



INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

Ciclo de Vida da Construção em Terra: Caso de Estudo em Lisboa

Sustentabilidade Da Construção Em Terra

Neuza Sofia Andrade Duarte

Mestrado Integrado em Arquitectura

Orientadores:

Prof. Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira Rato, Professor Associado
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Prof. Doutor Pedro da Luz Pinto, Professor Auxiliar
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Novembro, 2020



TECNOLOGIAS
E ARQUITETURA

Departamento de Arquitectura e Urbanismo

Ciclo de Vida da Construção em Terra: Caso de Estudo em Lisboa

Sustentabilidade Da Construção Em Terra

Neuza Sofia Andrade Duarte

Mestrado Integrado em Arquitectura

Orientadores:

Prof. Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira Rato, Professor Associado
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

D Prof. Doutor Pedro da Luz Pinto, Professor Auxiliar
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

AGRADECIMENTOS

Uma jornada iniciada na Universidade dos Açores e fortalecida no Iscte, é com muito orgulho que agradeço:

A todos os meus professores que me acompanharam neste percurso académico, em especial ao Professor Vasco Rato e ao Professor Pedro Pinto, pelas intensas orientações determinantes à concretização deste trabalho final.

Aos meus colegas que me acompanharam sempre nesta jornada e em especial à Mariana Aguiar por ser a minha âncora nos momentos mais desesperantes ao longo do curso.

À minha amiga Daniela Mangas por ter embarcado na aventura mais gratificante da minha vida, e trazer os melhores momentos que a Bélgica me deu.

À Carolina Branco pelo apoio incondicional ao longo de muitos anos e sobretudo as longas chamadas que me enchem o coração.

À Solange e ao Paulo Pereira, pela oportunidade de ter vivido novas experiências intercontinentais, o que me ajudou a encontrar o propósito de todo este trabalho final.

E por último, quero agradecer de forma especial, aos meus pais e irmão, por toda a força, dedicação e motivação que me deram nos piores momentos que se surgiram ao longo do meu percurso académico, e sobretudo por terem acreditado sempre em mim, mesmo nos momentos que até nem eu acreditava, muito obrigada.

Resumo

No contexto de um interesse na construção em terra, ressurgindo em todo o mundo como um material sustentável, de baixo impacto ambiental, e com um potencial da arquitetura contemporânea em Portugal, o presente trabalho de investigação consiste na importância de projetar edifícios com o menor impacto ambiental recorrendo a construções tradicionais em terra.

Hoje em dia, o intuito de projetar um edifício advém na intenção de construir de modo sustentável. Isto porque quando planeamos projetar edifícios, baseamo-nos em integrar tecnologias de poupança energética, sistemas construtivos modulares, aplicação e a reutilização de matérias naturais/locais bem como promover a durabilidade e a multifuncionalidade de edifícios de forma a pensar no que estes serão daqui a 50 anos.

Através da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) com recurso ao ICE (inventário de carbono e energia) avalia-se a solução construtiva aplicada no projeto conceptual da componente prática deste trabalho e compara-se a outras soluções construtivas correntes (betão, madeira e alvenaria).

Palavras-chave: Sustentabilidade; Construção; Terra; Ciclo de vida; Carbono; Incorporado

Abstract

In the context of an interest in earth construction, returning worldwide as a sustainable material, with low environmental impact, and with a potential for contemporary architecture in Portugal, the present work consists of the importance of designing buildings with the least impact using traditional buildings on earth.

Nowadays, the intention of designing a building comes from the intention of building in a sustainable way. This is because we plan to design buildings based on integrating energy saving technologies, modular construction systems, application and reuse of natural /local materials and, above all, promoting the durability and multifunctionality of buildings in order to consider about what they will be in 50 years.

Through the Life Cycle Assessment (LCA) methodology in the ICE method (carbon and energy inventory), the construction solution applied in the conceptual design of the practical component of this work is evaluated and compared to other current construction solutions (concrete, wood and masonry).

Keywords: Sustainability; Construction; Earth; Life Cycle; Carbon; Embedded

CICLO DE VIDA DA CONSTRUÇÃO EM TERRA CASO DE ESTUDO EM LISBOA

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	ENQUADRAMENTO	17
1.2	OBJETIVO DO TRABALHO	19
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2	ESTADO DE ARTE	23
2.1	ORIGEM DA CONSTRUÇÃO EM TERRA	23
2.2	CONSTRUÇÃO EM TERRA EM PORTUGAL	24
2.3	COMPOSIÇÃO DO MATERIAL TERRA	26
2.4	SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM TERRA	27
2.5	TERRA CRUA APLICADA EM CONSTRUÇÃO MONOLÍTICA	29
2.5.1	<i>Taipa (Terra Compactada)</i>	29
2.6	TERRA CRUA APLICADA EM ALVENARIA PORTANTE	31
2.6.1	<i>Blocos de Terra Crua (Adobe)</i>	31
2.6.2	<i>Blocos de Terra Compactada (BTC)</i>	33
2.7	TERRA CRUA APLICADA EM ENCHIMENTO E REVESTIMENTO	35
2.7.1	<i>Terra de Recobrimento (Tabique)</i>	35
3	CASOS DE ESTUDO	39
3.1	INTERNACIONAIS	39
3.1.1	<i>Païamboué Middle School- Oceania</i>	39
3.1.2	<i>Maosi Ecological Primary School- China</i>	39
3.1.3	<i>Women’s Wellbeing Centre- África</i>	40
3.1.4	<i>Escola Ecoara Waldorf- Brasil</i>	41
3.2	EM PORTUGAL	42
3.2.1	<i>Residência da Vinha</i>	42
3.2.2	<i>Habitação em Arrudas dos Vinhos</i>	43
4	CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS	47
4.1	ECONOMIA CIRCULAR	47
4.2	AValiação DO CICLO DE VIDA (ACV)	49
4.2.1	<i>Descrição Geral de Avaliação de Ciclo de Vida</i>	50
4.2.2	<i>Vantagens e Desvantagens de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)</i>	52

4.3	CARBONO INCORPORADO OU ENERGIA INCORPORADA NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.....	53
4.3.1	<i>Inventário de Carbono e Energia (ICE)</i>	54
5	CÁLCULO DO CARBONO INCORPORADO- CASO PRÁTICO.....	59
5.1	APLICAÇÃO DO MÉTODO ICE.....	59
5.2	CÁLCULO DO CARBONO INCORPORADO.....	60
5.2.1	<i>Paredes em Betão Armado</i>	60
5.2.2	<i>Paredes em Alvenaria Simples (Tijolo Furado)</i>	61
5.2.3	<i>Paredes de Alvenaria Dupla (Tijolo Furado)</i>	62
5.2.4	<i>Paredes em Madeira</i>	63
5.2.5	<i>Paredes em BTC (Blocos de Terra Compactada)</i>	65
6	PROPOSTA DE INTERVENÇÃO NA CIDADE UNIVERSITÁRIA.....	69
6.1	ÁREA DE ESTUDO	69
6.1.1	<i>Enquadramento da Cidade Universitária</i>	70
6.2	PROPOSTA DE GRUPO	70
6.2.1	<i>Percursos Propostos</i>	72
6.2.2	<i>Implantação</i>	72
6.3	PROPOSTA INDIVIDUAL	74
6.3.1	<i>Sistema Construtivo</i>	76
6.4	WORKSHOP PFA.....	77
6.4.1	<i>Solução de Grupo</i>	78
7	CONCLUSÃO	81
7.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
7.2	PERSPETIVAS FUTURAS.....	82
8	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	87
9	ANEXOS.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1- PIRÂMIDE DE SAQQARAH (FONTE: HTTPS://WWW.EGITO.COM/SAQQARA)	23
FIGURA 2- HABITAÇÕES EM TERRA EM ÁFRICA – PROVÍNCIA 2020 (FONTE: FOTO TIRADA PELO AUTOR)	24
FIGURA 3- CASTELO DO PARDENE (FONTE: HTTPS://WWW.NIT.PT/FORA-DE-CASA/NA-CIDADE/14-COISAS-NOVAS-PARA-FAZER-COMER-E-COMPRAR-EM-ALBUFEIRA/ATTACHMENT/146092)	25
FIGURA 4- EXEMPLOS DE CONSTRUÇÃO EM ADOBE, AVEIRO	25
FIGURA 5- CAMADAS DO SOLO (FONTE: HTTPS://WWW.INFOESCOLA.COM/GEOGRAFIA/SOLO/)	26
FIGURA 6- PROCESSO PAREDE EM TAIPA (FONTE: HTTPS://KDCS.WORDPRESS.COM/2011/10/31/TECNICAS-DE-CONSTRUCAO-COM-TERRA-CRUA-CONSTRUCAO-NATURAL/)	29
FIGURA 7- UTENSÍLIOS PARA O PROCESSO E CONSTRUÇÃO DE UMA PAREDE (BRITO & FLORES, 2003).....	30
FIGURA 8- DESMOLDAGEM DE BLOCOS DE ADOBE (FONTE: HTTPS://PINTEREST.COM/PIN/431923420498305595/)	31
FIGURA 9- DIMENSÕES DE ADOBES CONSOANTE (BRITO & FLORES, 2003).....	32
FIGURA 10- CONSTRUÇÃO PAREDE EM BTC	34
FIGURA 11- MÉTODO CONSTRUTIVO EM TABIQUE	35
FIGURA 12- PAÏAMBOUÉ MIDDLE SCHOOL (FONTE: HTTP://TERRA-AWARD.ORG/PROJECT/LAUREATE-SCHOOL-SPORTS-HEALTH-FACILITIES-HIGH-SCHOOL-PAIAMBOUE/)	39
FIGURA 13- MAOSI ECOLOGICAL PRIMARY SCHOOL (FONTE: HTTP://TERRA-AWARD.ORG/PROJECT/2243/) ..	39
FIGURA 14- WOMEN’S WELLBEING CENTRE (FONTE: HTTPS://WWW.ARCHDAILY.COM/8319/WOMENS-HEALTH-CENTRE-FARE).....	40
FIGURA 15- ESCOLA ECOARA WALDORF (FONTE: HTTPS://WWW.ARCHDAILY.COM/945031/ESCOLA-WALDORF-ECOARA-SHIEH-ARQUITETOS-ASSOCIADOS)	41
FIGURA 16- CASA DA VINHA (FONTE: HTTP://WWW.JPBERNARDINO.COM.PT/CASA-DA-VINHA/)	42
FIGURA 17- CASA EM ARRUDAS DOS VINHA, PLANO B ARQUITETOS	43
FIGURA 18 E 19- OUTRAS CONSTRUÇÕES EM TERRA, PORTUGAL CONCEBIDAS PELA EMPRESA JOÃO BERNARDINO LDA.- CONSTRUÇÃO ECOLÓGICA (FONTE: HTTP://WWW.JPBERNARDINO.COM.PT)	44
FIGURA 20- DADOS SEGUNDO O RELATÓRIO DE "ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL I - CICLO DOS MATERIAIS" COMO CONSUMIMOS O PLANETA (KONSTANTINOVAS, BENTO, & SANCHES, 2019)	47
FIGURA 21- MODELO DE ECONOMIA LINEAR (FONTE: HTTP://WWW.ACRIACAO.COM/ECONOMIA-LINEAR-ECONOMIA-CIRCULAR-E-BLOCKCHAIN/).....	47
FIGURA 22- MODELO DE ECONOMIA CIRCULAR (FONTE: HTTP://SUSTENTABILIDADE.VINHOSDOALENTEJO.PT/PT/MELHORES-PRATICAS-NA-VINHA/RESIDUOS/COMPOSTAGEM-E-ECONOMIA-CIRCULAR).....	48
FIGURA 24- ORTOFOTOMAPA CIDADE UNIVERSITÁRIA (FONTE: GOOGLE EARTH).....	69
FIGURA 25 E 26- PLANTA DE LINHA DE FESTO E PLANTA DE TOPOGRAFIA (FONTE: ELABORADO PELO GRUPO)	71
FIGURA 27- EIXOS VIÁRIOS EXISTENTES	
FIGURA 28- PROPOSTA DE PERCURSOS	72
FIGURA 29- ALÇADO PROPOSTA DE GRUPO (FONTE: ELABORADO PELO GRUPO)	72

