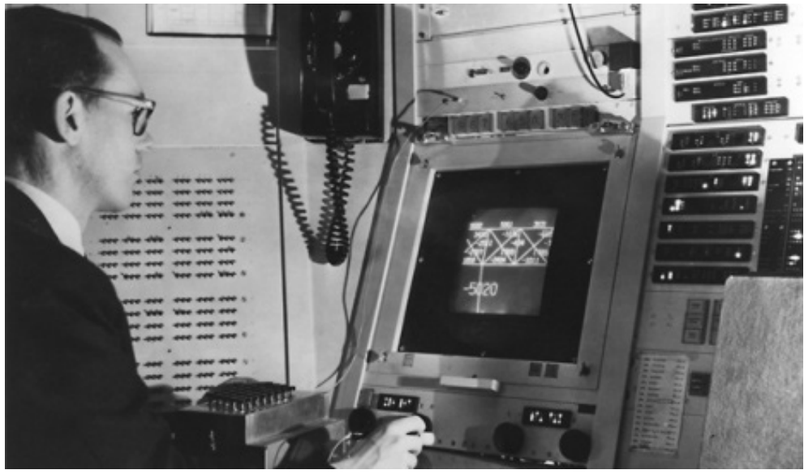


Fig. 02 Sketchpad desenvolvido por Ivan Sutherland, no MIT em 1963 (Rauterberg, 2002, p. 20).



Fig. 03 Modelação de um motor da BMW no CATIA (Sheaves, no date)



Fig. 04 Museu Guggenheim de Frank Ghery, Bilbao, Espanha (Kajimoto, 2008).

2.3. Desenho, Maqueta e Modelo Digital

"Desenhar é, acima de tudo, pensar"
(Araújo, 2015, p. 79)

Por detrás de um projeto de arquitetura existe a necessidade de optar por diferentes tipos de representações gráficas, desde esquiços, maquetas, fotomontagens, desenhos rigorosos e/ou modelação 3D (Coroado, 2014, p. 172), para um melhor entendimento e desenvolvimento do processo de conceção (Miguel, 2014, p. 132). Apesar das maquetas e desenhos rigorosos se apresentarem como elementos gráficos fundamentais no desenvolvimento do projeto, as técnicas digitais e modelação em 3D têm vindo a ganhar maior ênfase devido à sua agilidade (Coroado, 2014, p. 172).

O processo de projeto de arquitetura socorre-se do desenho artístico e técnico para a sua idealização, pois através da sua grande abstração e exploração é possível obter uma maior compreensão e interpretação (Araújo, 2015, p. 15). Para atingir conhecimento é necessário reconhecer no desenho, quer artístico, quer técnico, as suas potencialidades, pois estes diferenciam-se na sua forma de comunicar e assemelham-se pelo seu caráter cognitivo (Bettencourt, 2012, p. 117–121 e 123).

Com as suas proporções e dimensões, a maqueta é uma ferramenta de trabalho de projeto, com a qual se consegue tomar decisões e fazer diversas modificações durante o seu processo, bem como comunicar e informar, já numa fase final. A tridimensionalidade e a materialidade da maqueta associadas a programas de modelação 3D ganham em rapidez e rigor gráfico, sendo possível criar um modelo digital a partir de um modelo físico e vice-versa, usando para isso as ferramentas de Fabricação Digital (Bettencourt, 2012, pp. 130–132).

A implementação de técnicas digitais na conceção do projeto não implica necessariamente a exclusão do uso de métodos mais tradicionais, mas uma complementaridade. Associar arquitetura à modelação gráfica permite resolver questões complexas, reduzir tempo e custos e ter maior rapidez, eficácia e precisão na representação e exploração de formas arquitetónicas, revelando que a implementação de softwares de modelação 3D são extremamente poderosos (Bettencourt, 2012, p. 90–92, 122 e 130; Araújo, 2015, p. 15).

Já é habitual encontrar um atelier de arquitetura que trabalha com a modelação 3D, pois o cliente consegue ter uma melhor perceção do espaço e do projeto, que através do desenho técnico tornava-se numa tarefa difícil. De uma forma progressiva, os arquitetos adequam-se às mudanças, como aconteceu aquando da introdução das tecnologias CAD, sendo o AutoCAD o mais adaptado. Implementando outro tipo de programas como o Unity, será possível dar ao cliente uma experiência mais dinâmica e interativa do projeto. É com base neste argumento que o capítulo seguinte aborda este tipo de experiência através da Realidade Virtual, de modo a estimular o interesse de um público que cada vez mais se relaciona com a tecnologia digital.

3. Realidade Virtual

3.1. História da Realidade Virtual

Após a Segunda Guerra Mundial começaram a surgir protótipos de simuladores virtuais, primeiramente com simuladores de voo da Força Aérea Americana, depois na indústria do entretenimento e seguidamente com o cineasta Morton Heilig durante a década de 50, que sonhava com o "cinema do futuro" (Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 5; Miguel, 2014, p. 144).

Em 1962, Morton Heilig propôs e criou um sistema imersivo com tecnologia multissensorial, designado "Sensorama" [Fig. 05], com o qual pretendia dar ao utilizador uma experiência de imersão, remetendo aos cinco sentidos através de diversas sensações, movimentos, sons, odores, vento e visão estereoscópica. Apesar do pouco impacto comercial que teve na época, o "Sensorama" contribuiu para o impulsionar da Realidade Virtual (Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 5; Miguel, 2014, p. 144).

Os primeiros trabalhos de RV surgiram em 1958 com Charles Comeau e James Bryan, associados à empresa Philco (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 6), que trabalharam no "Headsight" [Fig. 06], um capacete pelo qual se observava um ambiente real, através de uma tela de vídeo e um sistema de rastreamento (Pinheiro, 2016). Em 1965 Ivan Sutherland escreveu "The Ultimate Display" e desenvolveu, entre 1966 e 1967, no MIT Lincoln Laboratory, o primeiro capacete de RV denominado de "Head-Mounted Display" (HMD) [Fig. 07], demonstrando a possível imersão e telepresença a partir de um HMD acoplado a duas câmaras (Sutherland, 1968, p. 301; Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 4 e 54).

Nas duas décadas seguintes, verificou-se um grande interesse por sistemas de RV, como o "GROPE", um protótipo de um sistema "force-feedback" e o "VIDEOPLACE" desenvolvido por Myron Krueger em 1975, que se resume a uma técnica de projeção de imagens constantemente

capturadas e processadas a partir de uma câmara de vídeo, designada de Realidade Virtual de Projeção ou Realidade Artificial (Mazuryk *and* Gervautz, 1996, p. 2; Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 6).

Em 1982, Thomas Furness concebeu o "Visually Coupled Airborne Systems Simulator" (VCASS) também conhecido como "Super Cockpit" [Fig. 08], representava um simulador avançado de voo, conectado a computadores e video-capacetes, o qual contribuiu significativamente para o desenvolvimento da RV (Earnshaw, Gigante *and* Jones, 1993, p. 5; Mazuryk *and* Gervautz, 1996, p. 2; Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 6).

Mais económico que o VCASS, o projeto "Virtual Visual Environment Display" (VIVED) iniciado em 1984 na NASA por Michael McGreevy, implementa uma nova tecnologia de visores de cristal líquido (LCD). Um ano depois, Scott Fisher juntou-se ao projeto com o objetivo de integrar o "DataGlove", primeiro produto fabricado por Thomas Zimmerman e Jaron Lanier, fundadores da VPL Research; o reconhecimento de voz; a síntese de som 3D e os dispositivos de resposta tátil. Para além do "DataGlove" que conseguia captar o movimento dos dedos da mão, a empresa comercializou também o dispositivo "Eyephone HMD", em 1988 (Mazuryk *and* Gervautz, 1996, p. 2; Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 7 e 8).

Todo este trabalho desenvolvido pela NASA levou a que grandes empresas de informática se interessassem pela RV, como é o caso da Autodesk que em 1989 apresentou o primeiro sistema para computadores pessoais (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 8), ou ainda duas gigantes dos videojogos, a Sega e a Nintendo, que em meados dos anos 90, apresentaram óculos de simulação, Sega VR e Virtual Boy, respetivamente, tendo sido um fracasso comercial (Pinheiro, 2016).

No início da década de 90 foi o culminar da RV com o desenvolvimento de diversas interfaces como a CAVE (CAVE Automatic Virtual Environment), que permite a visualização e total imersão do usuário a partir da observação de imagens estereoscópicas projetadas em paredes (Mazuryk *and* Gervautz, 1996, p. 3; Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 10); a Realidade Realçada ou Aumentada (Augmented Reality) e Telepresença, que recorrem a câmaras de vídeo para fazer a interação, com a sobreposição com o mundo real; os Displays Visualmente Acoplados (VCD, Visually Coupled Displays) e o Head-Coupled Display, designado também por BOOM (Binocular Omni-Oriented Monitor), que são dispositivos que permitem controlar a simulação (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 9 e 14).

Após o ano de 1995, a insuficiente preparação da tecnologia RV levou ao seu quase esquecimento pelo grande público, embora continuasse a ser desenvolvida e aplicada nalgumas áreas de nicho. O grande interesse virou-se primeiro para a Internet, pois era um acontecimento novo e depois para os dispositivos móveis, como os *smartphones*.

Anos mais tarde e com os progressivos e rápidos desenvolvimentos da tecnologia multimédia, a RV voltou a ganhar força, em que o interesse passava por oferecer aos consumidores uma maior imersão de ambientes virtuais (Pereira *and* Nogueira, no date).

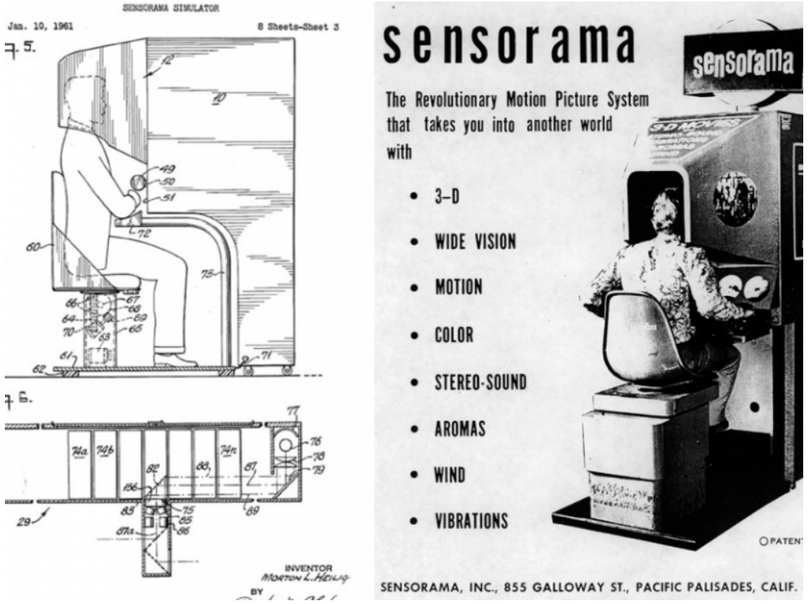


Fig. 05 “Sensorama” criado por Morton Heilig em 1962 (Pinheiro, 2016).

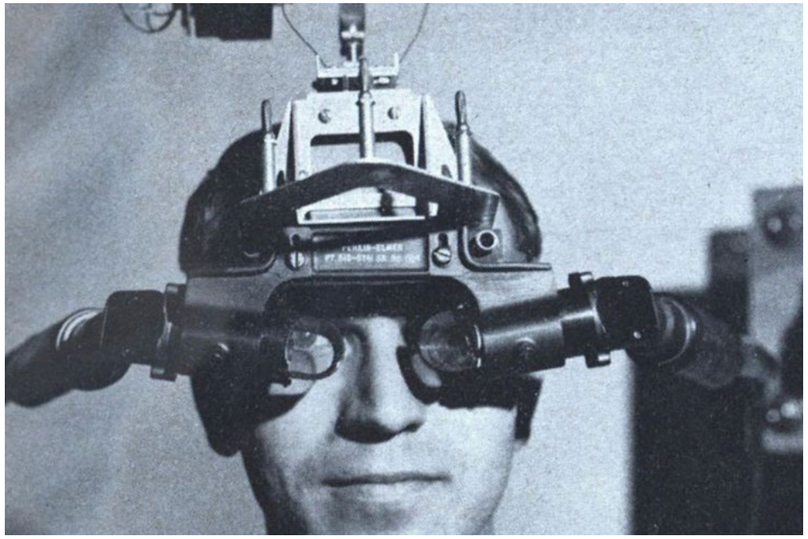


Fig. 06 “Headsight” desenvolvido por Charles Comeau e James Bryan, que se uniram à empresa Philco em 1961 (Pinheiro, 2016).

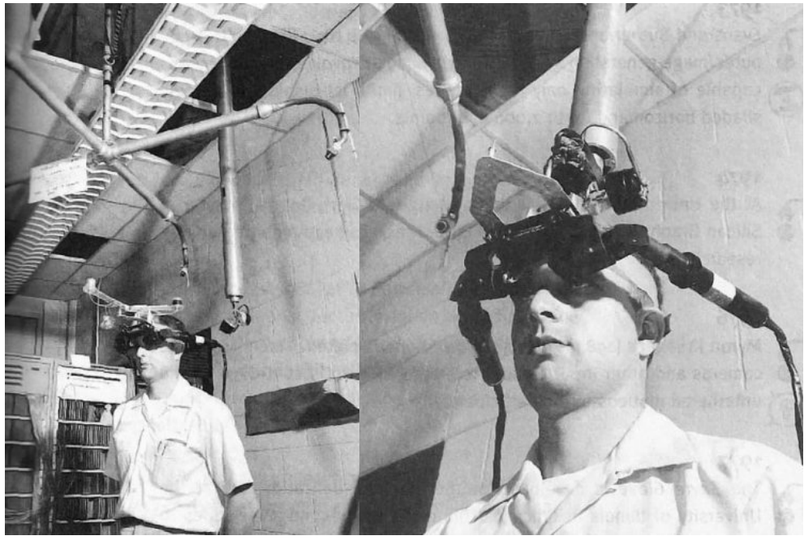


Fig. 07 "Head-Mounted Display" (HMD) produzido por Ivan Sutherland em 1965 (Pinheiro, 2016).

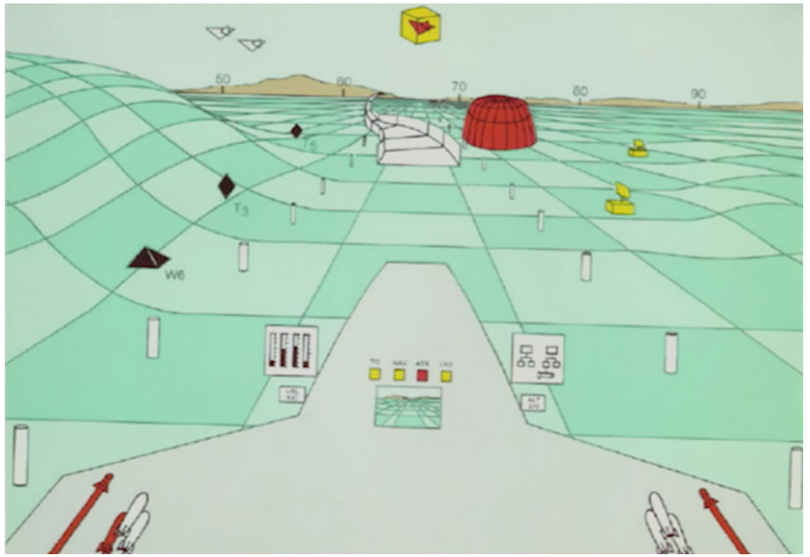


Fig. 08 "Super Cockpit" desenvolvido por Thomas Furness em 1982 (Sears, 2016).

3.2. Fundamentos da Realidade Virtual

Os conceitos de Realidade Aumentada e Virtualidade Aumentada são a representação do Contínuo de Realidade Virtual (Reality-Virtuality Continuum) [Fig. 09], que a exibição única de objetos reais e virtuais leva à Realidade Mista (Milgram et al., 1994, p. 283).

Este tipo de sistema acarreta a compreensão da Realidade Aumentada que permite obter a renderização, calibração, orientação e interação do cenário virtual sobre o real, em tempo real (Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 24), recorrendo-se de técnicas e dispositivos tecnológicos, como por exemplo o ARToolkit (Rodello et al., 2010, p. 11).

Em contraste, a Virtualidade Aumentada é total ou predominantemente virtual, com possível interação com objetos virtuais e reais, estáticos ou dinâmicos, capturados por câmaras ou previamente concebidos (Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 26).

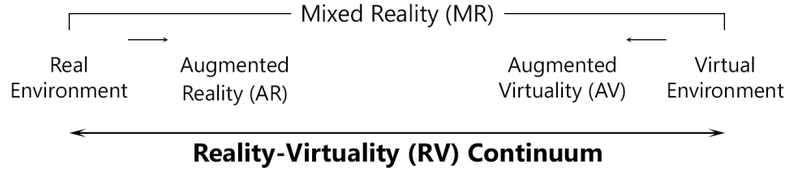


Fig. 09 Representação simplificada "Reality-Virtuality Continuum" (adaptado Milgram et al., 1994, p. 283).

Já nos anos 80, o artista e cientista Jaron Lanier utilizou o termo Realidade Virtual com o objetivo de diferenciar simulações virtuais tradicionais das que envolvem múltiplos usuários num ambiente partilhado (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 4 e 5; Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 4). Apesar das suas diversas definições, muito devido à sua grande interdisciplinaridade, pode-se considerar a RV como sendo uma interface avançada que permite ao utilizador visualizar, manipular e interagir em tempo real num ambiente virtual tridimensional e previamente concebido, ao mesmo tempo que faz uso de dispositivos multissensoriais, (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 5; Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 6 e 7).

A interface tem ainda a característica da segregação de comportamentos e reações, com recurso à programação e dispositivos convencionais e não convencionais para uma interação mais "rica e natural" (Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 6). Esta interface ainda se encontra em fase de desenvolvimento e pesquisa, mas que recentemente está a ter uma evolução bastante acentuada devido ao interesse por parte de grandes empresas (Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 7).

Por sua vez, a Realidade Aumentada é um conceito particularizado da RV, que se define como uma interface que permite a visualização e interação do cenário real e virtual, compostos de objetos virtuais, misturados ou sobrepostos (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, pp.

19–20; Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 24; Redondo et al., 2012, p. 20).

O projeto pioneiro de RA foi apresentado em 1992 [Fig. 10] por dois trabalhadores aeronáuticos, Tom Caudell e David Mizell, que sentiam a necessidade de facilitar o seu trabalho, muito devido à complexidade do estudo dos manuais da época (Coli, 2011). Este sistema tem a peculiaridade de originar uma experiência diferente da RV, pois é necessário rigor e precisão na sobreposição de imagens virtuais com as reais (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 20; Redondo et al., 2012, p. 20). Enquanto cenário no qual não é possível exceder as leis da física, o ambiente real torna-se uma antítese do ambiente virtual, no qual é possível quebrar com as barreiras físicas que regem a gravidade, o tempo e as propriedades materiais (Milgram et al., 1994, p. 283).

A par destes sistemas estão a ser desenvolvidos Ambientes Virtuais Colaborativos, onde se pretende que multiusuários façam trabalho em simultâneo dentro de um único ambiente virtual contextualizado (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 21). Projetos como o 3DLive, Mãos Colaborativas ou Teleconferência são um bom exemplo deste tipo de sistema, elevando o seu potencial pelo facto de se poder juntar elementos virtuais interativos (Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, pp. 26–27).

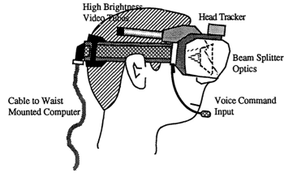




Fig. 10 Projeto pioneiro de Realidade Aumentada, desenvolvido por Tom Caudell e David Mizell, em 1992 (Week 3, no date; Dixon, 2010).

3.3. Imersão, Interação e Navegação

Quando se faz uso da RV, o usuário é levado para um ambiente virtual concebido tridimensionalmente de forma imersiva ou não-imersiva, consoante o tipo de equipamento utilizado. Independentemente da experiência que se deseja, são várias as áreas, interesses e necessidades que exploram as suas potencialidades como técnica de representação, simulação, avaliação, formação, educação e recreação (Rebelo, 1999, p. 23). Apesar das aplicações de realidade apresentarem semelhanças, a RV apresenta-se com um caráter mais imersivo, enquanto a RA é menos imersiva, pois neste último pretende-se um cenário real, enriquecido virtualmente (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 21).

Assim, a imersão é considerada quando o utilizador é transportado completamente para um cenário virtual, munido de dispositivos multissensoriais, como capacetes de visualização, luvas, comandos de voz, que permitem a interação e navegação com e pelo modelo 3D. O realismo aumenta à medida que as características dos equipamentos específicos também aumentam as suas qualidades e os cinco sentidos são satisfeitos, podendo ser acrescentado o fator espaço (Rebelo, 1999, pp. 24–26; Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 10; Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 8). Em contrapartida, a RV é não-imersiva quando a visualização da cena é feita com recurso a dispositivos convencionais, como por exemplo mousse, teclado, monitor de vídeo ou joystick, mantendo a ideia de que o usuário permanece no ambiente real (Rebelo, 1999, p. 30; Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 8 e 10).

Associada à imersão e não-imersão está a navegação, o modo como o usuário se consegue movimentar pelo cenário previamente modelado tridimensionalmente, através da utilização de equipamentos apropriados para o efeito. Segundo Rheingold (cit. Rebelo, 1999, p. 27), a imersão e a navegação são duas características principais da RV, às quais se acrescenta a interação, pois quando combinadas dão a conhecer novas sensações (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 10).

A interação acontece assim que o ambiente virtual é alterado por instruções do utilizador, que pode manipular, adicionar e alterar objetos a partir de comandos executáveis (Rebelo, 1999, p. 27; Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 10). O conhecimento de programação de componentes desta tecnologia permite criar um conjunto de ações, como abrir ou fechar portas ou manipular objetos, em tempo real (Rebelo, 1999, p. 28). Isso em conjunto com a simulação de geometrias ricamente texturizadas e sons ambientes ou específicos cativam o usuário a envolver-se no ambiente virtual (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, pp. 10–11). Contudo é de salientar o uso destas funcionalidades na indústria dos videojogos, por serem técnicas de fácil acesso na internet, de baixo custo no mercado e que estimulam ativa ou passivamente a pessoa para a exploração da Realidade Virtual (Rebelo, 1999, p. 27; Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, pp. 10–11).

3.4. Aplicabilidade da Realidade Virtual

Nos últimos dois a três anos a RV tem cativado o interesse de diversas áreas interdisciplinares, devido aos crescentes pedidos e criatividade das pessoas, tornando o sistema num meio acessível e melhorado. A existência desta elevada procura proporciona o surgimento de novas aplicações de interação entre homem e máquina, que as empresas tendem a explorar cada vez mais (Mazuryk *and* Gervautz, 1996; Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 23).

Para uma maior simplificação do estudo destas novas aplicações optou-se pela centralização da aplicabilidade apenas em RV e pela escolha de agrupar algumas das áreas mais relevantes, que contribuem para o progresso científico.

3.4.1. Arquitetura, Computação Gráfica e Robótica

Representar o projeto de arquitetura através da maqueta digital tem sido uma prática comummente utilizada pois, combinando diferentes tecnologias, tem-se um elevado nível de detalhe de elementos construtivos e arquitetónicos e visualiza-se o modelo a partir de vários pontos de vista em escala real.

Hoje em dia, são vários os *ateliers* que fazem uso desse tipo de representação, que quando combinada com a tecnologia RV permite a simulação e avaliação do projeto em tempo e escala real (Rebelo, 1999, p. 23; Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 23). Constantemente, surgem no mercado novos métodos de representação, como é o caso da mesa interativa "Responsive Workbench" [Fig. 11], que gera uma imagem projetada em 3D passível de manipulação, através do uso de óculos estéreo (*shutter glasses*) (Rebelo, 1999, p. 33).

Com a computação gráfica, os investigadores compreendem a estrutura qualitativa de um fenómeno através da exploração da sua representação no computador, permitindo o controlo em tempo real de "modelos gráficos detalhados e interativos" (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 24).

Um exemplo deste tipo de aplicação é o projeto pioneiro da NASA Ames Research Center, o "Wind Tunnel" [Fig. 12], onde se procedeu à criação de um ambiente virtual com todas as especificidades técnicas que comportam o cenário real, para uma viabilização total da imersão (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 24).