FIGURA 30- PROPOSTA DE GRUPO, IMPLANTAÇÃO (FONTE: ELABORADO PELO GRUPO).....	73
FIGURA 31- PROPOSTA INDIVIDUAL, FOTOMONTAGEM (FONTE: ELABORADA PELO AUTOR).....	74
FIGURA 32- PROPOSTA INDIVIDUAL, INTERIOR, FOTOMONTAGEM (FONTE: ELABORADO PELO AUTOR).....	75
FIGURA 33- PERSPETIVA EM CORTE (FONTE: ELABORADA PELO AUTOR)	76
FIGURA 34- TORRES DO ALTO DA EIRA, LISBOA (FONTE: TIRADA POR UM ELEMENTO DO GRUPO)	77
FIGURA 35- PROPOSTA DE GRUPO, AUTORIA DE EDUARDO ALVES, MARCO CARDOSO, MÁRIO SANTOS, NEUZA DUARTE, NUNO FERNANDES E RENATA ALMEIDA.....	78

ÍNDICE DE TABELA

TABELA 1- DIMENSÕES EM MM DOS CONSTITUINTES DO SOLO SEGUNDO (BRITO & FLORES, 2003).....	26
TABELA 2- CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS, SEGUNDO A ASSOCIAÇÃO CRATERRE.....	28
TABELA 3- FASES DO CICLO DE VIDA DO PRODUTO (FERREIRA J. V., 2004).....	50
TABELA 4- FASES DE UMA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA SEGUNDO A NORMA (NP 14040, 2006)	51
TABELA 5- COMPONENTES ENERGÉTICAS DO CICLO DE VIDA DE UM EDIFÍCIO SEGUNDO RICARDO GRAZINA (GRAZINA, 2015)	54
TABELA 6- FLUXOGRAMA DO DESENVOLVIMENTO DO INVENTÁRIO DE CARBONO E ENERGIA SEGUNDO HAMMOND E JONES (HAMMOND & JONES, 2008).....	56
TABELA 7- FOLHA DE EXCEL, CÁLCULO DO CARBONO INCORPORADO- PAREDE EM BETÃO ARMADO	61
TABELA 8- FOLHA DE EXCEL, CÁLCULO DO CARBONO INCORPORADO- PAREDE EM TIJOLO FURADO SIMPLES	62
TABELA 9- FOLHA DE EXCEL, CÁLCULO DO CARBONO INCORPORADO- PAREDE EM TIJOLO FURADO DUPLO	63
TABELA 10- FOLHA DE EXCEL, CÁLCULO DO CARBONO INCORPORADO- PAREDE EM MADEIRA.....	64
TABELA 11- FOLHA DE EXCEL, CÁLCULO DO CARBONO INCORPORADO- PAREDE EM MADEIRA, PRUMO.....	65
TABELA 12- FOLHA DE EXCEL, CÁLCULO DO CARBONO INCORPORADO- PAREDE EM MADEIRA, VALORES PONDERADOS.....	65
TABELA 13- FOLHA DE EXCEL, CÁLCULO DO CARBONO INCORPORADO- PAREDE EM BTC	66

LISTA DE ABREVIATURA

BTC- Blocos de Terra Comprimida

ACV- Avaliação Ciclo de Vida

ICE – Inventário de Carbono e Energia

LCI- Inventário do Ciclo de Vida

ISO- International Organization for Standardization

LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LCA -Life Cycle Assessment

1 INTRODUÇÃO

Capítulo 1

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Em pleno século XXI, a sociedade depara-se com problemas significativos tais como: a desigualdade social, a pobreza e os desequilíbrios ambientais (de que se pode destacar o aquecimento global). É de notar que a Arquitetura acaba por estar ligada a esses problemas, de forma a que para poder-se acabar com a pobreza, uma das soluções é a construção de habitações.

No entanto, a construção é, no geral, a prática menos eficiente no que toca ao consumo de recursos, e que não aceita grande parte dos processos da produção industrial já recorrentes em outros setores de atividade. Nesse contexto, diversos autores apontam para algum atraso tecnológico na atual indústria da construção em relação a outras indústrias (Mourão & Pedro, 2012). É de frisar que os métodos construtivos correntes não só consomem como desperdiçam recursos. Isto é, grande parte deste desperdício cria outros novos resíduos que originam novos consumos de recursos, sendo preciso o seu tratamento de eliminação e minoração dos riscos de contaminação (Mourão & Pedro, 2012). Genericamente, a construção não antevê formas de gerir os desperdícios durante o processo nem no uso futuro nem muito menos no fim de vida do edificado (Mourão & Pedro, 2012).

No entanto, todo este método corrente contribui para uma insustentabilidade ambiental onde leva à comunidade internacional a dedicar-se na procura de uma alternativa ao crescimento nomeado de “desenvolvimento sustentável”. Foram feitos esforços, de modo a implementar o conceito de desenvolvimento sustentável para o meio ambiente em que inserimos. Desta forma, foram assumidas intenções de proteção do ambiente, onde estas devem se refletir na regulação dos níveis de desempenho ambiental das comunidades urbanas (Mourão & Pedro, 2012). É de evidenciar que há um enquadramento conceptual, recomendatório e legislativo da problemática da sustentabilidade ambiental na habitação (Mourão & Pedro, 2012). Porém, em alguns casos, não se devem aceitar todos os conceitos e sugestões existentes sobre o conceito de desenvolvimento sustentável, aceitando as congregações internacionais e esquecendo as normas regionais.

Hoje em dia, pretendemos ser sustentáveis, mas se realmente queremos ser, há que “atender às necessidades do presente, sem comprometer as possibilidades das gerações futuras atendendo às suas próprias necessidades.” (Commission on Environment and Development, 1987, p. 54) Palavras encontradas no relatório de Brundtland - Our common future. Este considera que a pobreza não é mais inevitável e que o desenvolvimento de uma cidade deve atender às necessidades básicas de todos, de forma a oferecer oportunidade de melhorar a qualidade de vida (Commission on Environment and Development, 1987). Se atendermos às necessidades básicas que o relatório de Brundtland refere, podemos considerar que uma construção sustentável poderá responder à solução dessas necessidades presentes de modo a não intervir em gerações futuras.

A principal intenção de uma construção sustentável foca-se em mudar as práticas da construção e do seu planeamento em projeto, assim como uma atitude compreensível dos ciclos de recursos envolvidos e requisitos futuros (ciclo de vida dos materiais). Desta forma, uma construção sustentável baseia-se em integrar tecnologias de poupança enérgica, a elaboração de sistemas construtivos modulares, a utilização e a reutilização de matérias naturais/locais e sobretudo promover

a durabilidade e da multifuncionalidade de edifícios (Mourão & Pedro, 2012), isto é, projetar edifícios a pensar no que estes serão daqui a 50 anos.

Apesar disto, se só atendermos aos objetivos de uma construção sustentável, a possibilidade de falharmos é grande, pelo facto de só olharmos para objetivos técnicos como acontece em algumas tentativas explícitas no relatório Urban Strategy. Neste relatório assume-se que muitos projetos que pretendem ser referência de uma construção sustentável, acabam por se tornar exemplos negativos sobretudo por negligenciar a dimensão cultural e estética da construção ((UE), 2004). Deste modo, o conceito de uma arquitetura sustentável surge-nos para solucionar uma construção sustentável sem corromper a estética da construção.

O conceito de uma arquitetura sustentável tem em conta as competências ambientais, sociais e económicas, de modo a criar condições de habitabilidade de baixo custo e longo período. Através da relação existente entre ambiente, sociedade e economia, uma arquitetura sustentável necessita de certificar-se de que não incorre a processos de degradação desses domínios (Mourão & Pedro, 2012). Também, uma arquitetura sustentável não deve ser limitada apenas à aplicação destes princípios já mencionados, mas sim solucionar requisitos específicos de habitabilidade de um território em específico. É de frisar ainda que, o princípio de arquitetura sustentável se reflete na interação do clima com a utilização de energias e materiais endógenos (Mourão & Pedro, 2012), com o intuito de obter níveis de conforto dos usuários e de um menor impacte ambiental. Para além disso, uma arquitetura sustentável não é apenas a aplicação de métodos construtivos sustentáveis, mas também de um processo criativo. Ou seja, todas as fases de projeto são relevantes, desde da sua ligação com a envolvente aos vários elementos da construção (Mourão & Pedro, 2012).

Posto isto, "A Agenda 21" consta que uma construção sustentável inclui não só aspetos técnicos, como também aspetos sociais, económicos e políticos e, sobretudo, ainda refere que a gestão e organização do processo construtivo são os pontos cruciais em resposta a uma construção sustentável (Mourão & Pedro, 2012). A "Agenda 21" mostra ainda que alguns países pretendem adotar métodos diferentes de construção sustentável para se adaptarem à situação de cada país, especialmente em termos de impacte ecológico no meio ambiente local (Bâtiment, 1999).

De acordo com os dados da "Agenda 21" para construir sustentável, a construção na União Europeia é sem dúvida o maior setor industrial que mais recursos consome, já mencionado. As construções de edifícios são responsáveis por 30% das emissões de CO₂ e 40% dos resíduos com origem humana (Mourão & Pedro, 2012). Contudo, hoje em dia, o conceito de construção sustentável em algumas cidades europeias, começa a ter percetibilidade; porém, a vertente política muitas das vezes não direciona o mercado para esta opção. As atuais construções sustentáveis têm em consideração a *"existência de exemplos adequados, a quantidade de documentos disponíveis, o reconhecimento da importância do setor da construção no contexto do desenvolvimento sustentável, o apoio público ao conceito de desenvolvimento sustentável, a tendência para desenvolver projetos de qualidade e o reconhecimento do património cultural, fator determinante na qualidade de vida das pessoas"* (Mourão & Pedro, 2012, p. 23).

No entanto, todo o conceito de construção requer materiais, dos quais sabemos que a sua produção causa danos ambientais, sendo que a produção de energia é de enorme quantia fazendo com que as emissões de CO₂ sejam elevadas.

Deste modo, na construção, a seleção dos materiais é determinante no desempenho ambiental de um edifício. Geralmente, os materiais são categorizados em três grupos: materiais naturais, materiais artificiais e materiais sintéticos. Estes grupos surgem consoante a sua origem e seu tipo de processo produtivo. Contudo, numa construção sustentável, há que ter em conta que não podemos encontrar materiais sustentáveis, mas sim modos sustentáveis de os aplicar na construção. Ou seja, o que define se o material de construção é considerado ambientalmente sustentável é o seu desempenho nas principais etapas do seu ciclo de vida tais como: “a produção (*extração, fabrico, transporte e aplicação na construção*); o uso (*contacto, desgaste, manutenção e função construtiva*) e o destino final quando esgotado o tempo de vida do material (*demolição, reciclagem*)” (Mourão & Pedro, 2012, p. 128).

No global, esta definição de materiais ambientalmente sustentáveis requer entender o uso dos recursos (energia, água, resíduos, solo); contudo, não podemos apenas olhar para este uso, mas também consultar informações técnicas atualizadas como listas comparativas que nos façam entender qual a melhor solução dos materiais construtivos.

Desta forma, com o avanço do tempo, a preocupação pela sustentabilidade na construção tem sido cada vez maior. Surge-nos uma nova geração de materiais de origem natural e de técnicas construtivas de baixo impacte ambiental (Mourão & Pedro, 2012). A redescoberta da construção com materiais naturais tem permitido que se encontrem métodos tradicionais alternativos que correspondem às preocupações ambientais. Isto é, estes métodos tradicionais têm demonstrado que a aplicação de materiais naturais disponíveis localmente tornam-se mais eficientes do que a utilização de materiais recorrentes. No entanto, um aspeto fundamental e que muitos especialistas defendem, que o material natural por vezes necessita de ser integrado num sistema construtivo corrente (Mourão & Pedro, 2012). Na verdade, não é apenas o material em si que definirá uma construção sustentável, mas sim as tecnologias da sua utilização, a interação com outros materiais, bem com a gestão do seu ciclo de vida.

1.2 Objetivo do Trabalho

O núcleo essencial deste trabalho é o ciclo de vida da construção em terra, caso de estudo em Lisboa. Cada vez mais ouve-se falar em sustentabilidade, e na vertente da arquitetura, quando se fala em sustentabilidade, um dos nossos primeiros pensamentos, são métodos de construções de baixo impacte ambiental.

Hoje em dia, os métodos de construção mais aplicados nas construções de edifícios têm um valor elevado de CO₂ incorporado. No entanto, sabe-se que a terra é o material de construção mais abundante e disponível a qualquer pessoa no mundo. Hoje, a construção com terra ressurgem em todo o mundo considerando um material sustentável e sobretudo volta a surgir como opção de construção, por ser um método construtivo de fácil execução, acessível e sobretudo de baixo impacte ambiental.

O principal objetivo pela escolha do tema para este trabalho de investigação, é que apesar do método de construção em terra existir desde sempre, este não é visto como um sistema construtivo

corrente nas sociedades desenvolvidas. Assim sendo, o presente trabalho tem como propósito analisar o contributo da solução no impacte ambiental (cálculo do carbono incorporado) afirmando a potencialidade de um sistema construtivo de baixo impacte. Assim, é comparado com sistemas construtivos correntes (betão, madeira e alvenaria) e sobretudo é aplicado no projeto conceptual da vertente prática deste trabalho.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho em causa tem uma estratégia de investigação, onde esta é repartida em duas fases: primeiramente na revisão de bibliografia onde se insere o estado de arte e casos de estudo e na segunda parte insere-se a aplicação da investigação no projeto conceptual.

Em primeiro lugar, o trabalho inicia-se com enquadramento teórico sobre a construção em terra, desde da sua origem (contextualização), à sua composição e até à investigação detalhada de quatro sistemas construtivos tradicionais possíveis de se aplicar no projeto conceptual. De seguida, no capítulo 3 são analisados casos de estudo internacionais, neste caso equipamentos escolares de modo a que seja comparável ao projeto conceptual e assim entender às respostas de projetos já existentes face ao desafio em que este se insere. No mesmo capítulo, também são analisados pelo menos dois exemplos de projetos em Portugal executados em construção em terra.

Posteriormente, no capítulo 4 é introduzida a noção de economia circular, em seguimento com a avaliação do ciclo de vida, onde o trabalho em causa foca-se em evidenciar principalmente na grande vantagem de existir a possibilidade de calcular a energia incorporada nos materiais de construção prevendo o seu impacte ambiental desde a sua extração até ao final do seu ciclo de vida. Assim sendo, no capítulo seguinte, apresenta-se o cálculo do carbono incorporado para paredes aplicadas no projeto conceptual em comparação com outros sistemas construtivos correntes. Neste capítulo é possível demonstrar a comparação de paredes com o mesmo requisito, mas com impactes ambientais diferentes.

Posto isso, nos restantes capítulos é de notar a introdução e desenvolvimento do projeto conceptual elaborado ao longo do tempo e de como este insere toda a investigação teórica elaborada. Este é um trabalho da componente teórica/prática que encarrega de evidenciar todo o esforço feito ao longo de cinco anos de estudo e trabalho.

2 ESTADO DE ARTE

Capítulo 2

2 ESTADO DE ARTE

2.1 Origem da Construção em Terra

Desde há muitos anos que o Homem procura locais que lhe garanta segurança e conforto. Para tal, este através do seu conhecimento empírico ou por intuição, analisa adequar os materiais em seu redor e desenvolve técnicas construtivas, de modo a responder à sua necessidade. Conforme o que se pesquisa, conclui-se que a terra crua foi um dos primeiros materiais que o Homem aplicou nas suas construções de abrigos. Não é clara a origem do material terra nas construções, mas estima-se que a construção em terra existe há cerca de 10.000 anos (Ferreira C. d., 2012).

Este é um material que se tornou o mais comum a redor do mundo. Contudo, é na região da Mesopotâmia e no antigo Egito que se encontram os vestígios mais antigos de construção em terra. Mais tarde, na Ásia verificou-se que a terra foi aplicada pelos hindus e budistas, enquanto que na América pelas civilizações Maia e Inca (Brito & Flores, 2003). Ao contrário do que é comum hoje, esses vestígios de construção em terra foram encontrados não só em construções de pequena escala, mas também em construções de monumentos, como por exemplo alguns troços da muralha da china, a muralha de Adriano, o palácio do Dalai Lama no Tibete, as pirâmides de Saqqarah no Egito e as ruínas da cidade de Chan Chan com uma superfície de 14 km² (Brito & Flores, 2003).



Figura 1- Pirâmide de Saqqarah (Fonte: <https://www.egito.com/saqqara>)

Já na Europa, a expansão da construção em terra surgiu através do Império Romano civilização criadora do primeiro “cimento leve” com cal e pozolana (Duarte, 2013), e mais tarde pela civilização Muçulmana aproveitando todo o conhecimento anterior em seu benefício. Alguns testemunhos romanos encontrados já antevêm da sua civilização anterior. Para além da construção em terra, o mármore foi o material mais importante do Império Romano, dando origem à substituição da terra nas construções mais nobres.

Hoje em dia, embora a técnica tenha caído em desuso, na Europa ainda existe uma grande percentagem da população a habitar em edifícios com centenas de anos construídos em terra como na Suécia, Dinamarca, Inglaterra, França, Alemanha, Espanha e Portugal. Em relação à América Central e Latina, a construção em terra, especialmente em adobe e taipa, continua a ser aplicada na atualidade, assim como no Norte de África a prática de construção em terra é a principal base nas suas habitações (Brito & Flores, 2003).



Figura 2- Habitações em terra em África – Província 2020 (Fonte: Foto tirada pela Autora)

Durante o século XX, surge o fenómeno de uma maior distribuição de riqueza e de diminuição do custo de energia, proveniente de um aumento drástico do consumo energético (Brito & Flores, 2003). Consequentemente, os edifícios passaram a ser os maiores consumidores de energia, referente à sua utilização e, principalmente ao seu processo construtivo e fabrico dos materiais aplicados na qual a maior parte do que é empregue não é reciclado ou reutilizado (Brito & Flores, 2003).

No entanto, nos anos 70, ocorreram as primeiras discussões em torno do problema do consumo de energia. Através dessa discussão do agravamento de elevadas emissões de poluentes e da conjuntura dos problemas ambientais que, na década de 80, ressurge a construção em terra como forma de produzir habitações de baixo custo e ecologicamente sustentável.

Um dos países da Europa onde a construção em terra foi mais difundida foi em França. Durante a ocupação romana, a cidade de Lyon foi um dos locais da Europa com maior número de exemplos de construção em terra (Mateus, 2004).

Atualmente, a construção em terra é uma evolução de processos existentes ao longo de séculos, por ser um dos materiais mais antigos e, sobretudo, pelo seu potencial o que continua a ser desenvolvido e investigado hoje em dia.

2.2 Construção em terra em Portugal

A aplicação da terra na construção em Portugal é igualmente de origem antiga. Portugal abraçou a influência da construção em terra pelos árabes durante o período da sua permanência na Península Ibérica (Duarte, 2013). Contudo, no século XX, a construção em terra cai em desuso devido à introdução da construção em tijolo cozido.

Porém, no final do século XX, originou um conjunto de construções em terra no Sul de Portugal, o que veio a retomar as técnicas construtivas, principalmente dois sistemas construtivos: a taipa e o adobe (Torgal, Eires, & Jalali, 2009). É no Sul de Portugal, mais propriamente no Alentejo e Algarve, que podemos encontrar construções em terra aplicadas pelo sistema construtivo em Taipa (Duarte, 2013). Susana Reis Duarte refere em sua dissertação que os principais motivos de se encontrar construções em terra no Sul de Portugal deve-se à grande disponibilidade do solo apropriado, ao clima favorável e às suas influências culturais (Duarte, 2013). É de salientar que muitos dos exemplos em

construção em terra em Portugal não só são habitações, como também são em edifícios de grande escala como por exemplo as muralhas dos Castelos de Alcácer do Sal, Paderne e Paço de Vila Viçosa.



Figura 3- Castelo do Paderne (Fonte: <https://www.nit.pt/fora-de-casa/na-cidade/14-coisas-novas-para-fazer-comer-e-comprar-em-albufeira/attachment/146092>)

Quanto ao Norte de Portugal, também é possível encontrar alguns exemplos de construção em terra, apesar da pedra ser o material em abundância no Norte. Enquanto que no Sul de Portugal encontramos as técnicas construtivas em taipa ou adobe, já no Norte de Portugal encontra-se a técnica construtiva em tabique (Duarte, 2013).

Porém, nos vales do Tejo e do Vouga, a aplicação de terra na construção é marcante, devido ao seu solo argiloso, mantendo ainda hoje alguns edifícios. Mais precisamente, no distrito de Aveiro 35 a 40% dos edifícios são empregues em solução construtiva de adobe (Duarte, 2013).



Figura 4- Exemplos de Construção em Adobe, Aveiro

(Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Casa_da_Cooperativa_Agr%C3%ADcola_e_o_porto_de_Aveiro.jpg)

Em Portugal, o uso da terra crua como solução construtiva, foi usual até aos anos 50 no século XX. Com o surgimento do tijolo cozido e até mesmo o betão armado, a tradição em construir em terra acabou em desuso. No entanto, atualmente, o movimento em torno da construção em terra ressurgiu em todo o mundo e felizmente, Portugal tem assistido a um crescimento de interesse pelo assunto,

podendo constatar pelo crescente número de trabalhos acadêmicos produzidos, como também nas conferências e cursos que nos últimos anos tem aparecido ao longo do país (Torgal, Eires, & Jalali, 2009).

2.3 Composição do Material Terra

A terra é a principal matéria prima responsável pela qualidade deste tipo de construção independentemente do seu sistema construtivo. Este é um material que cobre a parte sólida do planeta Terra. Geralmente, a terra ou solo consiste na decomposição de rochas, em consequência das ações da natureza através de variações de temperatura, glaciares, chuvas, rios, marés, ventos, terremotos, vulcões e a própria vida.

A escolha correta da matéria prima para construção em terra é idealmente usada com uma profundidade superior a 30 ou 50 cm (Duarte, 2013), de modo a evitar impurezas e outros materiais orgânicos que possam afetar a resistência da construção. Desta forma, na conceção de uma construção em terra, é possível reutilizar a terra retirada da abertura para as fundações da própria construção (Duarte, 2013).



Em relação à sua preparação, deve-se retirar todas as pedras e outros atritos indesejáveis, através de um processo manual ou mecânico.

O principal fator em todo o processo de escolha da terra é essencialmente o seu comportamento face à água e a sua resistência mecânica, como também a parte mineral. A terra é composta por várias proporções tais como: gravilhas, areias, siltes e argilas (Brito & Flores, 2003). No entanto, a proporção de cada composto deve ser controlada de modo a obter a terra mais adequada para o objetivo em causa.