Tecnologias associadas à robótica estão a ser amplamente desenvolvidas para se conseguir obter sistemas RV capazes de substituir os humanos em trabalhos perigosos, através do controlo remoto que permite comandar os robôs por meio de cursores ou ponteiros exibidos graficamente (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, pp. 24–25).

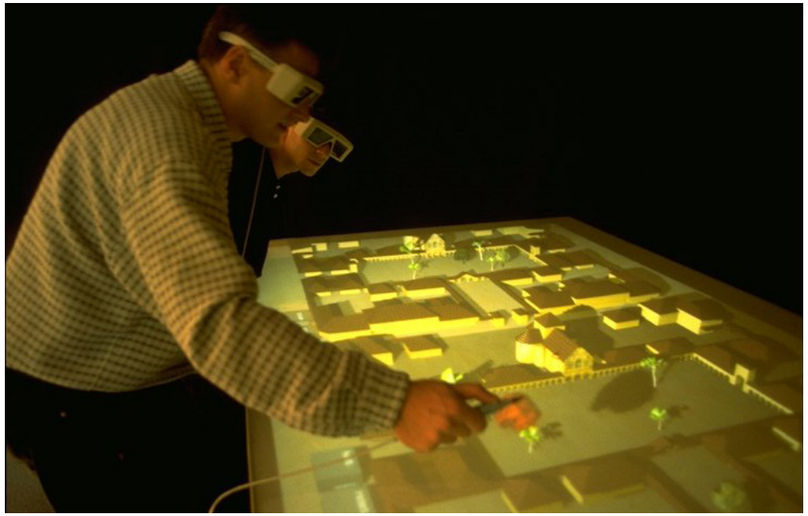


Fig. 11 Mesa interativa *Responsive Workbench* (Responsive Workbench, 1998).

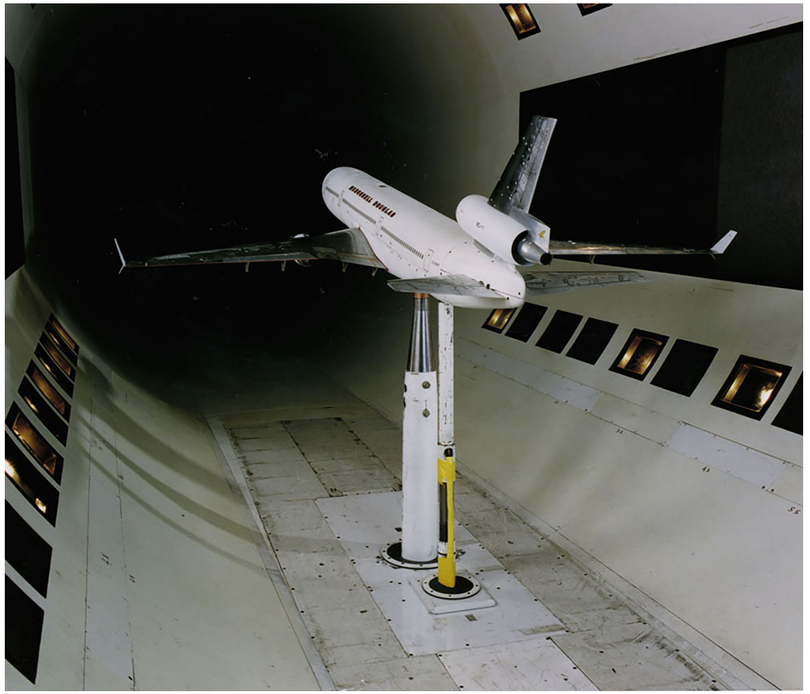


Fig. 12 "Wind Tunnel", projeto pioneiro da NASA Ames Research Center (Wild, 2015).

3.4.2. Defesa

Para além da arquitetura, computação gráfica e robótica, a indústria militar também faz uso das novas tecnologias virtuais (Rebelo, 1999, p. 33) para a formação de soldados em combate, com a simulação de cidades, avatares e objetos virtuais. A escolha da RV deve-se sobretudo à segurança que é proporcionada e economia de equipamentos, que nesta área se tornam demasiado dispendiosos (Rodrigues *and* Porto, 2013, pp. 105–106). Também tem a vantagem de tirar partido da "gamification" (gamificação [tradução livre]), em contexto de não-jogo, de modo a tornar o cenário realista, à medida que é feita a recolha de dados em tempo real, para uma melhor idealização das estratégias militares (Cuperschmind, Amorim *and* Matos, 2011, p. 6).

Para o exército é importante que a formação militar atinja as características o mais reais possível, para que os soldados experienciem as sensações como de um exercício real se tratasse, contrariamente ao que é ensinado nas salas de aula (Bowman *and* McMahan, 2007, p. 37). Os exercícios tornam-se mais reais quando se opta por criar um ambiente virtual colaborativo que permite planear e executar determinada estratégia de combate, sendo para isso utilizada a High-Level Architecture (HLA) (Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, pp. 337–338), a qual cresceu a partir de projetos desenvolvidos pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, para a interligação simultânea de vários computadores (Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 73).

Um bom exemplo deste tipo de aplicação é a simulação Close Combat Tactical Trainer (CCTT) [Fig. 13] (Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, pp. 337–338), que representa um simulador virtual para a formação de um conjunto de soldados. É oferecido às tropas especializadas

simuladores fiéis para tripulações de carros de combate para operarem em missão coletiva, podendo também treinar a nível individual táticas de infantaria e explosões de dispositivos improvisados num sistema RV imersivo (Lockheed Martin, 2013, p. 2).

A RV tem também sido utilizada em projetos de formação tática de infantaria dentro de cidades virtualmente concebidas; de operadores de radares para rastrear trajetórias de aeronaves; de pilotos de aviões para combate; de marinheiros para treino com submarinos, de astronautas para realizar manutenções; entre outros (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 23; Bowman *and* McMahan, 2007, p. 37; Rodrigues *and* Porto, 2013, pp. 105–106).

3.4.3. Medicina e Saúde

Outra das áreas que também tira partido da RV é a medicina, que permite aos formandos realizar cirurgias, treinar diagnósticos, fazer planeamento pré-operatório e tratamentos (Giraldi, Silva *and* Oliveira, 2003, p. 11) de uma forma controlada e segura, quando as técnicas exigem maior habilidade e precisão, como é o caso da neurocirurgia. Os estudantes têm assim a possibilidade de observar imagens virtuais e tridimensionais da estrutura anatómica e aplicar os seus conhecimentos (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 25; Rodrigues *and* Porto, 2013, pp. 105–106).

Na psiquiatria, a tecnologia RV colabora no tratamento de fobias, com a simulação de cenários virtuais que induzem o medo de forma gradual ao longo de várias sessões (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 25). Uma outra e mais recente área é a ortopedia, onde se procura dar formação de procedimentos cirúrgicos num ambiente imersivo e interativo, estando ainda por explorar outras especialidades (Barad *and* Newport, 2016).



Fig. 13 Close Combat Tactical Trainer (CCTT), Camp Casey, Coreia do Sul (United States Army, 2014).

3.4.4. Educação e Formação

Na área da educação e formação são várias as possibilidades de integração da RV, para o desenvolvimento das capacidades cognitivas de alunos, professores e investigadores (Rebelo, 1999, p. 69). São diversas as aplicações da RV no ensino em geral (Escartín, 2000, p. 9), sendo para isso necessário a preconceção de mundos virtuais que ajudam na aprendizagem, quer presencial, quer à distância.

Exemplos dessa prática é a simulação de ensaios experimentais de comportamentos estruturais ou ainda como ferramenta que serve de apoio ao projeto de arquitetura, para a compreensão geométrica do espaço (Rebelo, 1999, p. 69). Para além disso, o espaço também pode ser entendido através da fotogrametria, que se carateriza na modelação tridimensional combinada entre fotografia e CAD, ou da panorâmica 360º (Rebelo, 1999, p. 70), extremamente fáceis de produzir e visualizar usando apenas um *smartphone* e um visor com um custo de poucos euros.

3.4.5. Videojogos, Entretenimento e Cinema

A indústria de videojogos, entretenimento e cinema é dos sectores que mais cativa o interesse do público geral, pelo facto de proporcionar a visualização de novos mundos virtuais tridimensionais a partir de dispositivos tecnológicos. Simultaneamente, este sector tem uma

gigantesca capacidade financeira, sendo o motor por trás dos maiores investimentos em investigação e desenvolvimento em RV.

Desde os anos 90, o sector dos videojogos tem feito avanços no que respeita à qualidade gráfica dos jogos, permitindo a transposição do 2D para o 3D, com o intuito de englobar todas as especificidades da RV (Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 10). Estas funcionalidades são hoje postas à disposição através dos motores de jogos, como é o caso do Unity ou do Unreal Engine, que permitem representar cenários e simulações com muito menor nível de conhecimentos (Giraldi, Silva *and* Oliveira, 2003, p. 12).

O investimento massivo em RV por grandes empresas como o Facebook e a Google motivou a descida de preços das plataformas de software e a melhoria da performance dos hardwares, trazendo também o interesse em desenvolver sistemas multijogadores em rede, como acontece com a W-Industry (Mazuryk & Gervautz 1996, pp. 12-13).

O campo de aplicação da cinematografia é enorme, com a possibilidade de captar expressões faciais de pessoas e transferi-las para personagens animadas ou de realizar vídeos comerciais com baixo custo, através de sistemas como o Facial Waldo™ e VActor, criados pela SimGraphics (Mazuryk & Gervautz 1996, pp. 12-13). Contudo, o mercado cinematográfico procura também explorar a imersão RV ao perspetivar telas 4K ou ainda *trailers* RV, como acontece no filme "Star Wars: The Force Awakens" [Fig. 14] (Raconteur 2015, p.3).



Fig. 14 Realidade Virtual no filme "Star Wars: The Force Awakens" (Price, 2015).

3.5. Dispositivos

A forma ativa de um utilizador usufruir das potencialidades da RV é o uso de dispositivos categorizados de saída (*output*) e de entrada (*input*) de dados, de modo a que os cinco sentidos sejam estimulados, sendo a visão, a audição e o tato os mais explorados até agora (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 12).

A comunicação entre utilizador e sistema é facilitada através destes dispositivos. Quanto mais interligados eles forem, melhor é a experiência imersiva e mais intuitiva se torna a interação no ambiente virtual (Rebelo, 1999, p. 30; Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 39).

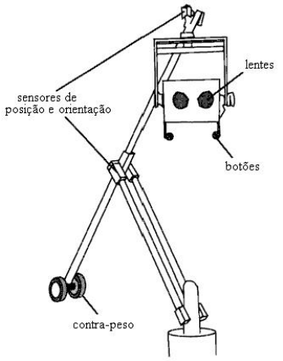
Assim, dispositivos de saída e de entrada coexistem e diferenciam-se pelo tipo de informação que sai e entra no sistema RV, sendo os de saída classificados como visuais, monitores e sistemas de projeção, auditivos e físicos (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 12) e os de entrada como de interação e de trajetória (Neto, 2004, p. 25).

3.5.1. Dispositivos Visuais

Dispositivos de visualização de RV baseiam-se em sistemas monoscópicos, que mostram ao utilizador uma única imagem renderizada da cena virtual, ou em sistemas estereoscópicos, os quais exibem simultaneamente duas imagens renderizadas ligeiramente semelhantes, que formam uma só imagem no cérebro do utilizador, como acontece com a visão binocular humana (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 12; Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, pp. 44–45).

Os Head-Mounted Displays, Oculus Estéreo (Oculus Rift por exemplo) e Head-Coupled Display [Fig. 15] enquadram-se na categoria de visualização individual, em que sensores rastreiam a posição e orientação da cabeça do usuário (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, pp. 13–15). O grande interesse destes dispositivos pelos cientistas deve-se à elevada qualidade de isolamento da imersão da simulação (Rebelo, 1999, p. 31); ao seu baixo preço e à fácil comunicação entre o modelo virtual e os equipamentos convencionais.

Por sua vez, monitores de computadores e sistemas de projeção 3D (como a CAVE, que usa óculos obturadores, "shutter glasses") necessitam de um sistema de sensor de posicionamento e uma superfície plana, para a navegação pelo modelo virtual construído, podendo estar várias pessoas a participar da experiência (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, pp. 13–15; Carreiro *and* Pinto, 2012, p. 3).



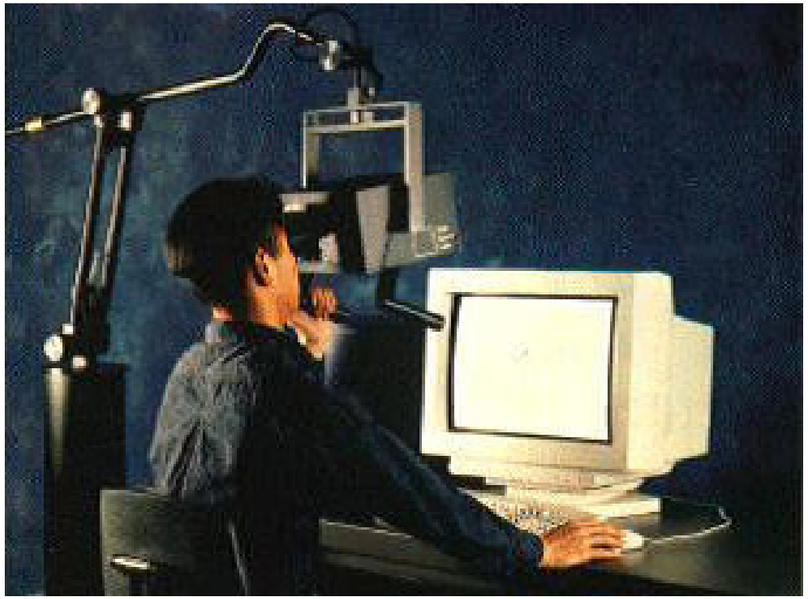


Fig. 15 Sistema estereoscópico do Head-Coupled Display ou BOOM, com movimento de 6DOF (Netto et al., 1998, p. 14).

3.5.2. Dispositivos Auditivos

As características fisiológicas do ouvido humano, bem como a sua capacidade de receber e processar as ondas sonoras até ao cérebro, possibilitam que modelos de audição consigam localizar exatamente a origem espacial do som e sejam incorporados nas simulações de RV de modo a criar efeitos sonoros espaciais aumentando a sensação de imersão (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, pp. 15–16; Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 47).

Conhecidos desde o século XIX, estes tipos de efeitos sonoros têm evoluído desde sons estéreos, baseados em 2 canais de captação, gravação e reprodução, até aos sons de envolvente ou *surround*, que são nada mais que a expansão da "imagem espacial do áudio" para 2D e 3D (cit. Faria, 2005, p. 17), sendo a sincronização feita com a posição da cabeça do usuário.

Os sons *surround* são procurados quando se pretende envolver o usuário num ambiente real, abrangendo um grande número de aplicações, inclusive cinema e jogos (Faria, 2005, p. 13, 17 e 18).

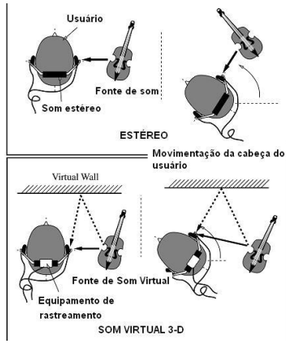


Fig. 16 Diferença entre som estéreo e 3D virtual (Cardoso *and* Machado, no date, p. 14).



Fig. 17 Dispositivo háptico Phantom Sensable (Immersion, 1994).

3.5.3. Dispositivos Físicos

Contrariamente aos dispositivos visuais e auditivos, os equipamentos físicos requerem tecnologia eletromecânica avançada e específica que permita a troca de dados com o sistema RV, pois há a necessidade de estimular a reação tátil ou de força, a resposta térmica e a tensão muscular (Rebelo, 1999, p. 32; Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 16).

Os dispositivos hápticos incorporam sensores e atuadores que fornecem a reação ao toque, como a textura e rugosidade, e de reação de força exercida a um objeto. Estes equipamentos de movimentos e de reação tátil e de força fixos (*ground-based*) ou móveis (*body-based*) encontram-se em forma de luvas (DataGloves) [Fig. 18], exosqueletos, coletes [Fig. 19] ou canetas (como a Phantom da Sensable) [Fig. 17] (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 16), providos também de posicionadores (*trackers*) (Rebelo, 1999, p. 32).

Consegue-se ainda a interação através de dispositivos de resposta térmica, com o efeito de aquecimento e arrefecimento de partes do corpo do utilizador, e de sensação de movimento, usada em videojogos, simuladores de voo e de movimento (Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 50). Outros tipos de dispositivos hápticos, como os comandos *touch* e os Oculus Rift, integram sensores de vibração, ainda pouco explorados, tendem a ser uma área com grande potencial, tornando mais real o ambiente virtual.



Fig. 18 Luva de Dados com atuadores para promover força de retorno (feedback) (Cardoso *and* Machado, no date, p. 15).



Fig. 19 Exemplo de um colete com sensores biológicos (Bourque, 2016).

3.5.4. Dispositivos de Interação

Os dispositivos de interação são responsáveis pelos movimentos e manipulação dos elementos virtuais dentro do cenário também ele virtual, devendo ser escolhido o que melhor se enquadra a cada objetivo e a cada aplicação RV utilizada, para uma maior eficiência do sistema (Neto, 2004, p. 25; Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 40).

Estes dispositivos de interação direta ou indireta estão em constante desenvolvimento de modo a oferecer ao usuário uma interação mais intuitiva, sendo os mais conhecidos as luvas de dados (Leap Motion) (Piskozub, 2016, p. 18); os dispositivos com seis graus de liberdade (6DOF) [Fig. 20] que permitem o movimento em 3 rotações e 3 translações; e os sensores biológicos, que recebem comandos de voz, sensor de profundidade (Kinect por exemplo) e sinais musculares (Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 40).



Fig. 20 Exemplo de um dispositivo com 6 graus de liberdade (6DOF) (Gabriel W, 2004).



Fig. 21 Estrutura de um exosqueleto de um dispositivo de trajetória mecânico (Cardoso *and* Machado, no date, p. 6).

3.5.5. Dispositivos de Trajetória

Interligados aos dispositivos de interação, os de trajetória servem-se da monitorização dos movimentos de partes do corpo do utilizador e da técnica de *tracking*, que permite determinar a posição e orientação do corpo (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 19). A escolha deste tipo de dispositivos parte da avaliação de algumas características como sensibilidade a interferências externas; número de medidas efetuadas por segundo; grau de ruído; taxa de erro; presença ou ausência de fios e área de captura (Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, p. 42).

Por conseguinte, os dispositivos de trajetória classificam-se de mecânicos [Fig. 21] quando fazem uso de câmaras/sensores óticos (*tracking* passivo); de magnéticos [Fig. 22], quando é emitida radiação de pulsos magnéticos (*tracking* ativo) e de ultrassónicos [Fig. 23], quando se baseiam na acústica (*tracking* ativo) (Netto, Machado *and* de Oliveira, 2002, p. 19; Tori, Kirner *and* Siscoutto, 2006, pp. 42–44).



Fig. 22 Componentes constituintes de um dispositivo de trajetória magnético (Cardoso *and* Machado, no date, p. 6).

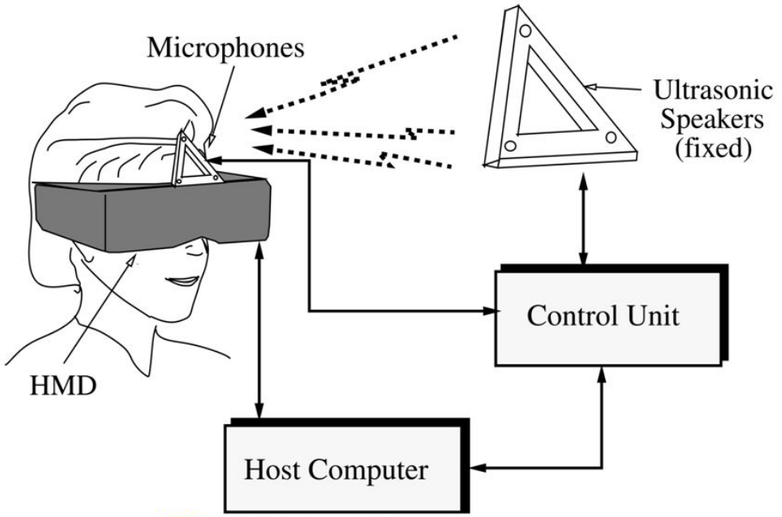


Fig. 23 Esquema de um dispositivo de trajetória ultrassónico, Logitech (Cardoso *and* Machado, no date, p. 7).

3.6. Geração de Conteúdos

Nos últimos anos, os *ateliers* de arquitetura têm utilizado cada vez mais a modelação 3D, quer para o desenvolvimento do projeto, quer para a sua visualização na fase final. As empresas que operam nestes moldes viram aqui uma oportunidade em desenvolver *plug-ins* para usar a visualização através da Realidade Virtual, que tem vindo a ganhar destaque.

De modo a dar início ao desenvolvimento deste trabalho foi realizada a análise sucinta de quatro tipos de *plug-ins* para o software de modelação 3D Revit, exposta na Tabela 1. Os *plug-ins* permitem visualizar e analisar o modelo 3D para posteriormente ser melhorado e associar dispositivos estereoscópicos para a sua compreensão a partir da experiência de RV que se pretende dar aos utilizadores. Para isso, a Tabela 2 também de um modo sucinto expõem quatro tipos de dispositivos estereoscópicos, testados para a posterior escolha de um.

Para além destes métodos inovadores de dar a conhecer outros tipos de representações e simulações em arquitetura através da RV, existe o software "Lumion" que serve como ferramenta de renderização do projeto final, onde é possível adicionar objetos virtuais e animados, avatares, ambientes (dia/noite), entre outros (Lumion, 2017), e permite o uso de Oculus Rift para a experiência em RV, disponível apenas na versão pro.

Tabela 1 Sistema estereoscópico do Head-Coupled Display ou BOOM, com movimento de 6DOF (Netto et al., 1998, p. 14).

***Plug-ins* Revit**	**Características**
Enscape	Visualização: aceita Oculus Rift e HTC Vive; Navegação: apresenta modos alternados de vista ao nível do olhar e do céu; Materialidade: em modo da vista do olhar tem a componente de colisão, mas em vista do céu, não; Textura: apresenta as texturas do modelo; Escala: apresenta a escala real 1:1; Iluminação natural: com um clique (no botão direito do mousse) e movimento (do mousse) altera a posição do sol e das nuvens, entre o dia e a noite; Iluminação artificial: necessidade de adaptar o raio e a intensidade de iluminação no modelo; Interação: qualquer alteração feita no modelo Revit é feita de igual modo na visualização em tempo real; Outras: Menu simples de utilização.
IrisVR Prospect	Visualização: aceita Oculus Rift e HTC Vive; Navegação: apresenta modos alternados de vista ao nível do olhar e do céu; Materialidade: apresenta a componente de colisão de objetos; Textura: apresenta as texturas do modelo; Escala: através da seleção do menu é possível alternar entre a escala real 1:1 e escala de visualização de maqueta (em cima de uma mesa); Iluminação natural: através da seleção do menu é possível escolher a data e hora, com observação do movimento da posição do sol; Outras: faz a captura de imagens; faz desenho livre ou de círculos; através da seleção do menu é possível ligar e desligar *layers* (agrupadas por famílias).
Autodesk Live	Visualização: aceita Oculus Rift e HTC Vive; reconhece as vistas configuradas previamente no modelo; Navegação: apresenta modos de vista do olhar, com a função de aproximação e afastamento do campo de visão, e o modo de vista do céu; Materialidade: apresenta colisão; Textura: texturas do modelo perdem alguma qualidade, cria de forma livre um terreno envolvente ao modelo; Escala: apresenta a escala real 1:1; Iluminação natural: a partir do menu é possível escolher a data e hora, com observação do movimento da posição do sol; Outras: o modelo é gerado na plataforma *online* (*cloud*) da Autodesk.
Revizto	Visualização: aceita Oculus Rift e HTC Vive; Navegação: apresenta modos alternados de vista ao nível do olhar e do céu; Materialidade: alguns materiais não apresentam colisão (como vãos); Textura: apresenta as texturas do modelo; Escala: apresenta a escala real 1:1; Outras: é necessário fazer um pedido por escrito para o *download* da versão *trial*.

Tabela 2 Comparação entre quatro tipos de dispositivos de visualização RV.

Dispositivos	Qualidade de imagem	Usuários	Equipamentos	Imagem
CAVE	Boa	Multi	Projetor; Computador; Telas de projeção.	 Fig. 24 Representação de um ambiente virtual em CAVE (Faria, 2005, p. 66).
Oculus Rift	Boa	1	Computador com placa gráfica boa; Portas de entrada USB e HMDI.	 Fig. 25 Oculus Rift, 2013, lançamento 2016 (Fineman, 2016, p. 9).
Cardboard	Má	1	Smartphone Android; Instalação da Aplicação "Cardboard"; Giroscópio integrado no telemóvel.	 Fig. 26 Google Cardboard, 2014 (Fineman, 2016, p. 10).
Gear VR	Boa	1	Smartphone Android; Instalação de Aplicações; Giroscópio integrado no telemóvel.	 Fig. 27 Gear VR, 2015 (Fineman, 2016, p. 12).



Fig. 28 HTC Vive, 2015 (Fineman, 2016, p. 13).

Fig. 29 Hololens da Microsoft, 2015 (Fineman, 2016, p. 18).

Quer o Cardboard, quer o Gear VR já se encontram disponíveis ao público por preços bastante acessíveis, enquanto os Oculus Rift e a CAVE ainda são caros, pois ainda estão em fase de desenvolvimento e, no caso da CAVE, requer um sítio apropriado para instalar o sistema.

Para além destes quatro tipos de dispositivos visuais, existe ainda o HTC Vive [Fig. 28], que não foi possível testar e o Hololens [Fig. 29], que foi testado através da empresa da Microsoft e do centro de investigação do ISTAR-IUL. Este último dispositivo foi dado a conhecer aos intervenientes da Escola de Armas no projeto "Virtual and Augmented Reality for Military Training Simulation", com a representação do modelo do Centro de Treino de Combate Urbano da Aldeia Camões, que serve de caso de estudo para este trabalho.

Apesar de se encontrar ainda em fase de desenvolvimento, pode-se tirar algumas ilações como a apresentação de uma qualidade de imagem média, um campo de visão muito pequeno, ausência de fios, bateria e *hardware* incorporados, ligação *wi-fi*, com possível visualização da imagem num computador. O próprio sistema faz adaptações de reconhecimento da imagem ao espaço real, pois o usuário vivência a experiência em Realidade Aumentada.

4. Caso de Estudo: Aldeia Camões



Fig. 30 Ortofotomapa da Tapada Militar de Mafra com a delimitação da Aldeia Camões, cedido pela Escola de Armas p. 148].

Este capítulo descreve o trabalho de desenvolvimento do modelo da Aldeia Camões, o centro de treino de Combate Urbano do Exército Português. Esta tarefa, integrada no projeto "Virtual and Augmented Reality for Military Training Simulation" teve como objetivo desenvolver um ambiente tridimensional que reproduzisse de forma fiel o ambiente particular, de forma a provocar nos utilizadores a experiência do local , não só através de uma representação visual dos edifícios, mas também clima, terreno, vegetação, horizonte, paisagem sonora, ocupação humana e equipamentos.

A metodologia seguida coincidiu largamente com o estudo de um território em arquitetura, fundamental para a compreensão das suas características topográficas e geográficas, que depois são representadas em peças gráficas, à escala. Uma aproximação do lugar cuidada possibilita entender as questões que o próprio território coloca e que a arquitetura procura responder, independentemente de como este é representado para ser visualizado.

Como o trabalho desta dissertação é fazer a representação e simulação em Realidade Virtual, utilizou-se, para o seu desenvolvimento, a plataforma de jogos Unity de maneira a poder ser apresentado e consumido numa variedade de plataformas digitais: projeção, ecrã de computador, tablet, realidade virtual, realidade aumentada, entre outras.





Fig. 31 Envolvente à zona da Aldeia Camões (Março 2017).

Fig. 32 Uma das zonas de túneis da Aldeia Camões (Março 2017).

4.1. Unity

4.1.1. História

Em 2002 na Dinamarca, David Helgason, Joachim Ante e Nicholas Francis juntam-se com o intuito de fazer jogos, mas acabam por criar um *software* para desenvolver jogos, tornando-se num dos motores de jogos "mais úteis na indústria dos videojogos" [tradução livre] (Haas, 2014, p. 4). Dois anos mais tarde, surge a oportunidade de criar a própria empresa, com o nome OTEE (Over The Edge Entertainment), mais tarde Unity Team, após a então conhecida Criterion, já com bastante expressão no mercado de videojogos (Haas, 2014, p. 5).

O grupo de colegas apercebe-se do interesse dos usuários por "jogos casuais e *on-line*", e então decidem aprimorar um jogo já existente com o próprio *software*, de modo a perceberem as suas potencialidades e limites (Haas, 2014, p. 7). Surge assim a primeira versão do Unity, com "gráficos 3D acelerados por hardware" e acrescenta, posteriormente, o "suporte para *plug-ins* externos C/C++" (cit. Haas, 2014, p. 8 e 9).

A partir de então, a Unity Team, posteriormente Unity Tecnologies faz melhorias e atualizações no seu programa, a par do editor, para dar suporte ao OS X, inicialmente, e mais tarde ao Windows (Haas, 2014, p. 9 e 10). O Unity serve essencialmente para desenvolvimento de jogos (Haas, 2014, p. 10), para uma grande variedade de plataformas, incluindo Mobile, Desktop, Web e Consoles (Haas, 2014, p. 18), sendo ainda pouco conhecido por arquitetos que pretendem mostrar os seus projetos a partir da experiência de Realidade Virtual.

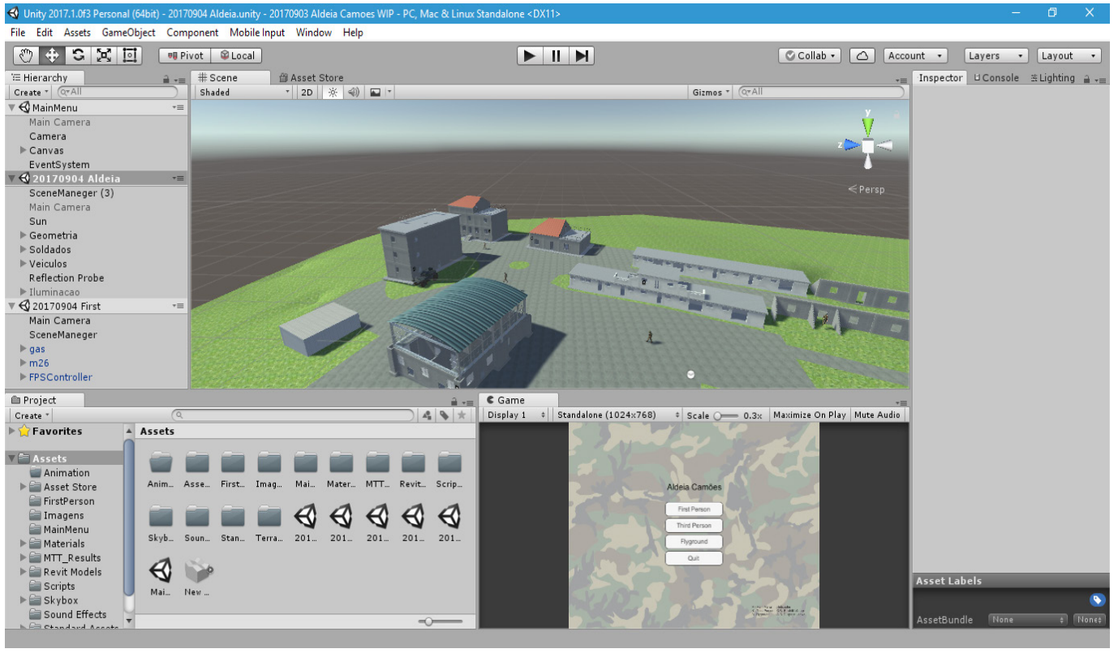


Fig. 33 Interface do Unity, versão 2017 [p. 152].

4.1.2. Funcionalidades

A interface é composta por uma barra no topo com botões de acesso rápido, que facilitam na construção do cenário, e por *windows* (janelas), sendo as mais usadas: Hierarchy (hierarquia), Scene (cena), Game (jogo), Project (projeto), Inspector (propriedades), Console (consola) e Asset Store (loja de ativos).



Barra no topo da interface.



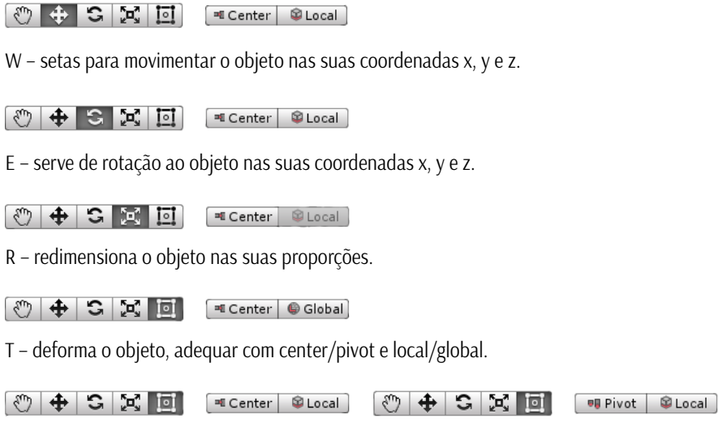
Q – Pan – movimenta o ecrã.



Botão direito ou Alt + botão esquerdo do *mouse* – acontece a transformada da posição de focagem.



Scroll ou Alt + botão direito do *mouse* – faz zoom de aproximação ou afastamento.



W – setas para movimentar o objeto nas suas coordenadas x, y e z.

E – serve de rotação ao objeto nas suas coordenadas x, y e z.

R – redimensiona o objeto nas suas proporções.

T – deforma o objeto, adequar com center/pivot e local/global.

Z – alterna entre pivot e center.

Pivot – identifica o ponto central do(s) objeto(s).

Center - identifica o centro do(s) objeto(s).

X – alterna entre "local" e "global".

Local – o gizmo reconhecido do(s) objeto(s) é o do(s) objeto(s).

Global – o gizmo reconhecido do(s) objeto(s) é o do modelo; não é habilitado para usar o redimensionamento de objetos.

F – faz a aproximação ao objeto selecionado.

Ctrl + shift + F – posiciona um objeto na vista em que se encontra a vista da cena.

V – seleciona o vértice do objeto mais próximo do cursor, com o *pivot* e o movimento do objeto ativos; manter sempre a tecla pressionada para detetar os vértices.

Tab – altera a seleção das coordenadas x, y e z.

2 – muda a vista para 2D; quando pressionada a segunda vez, retorna à vista 3D.



Play – arranca e para o jogo; Pause – pausa o jogo para fazer alterações necessárias, sendo que estas são revertidas após a saída do modo *play*; Forward – faz avanços de *frame* a *frame*, apenas tem interesse quando existem animações.



Layers – Os Game Objects podem ser agrupados em layers e podem ser bloqueados/desbloqueados ou ligados/desligados, todos ao mesmo tempo ou individualmente, sendo os Default, Transparent FX, Ignore Raycast Water e UI, os predefinidos.

Layout – O *layout* mostra a configuração das janelas em modos pré-configurados ou configurados pelo utilizador, podendo ser customizados e gravados.

Hierarchy (hierarquia) – O painel Hierarchy [Fig. 34] mostra todos os Game Objects constituintes da(s) cena(s), podendo ser agrupados como "Father" e "Child". Estes também podem ser tangíveis, como estruturas, avatares, ou intangíveis, que apenas o Developer consegue manipular, como câmaras, luzes e colisões . Os Game Objects apresentam pelo menos a componente Transform, que identifica a posição, escala e rotação do objetos, podendo ser adicionadas mais componentes, como áudio, malha, material, *scripts*, etc.

Scene (cena) – A janela Scene [Fig. 35] mostra tudo o que é colocado no painel Hierarchy, podendo fazer-se alterações aos Game Objects. Quando existem várias cenas no mesmo projeto, todos os Game Objects são visualizados na mesma Scene de visualização. Tem ainda um conjunto de opções, tais como *shaded*, *wireframe*, *shaded wireframe*, vista 2D (para jogos 2D), iluminação, sons, entre outros.

Game (jogo) – Em modo Game [Fig. 36], ao Developer é permitido testar o jogo e perceber o seu desenvolvimento, sendo necessário haver uma câmara ativa.

Project (projeto) – No painel Project [Fig. 37] são apresentados todos os elementos disponíveis a serem usados na Scene, e que são armazenados na pasta Assets, gerida pelo Unity. A qualquer altura é possível adicionar ficheiros, por exemplo FBX, sons, imagens, bastando para isso arrastá-los para o interior da pasta ou ainda importar Packages. Alguma atenção é necessária para não apagar ou ludar de lugar ficheiros, pois corre-se o risco de quebrar ligações entre ficheiros e metadados.

Inspetor (inspetor) – Neste painel [Fig. 38] é mostrado as componentes que cada Game Object tem ou controlos para configurar componentes, como por exemplo *Inputs*.

Console (consola) – No painel Console [Fig. 39] são apresentados avisos, erros ou informações referentes a todo o projeto, surgindo maior parte das vezes após o início do jogo. Os erros devem ser corrigidos, pois corre-se o risco do Game não funcionar ou entrar em modo Play e Pause.

Asset Store (loja de ativos) – O Unity tem uma Asset Store [Fig. 40] com uma variedade de Packages de Game Objects, gratuitos ou pagos, que podem ser importados diretamente no projeto, ficando armazenados na pasta Assets.

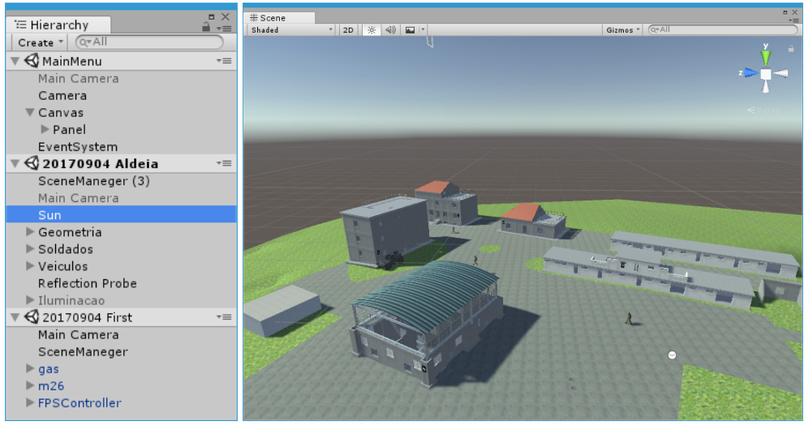


Fig. 34 Janela de Hierarchy [em cima à esquerda].

Fig. 35 Janela de Scene [em cima à direita].

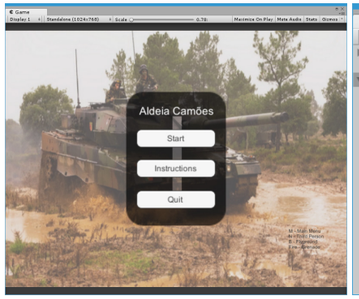


Fig. 36 Janela de Game [em baixo à esquerda].

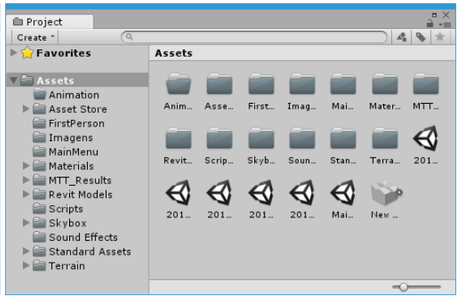


Fig. 37 Janela de Project [em baixo à direita].

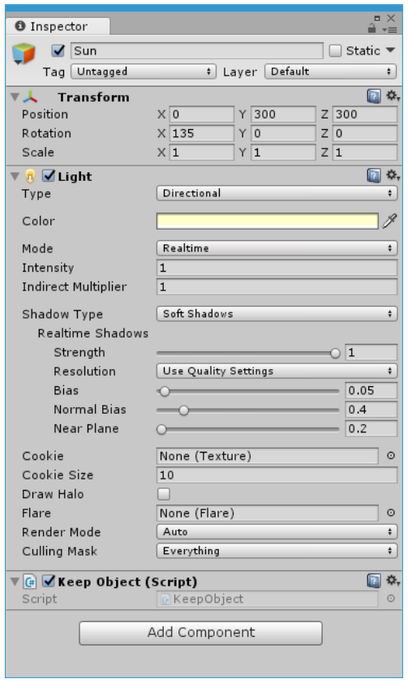


Fig. 38 Janela de Inspector [à esquerda].

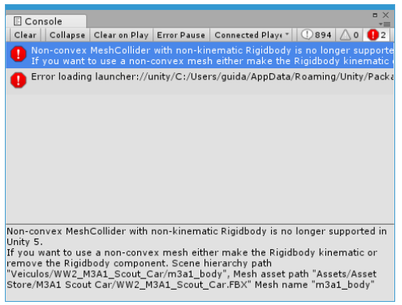


Fig. 39 Janela de Console [em cima à direita].

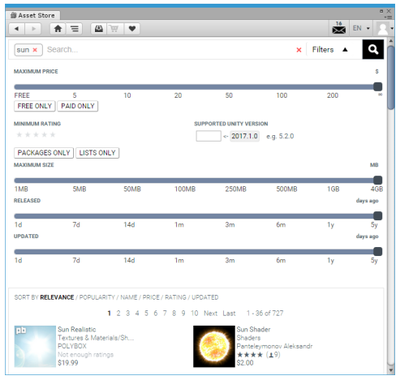


Fig. 40 Janela da Asset Store [em baixo à direita].

4.2. Representação e Simulação da Aldeia Camões

Pertencente à Escola de Armas, na tapada de Mafra, a Aldeia Camões serve de campo de treino e formação de militares para combate em meio urbano edificado, onde são exigidas técnicas, táticas e procedimentos (TTP) para poderem operar neste local em particular. Este tipo de instrução é feita desde 1996, em que as instalações eram um antigo canil abandonado, que progressivamente se tornou na atual Aldeia Camões, no espaço de 2 anos.

No local são formados militares dos três ramos que compõem o Exército Português, bem como militares da NATO, da União Europeia e Países de Língua Oficial Portuguesa. Para além disso, a Aldeia Camões está ligada à "Carreira de Tiro Virtual" e à "Sala de Planeamento", formando os "três vértices" da instrução militar (Machado, 2012).

4.2.1. Terreno

O terreno é um elemento principal na interpretação de um local através das suas características topográficas e geográficas [Fig. 42], daí a sua representação ser o mais fiel para que o local não perca a sua identidade, enquanto ambiente virtual.

Numa primeira abordagem e com o ficheiro em formato DWG [Fig. 41], contendo cotas planimétricas, implantação dos edifícios e ainda o conjunto, em fase de projeto, do complexo Árabe ainda por construir, entre outras informações, disponibilizado pela Escola de Armas, foi possível ter uma ideia do território e modelar o terreno em Revit e, posteriormente, em Unity para a implementação de texturas e vegetação. Para isso, foi preciso:

1. Modelar o terreno, com ajuda das curvas de nível e cotas planimétricas do desenho 2D em DWG disponibilizado pela Escola de Armas, com recurso ao programa Revit. Utilizou-se este programa devido à sua precisão, coisa que o Unity não consegue fazer.
2. Exportar o modelo em FBX para o projeto do Unity, sendo que este passo pode ser feito em conjunto com a modelação dos edifícios.
3. Em Unity, fazer o download do *plug-in* pago, Mesh to Terrain da Asset Store [Fig. 43] e importar para o projeto. Este *plug-in* consegue criar um terreno a partir da seleção de plano existentes para que sejam inseridas árvores e texturas, como acontece quando se cria um terreno diretamente no Unity.
4. Em Mesh GameObject, escolher ou arrastar os objetos e selecionar Start. Pode-se alterar as dimensões em Bounds.
5. De seguida, importar o Package Environment [Fig. 44] que se encontra em Assets e inserir texturas e árvores no terreno criado [Fig. 45].
6. Para fazer ajustes no terreno, utilizar as ferramentas de acrescentar ou reduzir (com a tecla *shift*), colocar texturas ou ainda suavizar cantos.
7. Pode-se ainda adicionar a componente Wind Zone ao terreno, em Component seguido de Miscellaneous [Fig. 46].
8. Uma ferramenta útil em Terrain é Heightmap que importa ou exporta um ficheiro em RAW, disponível nas definições, essencial para quem quer repor o terreno inicial. Isto não se aplica a texturas, árvores e relvado.

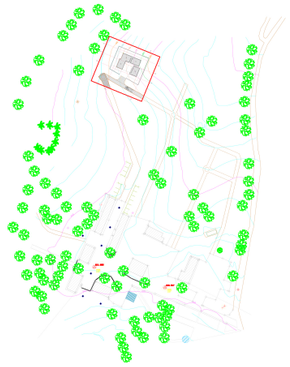


Fig. 41 Ortofotomapa aproximado da Aldeia Camões, cedido pela Escola de Armas [p. 163].

Fig. 42 Planta de implantação da Aldeia Camões, em formato DWG, disponibilizada pela Escola de Armas .

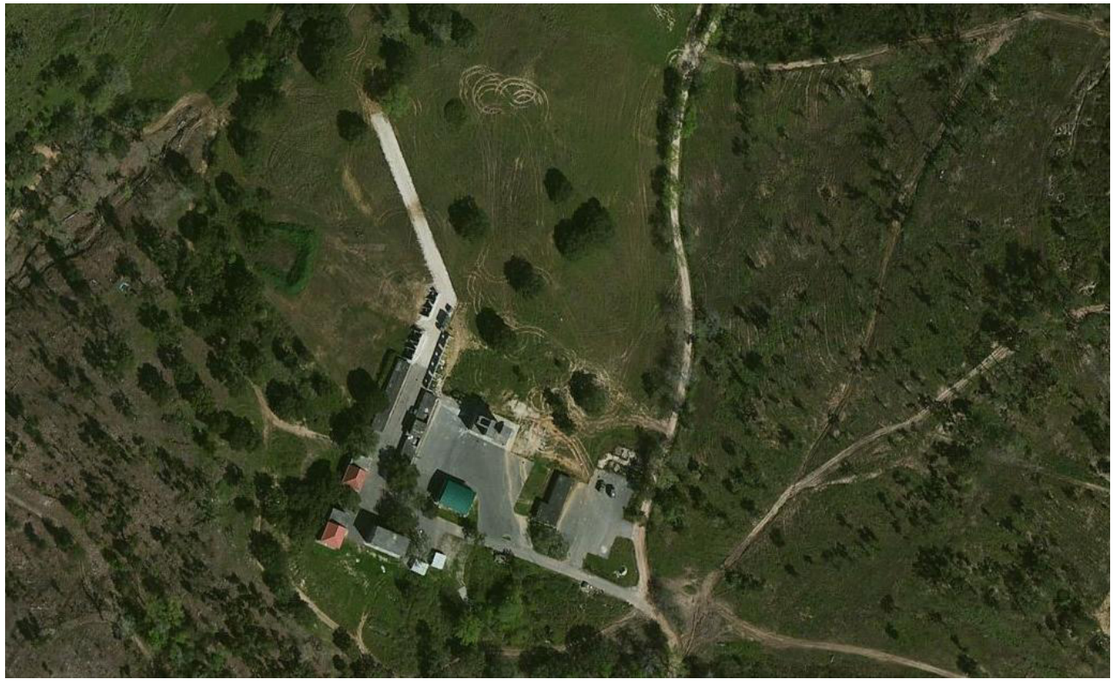


Fig. 43 Plug-in de Mesh to Terrain.

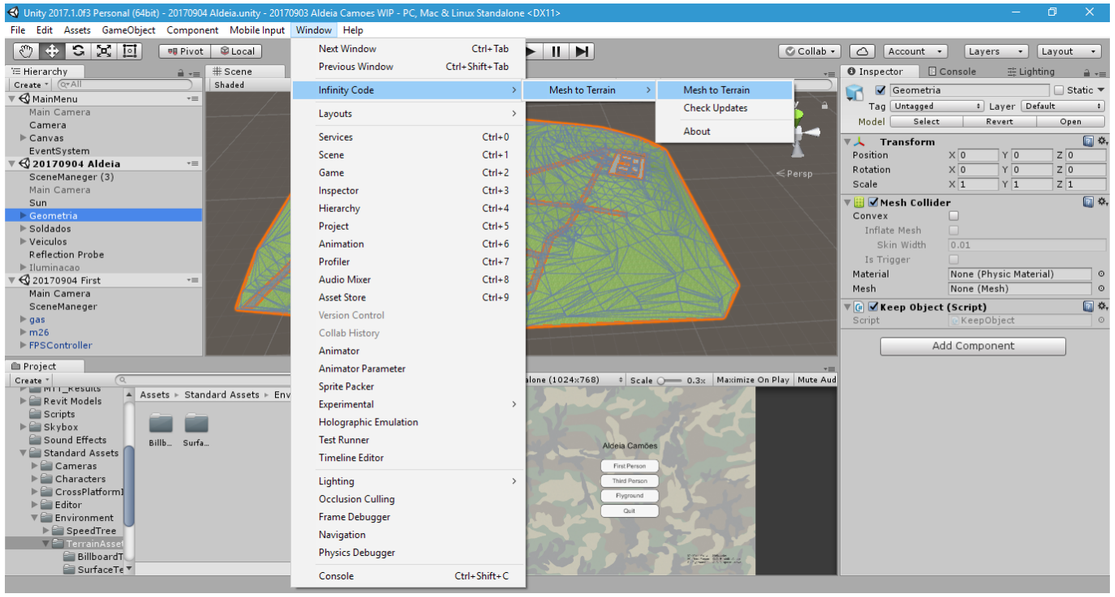


Fig. 44 Importação do Package Environment.