Figura 5- Camadas do Solo (Fonte: <https://www.infoescola.com/geografia/solo/>)

Tabela 1- Dimensões em mm dos Constituintes do Solo segundo (Brito & Flores, 2003)

ARGILAS	SILTE			AREIA			SEIXO			CALHAU	PEDRA
	Fino	Médio	Grosso	Fino	Médio	Grosso	Fino	Médio	Grosso		
	0,002	0,006	0,02	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60	150

Geralmente, siltes, areias e seixos são os elementos mais estáveis à resistência mecânica, enquanto que a argila é um elemento mais instável. Contudo, a argila na presença da água e em processos de secagem é um excelente aglomerante (Brito & Flores, 2003).

Na constituição do solo, a argila é a componente responsável pela coesão do solo devido à sua resistência à água o que faz com que solo aumente de volume com a sua presença. No processo de escolha do solo na construção em terra, a argila é um elemento que se deve aplicar pelo menos 5% a 20% deste, de modo a obter uma melhor consistência na estabilização (Duarte, 2013). Além disso, o excesso de argila no solo pode originar fendas por se contrair muito no processo da secagem. Já as siltes são consideradas partículas finas de origem mineral que também ajudam na coesão do solo oferecendo uma melhor densidade. Em relação às areias na constituição do solo, esta é composta por aglomerados que ajudam à resistência da terra de modo a diminuir a fissuração por retração (Duarte, 2013).

As principais características que a terra como material de construção tem, é a sua granulometria, plasticidade, compressibilidade e coesão. Normalmente, fazem-se vários estudos à granulometria desde testes preliminares do terreno aos ensaios em laboratório de forma a servir de base para corrigir a sua composição na adição de elementos, se for o caso.

Maioritariamente, a adição feita à composição da terra para efeitos construtivos tende na adição de elementos de estabilização. Nalguns casos, adiciona-se à sua composição fibras tais como palha, fibras de vidro ou aço. A utilidade das fibras diminui e evita a fissuração no processo de secagem de paredes, de modo a distribuir as tensões de retração da argila por todo o restante material. Também, esta possibilita aumentar a resistência mecânica do material. No entanto, a palha em locais húmidos tem a tendência de se degradar ao longo do tempo (Mateus, 2004).

Hoje em dia, o estabilizante mais empregue na conceção de uma construção em terra é o cimento, por este apresentar uma aglomeração de partículas estáveis e uma boa reação com a argila tornando-o ainda mais estável. Porém, no método de estabilização ainda pode-se adicionar cal, por ter uma reação pozolânica. Já na adição de betume, esta é feita mediante uma mistura com solventes. O betume possibilita o aumento de resistência da terra à água, de forma a melhorar a coesão de solos pouco colantes (Mateus, 2004). Este é uma excelente aposta para a técnica em adobe.

A terra como material tem inúmeras vantagens para uso na construção em terra crua assim como: a própria disponibilidade, boas propriedades térmicas, boa absorção e libertação de humidade, geração de poluição mínima e eficiência energética (BARBOSA Normando Perazzo, 2014).

Uma outra vantagem da terra como material de construção é a capacidade de gerar tecnologias apropriadas. Isto é, a tecnologia é tão fácil de transmitir a qualquer pessoa como também utiliza simples equipamentos e de fácil acesso (Linden, 2019).

2.4 Sistemas Construtivos Em Terra

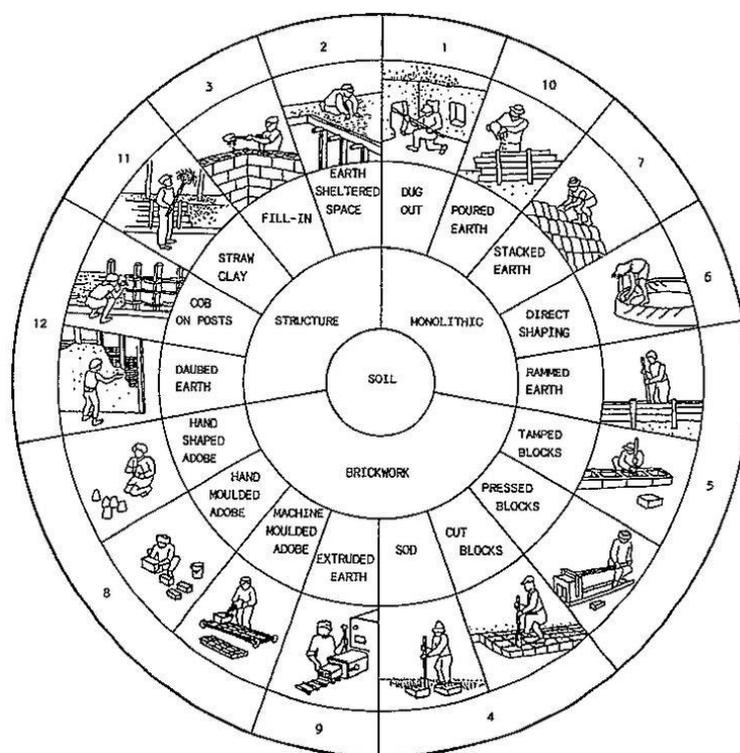
A construção em terra é um método que já se vem a falar desde há muitos anos, não só pela sua antiguidade, mas também como um método versátil na forma como é empregue e conjugada com diversos materiais. Esta versatilidade advém da utilização de recursos locais consoante a região do

globo. Este é um material disponível em qualquer parte do mundo o que fez com que o grupo CRATerre elaborasse uma classificação de 18 técnicas distintas, que dividiu em 3 grupos distintos: terra crua usada em construção monolítica e portante, utilização de terra crua em alvenaria portante, enchimento e revestimento de uma estrutura de suporte aplicando terra crua (Ferreira L. M., 2015).

É de salientar que o grupo CRATerre originou-se nos anos 70 com o objetivo de promover a construção em terra. Esta foi uma associação relacionada com a Escola de Arquitetura da Universidade de Grenoble, passando a ser uma referência internacional no tema.

Dado esta referência, a associação CRATerre ilustra o seguinte gráfico, que será continuamente revisto à medida que novas formas de se aplicar a terra crua na construção sejam descobertas.

Tabela 2- Classificação dos Sistemas Construtivos, Segundo a Associação CRATerre



MONOLÍTICO	ALVENARIA	ENCHIMENTO E REVESTIMENTO
Terra Escavada	Blocos Batidos	Terra de Recobrimento
Terra Vazada	Blocos Compactados (BTC)	Terra sobre engradado
Terra Empilhada	Blocos Talhados	Terra-Palha
Terra Modelada	Torrões de Terra	Terra de Enchimento
Terra Compactada (Taipa)	Terra Estruída	Terra de Cobertura
	Adobe mecânico	
	Adobe Manual	
	Adobe Moldado	

Neste caso, o presente trabalho detalhará pelos menos 4 técnicas construtivas mais aplicadas hoje em dia. Do grupo monolítico irei abordar a terra compactada ou mais conhecido por Taipa; dos métodos de alvenarias explicarei de forma detalhada o processo de Blocos Compactados (BTC) e adobe (moldado e mecânico). Enquanto que no grupo de enchimento e revestimento irei abordar terra de recobrimento ou Tabique. Esta seleção tem como intuito de entender melhor essas 4 técnicas mais empregues pelo mundo, a fim de aplicar no projeto de arquitetura elaborado.

2.5 Terra Crua aplicada em Construção Monolítica

2.5.1 Taipa (Terra Compactada)

Em Que Consiste

A aplicação da terra na forma monolítica advém de uma estrutura contínua, onde funciona como um único elemento resistente (Ferreira C. d., 2012). O método em terra compactada, mais conhecido por taipa, é a mais representativa deste grupo assim como tem uma maior expressão a nível mundial.

A taipa é uma técnica de construção monolítica, como já foi mencionado, e consiste na compactação da mistura de terra sobreposta em camadas diretamente no interior de um sistema de cofragem. Na França, o método de construção em terra compactada é designado por “pise” e “taipal” em Espanha. Este é um método de construção disseminado a nível mundial e muitas das construções existentes fazem parte do património mundial da UNESCO (Duarte, 2013). Tradicionalmente, a taipa era mais difundida em zonas cujos solos eram mais adequados para a sua construção, como por exemplo, em Portugal o método construtivo em terra compactada era mais executado no centro e sul do país (Ribatejo, Alentejo e Algarve) (Torgal, Eires, & Jalali, 2009). Atualmente, este método de construção emprega solos de diferentes proveniências e diferentes características.



Figura 6- Processo Parede em Taipa (fonte: <https://kdcs.wordpress.com/2011/10/31/tecnicas-de-construcao-com-terra-crua-construcao-natural/>)

Processo

Em primeiro lugar, antes de iniciar, é necessário obter a composição da terra correta para a elaboração de uma construção utilizando o método em taipa. Normalmente, para o processo em taipa, deve-se escolher uma granulometria variada, isto é, podemos incluir proporções significativas de seixos e calhaus (Brito & Flores, 2003). Também é por hábito adicionar fibras de origem vegetal ou origem sintética por atribuir resistência à tração. Posto isto, a melhor proporção da constituição da terra para o seu processo não deve exceder em areias, sendo um componente que concede a rigidez à estrutura, entre os 40% a 50%; a gravilha a 0% a 15%; os siltes uma quantidade de 20% a 35% e por fim a argila como elemento aglutinador entre os 15% a 25% (Brito & Flores, 2003).

Existem dois tipos de técnica construtiva em taipa, a tradicional já empregue no passado e a mecanizada, sendo um método recente. A taipa tradicional é praticada por meio de moldes (chamados de cofragem) feitos de tábuas de madeira removíveis e as fundações tradicionais geralmente são feitas de alvenaria (como xisto, cal e argamassa, argila e pedra seca). Para evitar que a humidade suba na parede compactada, a compactação é realizada manualmente usando blocos de madeira chamados de pilão. (Torgal, Eires, & Jalali, 2009).

Enquanto que na técnica da taipa mecanizada, sendo um método mais recente, este aproveita das novas tecnologias. É executado segundo o mesmo molde que a taipa tradicional, mas com uma melhor vantagem na qualidade e dimensões da cofragem e sobretudo na forma como é feita a compactação. A compactação é realizada através de um compactador pneumático de modo, a economizar no tempo necessário para compactar a terra (Torgal, Eires, & Jalali, 2009).

É de evidenciar que as paredes construídas em taipa podem ser portantes ou não portantes, optando-se por empregar uma estrutura em outro material como betão armado ou madeira. Para além disso, as paredes em taipa podem ser reforçadas com bambu ou aço, em semelhança ao método do betão (Torgal, Eires, & Jalali, 2009). No entanto, as fundações deste método são feitas em betão armado ou em alvenaria de pedra.

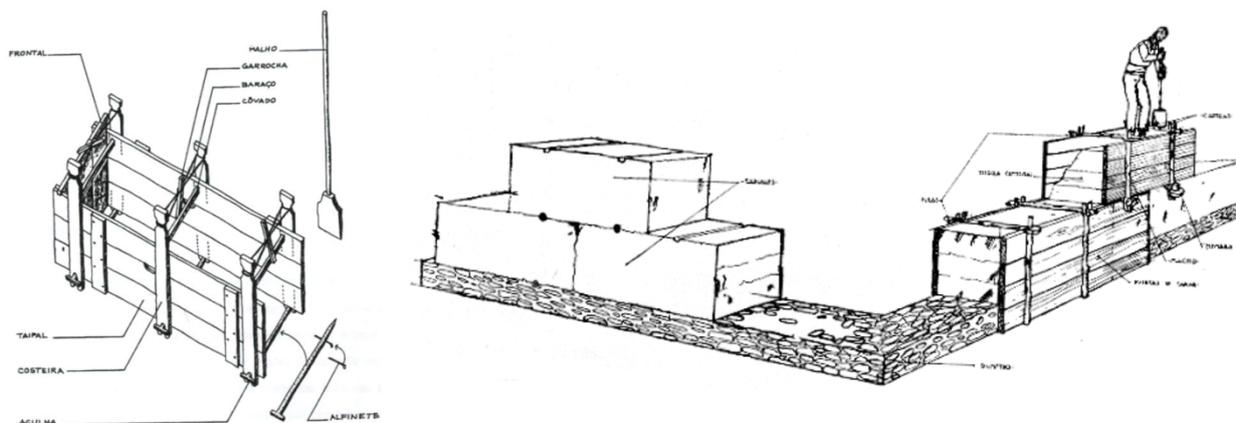


Figura 7- Utensílios para o processo e Construção de uma parede (Brito & Flores, 2003)

Vantagens e Desvantagens

Cada vez mais, o potencial da construção em terra tem vindo ser revalorizado e sendo desenvolvidos sistemas sofisticados e industrializados para a sua execução. No entanto, a prática da taipa nas habitações tendo vindo a ser afetado por não ser um processo rápido na construção, por exemplo umas paredes em taipa numa habitação unifamiliar demoram cerca de três semanas a erguer (Mourão & Pedro, 2012).

De acordo com o livro “*Princípios de edificação sustentável*” (Mourão & Pedro, 2012), para o sistema construtivo em taipa ter lugar no mercado da construção, é preciso que o preço dos materiais de construção corrente integre custos ambientais, isto porque se incluirmos os custos ambientais, os processos construtivos correntes tornar-se-ão mais caros o que faz com que o método construtivo em terra seja mais vantajoso. No entanto, esta integração dos custos ambientais depende sobretudo de um processo político, o que torna numa desvantagem ainda hoje.

2.6 Terra Crua aplicada em Alvenaria Portante

2.6.1 Blocos de Terra Crua (Adobe)

Em Que Consiste

Das inúmeras soluções disponíveis em terra, adobe é uma técnica de construção que emprega blocos de terra crua moldados. Este é um método mais fácil por se executar uma construção em alvenaria modular, rápida e eficiente. O termo “Adobe” descende do vocabulário Árabe e foi implementado na Península Ibérica quando os povos do Norte de África dominavam estas zonas do continente europeu (Mateus, 2004). O autor do livro *Construção em Terra* (Torgal, Eires, & Jalali, 2009) referencia que, no Sul de Portugal, é frequente existirem edifícios de habitação em alvenaria em adobe em razoáveis estado de conservação que datam o início do século XX. Alguns investigadores encontram casos invulgares de paredes mistas de adobe e xisto.



Figura 8- Desmoldagem de Blocos de Adobe (Fonte: <https://pinterest.com/pin/431923420498305595/>)

Processo

O método de construção em adobe é semelhante ao método de construção de tijolos convencionais. No entanto, é moldado manualmente em alternativa à alvenaria de tijolo fabricada

mecanicamente. Este método apresenta algumas vantagens em termos de isolamento térmico e acústico e baixo custo. Devido à sua produção artesanal, existem diversos tipos de moldes permitindo um grande número de tijolos diferentes. Quanto ao seu assentamento, este é feito com uma argamassa à base de terra, de forma a obter melhor desempenho de ligação entre os materiais, evitando assim possíveis trincas ou quedas dos materiais (Brito & Flores, 2003).

Em relação à produção de tijolos de adobe, estes consomem apenas 1% da energia essencial para a produção de tijolos cozidos ou de cimento (Mourão & Pedro, 2012). Posto isto, para se concretizar a produção de blocos de adobe, é necessário fazer-se uma mistura de terra e água onde é colocada em moldes com as dimensões que se pretende atribuir ao bloco. No bloco de adobe usa-se terra bem argilosa, até 30% de argila. No entanto a composição deve ser muito arenosa, à qual se junta água, como já foi mencionado, obtendo-se uma pasta semidura, entre 15 a 30% de água onde, por fim, é moldado à mão num molde e seco ao sol (Mourão & Pedro, 2012). Contudo a massa para o processo de adobes deve conter 54% a 75% de areia, 25% a 43% de ligantes e mesmo até 3% de fibras (orgânicas ou sintéticas) (Brito & Flores, 2003). A construção em adobe é um processo que combina tijolos de várias dimensões conseguindo erguer paredes de grande altura e alcançando mais de 10 pisos.

No que diz respeito ao dimensionamento dos blocos, estes podem variar consoante os moldes utilizados. Todavia, quanto maiores forem os blocos, maior será a necessidade de recorrer a meio mecânico para o transporte, deste modo aumentando a incorporação de energia (Mateus, 2004) e sendo um processo que requer muita mão de obra.

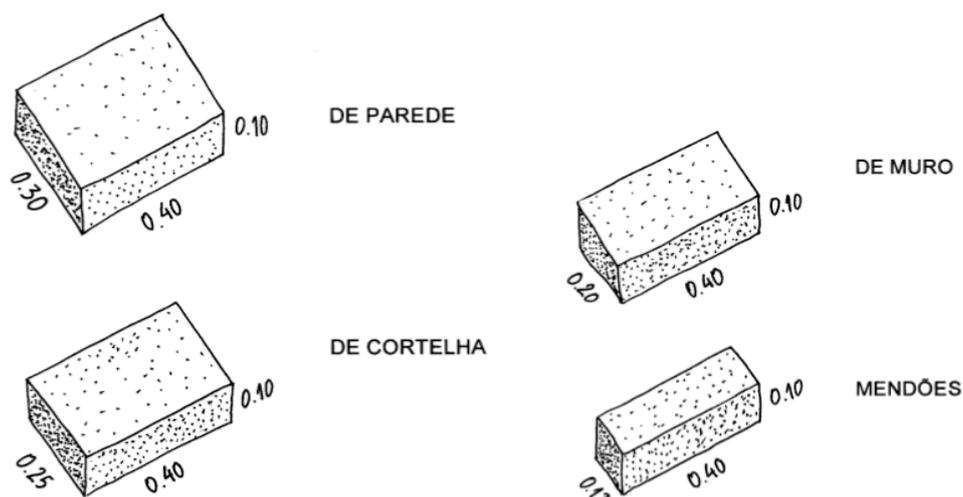


Figura 9- Dimensões de adobes consoante (Brito & Flores, 2003)

Ricardo Mateus (Mateus, 2004) refere na sua dissertação que os adobes podem ser empregues em alvenarias estruturais ou não estruturais. Na hipótese de aplicarmos em alvenarias não estruturais, é necessário recorrer a uma estrutura resistente e porticada em aço ou madeira. Esta é uma solução que antes de executar o assentamento de blocos de terra, constrói-se primeiro a cobertura do edifício fazendo com que este proteja a produção dos blocos e seu assentamento da chuva. No entanto, poderá ser difícil na ligação dos blocos aos elementos estruturais (Mateus, 2004).

Na situação de se optar por uma alvenaria estrutural, esta deve solucionar um adequado método de contraventamento para as paredes (Mateus, 2004) de forma que quando recorrer a cargas perpendiculares, a sua resistência não seja tão reduzida. Este método deve garantir ligações verticais com as paredes com que está em contacto e com ligações horizontais, através de ligações às lajes (Mateus, 2004).

Vantagens e Desvantagens

Como já foi mencionado, uma das grandes vantagens do método construtivo em adobe é a sua variedade/dimensionamento na produção dos blocos, como também o seu processo de moldagem e desmoldagem, caracterizado por um ato semi-artesanal. Isto quer dizer que esta técnica permite não só a conceção de paredes, mas também a elaboração de arcos, abóbadas e cúpulas (Brito & Flores, 2003).

No que diz respeito à produção de blocos, este é um processo que não envolve gastos de energia, visto que o material é seco ao sol. Em relação ao seu isolamento térmico do método construtivo em adobe tem uma elevada inércia térmica e uma boa eficácia acústica (Brito & Flores, 2003), sendo que existem inúmeros materiais à base de canas, palhas, subprodutos da madeira, cortiça ou de fibras vegetais (Mourão & Pedro, 2012) que ajudam ainda mais essa boa eficácia.

Em Portugal já existem vários produtores que investem em adobes leves integrando palha ou cortiça, de modo a implementar maior isolamento térmico, como também estão a investir nos sistemas construtivos mistos com uma estrutura em madeira e enchimento e revestimento em adobe (Mourão & Pedro, 2012).

Porém, o facto de haver várias dimensões de blocos, faz com que estes não sejam regulares no seu dimensionamento, assim como prevendo dificuldades na sua função. O seu processo de secagem é demorado, visto que é seco ao sol e nem sempre o estado climatérico é favorável. Consequentemente, o processo de secagem requer grandes áreas disponíveis expostas ao sol (Brito & Flores, 2003).

2.6.2 Blocos de Terra Compactada (BTC)

Em Que Consiste

Bloco de terra compactada é uma técnica que surgiu da evolução do adobe, por estabilização do solo por meios mecânicos, consistindo na compactação do solo confinado em um molde, possibilitando criar pequenos blocos de terra prensada mais resistentes, com maior durabilidade do que o processo em adobe (Torgal, Eires, & Jalali, 2009). A origem dos blocos de terra comprimida já não é novidade, pelo facto de se tentar melhorar a qualidade e performance dos blocos moldados em terra, foi executada através de pilões de madeira que se geraram os primeiros blocos de terra comprimida, tornando um processo comum em todo o mundo (Mateus, 2004).



Figura 10- Construção Parede em BTC

(Fonte: <http://jornaldosudoeste.com.br/noticia.php?codigo=1951&src=sdkpreparse>)

Processo

Sendo uma versão moderna do adobe, os BTC são prensados mecanicamente com a composição de uma terra pouco húmida, sem cascalho, arenosa e com cerca de 11% a 25% de argila. Estes podem ser compostos por terra (não estabilizados) ou apenas ter a adição de uma reduzida percentagem de ligante para a sua própria estabilização, normalmente aplicando-se cal entre os 6 a 10% ou até mesmo cimento (3 a 6%) (Mourão & Pedro, 2012).

As propriedades técnicas funcionais do BTC são à semelhança do adobe. No entanto, a diferença entre o adobe e o BTC é que o adobe atinge a sua resistência máxima após sofrer um processo de cura, enquanto que os blocos de terra comprimida atingem a sua resistência máxima através da compactação da prensa (Mateus, 2004). A compactação da terra com uma prensa mecânica melhora a qualidade do material que produz, pelo facto de que os blocos ficarem mais regulares e mais densos, o que os torna mais resistente à erosão e à degradação com o contacto de água (Mateus, 2004).

Vantagens e Desvantagens

Uma das grandes vantagens do método construtivo em BTC é os seus prazos de construção serem mais curtos, por não exigir tempo de espera entre a produção e aplicação do material, sendo ainda que a sua produção pode ser feita todo o ano independentemente das condições climáticas (Mateus, 2004). Esta é uma técnica simples e eficaz em todo o mundo, considerando um dos métodos construtivos em terra mais utilizados (Mateus, 2004). No entanto, a construção de unidades habitacionais em alvenaria de BTC não é muito frequente em Portugal (Torgal, Eires, & Jalali, 2009).

O maior inconveniente deste método de construção em terra é a inexistência de terra apropriada, sendo a maior parte das vezes necessário configurar a sua composição; a construção em altura acaba por dificultar a sua aplicação e ainda a inexistência de normas construtivas que impede a sua utilização.