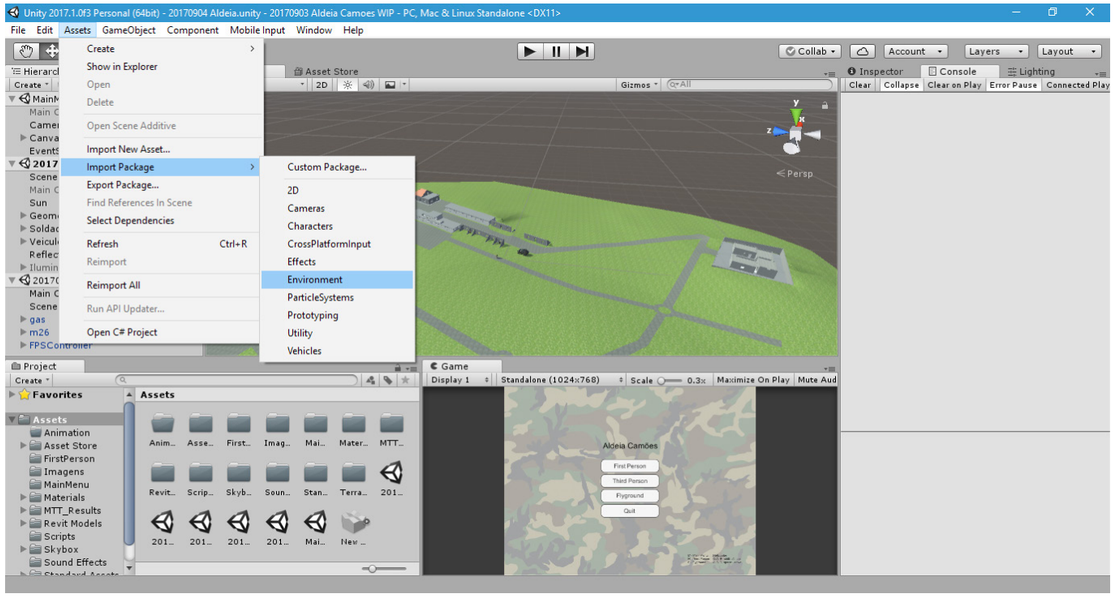


Fig. 45 Adição de árvores.

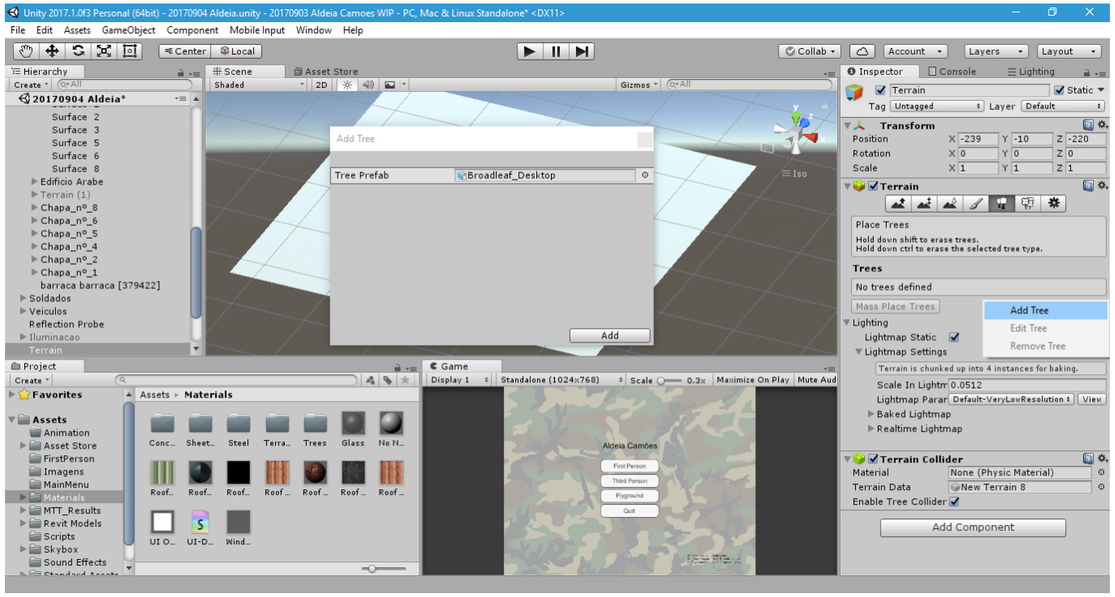
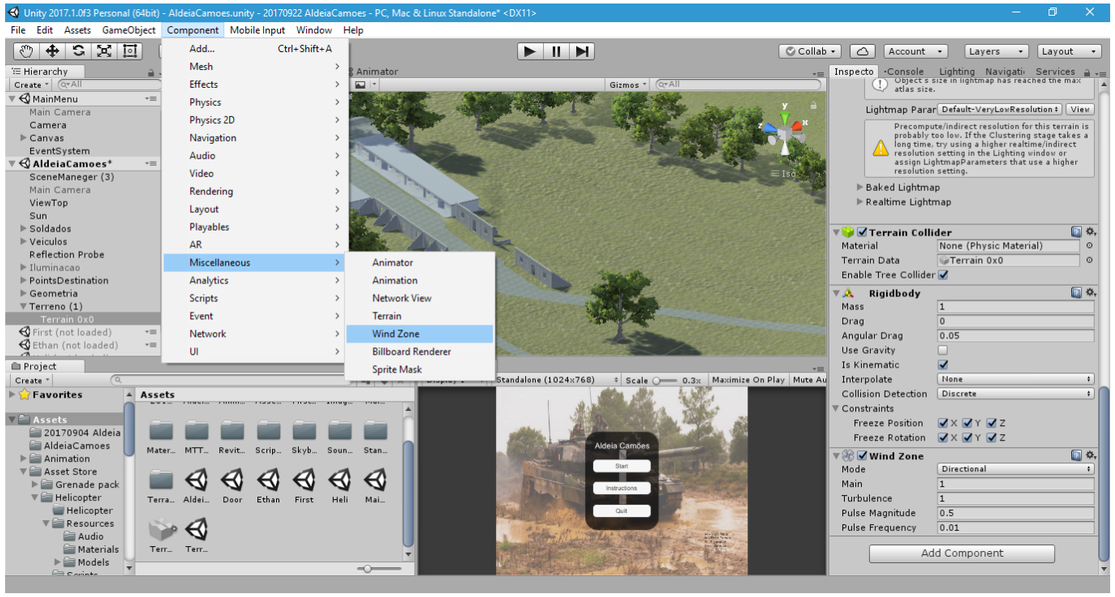


Fig. 46 Adição da componente Wind Zone ao terreno.



4.2.2. Geometria

Antes de iniciar a representação tridimensional do projeto Aldeia Camões foi concretizado um levantamento rigoroso e fotográfico do edificado, exceto o edifício 7 (torre) que foi deixado para uma segunda fase. O levantamento foi realizado no dia 17 de Março de 2017, pela autora, com apoio do arquiteto Ricardo Miguel.

Optou-se por não modelar os edifícios 3D em Unity, pois as capacidades de modelação de geometrias complexas são muito limitadas. Empregou-se o Revit v. 2017, pois está particularmente vocacionado para modelação tridimensional de edifícios e suas componentes, e exporta as geometrias em formato FBX, extensão reconhecida pelo Unity. Finalmente, o Revit permite também o uso de *plug-ins* que permitem visualizar os modelos em Realidade Virtual, através de dispositivos como Oculus Rift.

A maior parte dos edifícios encontra-se em tosco e apresentam-se com geometrias muito simples e simétricas [Fig. 47], o que torna a modelação mais fácil para a representação das suas fundações, pilares, vigas, paredes, pavimentos, coberturas, escadas e rampas exteriores. Foram criados vazios que representam ausência de portas e janelas, guarda-corpos em escadas e coberturas planas [Fig. 48], e foram ainda utilizadas famílias do *site* "BIM objects" (http://bimobject.com/pt/product), como portas e janelas para o edifício 6, o laboratório, e escadas verticais. Para as placas de identificação dos edifícios, foram feitas famílias próprias.

Após toda a tarefa de modelação 3D terminar [Fig. 49], exportar o modelo em FBX e realizar as seguintes tarefas no Unity:

1. Criar o projeto, dando-lhe um nome, que neste caso foi dado de Aldeia Camões.
2. Importar ou arrastar o ficheiro FBX para dentro da janela Project. Quando se cria o projeto, automaticamente são criados metadados e pastas, tais como, Library, Project Settings, Temp e obj.
3. Arrastar para dentro da Scene o modelo.
4. Selecionar o ficheiro e habilitar a opção Generate Collider [Fig. 50].
5. Verificar se todos os objetos apresentam a componente Mesh Collider. Caso não se verifique, aplicar individualmente.

Fig. 47 Modelação da estrutura do piso do rés-do-chão do edifício 2.

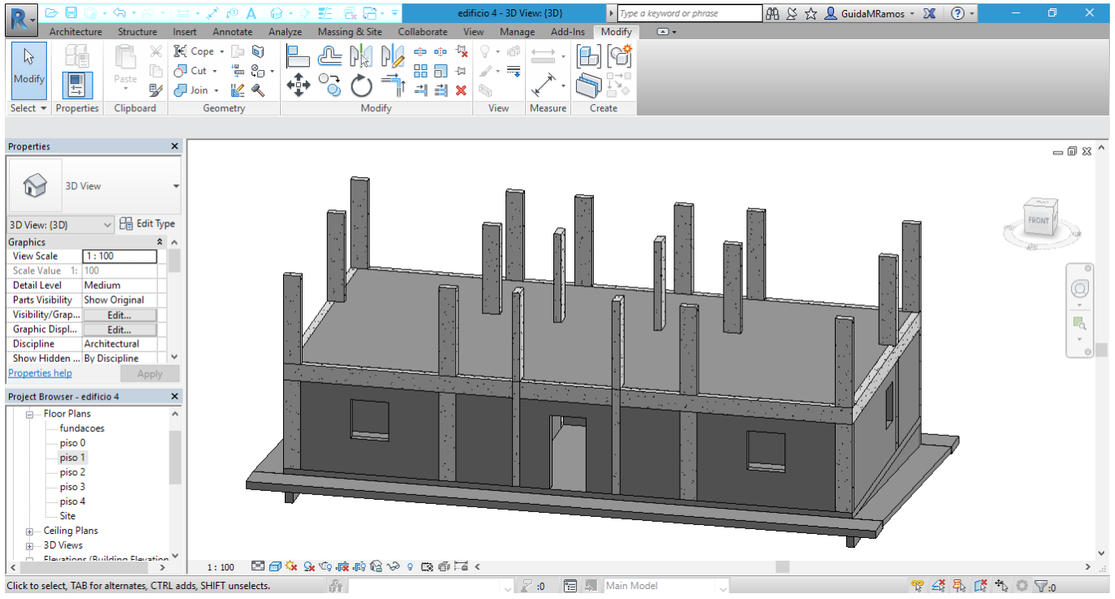


Fig. 48 Edição do guarda-corpos do edifício 2.

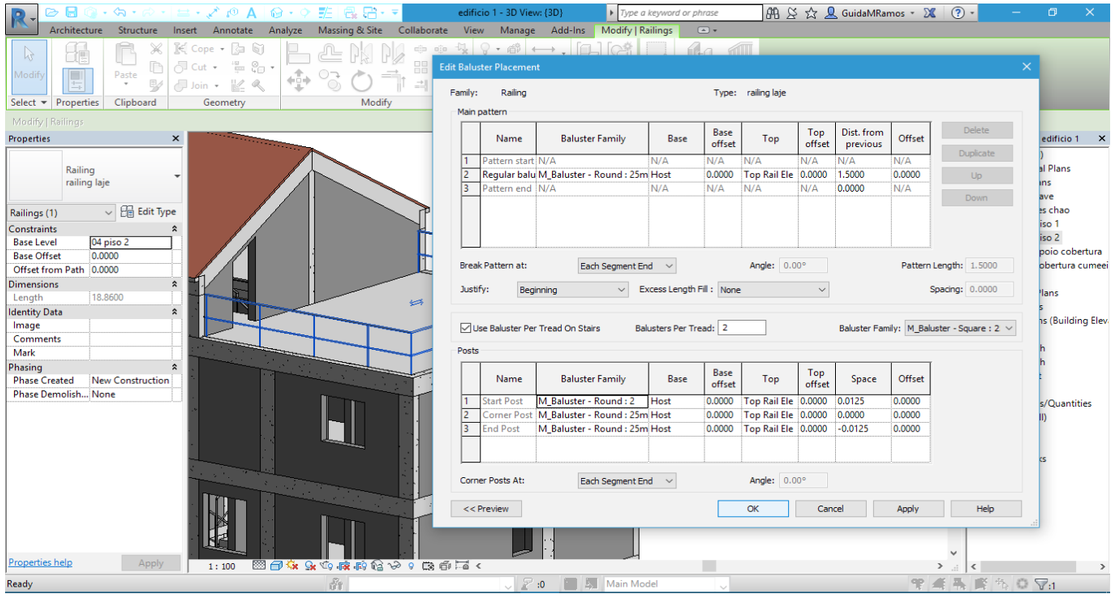


Fig. 49 Modelo tridimensional da Aldeia Camões em Revit.

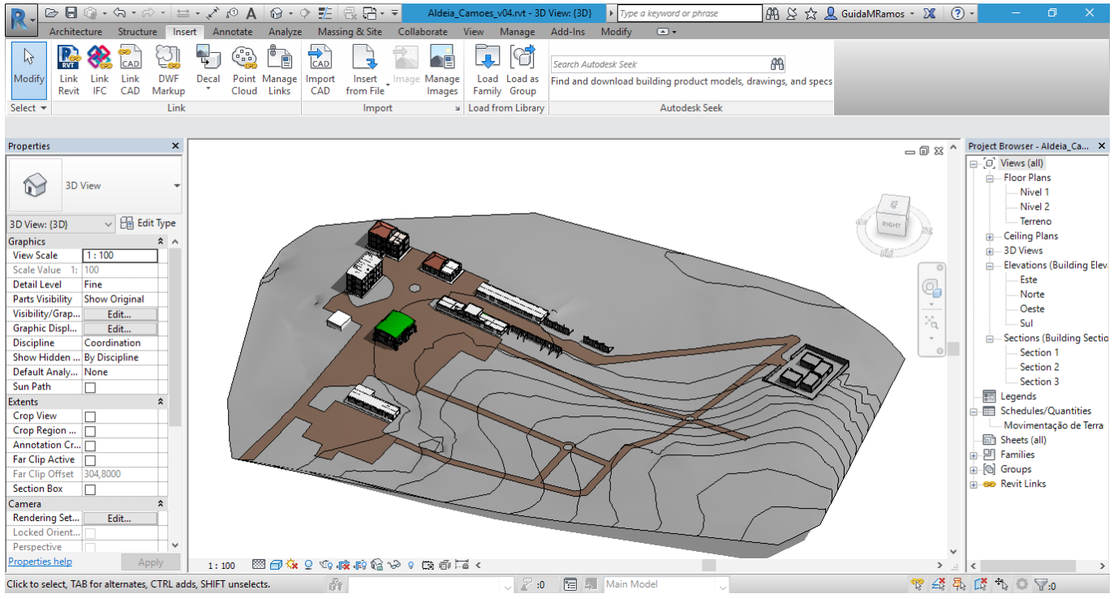
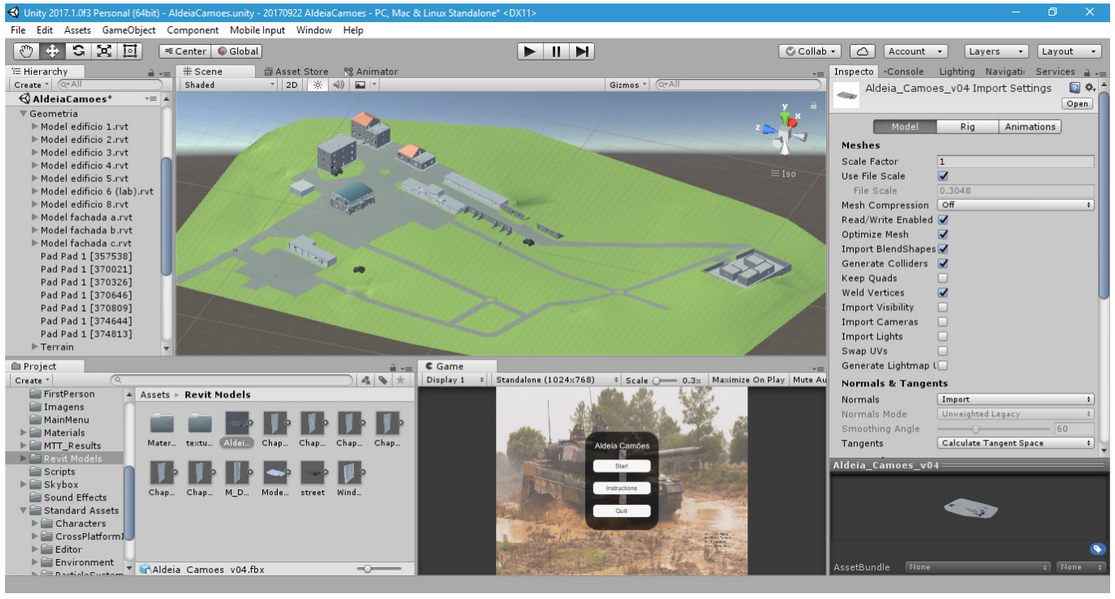


Fig. 50 Modelo tridimensional da Aldeia Camões em Unity.



4.2.3. Texturas

Para um modelo que transmita a ideia de presença realista a quem conhece o espaço é importante ter em atenção certos detalhes que caracterizam o espaço, tais como a textura de um revestimento, o tipo de vegetação rasteira, ou uma linha de horizonte particular. Um desses detalhes que consiste na alvenaria de betão, foi portanto fotografada com cuidado no local, trabalhada com recurso a um *software* de edição de imagem 2D e reproduzida no modelo.

O Photoshop pode ser uma das opções para trabalhar a "Physical Based Rendering" das texturas 2D, de forma a criar o Albedo [Fig. 51 e Fig. 52], a imagem em si e o Bump Map [Fig. 53], uma imagem com valores cinzas e branco que dá a ideia de profundidade e rugosidade numa superfície (PluralSight, 2004). O Normal Map, uma imagem de mistura de púrpuras e azuis, não é fácil de gerar ou editar em programas 2D. Este tipo de mapa "diz à aplicação 3D como o polígono deve ser sombreado", nas direções x, y e z [tradução livre] (cit. PluralSight, 2004) e serve melhor à malha quando esta é deformada numa animação. O Displacement Map comporta-se como o Bump Map, mas deformam mais a malha, sendo por isso melhores para criar pormenorizações e normalmente utilizados na renderização. Para estes dois tipos de mapas, pode-se recorrer a geradores *on-line* (http://cpetry.github.io/NormalMap-Online/), apesar da baixa resolução das imagens (PluralSight, 2004) ou a empresas especializadas, como a Quixel (https://quixel.se/), que forneceu texturas ao abrigo de protocolo com a unidade de investigação ISTAR-IUL, as quais foram utilizadas para gerar os matérias de betão, portas, relva, terra e metal.

Experimentou-se ainda utilizar o plug-in "Twinmotion" para exportar o modelo com texturas, mas as suas opções levou a que se fizesse a exportação diretamente do Revit e, posteriormente, colocar as texturas a cada objeto no Unity. Para aplicar os diferentes materiais a cada tipo de objeto:

1. Criar Material em Assets [Fig. 54] e adicionar as texturas Albedo e Normal Map. Ajustar caso seja necessário a cor da Albedo.
2. No caso do material vidro, para alterar para Transparent em Rendering Mode e reduzir o valor de A em Color do Albedo [Fig. 55]. Pode-se ainda acrescentar a característica de Emission para emissão de luz refletida própria do material.
3. Aplicar o material num ou em vários objetos arrastando diretamente para a cena ou para Material – Element 0 em Mesh Renderer.

Fig. 51 Textura Albedo das telhas cerâmicas em Photoshop

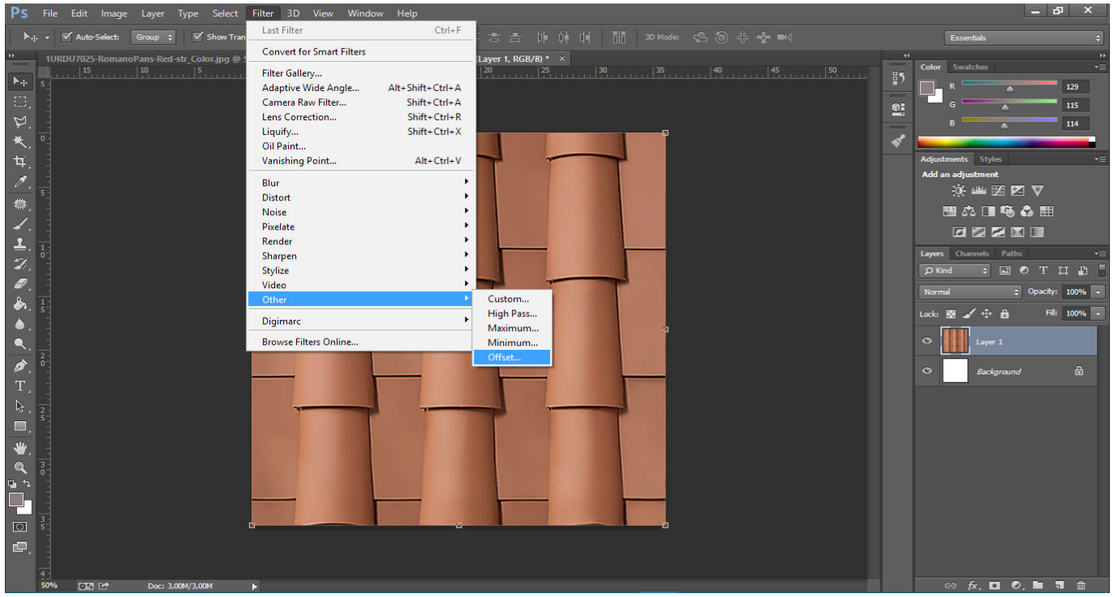


Fig. 52 Definição de Offset para a textura Albedo em Photoshop.

Fig. 53 Textura Bump Map das telhas cerâmicas em Photoshop.

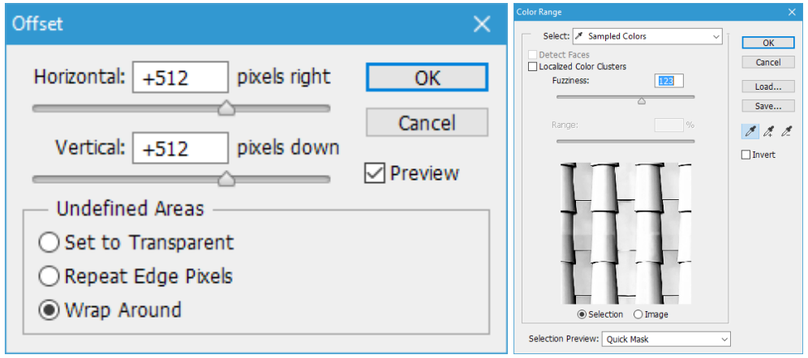


Fig. 54 Criação de um novo material.