Uma regra básica quando se constrói em qualquer método de construção em terra, é evitar o contacto das paredes com o solo, pois mesmo que a terra seja estabilizada com cimento, esta tem a possibilidade de ser suscetível à ação da água reduzindo a capacidade de resistência (Mateus, 2004).

Recentemente, no fabrico de blocos de terra comprimida recorre-se a processos de densificação da terra por vibração, à semelhança da construção em betão armado onde são finalizados com uma pequena compressão. Estes tipos de blocos já se encontram em Portugal a ser

comercializados a um custo superior ao do adobe (Mourão & Pedro, 2012). Contudo este é um método que permite um melhor acabamento em comparação com o adobe.

2.7 Terra Crua aplicada em Enchimento e Revestimento

2.7.1 Terra de Recobrimento (Tabique)

Em Que Consiste

A técnica construtiva em tabique consiste na formação de um solo bem argiloso e rico em mistura com palha ou com outras fibras vegetais (Mourão & Pedro, 2012). Esta é uma técnica especialmente aplicada no interior de construções, sendo que a sua estrutura é composta por um suporte em madeira criando um quadriculado, onde os espaços vazios são preenchidos com terra humedecida (Reis, 2014).

O método construtivo em tabique é aplicado desde o período Neolítico (Ataíde, Eires, Camões, & Jesus, 2016). Há muito que esta técnica é utilizada em todo o mundo, o que fez com que sofresse algumas alterações na sua fórmula original aplicando vários materiais.

Hoje em dia, esta é uma solução que caiu em desuso, no entanto, em Portugal, mais concretamente no Norte de país (Trás-os-Montes e Alto do Douro), é possível encontrar vestígios de alguns edifícios em que este método construtivo foi aplicado. É de referir que alguns elementos de compartimentação interior da construção Pombalina em Lisboa derivam da técnica construtiva em tabique (Ataíde, Eires, Camões, & Jesus, 2016).

Em redor, no mundo existem várias designações para apelidar o sistema construtivo em tabique, tais como “taipa de Sopapo” (Brasil), “Quincha” (Argentina), “Torchis” (França), etc. (Duarte, 2013). No entanto, em Portugal, normalmente é designado por “taipa de Fasquio”, sendo uma técnica mais recorrente no interior norte e centro de Portugal. É comum ainda encontrar edifícios com esta técnica aplicada, sendo que a sua estrutura apresenta paredes de alvenaria de pedro no piso térreo (Duarte, 2013).



Figura 11- Método Construtivo em Tabique

(Fonte: <https://coisasdaarquitectura.wordpress.com/2010/09/06/tecnicas-construtivas-do-periodo-colonial-i/>)

Processo

A solução construtiva consiste em tábuas verticais e ripas horizontais de pequenas dimensões transversais, normalmente com um afastamento entre 5 a 20 cm (Duarte, 2013). Geralmente, estas são nomeadas de fasquios conforme já mencionado. Estas são conectadas por pregos ou através de amarrações em sisal, couro ou arame (Duarte, 2013) de modo, a formar uma estrutura de madeira que resista e contribua para a integridade da solução (Ataíde, Eires, Camões, & Jesus, 2016).

Portanto, toda a estrutura é revestida com uma argamassa de argila (20-40%) (Duarte, 2013) ou argila-cal, para evitar danos nas paredes, assim como proporciona uma maior resistência. Esta argamassada é empregue de baixo para cima sendo simultaneamente comprimida com as mãos de ambos os lados da parede (Duarte, 2013).

Além disso, embora não seja prática comum a aplicação de alvenaria de pedra ou betão, é uma técnica que necessita de ser elevada cerca de 30 cm (Duarte, 2013) de modo a proteger o embasamento das paredes contra a água proporcionando uma boa estabilidade nas mesmas.

É importante referir que, nalguns edifícios, se adicionam fibras vegetais e até gorduras para melhorar o desempenho. É de referir também que esta é uma solução aplicada em paredes internas, o que nos permite ter várias soluções para paredes externas. Normalmente, são aplicadas chapas de zinco, telhas etc. com a função de proteção (Ataíde, Eires, Camões, & Jesus, 2016). Esta é uma solução “mista” visto que se aplica mais que uma solução construtiva.

Vantagens e Desvantagens

Uma das grandes vantagens da técnica em tabique em relação ao adobe ou à taipa, é que este incorpora um isolante térmico natural (palha) (Mourão & Pedro, 2012). Ainda é de salientar que em Portugal as construções com paredes em tabique foram as que mais resistiram ao terramoto de 1755 (Reis, 2014) devido à mistura de cal apagada (cal aérea hidratada) proporcionando uma melhor resistência mecânica, maior adesão ao suporte e sobretudo uma melhor permeabilidade das paredes (Ataíde, Eires, Camões, & Jesus, 2016). Esta adição trouxe a vantagem de ser uma solução económica e sobretudo proporcionava uma melhor resistência mecânica, melhor adesão ao suporte e maior permeabilidade da parede (Ataíde, Eires, Camões, & Jesus, 2016).

Sabe-se que esta é uma técnica elaborada à mão, o que nos traz algumas desvantagens. O facto de se realizar esta técnica manualmente exige algum trabalho, dado que é recomendável pelos menos duas pessoas, uma em cada lado da parede, de forma a melhorar a eficiência. Porém, hoje em dia, já existem máquinas e equipamentos que facilitam a produção. Normalmente, é utilizado um pulverizador de argamassa pneumático, também utilizado numa técnica chamada de “Terra Projetada” (Duarte, 2013).

Conforme mencionado anteriormente, ao longo do tempo, a fórmula da técnica em tabique sofreu algumas alterações durante o processo de implantação, sendo possível substituir estruturas de madeira por estruturas metálicas. Em comparação com o longo processo exigido pela madeira, a maior vantagem desta inovação é a rapidez de execução. Para além disso, este também pode ser explorado de variadas formas, trazendo a possibilidade de criar estruturas verdadeiramente arrojadas (Franke, 2017).

3 CASOS DE ESTUDO

Capítulo 3

3 CASOS DE ESTUDO

3.1 Internacionais

3.1.1 Païamboué Middle School- Oceania



Figura 12- Païamboué Middle School (Fonte: <http://terra-award.org/project/laureate-school-sports-health-facilities-high-school-paiamboue/>)

Em Nova Caledónia, localiza-se uma escola secundária arquitetada pelos arquitetos André Berthier, Joseph Frassanito, Espaces Libres (K'ADH), estando dimensionada para receber 400 alunos, mas com a possibilidade de ampliar até chegar aos 600 alunos. A escola é composta por 6 edifícios com funções educacionais e administrativas e um campo desportivo. Em três dos edifícios são empregues uma estrutura em madeira, enquanto que nos restantes é aplicada uma estrutura em taipa com o betão como estabilizante.

Este é um projeto particularmente inovador no território, por ter uma abordagem inovadora para o local onde está implementado. O governo de Nova Caledónia qualificou o edifício como QEC (Caledonian Environmental Quality). Assim sendo, este é um projeto que foi construído com objetivos de ser um edifício sustentável, isto é, utilizam materiais do local. Neste caso, o edifício foi executado através do método construtivo em taipa, onde a terra foi extraída do local. Relativamente à sua estrutura esta foi aplicada uma estrutura em madeira, onde utilizou-se madeira localizada a um raio de 50 Km do local de obra. Deste modo, alcançou-se uma pegada ecológica de baixo impacto e uma qualidade térmica minimizando a entrada de ar.

3.1.2 Maosi Ecological Primary School- China



Figura 13- Maosi Ecological Primary School (Fonte: <http://terra-award.org/project/2243/>)

Em condições precárias, na região de Loess Plateau na China, localiza-se uma escola primária implementada pelos arquitetos Prof. Edward Ng e Mu Jun. Este é um projeto com o objetivo de alojar 200 crianças que vivem no local. A escola está situada na vila de Maosi, uma província de Gansu, a seis horas de carro de Xian, sendo um lugar tranquilo fazendo com que a vila não esteja muito desenvolvida. Pode-se encontrar na vila cerca de 2500 pessoas e 200 estudantes e as suas escolas localizam-se em cavernas ou simples cabanas feitas em adobe. Este exemplo de projeto foi elaborado através da combinação de fases de investigação, análise de condições, experiências de simulações de computadores e construção de campo. O estudo também foi analisado posteriormente por várias simulações térmicas através de softwares.

De forma a acompanhar a topografia do terreno, a escola foi projetada para maximizar o uso da luz do dia e da ventilação natural. Assim sendo, propuseram construir 10 salas de aulas em cinco unidades em dois níveis. Ainda é de referir que a forma das salas de aulas deriva do formato das casas tradicionais locais com uma estrutura em madeira de modo a serem construídas facilmente pelos moradores.

A construção da escola tenta criar um ambiente confortável e desejável para as crianças, sendo que, em comparação com as escolas convencionais locais, durante todo o seu ciclo de vida, esta contribui para um desempenho ecológico tornando um conforto interno melhor, consumo de energia baixo e sobretudo impacte ambiental pequeno.

Através deste projeto, foi possível integrar a comunidade em todo o processo, desde a sua construção aplicando os recursos dos moradores até ao fornecimento de material. A escola ilustra para os habitantes locais um caminho viável para uma arquitetura ecológica adequada às condições da região do Loess Plateau, na China. Dessa maneira, foi empregue seletivamente as suas técnicas e materiais familiares, dando a possibilidade dos moradores poderem construir os seus edifícios ecológicos mais eficazes e acessíveis.

3.1.3 Women's Wellbeing Centre- África



Figura 14- Women's Wellbeing Centre (Fonte: <https://www.archdaily.com/8319/womens-health-centre-fare>)

Em Burkina Faso, foi criado um centro entre 2005 e 2007 pela AIDOS, uma ONG italiana que luta pelos direitos das mulheres nos países em desenvolvimento. Este foi um projeto financiado pelo “Partido Político Democratici di Sinistra” e com a contribuição da Comissão Europeia com o objetivo de

fornecer serviços educacionais, informações e conscientização sobre os direitos sexuais e reprodutivos das mulheres.

O programa solicitava a concretização de um complexo de edifícios capaz de hospedar uma variedade de atividades em circunstâncias muito precárias. Assim o projeto arquitetônico representa a resposta a essa condição, sendo concluído em 15 meses por um construtor local.

Um dos pontos cruciais desta construção foi que este representa uma abordagem inovadora às práticas tradicionais da construção local. É de salientar que o projeto privilegia uma abordagem integrada das interações entre o espaço construído e as condições climáticas e ambientais, com base em considerações de sustentabilidade e adequação.

O projeto evidencia-se através de dois edifícios situados no topo de um único elemento estrutural, uma plataforma elevada do solo de modo a garantir condições climáticas e de higiene face ao local onde este se insere. Estes dois edifícios também estão direcionados de forma a receberem luz solar direta. Relativamente aos volumes que contêm as várias salas, estes são independentes da estrutura do telhado e colocados livremente no topo da plataforma. Ainda, são articulados em torno de uma série de pátios sombreados e ventilados que garantem a privacidade do exterior. A configuração modular da estrutura permite expansão futura, preservando a estrutura geral do edifício.

Em relação à construção das paredes, são constituídas em blocos de terra compactada (BTC), produzidos no local misturando terra, cimento e água. Quanto à escolha do método construtivo deve-se ao desejo de introduzir tecnologias alternativas e sustentáveis e de promover as práticas de construção habituais no local de implementação.

3.1.4 Escola Ecoara Waldorf- Brasil



Figura 15- Escola Ecoara Waldorf (Fonte: <https://www.archdaily.com/945031/escola-waldorf-ecoara-shieh-arquitetos-associados>)

O presente caso de estudo está localizado em Valadinhos, Brasil e foi elaborado pelos Sheih Arquitetos Associados em 2019. O projeto surge da necessidade de expandir a escola existente, e mais importante, satisfazer os desejos das comunidades que lá vivem.

Um dos aspetos mais relevantes do projeto é ser modular, o que possibilita aumentar conforme a expansão da escola. Através deste conceito, os arquitetos optaram por um sistema construtivo leve e de fácil montagem. No entanto, como a escola está localizada num terreno arrendado, os arquitetos tiveram o cuidado de projetar as novas salas de forma a que estas sejam flexíveis para eventuais

mudanças de propriedade. Portanto, neste caso, a sua estrutura e cobertura, bem como portas e janelas são desmontáveis. Porém, apesar da estrutura ser flexível, as fundações não podem ser reutilizadas, assim como as suas paredes. Apesar disto, as paredes apresentam um dos pontos mais relevante deste caso de estudo.

Esta é uma escola com a intenção de promover ativamente a interação entre pais e filhos na escola. Assim sendo, a construção das novas salas foi adaptada de forma a integrar os pais nesta atividade. A produção das paredes foi toda concebida pelos pais e filhos através da técnica construtiva em tabique. Foi criada uma estrutura principal em madeira, de forma a criar-se um quadriculado. No recobrimento da estrutura aplicou-se uma argamassada em terra, compactada manualmente pelos pais e filhos tornando assim numa atividade lúdica e bastante simbólica.

O objetivo principal deste projeto foi difundir a técnica construtiva tradicional, de forma a utilizá-la numa versão moderna através do controle tecnológico adequado à técnica. Através do método construtivo em tabique, possibilitou-se ter paredes com um bom conforto térmico, e sobretudo, a maior vantagem deste sistema construtivo é a possibilidade de retorno. Em outras palavras, é possível devolver o material ao seu estado natural, neste caso se as paredes forem demolidas, a terra (argamassa) voltará a ser terra (solo).

Posto isto, os arquitetos esperam que este seja um projeto escolar multifuncional, ou seja, que não só funcione como sala de aula, mas que também possa dar suporte à comunidade.

3.2 Em Portugal

3.2.1 Residência da Vinha



Figura 16- Casa da Vinha (Fonte: <http://www.jpbernardino.com.pt/casa-da-vinha/>)

O presente caso de estudo trata-se de uma moradia unifamiliar, com uma área aproximadamente de 319m² inserida numa grande quinta. Esta situa-se no Montijo, num terreno plano e muito próximo de uma floresta de sobreiros.

O edifício está dividido em três volumes retangulares de diferentes dimensões, dispostos de forma paralela e perpendicular, respeitando assim o desenho da envolvente. Este foi um projeto que nasceu em 2015 elaborado pelas arquitetas Ana Morgado, Lara Pinho, Maria Paz Braga e Maria do Carmo Caldeira, onde tiveram o cuidado em aplicar métodos construtivos mais sustentáveis. Um dos

três volumes executados apresenta paredes concebidas pelo método construtivo em taipa, com o intuito de mostrar a beleza natural da terra, e acima de tudo, garantir um maior conforto térmico e acústico, garantindo assim um ambiente fresco durante todo o ano. É de referir ainda que se trata de um sistema construtivo ecológico que permite uma forte fusão com o meio envolvente.

Em relação aos restantes volumes, são constituídos por uma estrutura de betão armado, paredes em alvenaria rebocadas e pintadas de branco, com o intuito de dar continuidade às edificações existentes. O facto de se optar por construir com terra e aplicar outros métodos construtivos (construção mista) deve-se principalmente à combinação da tradição e da modernidade, de forma a tirar o melhor de cada um.

A grande vantagem deste projeto é o simples facto de ter sido aproveitado terra local ou, se necessário, terra localizada a 50km do local de obra. Durante todo o processo de execução das paredes, foram utilizadas cofragens de madeira e compressor mecânico, sendo que, neste caso, foi necessário inserir dois contrafortes nas paredes mais longas para melhorar o comportamento estrutural. Ainda foi adicionada ao processo uma malha de fibra de vidro, o que permitiu uma construção contínua e sem juntas verticais.

Finalmente, conforme mostrado na Figura 16, as paredes em terra estão expostas para o exterior, o que exigiu uma camada protetora de silicato de sódio e caseína para melhorar a durabilidade das paredes.

3.2.2 Habitação em Arrudas dos Vinhos



Figura 17- Casa em Arrudas dos Vinha, Plano B Arquitetos

(Fonte: <http://abarrigadeumarquitecto.blogspot.com/2008/10/plano-b-casa-em-arruda-dos-vinhos.html>)

Através de um restrito programa de projeto, o atelier Plano B foi desafiado em 2007 a projetar uma pequena casa na região de Arruda dos Vinhos. Situava-se numa reserva ecológica, o que influenciou na área de implantação, podendo ocupar apenas 60m² delimitados pelo perímetro da antiga construção em ruína.

Na elaboração, os arquitetos optaram por utilizar materiais encontrados na estrutura antiga assim como pedras, terra e madeira. Deste modo, propuseram uma solução construtiva tradicional da execução da habitação. Assim, a madeira utilizada para cobrir a ruína foi utilizada na nova construção como estrutura interna, enquanto que o solo encontrado no local serviu para enchimento da estrutura

em madeira, aplicando assim o método construtivo em tabique. Quanto à pedra existente, esta foi empregue nas fundações. Além disso, o revestimento foi realizado com placas de cortiça revestidas com placas de policarbonato, de forma a garantir um bom isolamento térmico e ventilação natural.

O fator importante deste projeto foi a utilização de materiais industriais e materiais naturais, tratando-se assim de um projeto que soluciona problemas relacionados à sustentabilidade. No entanto, desde 2002, o atelier Plano B tem vindo a experimentar uma abordagem em apenas soluções construtivas em terra, porém este é o projeto que mais tem recebido destaque em Portugal e sobretudo no estrangeiro.



Figura 18 e 19- Outras Construções em terra, Portugal concebidas pela empresa João Bernardino Lda.- Construção Ecológica (Fonte: <http://www.jpbernardino.com.pt>)

Para além destes dois casos de estudos destacáveis, existem de norte a sul de Portugal outros projetos a serem executados e já executados. No entanto, ainda não existe muita informação, nem destaque, mas sabe-se que já existe uma empresa em Portugal especializada em construção em terra.

A empresa João Bernardino Lda.- Construção Ecológica iniciou as suas operações em 1983, quando as questões ambientais e de sustentabilidade não eram um dos principais problemas. Hoje, com o avanço da tecnologia, este tornou-se um tópico que teve um impacto significativo na arquitetura e na construção geral.

Esta é uma empresa que implementa construções ecológicas, autossustentáveis tendo sempre em mente as questões arquitetónicas e estéticas. Ao longo dos anos a empresa investiu na formação na área da reconstrução e reabilitação, aplicando soluções construtivas tais como: Taipa, Blocos de Terra Compactada (BTC) e Tabique.

Além desta empresa, existem inúmeros arquitetos que seguem a mesma abordagem adotando métodos construtivos em terra nas suas propostas. No entanto, Portugal continua a dar passos na construção em terra, apesar de que ainda não existe uma regulamentação adaptada a essa construção. Isto significa que as soluções construtivas em terra não são ainda reconhecidas como métodos construtivos recorrentes. Contudo, a divulgação de informações via internet tem vindo a ajudar na divulgação da construção em terra.

4 CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS

Capítulo 4

4 CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS

4.1 Economia Circular

A preocupação com o meio ambiente está-se tornando cada vez mais perceptível à medida que vivemos numa época de crescimento populacional constante. Somos cerca de 7,9 mil milhões de habitantes em constante crescimento, portanto as tendências de consumo indicam a necessidade de extrair 180 mil milhões de toneladas de matéria-prima do planeta, o que equivale a quase três planetas Terra em recursos segundo dados da ONU (Konstantinovas, Bento, & Sanches, 2019).



Figura 20- Dados segundo o relatório de "Economia Circular no Setor da Construção Civil I - Ciclo dos materiais" como consumimos o planeta (Konstantinovas, Bento, & Sanches, 2019)

Segundo a figura apresentada acima, as cidades ocupam apenas 3% da superfície terrestre, embora mais de metade dos seres humanos vivam (54%) nelas (Konstantinovas, Bento, & Sanches, 2019). Deste modo, infelizmente essas áreas consomem 75% dos recursos terrestres, segundo as Nações Unidas, assim como, infelizmente, geram 60-80% das emissões de gases de efeito estufa (Konstantinovas, Bento, & Sanches, 2019). Esta situação faz com que geremos uma grande quantidade de resíduos, sendo que o percentual de resíduos usados para reciclagem torna-se baixo, sobretudo por criarmos altos riscos ambientais, como poluição da água e do solo e redução da biodiversidade (Konstantinovas, Bento, & Sanches, 2019).

Atualmente, vivemos num **modelo de economia linear**, onde o produto é descartado em aterro ou incinerado, e a matéria-prima original é perdida por falta de um plano de separação. Como resultado, a este modelo concluímos que consumimos e descartamos constantemente a maior parte dos recursos que a terra nos fornece, fazendo com que esses recursos se extenuem. Desta forma, são precisos cerca de 65 mil milhões de toneladas de recursos naturais extraídos a cada ano, dos quais apenas 7% são reciclados (Konstantinovas, Bento, & Sanches, 2019) ou seja, vivemos num modelo de mundo insustentável.



Figura 21- Modelo de Economia Linear (Fonte: <http://www.acriacao.com/economia-linear-economia-circular-e-blockchain/>)

Contudo, 9,1% da economia global já representa um **modelo de economia circular**, ou seja, alguns países no mundo já estão preocupados em reter capital natural, de modo a fazer com que produtos e materiais circulem por mais tempo, otimizando assim a reciclagem e reduzindo custos (Konstantinovas, Bento, & Sanches, 2019).

O modelo assume que todos os produtos e serviços são derivados de fatores naturais e, após a sua vida útil, podem retornar à sua origem (natureza) novamente com impacto mínimo no meio ambiente. É de referir ainda que se trata de um modelo de produção e consumo que envolve a reutilização, reparação e reciclagem de materiais, prolongando assim o seu ciclo de vida.

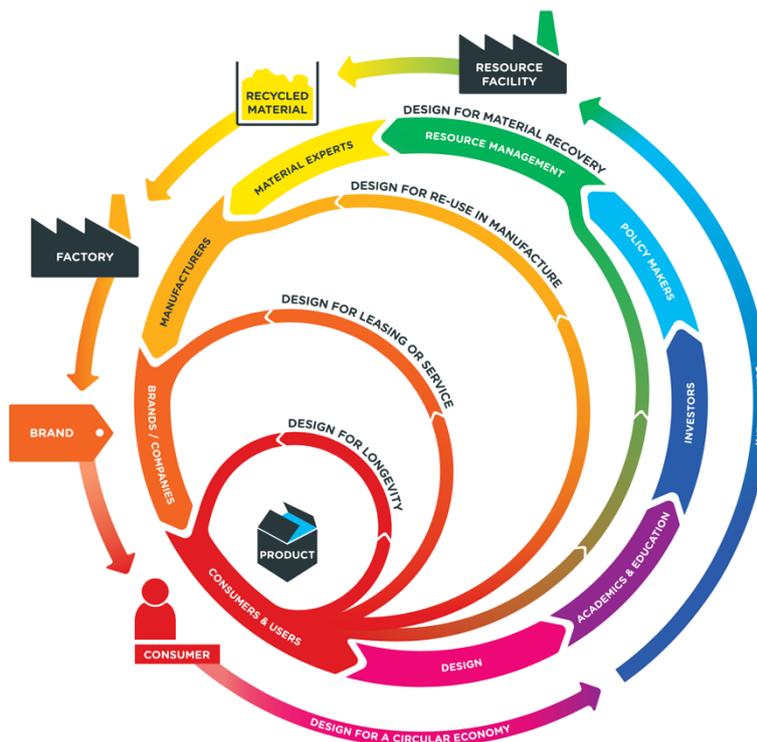


Figura 22- Modelo de Economia Circular (The RSA Great Recovery, 2016) (Fonte: www.greatrecovery.org.uk)

Ao longo dos anos, vários pensadores desenvolveram o conceito de economia circular; porém, em 1966, Kenneth Boulding intitulou esse conceito no seu artigo inovador, “*The Economics of Coming Spaceship Earth*”, que sublinha a ideia do mundo interconectado e fechado. Pouco tempo depois, Walter Stahel como arquiteto e economista reforça a ideia no seu livro “*Jobs for Tomorrow*” enfatizando ainda mais o conceito de economia de “loop” (ciclo) (Joensuu, Edelman, & Saari, 2020).