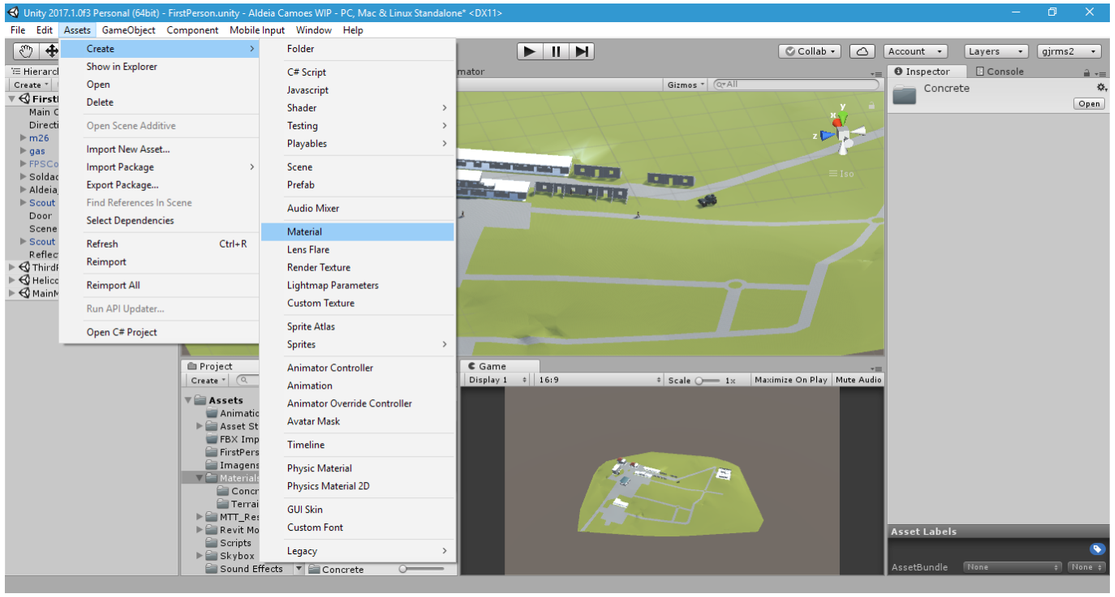
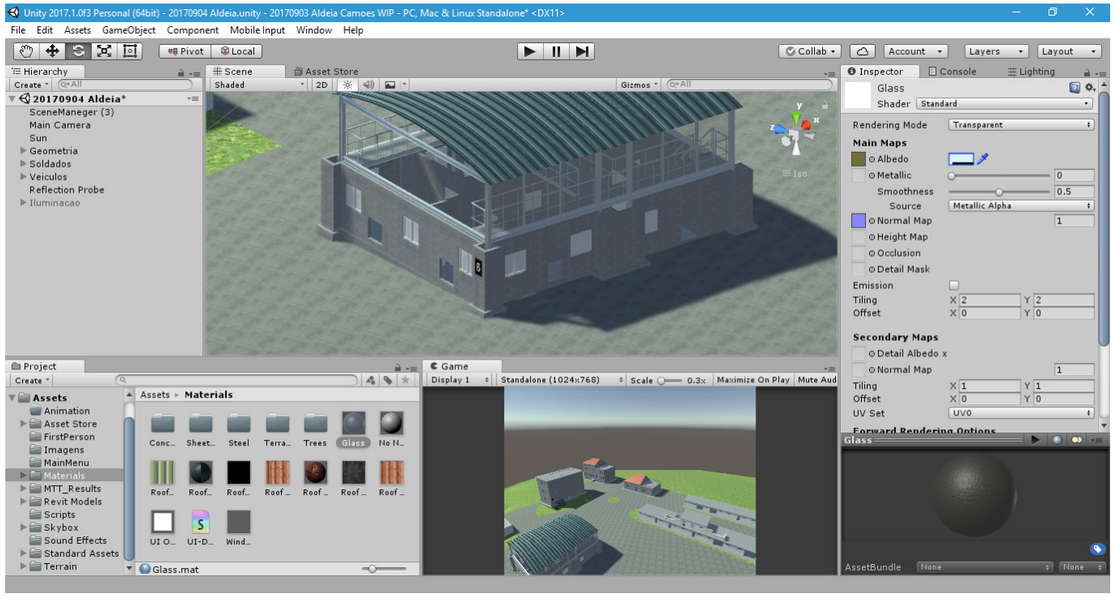


Fig. 55 Textura do vidro, com a definição de transparência.



4.2.4. User Interface (UI)

Geralmente, quando é criado um projeto é apresentado um menu de entrada principal, onde é possível fazer uma seleção das opções disponíveis ou simplesmente sair do modo de jogo. Para isso, basta:

1. Criar Canvas [Fig. 56] em Game Object, seguido de UI, sendo criado automaticamente EventSystem. Adicionar Grid Layout Group em Layout para definir as dimensões e outras propriedades do Menu. Caso se pretenda ter uma posição livre do menu, desligar a Grid Layout Group.
2. Acrescentar Panel [Fig. 57] e Text, e mudar o nome deste último para "Aldeia Camões. O painel pode ter a sua transformada alterada em Rect Transform e o texto com melhor definição, habilitando a opção "*pixel* perfect" em Canvas. A Canvas ou ao painel pode ser adicionado a componente Image Raw, para ter uma imagem como *background* ou um simples sólido com cor ou ainda com transparência.
3. Adicionar três Button [Fig. 58] em Game Object, que vão definir o texto a aparecer no painel de apresentação e renomeá-los individualmente tanto nas suas propriedades como na hierarquia para uma melhor organização da informação. Ao Button podem ser aplicadas transições, bastando para isso ir à componente Button (*script*) e alterar para as opções disponíveis: None (sem qualquer tipo de transição; Colo Tint (uma cor sobressai aquando da seleção ou sobreposição do cursor; Sprite Swap (cria a troca de informação por uma outra, sendo acrescentado em Highlighted Sprit; e Animation (mais complexo, proporciona animações, bastando para isso fazer Auto Generate Animation, guardar o ficheiro e criar propriedades em Rect Transform; aplicar aos Buttons à animação criada.
4. Enquadrar Canvas com a opção Screen Space Camera [Fig. 59] e criar uma Camera, colocando Solid Color em Clear Flags, para que o *background* tenha uma cor. Pode ser necessário alterar as profundidades de todas as câmaras inseridas no projeto para que não apareça nenhum *background* no menu.
5. Salvar a UI como uma cena à parte da cena que vai englobar toda a estrutura do projeto.

Fig. 56 Seleção de Canvas em Game Object, seguido de UI.

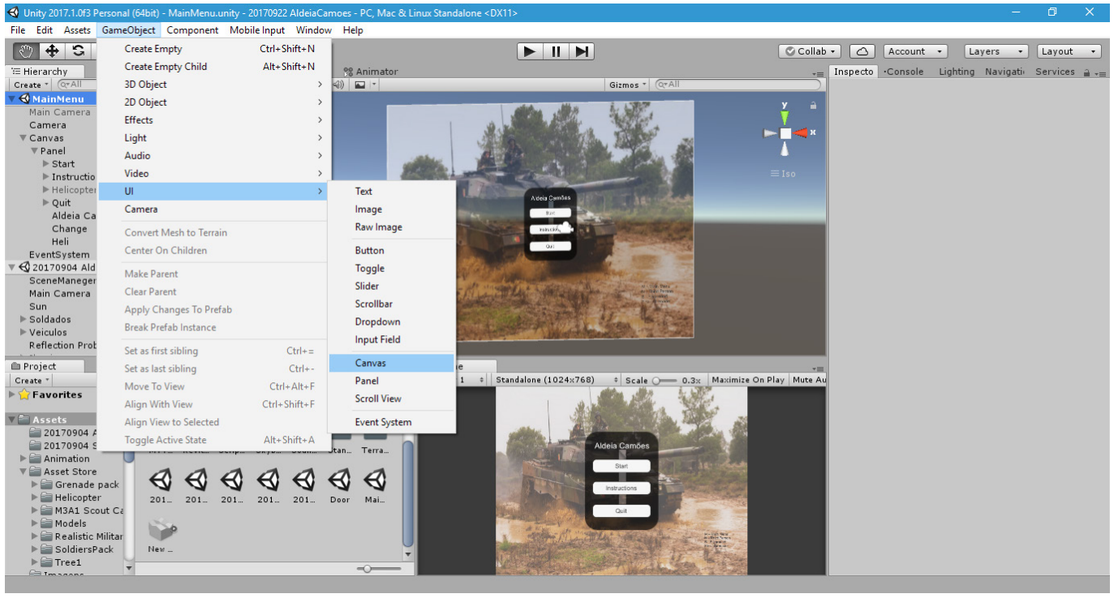


Fig. 57 Seleção de Panel em Game Object, seguido de UI.

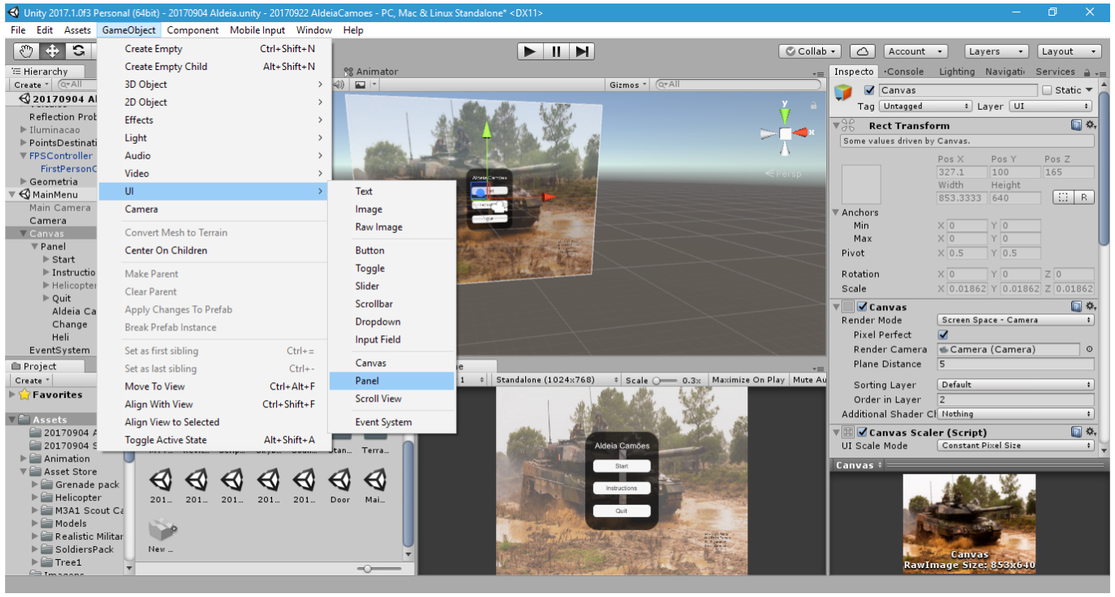


Fig. 58 Seleção de Button em Game Object, seguido de UI.

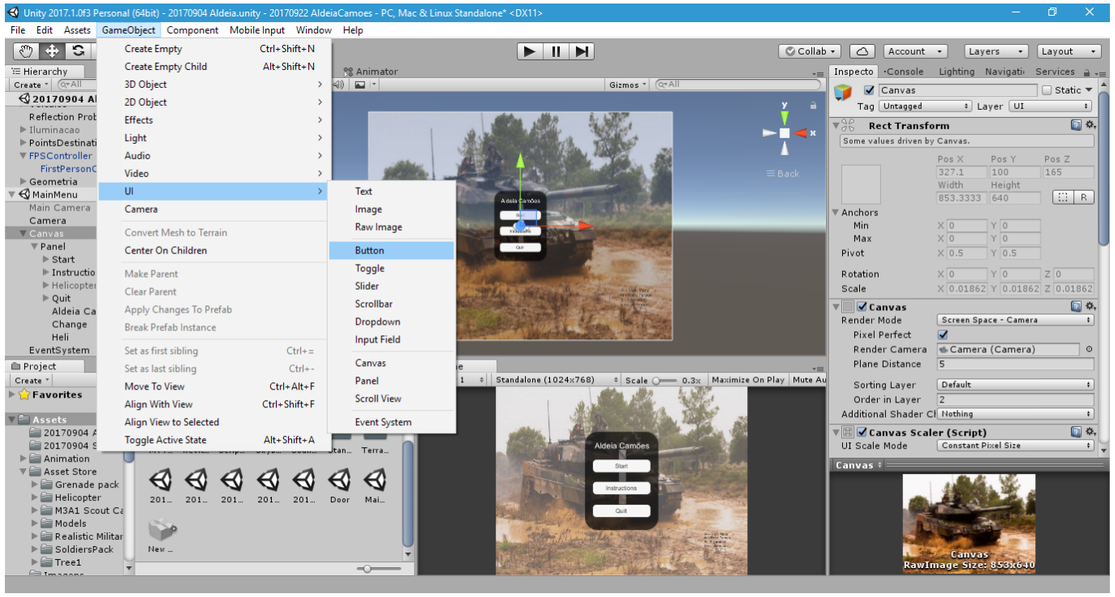
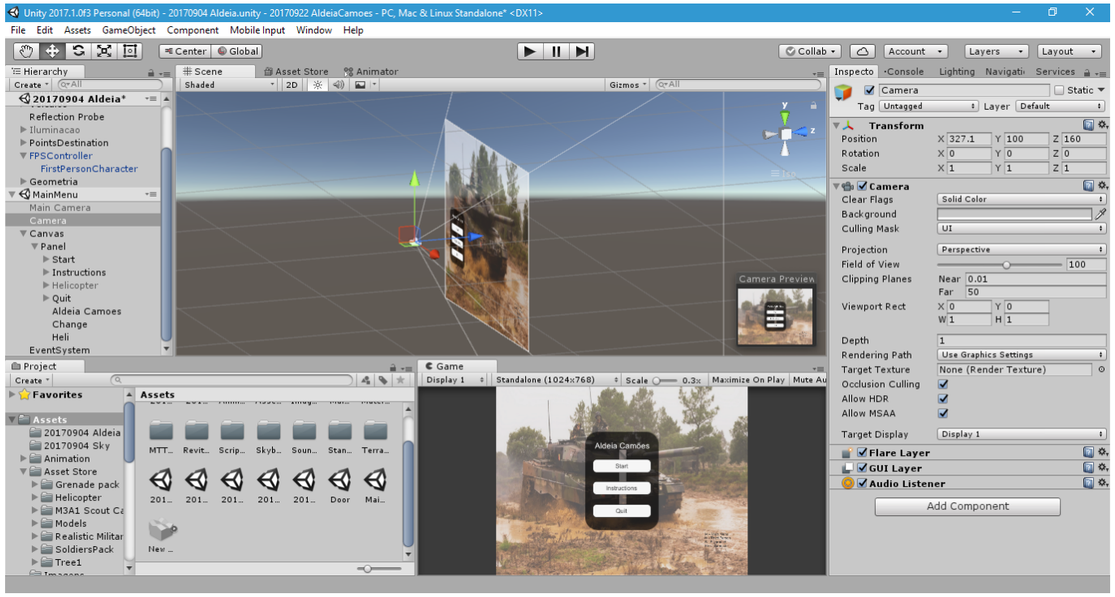


Fig. 59 Enquadramento de Canvas na Camera.



4.2.5. Cenas

É de salientar a diferença entre Projeto e Cenas, pois um único projeto pode conter várias cenas guardadas, com possíveis interações entre si, como quando se pretende mudar de Controller e manter o mesmo cenário, após pressionar uma tecla, correndo-se para isso a *scripts*. Para isso ser possível é necessário seguir os seguintes passos:

1. Ir a Building Settings [Fig. 60] em File e clicar em Add Open Scenes de modo a surgirem as cenas numeradas existentes no projeto, que podem ser habilitadas ou desabilitadas.
2. Adicionar a Panel o *script* SelectOnInput [Fig. 80] e arrastar para EventSystem, o EventSystem da Cena e para Select Object o primeiro Button a ser apresentado [Fig. 61].
3. Criar o *script* "LoadSceneOnCLick" [Fig. 81] e adicioná-lo aos Buttons: "Start", "Instructions" e "Quit".
4. Na componente Button (*script*) – On Click adicionar uma nova entrada e, em OnClick (), escolher RunTime Only, LoadSceneOnClick seguido de LoadByIndex (int), o Button "Start" ou "Instructions" e o número da cena a ser carregada [Fig. 62].
5. Para sair do modo Play, criar o *script* QuitOnClick [Fig. 56] e adicioná-lo a Button "Quit". Criar nova entrada em On Click e definir as variáveis RunTime Only, QuitOnClick seguido de Quit() e Quit [Fig. 63].
6. Para voltar ao Menu, ir a GameObject e Create Empty, alterando o nome para SceneManager e adicionar o *script* "ChangeScene" [Fig. 83].
7. Adicionar o objeto SceneManager criado e adicionar a todas as cenas que pretendam aceder ao Menu, bastando para isso pressionar a tecla "M" (Unity, 2017).
8. Para utilizar mais do que um controller num mesmo ambiente, ou seja, várias cenas em modo *play* [Fig. 64], é necessário criar o *script* KeepObject [Fig. 84] e adicioná-lo a todos os objetos que se queiram manter quando se carrega uma nova cena.
9. Carregar todas as cenas em Project e verificar se estão adicionadas em Build Settings.
10. Fazer Bake em Navigation, para que os Controllers reconheçam a superfície de navegação.
11. Fazer "unload" às cenas que não se pretendam que iniciem logo em modo play, mas mantê-las em Project, e pressionar as teclas F, G e H que estão segregadas respetivamente às cenas, visíveis no *script* KeepObject.

Fig. 60 Build Settings com as cenas do projeto [à esquerda].

Fig. 61 Definições do *script* SelectOnInput de Panel [à direita].

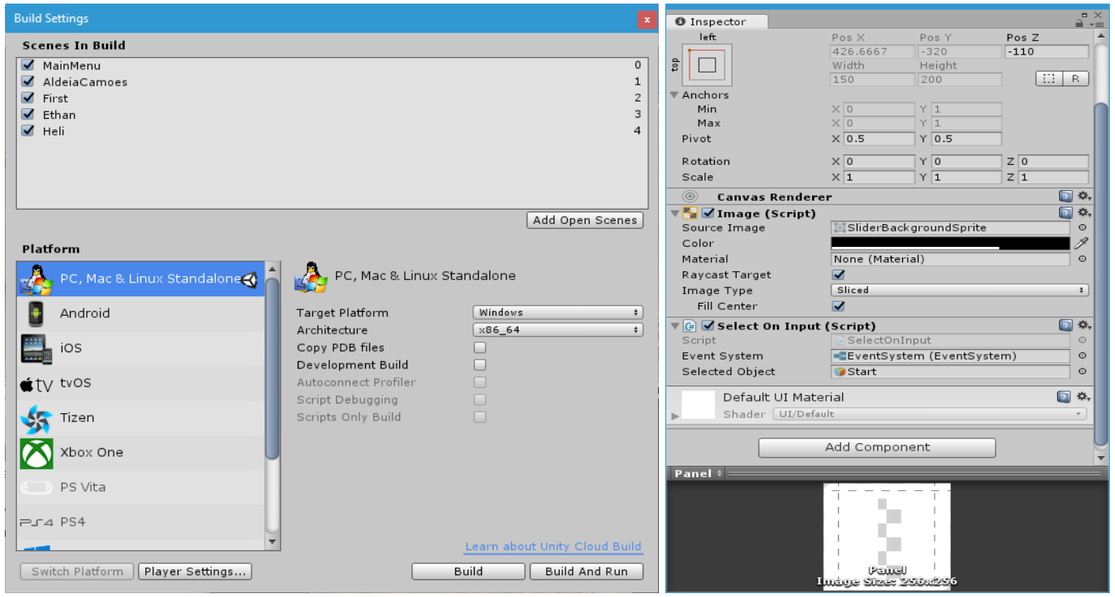


Fig. 62 Entrada de LoadSceneOnClick seguido de LoadByIndex (int) de Button "Start".

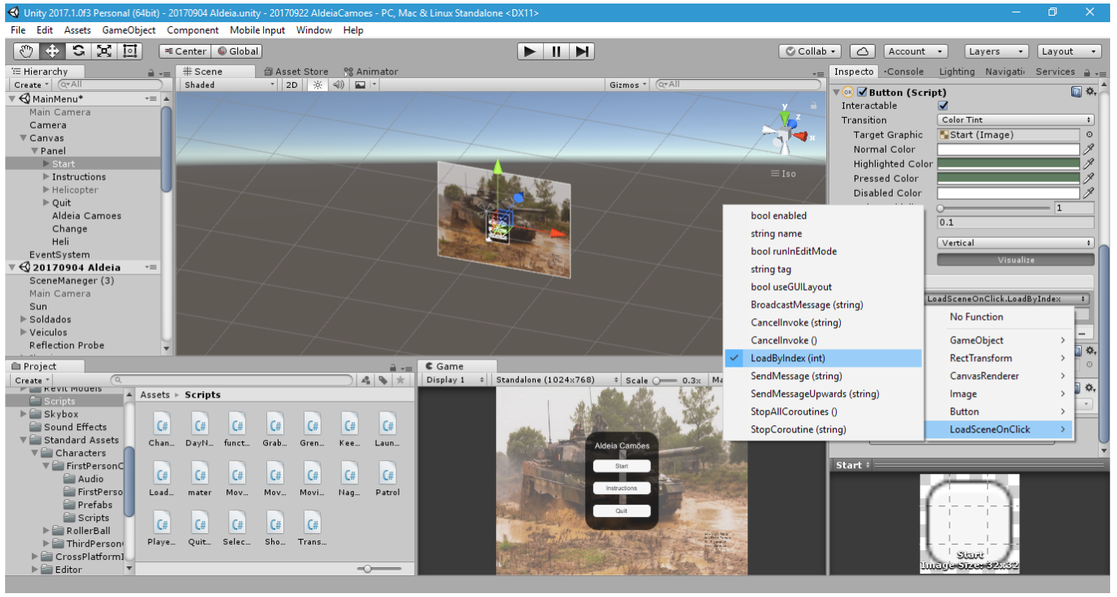


Fig. 63 Entrada de QuitOnClick seguido de Quit() de Button "Quit".

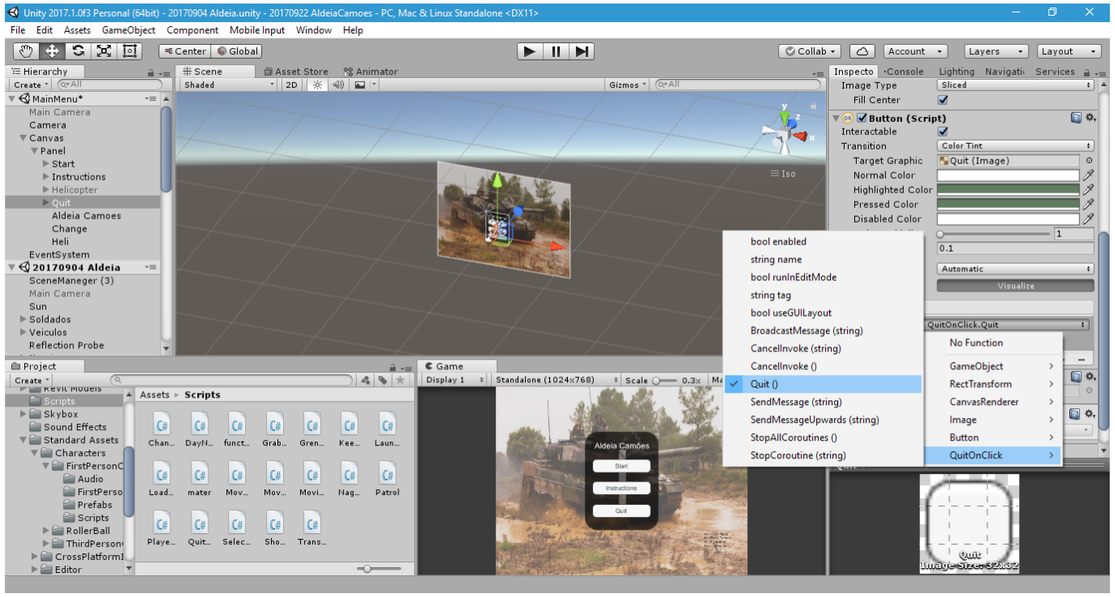
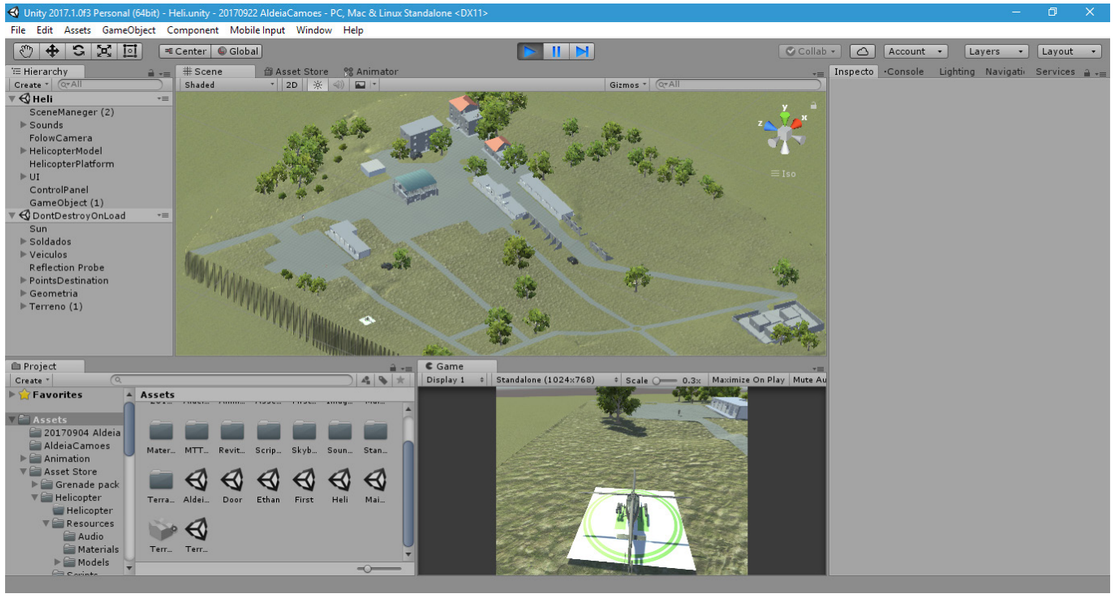


Fig. 64 Duas cenas em modo *play*.



4.2.6. Animações

Criar animações num ambiente virtual permite uma aproximação com o mundo real, pois o utilizador experiencia fatos que acontecem recorrentemente no dia-a-dia, como por exemplo abrir e fechar portas. Contudo, é preciso ter atenção da sua utilização no cenário, pois não se quer que eles causem incómodos, quando se está a navegar pelo modelo. Para a criar a animação de abrir/fechar portas, é necessário:

1. Selecionar os objetos e adicionar a componente a Mesh Collider, para adquirir as próprias características físicas reais de colisão [Fig. 65].
2. Objetos como portas podem ter a função de abrir e fechar, para isso é necessário criar um objeto vazio em GameObject e posicioná-lo no eixo da porta para que esta tenha a função de abrir para um dos lados. Utilizar a tecla V, para a detenção de vértices. O objeto Door passa a ser a Child do objeto Empty [Fig. 66].
3. Ir a Window e criar uma Animation, Open e outra Close, em Create New Clip [Fig. 67], para que a porta faça a rotação no seu próprio eixo, no sentido de abrir e fechar. Guardar os ficheiros.
4. Adicionar a propriedade Rotation e configurar os valores x. Tem ainda as propriedades de translação e escala, para outro tipo de animação.
5. Abrir a janela Parameters de Animator e criar um Empty e arrastar as animações criadas Open e Close. Nos ficheiros Open e Close, desabilitar a opção Loop Time.
6. Criar transições entre Empty-Open, Open-Close e Close-Open. Criar nas transições a condição “isopen” e “true” para Empty-Open; “isopen” e “false” para Open-Close; “isopen” e “true” para Close-Open.
7. Configurar a Bool (Boolean) com o nome “isopen”, em Parameters [Fig. 68].
8. Para o objeto Door adicionar a componente Box Collider e habilitar a opção “Is Trigger”, ou seja, a Box Collider passa a comportar-se como um objeto que atravessa e se deixa atravessar.
9. Criar o *script* OpenClose [Fig. 85] e adicioná-lo ao objeto Door (Jayanam, 2016).

Fig. 65 Componentes de um objeto.

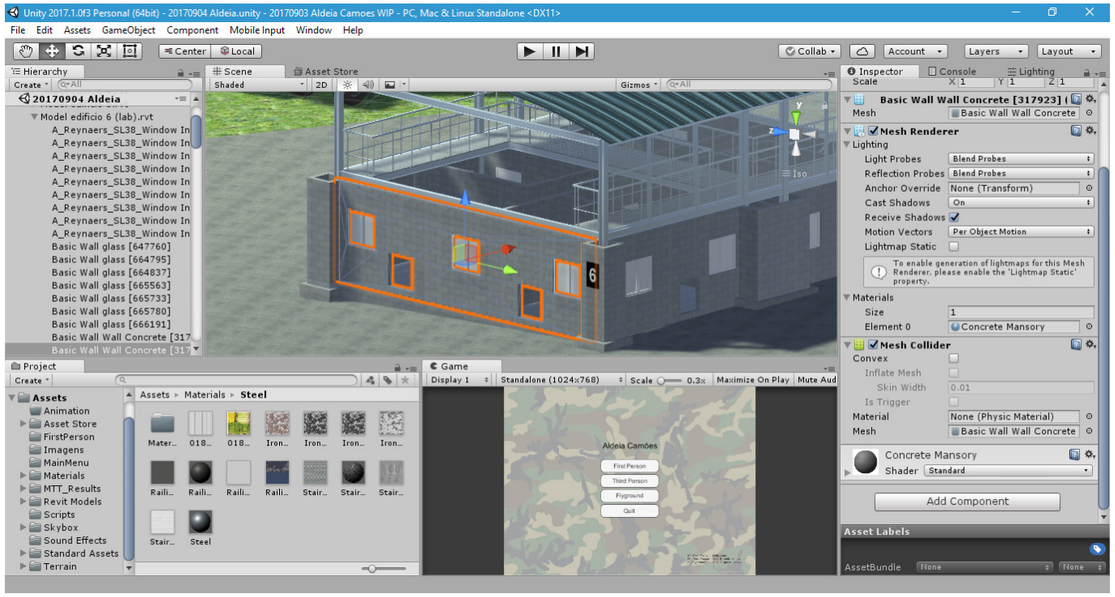
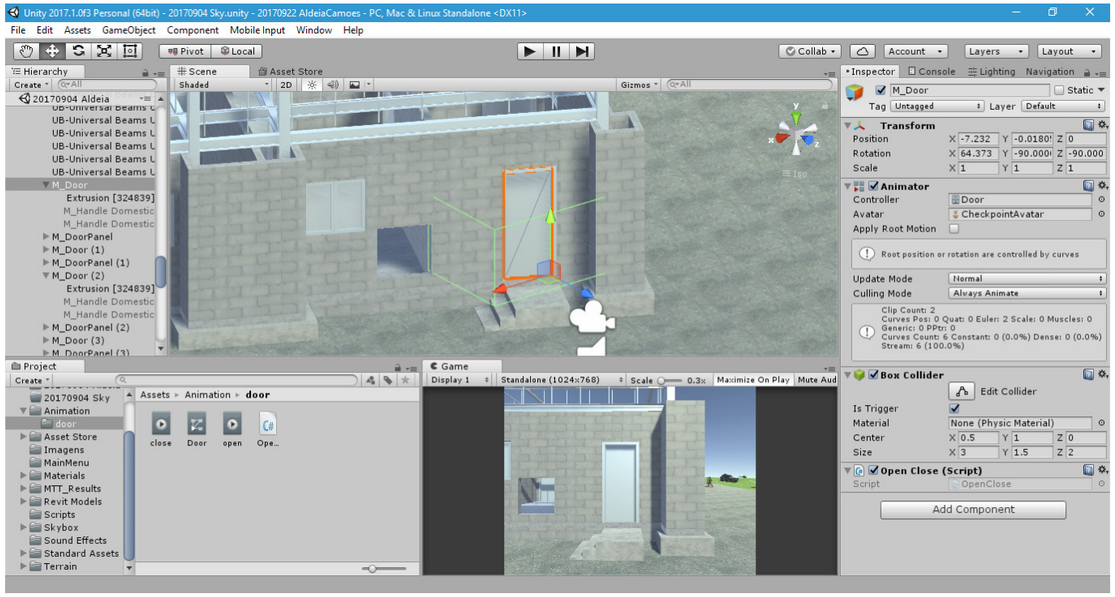


Fig. 66 Componentes do objeto Door.



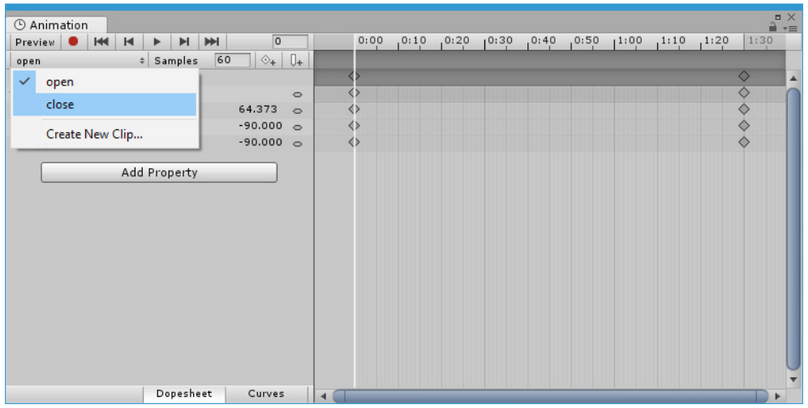
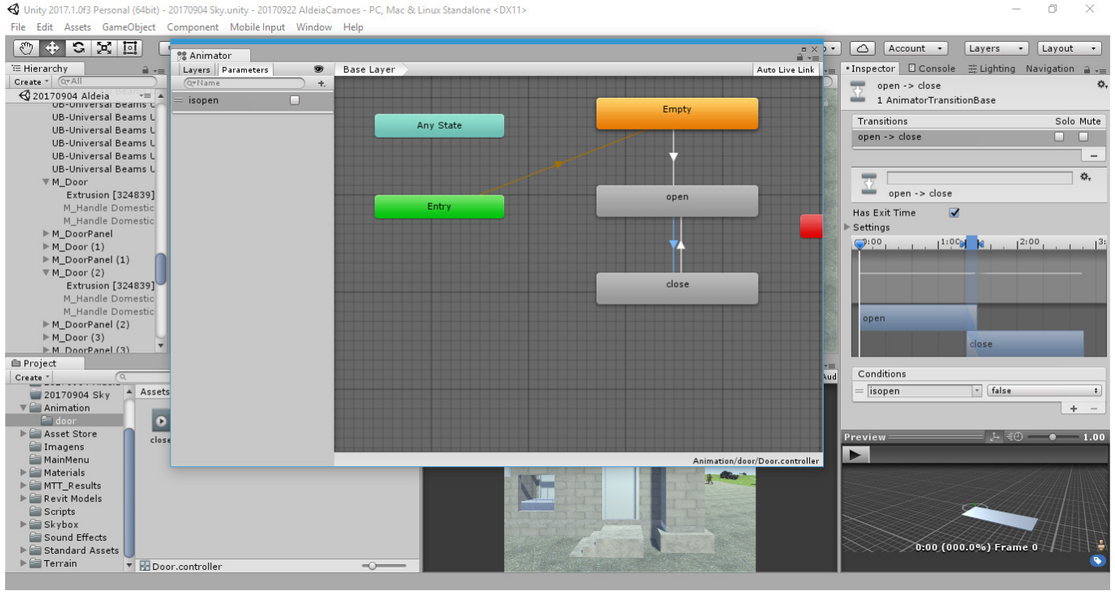


Fig. 67 Animações de rotação.

Fig. 68 Parâmetros de Animator.



4.2.7. Interação com o ambiente

Foi criado especificamente para este projeto uma interação com o ambiente, com o intuito de ter uma aproximação real com o tipo de treino que é feito na Aldeia Camões, e perceber as vantagens de utilizar esta interação no cenário virtual. O exemplo criado foi o lançamento de granadas de mão, sendo para isso preciso:

1. Importar o Package gratuito GrenadePack.
2. Criar o *script* LaunchGrenade [Fig. 87] e aplicá-lo ao Controller, neste caso, ao FPSController. Arrastar para a variável do *script* o objeto "m26". Este não necessita de estar inserido na cena, basta estar numa pasta dentro do projeto.
3. Importar o Package ParticleSystems, que se encontra dentro de Assets, Importar Packages [Fig. 69].
4. Criar o *script* GrenadeDetonator [Fig. 88] e aplicá-lo ao objeto "m26". Arrastar para a variável do *script* o *prefab* Explosion importado [Fig. 70]. Este não necessita de estar inserido na cena, basta estar numa pasta dentro do projeto (quill18creates, 2013a e 2013b).

Fig. 69 Importação do Package Particle Systems.

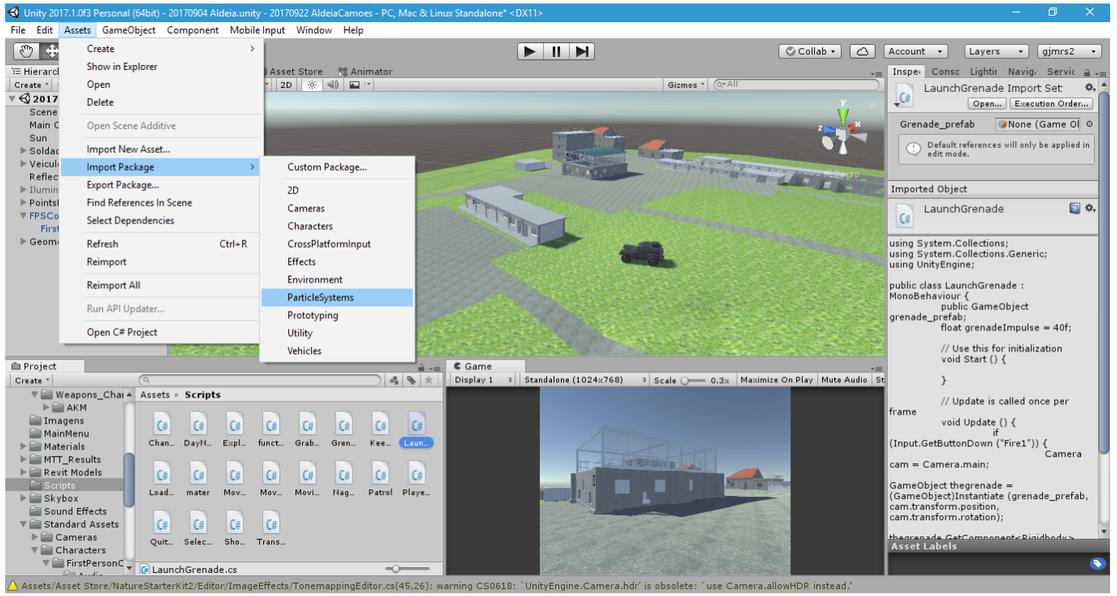
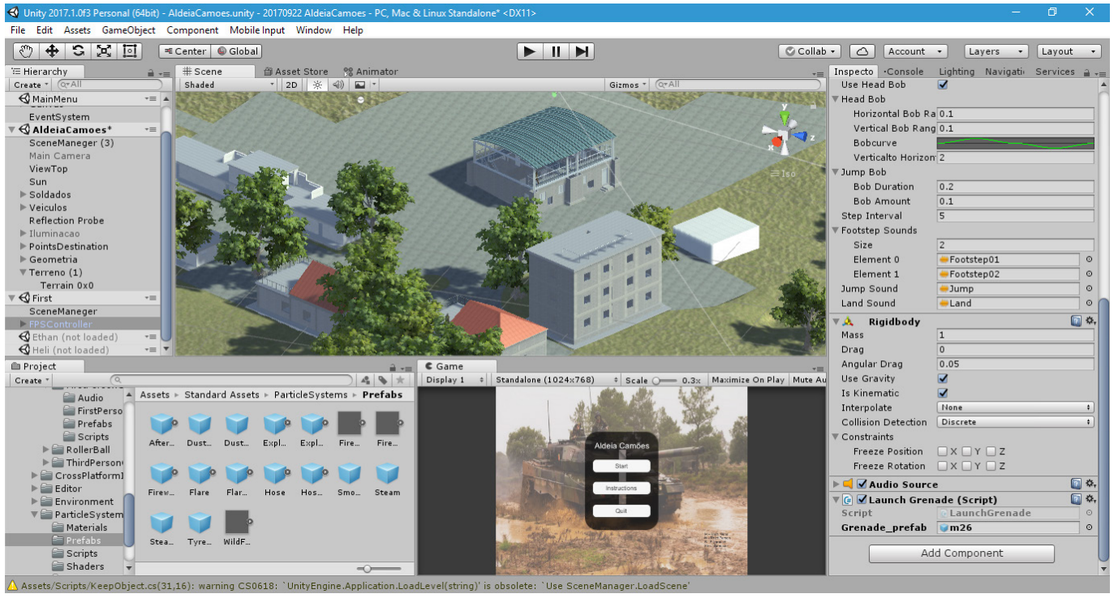


Fig. 70 Controller com o *script* Launch Grenade, onde se encontra a *prefab* "m26".



4.2.8. Avatares com navegação autónoma

A Navegação é uma ação muito importante num cenário virtual, pois ter *avatares* a navegarem autonomamente no espaço permite um maior realismo, bem como perceber a escala dos objetos, do ponto de vista da arquitetura. Esta é uma das áreas com grande potencial de desenvolvimento visto que se pode acoplar a inteligência artificial, conferindo aos *avatares* determinados comportamentos. Os passos apresentados a seguir permitem criar este tipo de navegação de um modo muito simples:

1. Importar o Package gratuito SoldiersPack da Asset Store, que traz incluído a animação de movimento de andar [Fig. 71].
2. Adicionar a componente Box Collider com o tamanho x=0.2, y=2, z=0.2 e em RigidBody habilitar as limitações de Freeze Rotation das coordenadas x, y e z, isto para que não caiam ou sejam empurrados.
3. Posicionar os avatares dentro do modelo.
4. Ir às pastas de cada um dos soldados e estender as subpastas, para surgir a animação.
5. Selecionar a animação e fazer Edit. Em Animation, alterar nas duas opções Wrap Loop para Loop e reduzir End para 40, para que a animação fique com a ideia de

repetição de movimentos [Fig. 72].

6. Para fazer o Avatar se movimentar autonomamente é necessário criar o *script* Patrol [Fig. 86] e ter uma animação, por exemplo, a do próprio Package gratuito SoldiersPack.
7. Abrir a janela Navigation e em Object escolher os objetos que vão ser reconhecidos como estáticos, habilitando a opção Navigation Static [Fig. 73].
8. Selecionar para cada tipo de objeto Walkable, se é percorrível, Not Walkable, é reconhecido como um obstáculo e Jump, para gerar Links Off-Mesh automaticamente.
9. Em Bake, ajustar se necessário as variáveis Agent Radius, Agent Height, Max Slope e Step Height.
10. Gerar Bake para construir a NavMesh, em que o Unity cria automaticamente uma pasta.
11. Adicionar ao objeto, o *script* Patrol e a componente Nav Mesh Agent, que se encontra em Navigation [Fig. 74].
12. Criar objetos vazios, em GameObject e arrastá-los para as variáveis do *script* (Unity, 2017).

Fig. 71 Componentes de um Avatar.

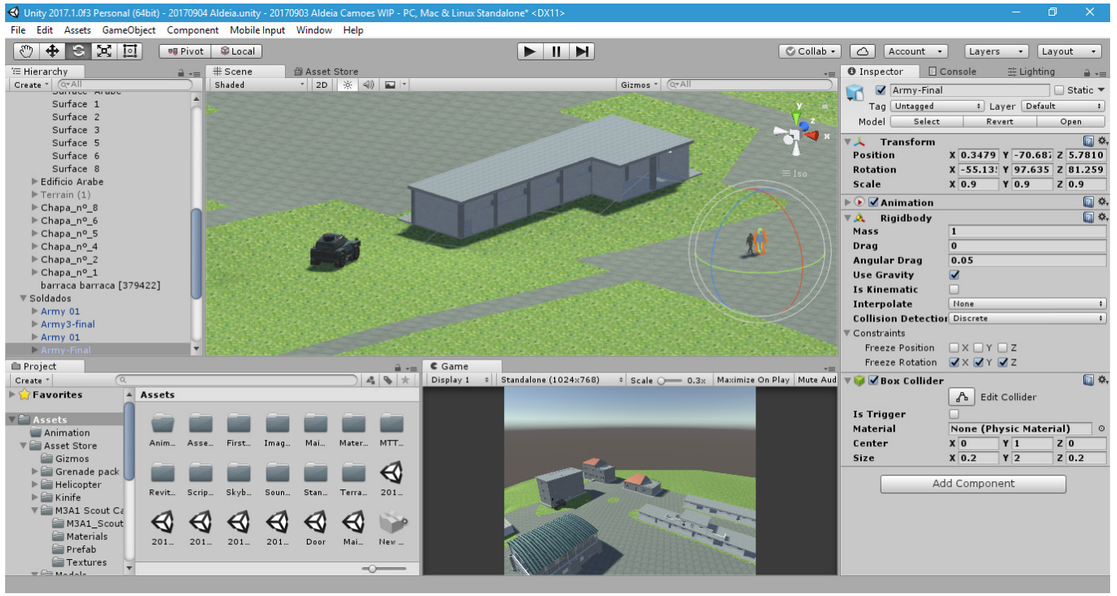


Fig. 72 Editar a animação do Package SoldierPack da Asset Store.

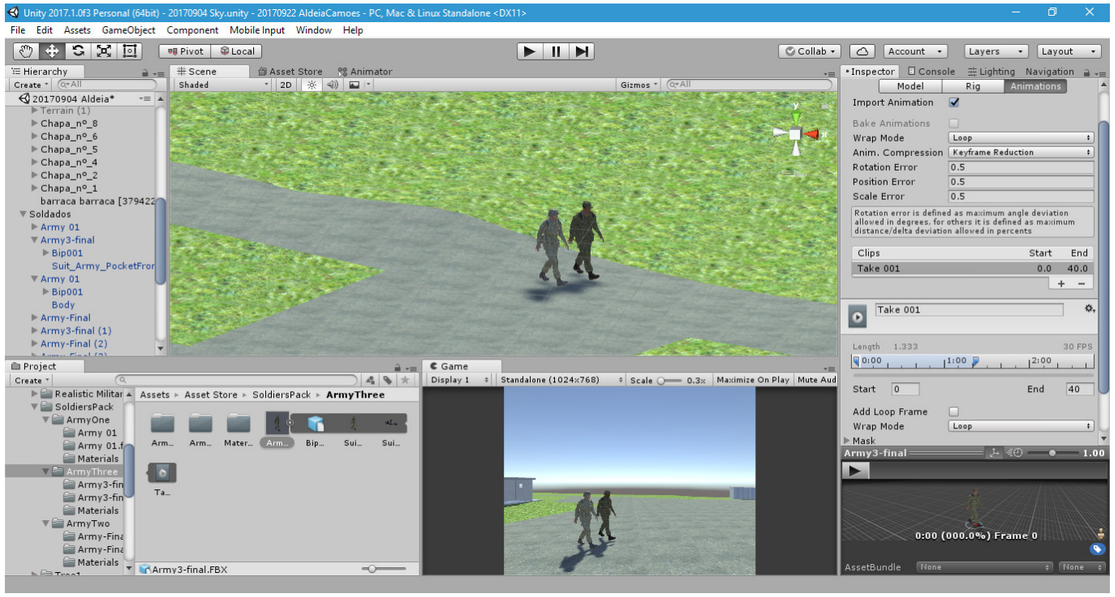


Fig. 73 Seleção de objetos com a NavMesh.

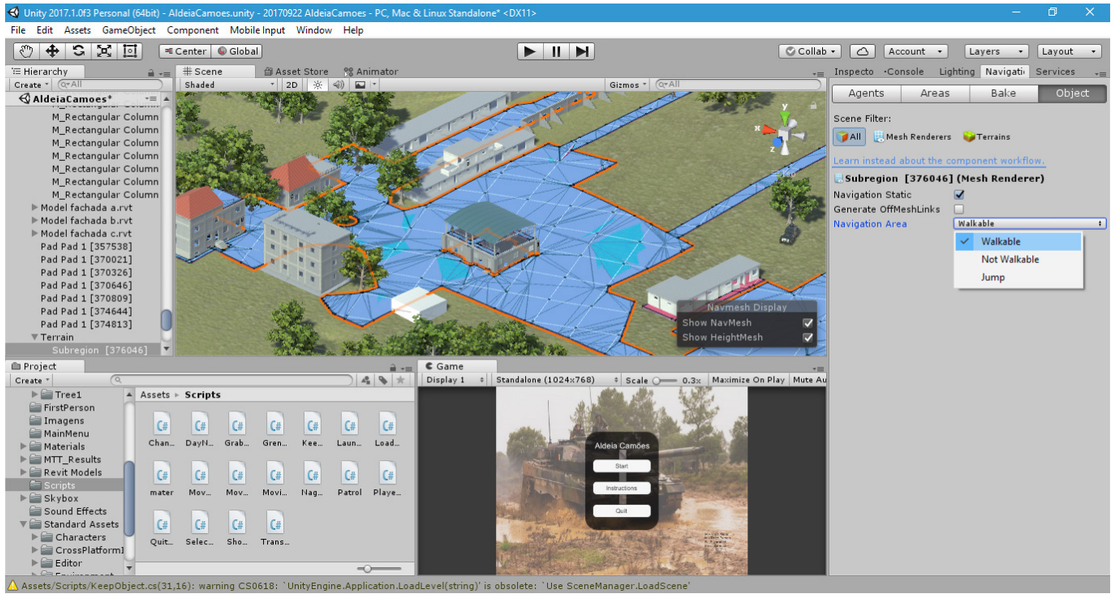
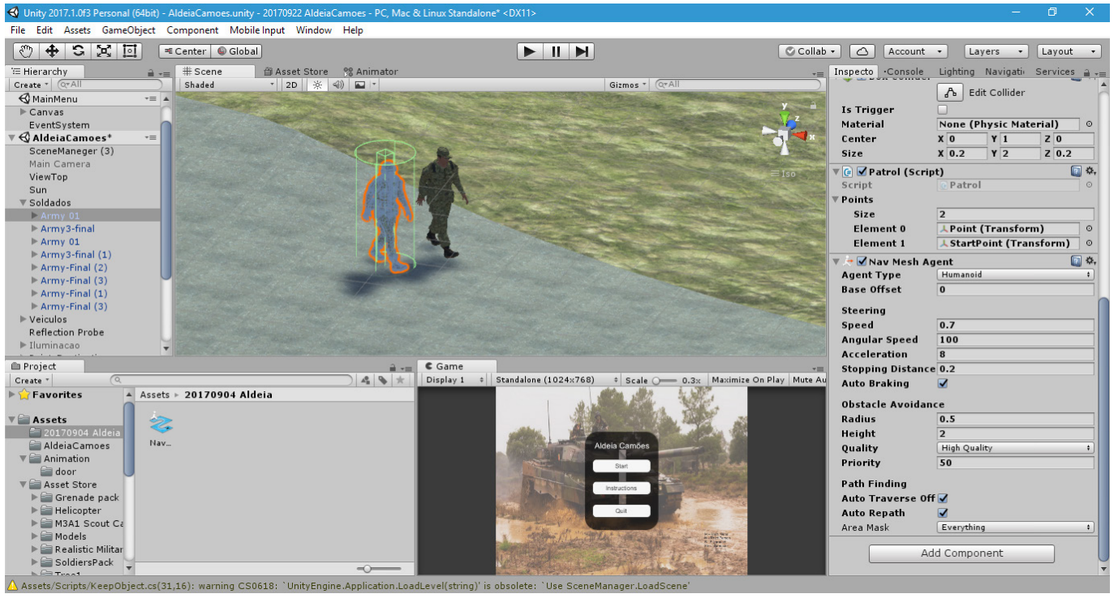


Fig. 74 Objeto com o NavMesh e o *script* Patrol.

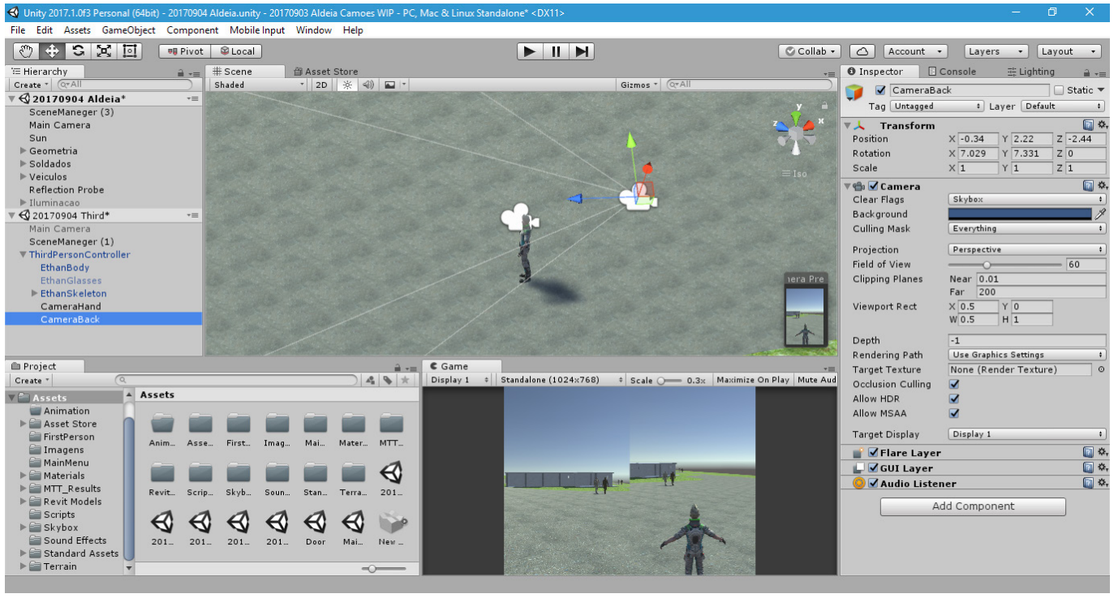


4.2.9. Câmaras

Ter câmaras dentro do ambiente virtual permite ter uma vista sobre um determinado local ou objeto, com mais ou menos detalhe. Podem ser colocadas uma ou duas câmaras a seguir o Controller ou, simplesmente, a mostrar o menu principal. Podem mostrar a perspetiva isométrica ou planimétrica do projeto. Quando é criado um novo projeto, o Unity automaticamente cria uma Main Camera, podendo contudo ser adicionadas mais câmaras:

1. Adicionar a Camera em GameObject.
2. Para que a Camera siga o Controller, basta torná-la numa Child.
3. Caso se pretenda dividir o ecrã em duas ou mais vistas, é necessário ter pelo menos duas Cameras e alterar os valores de Viewport Rect ([ISU_GDC], 2016.
4. Reduzir para os mínimos de 0.01 a Near em Clipping Planes, para que os planos não sejam cortados quando o Controller estiver a navegar no modelo.
5. Pode ser necessário ajustar a Depth para que as vistas não fiquem sobrepostas [Fig. 75].

Fig. 75 Valores de componentes da Camera.

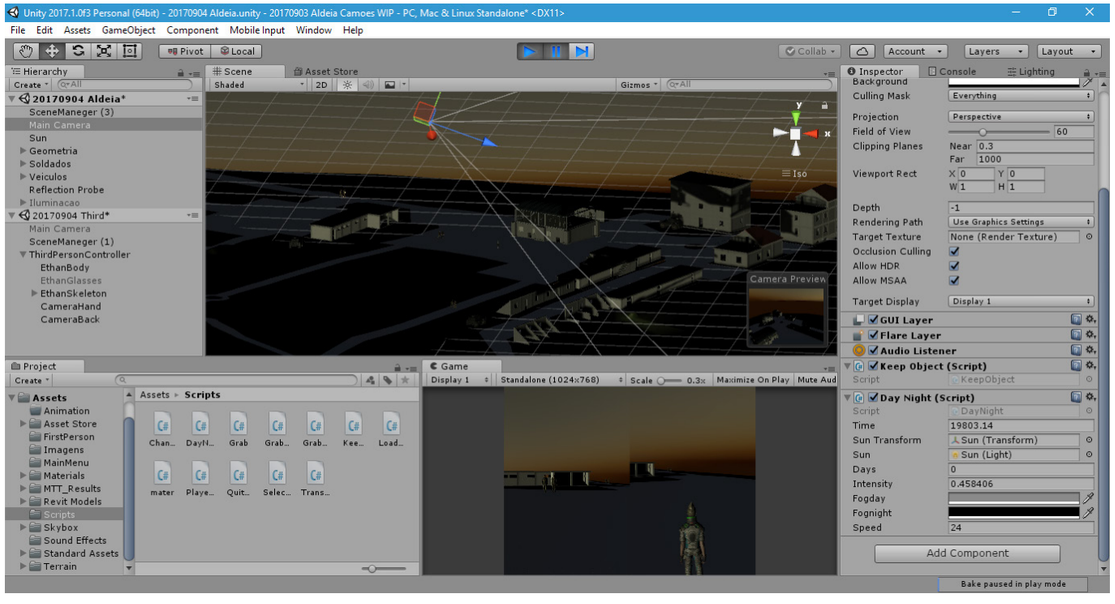


4.2.10. Iluminação global

Em arquitetura, a iluminação é um fator muito importante para caraterizar um determinado espaço. Quando são apresentados desenhos 2D, este fator não é tido muito em conta, pois a sua representação precisa de ser bem-feita para que haja uma boa compreensão do que é e não é sombreado, sendo que o modelo tridimensional possibilita a sua perceção quase intuitiva. De uma forma muito global foi criada uma iluminação a representar o movimento do sol, para perceber como esta influência o projeto. Assim, para a sua realização é preciso:

1. Criar uma Directional Light ou utilizar a existente da cena e mudar o nome para Sun. Alterar a transformada para corresponder à posição real do sol.
2. Na janela Lighting, arrastar para Sun Source, a Sun. Utilizar a *skybox* padrão.
3. Colocar em 0, a Intensity Multiply da Environment Lighting e da Reflections, para que toda a cena fique totalmente escura.
4. Em Main Camera pôr a cor preta o *background*.
5. Adicionar à Main Camera o *script* DayNight [Fig. 89].
6. Nas variáveis Sun Transform e Sun do *script* adicionar Sun [Fig. 76].
7. Colocar em *speed* o valor de 24, que corresponde ao tempo do ciclo da Sun conforme os cálculos que se encontram no *script* (Gamad, 2016).

Fig. 76 Ciclo de horas do dia e noite.



4.2.11. Compilação e Oculus Rift

Já na fase final do desenvolvimento do projeto recorre-se ao Build, que é basicamente criar um ficheiro executável, que permita utilizar a imersão, navegação e interação num ambiente de Realidade Virtual, sem necessitar de ter instalado o motor de jogos. A par disso, é possível utilizar dispositivos como os Oculus Rift para tornam a experiência virtual mais realista.

1. Ir a Edit, Project Settings e clicar em Player [Fig. 77] para abrir as configurações em Inspector e clicar em Other Settings.
2. Habilitar Virtual Reallity Suportted de modo a surgir Oculus [Fig. 78].
3. No mesmo Inspector, pode ser adicionados logos de Splash Image, ou seja, ao iniciar o executável do projeto surgem os logos, com tempos previamente definidos [Fig. 79].
4. Fazer Build ou Build Run, para construir e fazer correr o projeto.

Fig. 77 Player Settings.

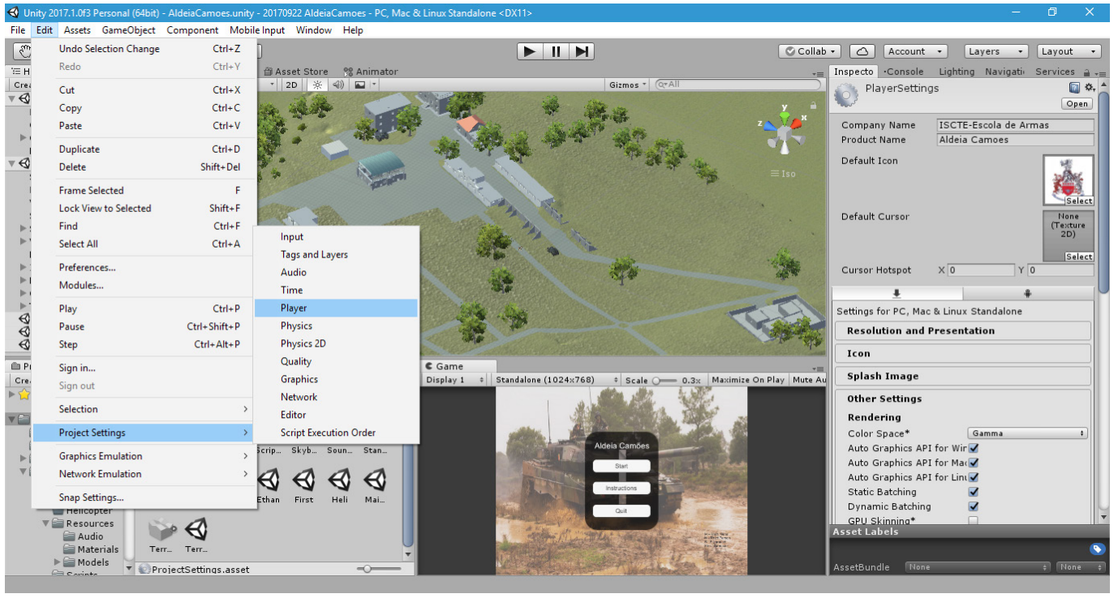
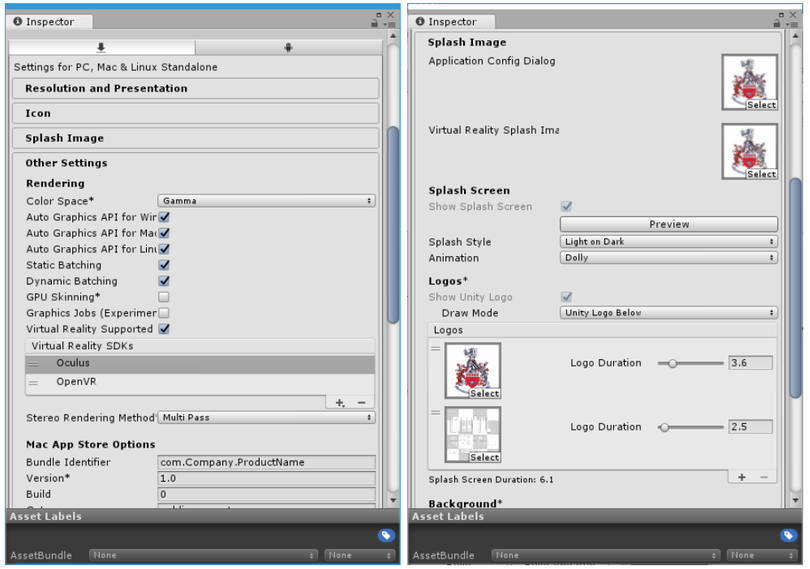


Fig. 78 Definições para utilização de Oculus Rift.

Fig. 79 Definições para inserir logos de entrada do projeto.



5. Considerações Finais

5.1. Conclusões

Ao longo do tempo, o ser humano utilizou técnicas de representação que dispunha para comunicar, através do desenho, a realidade que o envolvia. Com o desenvolvimento de tecnologias computacionais inovadoras, a imagem digital estática e dinâmica passou a constituir um fator importante para comunicar em arquitetura, complementando o desenho esquiço ou técnico e a maqueta física.

O trabalho teórico apresentado nesta dissertação vai de encontro à continuidade desse processo de desenvolvimento do projeto através da implementação da Realidade Virtual, permitindo uma experiência de imersão, interação e navegação. Este conceito de Realidade Virtual não é novo, pois existem estudos que datam do século passado, os quais tiveram pouco impacto na época, mas nos últimos anos tem vindo a ganhar destaque.

São diversas as aplicações da Realidade Virtual, desde o entretenimento à formação, no sentido de dar a conhecer novas experiências de simulação virtual, nas quais o utilizador tem a sensação de imersão quase total devido à utilização de dispositivos como os Oculus Rift. Entre os arquitetos nacionais ainda são poucos os que optam por utilizar este tipo de meio no desenvolvimento do projeto, para mostrar os projetos aos clientes, antes mesmo de serem construídos, ao contrário do que se passa noutros mercados mais maduros tecnologicamente. Para compreender o que está a ser desenvolvido em relação a este tipo de sistema, foi realizada uma análise de *plug-ins* para o software de modelação *Building Information Modelling* (BIM) Revit 2017 e de equipamentos de realidade virtual, dando a conhecer as melhores alternativas para a visualização de modelos BIM a partir diretamente do Revit, com reduzido investimento.

Passou-se depois para uma alternativa muito mais completa e complexa, a construção de um ambiente de Realidade Virtual usando a plataforma de jogos Unity3D, que é usada neste caso para dar a conhecer um ambiente em meio urbano. O caso de estudo é a Aldeia Camões, centro de formação militar para combate em ambiente urbano, objeto do projeto de investigação "Virtual and Augmented Reality for Military Training Simulation", da responsabilidade do grupo Digital Living Spaces do centro de Investigação ISTAR-IUL financiado pelo CINAMIL - Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar.

Este centro de treino foi modelado com objetivo de transmitir da forma o mais fiel possível o ambiente do local, estudando assim quais as características do ambiente que devem ser modeladas mais fielmente para transmitir a sensação de imersão. Reporta-se a possível complexidade do programa e o investimento, quer de tempo, quer financeiro, para tornar o ambiente virtual o mais realista possível. Finalmente, explorou-se a linguagem de programação C# para criar ações nos cenários, tornar a utilização mais prática, alterar valores em componentes e ajustar definições de objetos.

5.2. Resultados

O modelo virtual da Aldeia Camões foi testado pelos membros militares do projeto, respetivamente o responsável pela formação da Escola de Armas do Exército, e um dos formadores de equipas operacionais. Usaram-se, dois dispositivos: Oculus Rift e Microsoft Hololens, tendo a reação global em ambos os casos sido muito positiva, mas com nuances importantes

Salientam-se vários aspetos positivos em ambos os dispositivos, tais como, a liberdade de movimentos do corpo, maior no HoloLens pois não está ligado ao computador, permitindo a circulação com maior liberdade; a representação de textura, quer do terreno, quer dos edifícios e objetos, conferindo uma grande sensação de presença, mais expressiva nos Oculus Rift; a possibilidade de ver o local de várias perspectivas - vista planimétrica, à altura do usuário ou perspectivas baixas a acompanhar o relevo real; finalmente, a possibilidade futura de poder realizar treino sem ser necessário deslocar-se ao local, sendo suficiente apenas um local apropriado para instalar o sistema, reduzindo significativamente custos e tempo.

Contudo, é preciso fazer melhorias no que respeita a ter uma câmara que mostre com mais ou menos detalhe o que está a ser feito no planeamento, isto para uma vista planimétrica, podendo alternar com o modo de vista do utilizador; fazer uma aproximação a um determinado ponto ou objeto, simulando binóculos ou telescópio; incluir o horizonte e vegetação circundante que possibilitam perceber que se trata da tapada de Mafra, pois a envolvente é um fator importante para a compreensão do local, como acontece em arquitetura; incluir a paisagem sonora do local; inclusão de avatares figurantes, pessoas, veículos e animais, em movimento livre pelo espaço nas proximidades ou afastados do centro da simulação.

5.3. Trabalho Futuro

Planeia-se, na continuação do projeto "Virtual and Augmented Reality for Military Training Simulation" para além desta dissertação, criar dois tipos de simuladores de apoio à formação das forças de segurança em combate urbano: um para a vertente de planeamento e outra de treino de combate individual, de modo a que os diversos escalões tenham acesso ao tipo de treino mais adequado ao seu tipo de intervenção.

Relativamente às funcionalidades do Unity, considera-se ainda existirem algumas funcionalidades a explorar que permitirão uma melhor exploração e compreensão do espaço como a utilização das diferentes *layers*; o teletransporte – mudança de local e ponto de vista dentro da cena; a utilização de outro tipo de dispositivos de *input-output*, como os comandos Oculus Rift Touch, que permitem uma maior liberdade de movimentos, a navegação por toque em *tablets* e outros dispositivos móveis.

Fica ainda por desenvolver a possibilidade de produzir um simulador que permita a visualização de elementos gráficos clássicos de arquitetura, como plantas, cortes e alçados, para que o utilizador consiga ter simultaneamente uma perceção dos elementos arquitetónicos do projeto à escala real, em Realidade Virtual, e à escala reduzida, nos desenhos.

6. Referências Bibliográficas

6.1. Livros, Monografias, Teses e Artigos

Araújo, J. M. de (2015) *A integração e compreensão do desenho na modelação 3D: enquadramento académico*. Universidade de Aveiro.

Bernard, F. (2010) 'The Dassault Systemes Success Story', *Isicad*. Available at: http://isicad.net/articles.php?article_num=14120.

Bettencourt, D. (2012) *Ferramentas Digitais: O Processo de Concepção Arquitectónica*. ISCTE-Instituto Universitário de Lisboa.

Bowman, D. A. and McMahan, R. P. (2007) 'Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough?', Computer, 40(7), pp. 36–43. doi: 10.1109/MC.2007.257.

Carreiro, M. B. T. and Pinto, P. da L. (2012) 'The Evolution of Representation in Architecture', pp. 1–10.

Coli, A. L. (2011) *A Origem, Realidade Aumentada*. Available at: http://realidadeaumentada2011-2.blogspot.pt/2011/11/origem.html (Accessed: 23 April 2017).

Coroado, L. M. (2014) *Visualização e Interação em Realidade Virtual Imersiva: Modos de Visualização para Arquitetura - Sistema VIARModes*. ISCTE-Instituto Universitário de Lisboa.

Cuperschmind, A. R. M., Amorim, J. A. and Matos, C. E. A. B. (2011) *Uso de Realidade Aumentada para o treinamento militar*.

Dixon, D. (2010) *Development of Augmented Reality, Manifest Technology*. Available at: http://www.manifest-tech.com/society/augmented_reality.htm (Accessed: 24 June 2017).

Earnshaw, R. A., Gigante, M. A. and Jones, H. (1993) *Virtual reality systems*. Harcourt Brace & Company, Publisher. Available at: https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=gEOjBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=morton+heilig+virtual+reality&ots=Feukp4sroz&sig=qMECq9fMJQ97UVzmLhnIDzLfKGg&redir_esc=y#v=onepage&q=morton heilig virtual reality&f=false (Accessed: 5 March 2017).

Escartín, E. R. (2000) 'La realidad virtual, una tecnología educativa a nuestro alcance.', *Pixel-Bit: Revista de medios y educación*, (15), p. 1. Available at: http://dialnet.unirioja.es/servlet/citart?info=link&codigo=1399764&orden=59783.

Figueiredo, A. S. L. (2007) *Realidade Virtual no Ensino e na Aprendizagem de Geometria Descritiva*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Giraldi, G., Silva, R. and Oliveira, J. C. de (2003) *Introduction to Virtual Reality, LNCC Research Report*. Rio de Janeiro, Brasil. Available at: http://www.lncc.br/~jauvane/papers/RelatorioTecnicoLNCC-0603.pdf (Accessed: 28 May 2017).

Ispas C, Zapciu M and Mitrache A (2008) 'Exchange Facilities CATIA-ENOVIA Using Macros', DNCOCO'08 Proceedings of the 7th conference on Data networks, communications, computers, Stevens Point, Wisconsin, USA, November, pp. 121–124. Available at: http://www.wseas.us/e-library/conferences/2008/bucharest2/dncoco/dncoco20.pdf (Accessed: 25 June 2017).

Lockheed Martin (2013) 'Close Combat Tactical Trainer (CCTT)'. USA: Lockheed Martin Corporation, p. 2. Available at: https://fas.org/man/dod-101/sys/land/wsh2013/70.pdf (Accessed: 24 June 2017).

Lumion (2017) Lumion: See How It Works. Available at: https://lumion3d.com/#scrolldown (Accessed: 28 May 2017).

Mazuryk, T. and Gervautz, M. (1996) Virtual Reality History, Applications, Technology and Future. Vienna University of Technology, Austria. Available at: http://www.cg.tuwien.ac.at/ (Accessed: 5 March 2017).

Miguel, J. R. M. (2014) Arquitectura ou Revolução Learning from the satallite Realidade Aumentada Aplicada ao Processo de Projeto de Arquitetura. ISCTE-Instituto Universitário de Lisboa.

Milgram, P. et al. (1994) 'Augmented Reality: A class of display on the reality-virtuality continuum', Systems Research, 2351(Telemanipulator and Telepresence Technologies), pp. 282–292. doi: 10.1.1.83.6861.

Neto, R. A. de A. E. (2004) *Arquitetura Digital - A Realidade Virtual, Suas Aplicações e Possibilidades*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Available at: http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/inter/2004/Teses/NETO_RAE_04_t_M_int.pdf (Accessed: 24 April 2017).

Netto, A. V. et al. (1998) 'Realidade virtual e suas aplicações na área de manufatura, treinamento, simulação e desenvolvimento de produto', Gestão & Produção, 5(2), pp. 104–116. doi: 10.1590/S0104-530X1998000200002.

Netto, A. V., Machado, L. dos S. and de Oliveira, M. C. F. (2002) *Realidade Virtual - Definições, Dispositivos e Aplicações*. Available at: http://www.di.ufpb.br/liliane/publicacoes/2002_reic.pdf (Accessed: 5 March 2017).

Palaré, O. (2013) *Geometria Descritiva: História e didática - novas perspetivas*. Universidade de Lisboa, Faculdade de Belas Artes.

Pereira, I. and Nogueira, N. (no date) *Realidade Virtual*. Available at: http://web.ist.utl.pt/ist170613/ (Accessed: 10 April 2017).

Piskozub, M. (2016) *Dynamic Re-Planning For Cyber-Physical Situational Awareness*. Oxford.

PluralSight (2004) *Difference between Displacement, Bump and Normal Maps*. Pluralsight. Available at: https://www.pluralsight.com/blog/film-games/bump-normal-and-displacement-maps (Accessed: 8 September 2017).

Rebelo, I. B. (1999) *Realidade Virtual Aplicada à Arquitetura e Urbanismo: Representação, Simulação e Avaliação de Projetos*. Universidade Federal de Santa Catarina. Available at: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/80518/185104.pdf?sequence (Accessed: 8 April 2017).

Redondo, E. et al. (2012) 'Augmented Reality in Architecture Degree New Approaches in Scene Illumination and User Evaluation', *Journal of Information Technology and Application in Education*, 1(1), pp. 19–27. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.10.040.

Rodello, I. A. et al. (2010) 'Realidade Misturada: Conceitos, Ferramentas e Aplicações', *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, 2(2), pp. 2–16. doi: 10.5335/rbca.2010.011.

Rodrigues, G. P. and Porto, C. de M. C. (2013) 'Realidade Virtual: Conceitos, Evolução, Dispositivos E Aplicações', *Interfaces Científicas*. Universidade Tiradentes, 1(3), pp. 97–109. Available at: https://periodicos.set.edu.br/index.php/educacao/article/view/909/414 (Accessed: 16 April 2017).

Sutherland, I. E. (1968) 'A head-mounted three dimensional display', in *Thompson Books*. Washington, D.C., pp. 295–302.

Tori, R., Kirner, C. and Siscoutto, R. (2006) *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*.

6.2. Créditos de Tutoriais

[ISU_GDC]. (2016). [ISU_GDC] Unity Tutorial: Creating a Split Screen Camera. [*Online*] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=lY6Wf8OI0B4 [Accessed 10 Jul. 2017].

Gamad. (2016). [Unity 5] Tutorial: Day And Night Cycle - sun rotation, intensity and the time of the day. [*Online*] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=y6TCQfFB2xg [Accessed 2 Sep. 2017].

Jayanam. (2016). Unity 3D: How To Open And Close Doors. [*Online*] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=jKe2zMFa2mw [Accessed 8 Jan. 2017].

Quill18creates. (2013a). Unity 3d: Simple First-Person Shooter Tutorial - Part 5 - YouTube. [*Online*] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=UAOrboCSclQ [Accessed 24 Sep. 2017].

Quill18creates. (2013b). Unity 3d: Simple First-Person Shooter Tutorial - Part 6 - YouTube. [*Online*] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=W7NQAF0sQw8 [Accessed 24 Sep. 2017].

Unity. (2017). Unity - Creating A Main Menu. [*Online*] Available at: https://unity3d.com/pt/learn/tutorials/topics/user-interface-ui/creating-main-menu [Accessed 15 Jul. 2017].

Unity. (2017). Making an Agent Patrol Between a Set of Points. [*Online*] Available at: https://docs.unity3d.com/Manual/nav-AgentPatrol.html [Accessed 24 Sep. 2017].

6.3. Créditos de Figuras

Alberti, L. (1804) Della Pittura e della Statua. Edited by G. Editori. Milano. Available at: https://ia800504.us.archive.org/21/items/dellapitturaedel00albe/dellapitturaedel00albe.pdf (Accessed: 6 March 2017).

Barad, J. and Newport, M. (2016) Osso VR. Available at: http://ossovr.com/ (Accessed: 26 May 2017).

Fineman, B. (2016) 'The Future of Virtual Reality Applications & K-12', Sun Corridor Network, p. 54. Available at: https://suncorridornet.org/sites/suncorridornet/files/virtual-reality.pdf (Accessed: 28 May 2017).

Immersion (1994) Phantom Touch X, Immersion. Available at: https://www.immersion.fr/en/phantom-touch-x/ (Accessed: 25 June 2017).

Kajimoto (2008) Museu Guggenheim Bilbao. Available at: http://mirutake.fc2web.com/11/252gehry/gehry.htm (Accessed: 23 June 2017).

Milgram, P. et al. (1994) 'Augmented Reality: A class of display on the reality-virtuality continuum', Systems Research, 2351(Telemanipulator and Telepresence Technologies), pp. 282–292. doi: 10.1.1.83.6861.

Netto, A. V. et al. (1998) 'Realidade virtual e suas aplicações na área de manufatura, treinamento, simulação e desenvolvimento de produto', Gestão & Produção, 5(2), pp. 104–116. doi: 10.1590/S0104-530X1998000200002.

Pinheiro, M. (2016) Realidade virtual: do imaginário sci-fi aos produtos atuais no mercado, Laboratório. Available at: http://laboratorio.jornalismojunior.com.br/2016/10/14/realidade-virtual-do-imaginario-sci-fi-aos-produtos-atuais-no-mercado/ (Accessed: 5 March 2017).

Price, R. (2015) Disney just launched a way to experience 'Star Wars' in virtual reality - Business Insider, Business Insider UK. Available at: http://uk.businessinsider.com/star-wars-virtual-reality-cardboard-google-verizon-jakku-spy-how-to-download-2015-12 (Accessed: 25 June 2017).

Rauterberg, M. (2002) 'History of HCI History of Computer Technology'. The Netherlands: TU/e, Eindhoven, p. 114. Available at: http://www.idemployee.id.tue.nl/g.w.m.rauterberg/presentations/hci-history/sld096.htm.

Responsive Workbench (1998). Available at: https://graphics.stanford.edu/projects/RWB/ (Accessed: 27 May 2017).

Sears, K. (2016) Seattle's Virtual Road to Transcendence, Seattle Weekly. Available at: http://www.seattleweekly.com/arts/seattles-virtual-road-to-transcendence/ (Accessed: 6 March 2017).

Sheaves, B. (no date) Chrysler CAD-CAM history and Dassault CATIA versus UG NX5. Available at: http://www.allpar.com/corporate/chrysler-group/catia-vs-nx.html (Accessed: 25 June 2017).

United States Army (2014) Close Combat Tactical Training, Cpl. Song Gun-woo. Available at: https://www.army.mil/article/134106 (Accessed: 24 June 2017).

Week 3 (no date) Introduction and History of VR/AR. Available at: https://www.evl.uic.edu/aej/491/week03.html (Accessed: 14 October 2017).

Wild, F. (2015) 'What Are Wind Tunnels?' Available at: https://www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/nasa-knows/what-are-wind-tunnels-k4.html (Accessed: 27 May 2017).

7. Anexos

7.1. Anexo A - Fotografias Aldeia Camões

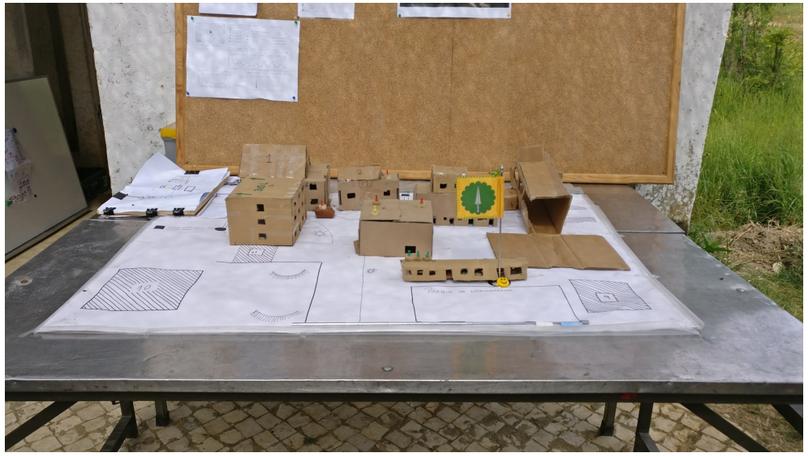


Foto 01 Maqueta conceptual Aldeia Camões (Maio 2017).



Foto 02 Maqueta conceptual Aldeia Camões (Maio 2017).





Foto 03 Fachada principal do edifício 1 (Março 2017).

Foto 04 Interior do edifício 1 (Março 2017).





Foto 05 Fachada principal do edifício 2 (Março 2017).

Foto 06 Interior do edifício 2 (Março 2017).





Foto 07 Edifício 3 (Março 2017).

Foto 08 Interior do edifício 3 (Março 2017).







Foto 09 Fachada principal do edifício 4 (Março 2017).

Foto 10 Interior do edifício 4 (Março 2017).





Foto 11 Fachada lateral do edifício 4 (Março 2017).

Foto 12 Fachada principal do edifício 5 (Março 2017).





Foto 13 Cobertura e primeiro piso do edifício 5 (Março 2017).

Foto 14 Fachada principal do edifício 6, laboratório (Março 2017).





Foto 15 Primeiro piso do edifício 6, laboratório (Março 2017).

Foto 16 Edifícios da Aldeia Camões (Janeiro 2017).





Foto 17 Fachada do edifício 8 (Março 2017).

Foto 18 Estruturas em alvenaria de betão (Janeiro 2017).

7.2. Anexo B - *Scripts* para Unity

Assembly-CSharp - Scripts\SelectOnInput.cs - MonoDevelop-Unity

SelectOnInput.cs

No selection

```
1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4  using UnityEngine.EventSystems;
5
6  public class SelectOnInput : MonoBehaviour {
7
8      public EventSystem eventSystem;
9      public GameObject selectedObject;
10
11     private bool buttonSelected;
12
13     // Use this for initialization
14     void Start () {
15
16     }
17
18     // Update is called once per frame
19     void Update ()
20     {
21         if (Input.GetAxisRaw ("Vertical") != 0 && buttonSelected == false)
22         {
23             eventSystem.SetSelectedGameObject (selectedObject);
24             buttonSelected = true;
25
26         }
27     }
28
29     private void OnDisable()
30     {
31         buttonSelected = false;
32
33     }
34 }
35
```

Fig. 80 *Script* para selecionar um botão a partir de um menu principal.

Crédito: Unity (no date). UI Transitions. [*Online*]. [Accessed 15 July 2017]. Available from: <https://unity3d.com/pt/learn/tutorials/topics/user-interface-ui/ui-transitions>.

Assembly-CSharp - Scripts\LoadSceneOnClick.cs - MonoD...

LoadSceneOnClick.cs

No selection

```
1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4  using UnityEngine.SceneManagement;
5
6  public class LoadSceneOnClick : MonoBehaviour {
7
8      public void LoadByIndex(int sceneIndex)
9      {
10         SceneManager.LoadScene (sceneIndex);
11     }
12 }
13
```

Fig. 81 *Script* para carregar a cena a partir de um menu principal.

Crédito: Unity (no date). Creating A Main Menu. [*Online*]. [Accessed 15 July 2017]. Available from: <https://unity3d.com/pt/learn/tutorials/topics/user-interface-ui/creating-main-menu>.

Assembly-CSharp - Scripts\QuitOnClick.cs - MonoDevelop-Unity

QuitOnClick.cs

No selection

```
1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  public class QuitOnClick : MonoBehaviour {
6
7      public void Quit()
8      {
9  #if UNITY_EDITOR
10         UnityEditor.EditorApplication.isPlaying = false;
11 #else
12         Application.Quit ();
13 #endif
14     }
15
16 }
17
```

Fig. 82 Script para retornar ao menu principal.

Crédito: Unity (no date). Creating A Main Menu. [*Online*]. [Accessed 15 July 2017]. Available from: <https://unity3d.com/pt/learn/tutorials/topics/user-interface-ui/creating-main-menu>.

Assembly-CSharp - Scripts\ChangeScene.cs - MonoDevelop-U...

ChangeScene.cs

No selection

```
1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4  using UnityEngine.SceneManagement;
5
6  public class ChangeScene : MonoBehaviour {
7
8      // Use this for initialization
9      void Start () {
10
11     }
12
13     // Update is called once per frame
14     void Update ()  {
15         if (Input.GetKeyDown (KeyCode.M)) {
16             SceneManager.LoadScene ("MainMenu");
17         }
18     }
19 }
20
```

Fig. 83 *Script* para mudar de cena a partir de um menu principal.

Crédito: Unity (no date). Creating A Main Menu. [*Online*]. [Accessed 15 July 2017]. Available from: <https://unity3d.com/pt/learn/tutorials/topics/user-interface-ui/creating-main-menu>.

Assembly-CSharp - Scripts\KeepObject.cs - MonoDevelop-Unity

KeepObject.cs

KeepObject ▸ Update ()

```
1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4  using UnityEngine.SceneManagement;
5
6  public class KeepObject : MonoBehaviour {
7
8      // Use this for initialization
9      void Start () {
10
11     }
12
13     // Update is called once per frame
14     void Update ()  {
15         if (Input.GetKeyDown (KeyCode.M)) {
16             SceneManager.LoadScene ("MainMenu");
17         }
18         if (Input.GetKeyDown (KeyCode.F)) {
19
20             DontDestroyOnLoad (transform.gameObject);
21             Application.LoadLevel ("First");
22         }
23         if (Input.GetKeyDown (KeyCode.G)) {
24
25             DontDestroyOnLoad (transform.gameObject);
26             Application.LoadLevel ("Ethan");
27         }
28         if (Input.GetKeyDown (KeyCode.H)) {
29
30             DontDestroyOnLoad (transform.gameObject);
31             Application.LoadLevel ("Heli");
32         }
33     }
34 }
35
```

Fig. 84 *Script* para manter objetos quando se muda de cena.

Crédito: Unity (no date). Creating A Main Menu. [*Online*]. [Accessed 15 July 2017]. Available from: <https://unity3d.com/pt/learn/tutorials/topics/user-interface-ui/creating-main-menu>.

Crédito: Createathing (2013). Unity Tutorial: Keep objects and variables when changing scenes. [*Online*]. [Accessed 15 July 2017]. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=qMxsHpTam0Q>.

Assembly-CSharp - Animation\door\OpenClose.cs - MonoDevelop-Unity

OpenClose.cs

No selection

```
1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  public class OpenClose : MonoBehaviour {
6      private Animator _animator = null;
7
8      // Use this for initialization
9      void Start () {
10         _animator = GetComponent<Animator>();
11
12     }
13
14     // Update is called once per frame
15     void Update () {
16
17     }
18     void OnTriggerEnter (Collider collider)
19     {
20         _animator.SetBool ("isopen", true);
21     }
22     void OnTriggerExit(Collider collider)
23     {
24         _animator.SetBool ("isopen", false);
25     }
26 }
27
```

Fig. 85 *Script* para reconhecer a Box Collider de um objeto.

Crédito: Jayanam. (2016). Unity 3D: How To Open And Close Doors. [*Online*] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=jKe2zMFa2mw [Accessed 8 Jan. 2017].

Assembly-CSharp - Scripts\Patrol.cs - MonoDevelop-Unity

Patrol.cs

Patrol ▸ No selection

```
1  // Patrol.cs
2  using UnityEngine;
3  using System.Collections;
4
5  public class Patrol : MonoBehaviour
6  {
7      public Transform[] points;
8      private int destPoint = 0;
9      private UnityEngine.AI.NavMeshAgent agent;
10
11     void Start()
12     {
13         agent = GetComponent<UnityEngine.AI.NavMeshAgent>();
14         //  Disabling auto-braking allows for continuous movement
17         agent.autoBraking = false;
18         GotoNextPoint();
19     }
20
21     void GotoNextPoint()
22     {
23         // Returns if no points have been set up
24         if (points.Length == 0)
25             return;
26
27         // Set the agent to go to the currently selected destination.
28         agent.destination = points[destPoint].position;
29
30         //  Choose the next point in the array as the destination,
32         destPoint = (destPoint + 1) % points.Length;
33     }
34
35     void Update()
36     {
37         //  Choose the next destination point when the agent gets
39         if (!agent.pathPending && agent.remainingDistance < 0.5f)
40             GotoNextPoint();
41     }
42 }
```

Fig. 86 *Script* para mudar as coordenadas x e y do objeto ou do avatar.

Crédito: Unity. (2017). Making an Agent Patrol Between a Set of Points. [*Online*] Available at: https://docs.unity3d.com/Manual/nav-AgentPatrol.html [Accessed 24 Sep. 2017].

Assembly-CSharp - Scripts\LaunchGrenade.cs - MonoDevelop-Unity

LaunchGrenade.cs

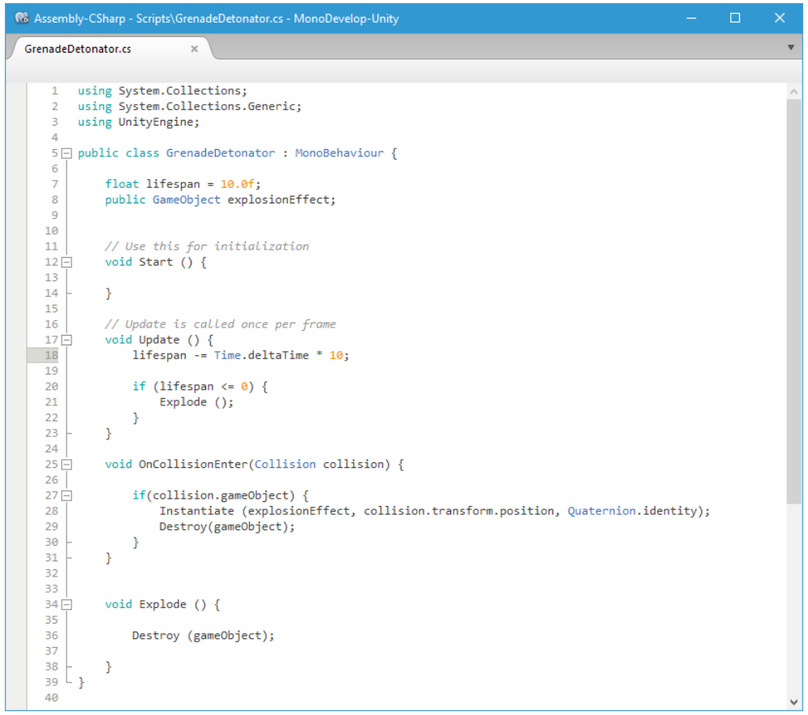
No selection

```
1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  public class LaunchGrenade : MonoBehaviour {
6      public GameObject grenade_prefab;
7      float grenadeImpulse = 40f;
8
9      // Use this for initialization
10     void Start () {
11
12     }
13
14     // Update is called once per frame
15     void Update () {
16         if (Input.GetButtonDown ("Fire1")) {
17             Camera cam = Camera.main;
18             GameObject thegrenade = (GameObject)Instantiate (grenade_prefab, cam.transform.position, cam.transform.rotation);
19             thegrenade.GetComponent<Rigidbody> ().AddForce (cam.transform.forward * grenadeImpulse, ForceMode.Impulse);
20         }
21     }
22 }
23
```

Fig. 87 *Script* para lançar objetos.

Crédito: quill18creates. (2013a). Unity 3d: Simple First-Person Shooter Tutorial - Part 5 - YouTube. [*Online*] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=UAOrboCSclQ [Accessed 24 Sep. 2017].

Crédito: quill18creates. (2013b). Unity 3d: Simple First-Person Shooter Tutorial - Part 6 - YouTube. [*Online*] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=W7NQAF0sQw8 [Accessed 24 Sep. 2017].



Assembly-CSharp - Scripts\GrenadeDetonator.cs - MonoDevelop-Unity

GrenadeDetonator.cs

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

public class GrenadeDetonator : MonoBehaviour {

    float lifespan = 10.0f;
    public GameObject explosionEffect;


    // Use this for initialization
    void Start () {

    }

    // Update is called once per frame
    void Update () {
        lifespan -= Time.deltaTime * 10;

        if (lifespan <= 0) {
            Explode ();
        }
    }

    void OnCollisionEnter(Collision collision) {

        if(collision.gameObject) {
            Instantiate (explosionEffect, collision.transform.position, Quaternion.identity);
            Destroy(gameObject);
        }
    }


    void Explode () {

        Destroy (gameObject);

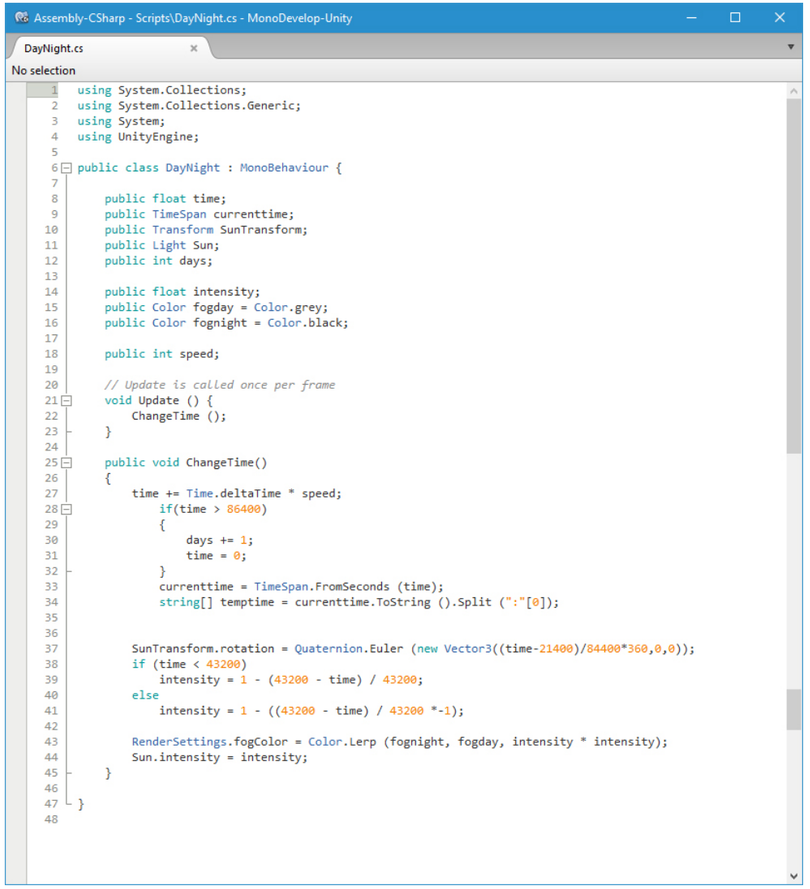
    }
}

```

Fig. 88 *Script* para fazer explodir objetos com o sistema de partículas.

Crédito: quill18creates. (2013a). Unity 3d: Simple First-Person Shooter Tutorial - Part 5 - YouTube. [*Online*] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=UAOrboCSclQ [Accessed 24 Sep. 2017].

Crédito: quill18creates. (2013b). Unity 3d: Simple First-Person Shooter Tutorial - Part 6 - YouTube. [*Online*] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=W7NQAF0sQw8 [Accessed 24 Sep. 2017].



Assembly-CSharp - Scripts\DayNight.cs - MonoDevelop-Unity

DayNight.cs

No selection

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

public class DayNight : MonoBehaviour {

    public float time;
    public TimeSpan currenttime;
    public Transform SunTransform;
    public Light Sun;
    public int days;

    public float intensity;
    public Color fogday = Color.grey;
    public Color fognight = Color.black;

    public int speed;

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

    public void ChangeTime()
    {
        time += Time.deltaTime * speed;
            if(time > 86400)
            {
                days += 1;
                time = 0;
            }
            currenttime = TimeSpan.FromSeconds (time);
            string[] temptime = currenttime.ToString ().Split (":"[0]);


        SunTransform.rotation = Quaternion.Euler (new Vector3((time-21400)/84400*360,0,0));
        if (time < 43200)
            intensity = 1 - (43200 - time) / 43200;
        else
            intensity = 1 - ((43200 - time) / 43200 *-1);

        RenderSettings.fogColor = Color.Lerp (fognight, fogday, intensity * intensity);
        Sun.intensity = intensity;
    }
}

```

Fig. 89 *Script* para fazer a rotação do sol (directional light), com variáveis de tempo e intensidade.

Crédito: YouTube. (2017). [Unity 5] Tutorial: Day And Night Cycle - sun rotation, intensity and the time of the day. Vídeo Youtube. [*Online*]. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=y6TCQfFB2xg> [Accessed 2 Aug. 2017].