Consequentemente, o termo “economia circular” definido pelos economistas ambientais David W. Pearce e R. Kerry Turner no seu livro “*The Economics of Natural Resources and the Environment*” torna-se viral. McDonough e Braungart (Joensuu, Edelman, & Saari, 2020) mais tarde nomearam os dois modelos económicos em duas expressões que são bem conhecidas hoje em dia. Estes denominaram o conceito “*cradle to cradle*” (do berço ao berço) que compartilha objetivos com o modelo de economia circular, porém mais concentrados na reciclagem e reutilização, enquanto que, em oposição definem a expressão “*Cradle to Grave*” (associado a uma economia linear) com a intenção

de reforçar o papel do design do produto como causador da criação de processos de produtos de ciclo não fechados (Joensuu, Edelman, & Saari, 2020).

Assim sendo, os princípios e explicações da economia circular podem diferir entre teóricos e localizações geográficas. Porém têm um objetivo comum claro: reduzir o uso de matérias-primas e evitar desperdícios, de forma a manter os produtos por mais tempo. O objetivo é também substituir a cultura de "take-make-dispose" (Joensuu, Edelman, & Saari, 2020) por um sistema de "loop" fechado, no qual todos os recursos são utilizados na medida do possível.

4.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

O meio ambiente construído pelo homem é responsável por grande parte do impacto ambiental, económico e social, consumindo entre 14% a 50% de todos os recursos naturais extraídos da terra (Santos M. F., 2010). No entanto, nos últimos anos, tem sido feito um grande esforço para melhorar a utilização dos recursos, visto que os recursos da terra são limitados e sobretudo o uso destes em edifícios deverá ser otimizado de modo a melhorar o uso dos recursos investidos em edifícios. É importante considerar esses aspetos chave ao projetar edifícios ou outros projetos de construção ao longo do tempo (Gervasio & Dimova, 2018).

Posto isso, desde a primeira crise do petróleo no início dos anos 70, têm vindo a ser apresentados os primeiros estudos sobre questões ambientais, que envolvem a quantificação de energia em processos industriais, chamando de "análise energética" (Santos M. F., 2010).

O termo LCA "Life Cycle Assessment" ou "Avaliação do Ciclo de Vida" ACV foi pela primeira vez anunciado nos Estados Unidos (EUA) em 1990. Este foi um dos primeiros estudos a quantificar as necessidades de recursos, emissões e resíduos causados por diferentes tipos de materiais. Neste caso, o primeiro estudo elaborado por este método foi em 1969 conduzida pelo "Midwestern Research Institute" (MRI) para a companhia da Coca-Cola, onde estudou diferentes materiais de embalagens para a bebida. No entanto, este estudo nunca foi publicado; porém, o seu objetivo foi provar que as garrafas de plástico não eram piores que as embalagens de vidro, no ponto de vista ambiental (Ferreira J. V., 2004).

Ao longo dos anos, este tipo de análise tornou-se popular, o que levou a algumas instituições de investigação a adotarem esse método, com o foco em diferentes processos de produção. Apesar de um enorme interesse por estas ferramentas de avaliação ambiental, alguns aspetos necessitaram de ser considerados de modo a obtermos uma melhor análise, tais como: emissões atmosféricas e produção de resíduos (Santos M. F., 2010).

Por volta da década de 70, a "US Environmental Protection Agency" (USEPA) contratou o mesmo "Midwestern Research Institute" (MRI) para realização de outro estudo, envolvendo embalagens de cerveja e sumo, na qual marcou o conhecido ACV (Avaliação Ciclo de vida). O objetivo da "USEPA" baseou-se em estudar o impacto ambiental do uso de recipientes de vidro reutilizáveis em vez de latas ou garrafas não reutilizáveis, tornando-se uma empresa inovadora (Ferreira J. V., 2004).

Conforme mencionado anteriormente, o método sofreu algumas alterações ao longo dos anos, não apenas em considerar o consumo de recursos e energia, como também as emissões atmosféricas

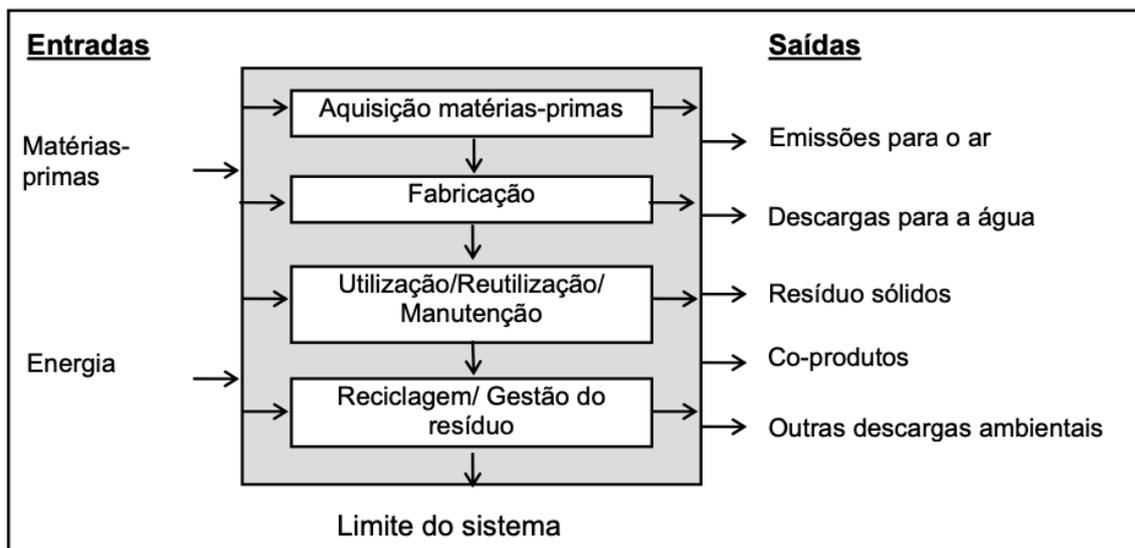
(gases efeito de estufa), tornando o método mais confiável. Assim sendo, a análise ambiental passou a incorporar e a quantificar esses novos fatores classificando-os de "ecobalance" ou "ecoprofile" ou "análise do berço à sepultura" (cradle to grave) (Santos M. F., 2010).

Em 1984, o Laboratório Federal Suíço de Teste e Pesquisa de Materiais (EMPA) conduziu um estudo sobre materiais de embalagem, o que atraiu a atenção da comunidade científica ao analisar os efeitos potenciais das emissões do processo (Ferreira J. V., 2004). Esta pesquisa visou estabelecer um banco de dados dos materiais de embalagem mais importantes: alumínio, vidro, plástico, papel e cartão e metal. Dessa forma, a pesquisa publicada continha informações sobre o ciclo de vida de uma série de materiais de referência anterior, o que acabou por contribuir para a disseminação do método (Santos M. F., 2010).

A interpretação dos resultados da análise ambiental evoluiu de tal modo que passou a avaliar essas questões de uma perspectiva mais ampla, a fim de compreender os potenciais impactos relacionados com o ciclo de vida do produto. Portanto, é justamente em função do desenvolvimento desses estudos que surgiu a denominação "Análise do Ciclo de Vida" (Life Cycle Analyses), posteriormente alterada para "Avaliação do Ciclo de Vida" (Life Cycle Assessment) (Santos M. F., 2010).

Devido à crescente popularidade da avaliação do ciclo de vida, muitos bancos de dados foram criados para apoiar esses estudos. Hoje, o conceito de ciclo de vida foi além de um método simples de comparação de produtos e agora é considerado uma parte importante para atingir objetivos mais abrangentes (como sustentabilidade). Através da figura abaixo, é possível entendermos as fases do ciclo de vida que pode ser considerado na ACV, assim como as entradas / saídas.

Tabela 3- Fases do Ciclo de Vida do produto (Ferreira J. V., 2004)



4.2.1 Descrição Geral de Avaliação de Ciclo de Vida

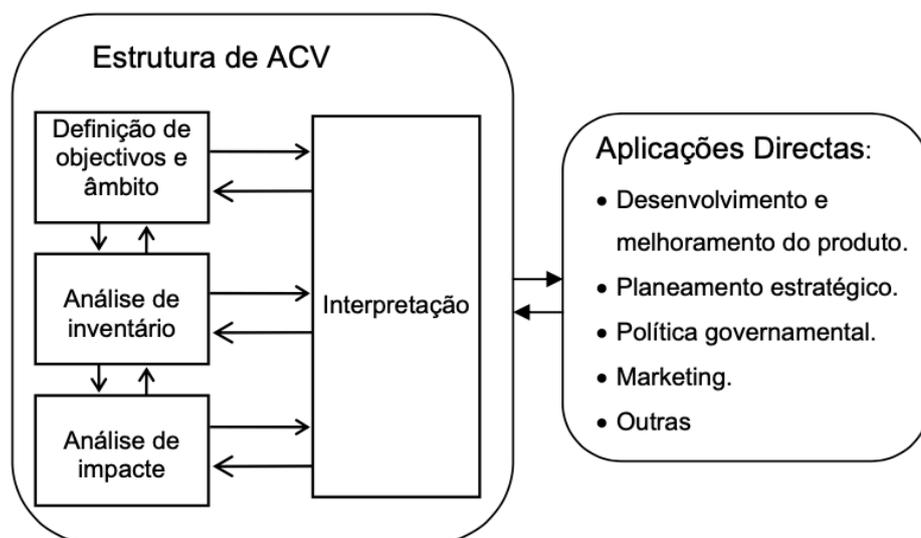
A diversificação dos resultados proporcionados pela pesquisa de ACV comprovou que era necessário normalizar métodos e estabelecer critérios rígidos para regular a conduta e os métodos públicos de investigação. Como resultado, a "Society of Environmental Toxicology and Chemistry" (SETAC) deu início ao primeiro trabalho de sistematização e normalização de cláusulas e normas de ACV (Santos M. F., 2010). Por meio deste documento elaborado pela SETAC, a "International Organization for Standardization" (ISO) realizou o trabalho de normalização internacional.

Com isto, a ISO estabeleceu um Comité Técnico (TC 207) na década de 90 (Ferreira J. V., 2004), para desenvolver normas para sistemas e ferramentas de gestão ambiental. O comité foi responsável pela formulação de uma das mais importantes séries de normas internacionais, a série ISO 14.000, que inclui normas de avaliação de ciclo de vida. Até ao momento, as seguintes normas relacionadas à Avaliação do Ciclo de Vida são:

- ISO 14040. Life Cycle Assessment. Principles and Framework (2006) – Avaliação do Ciclo de Vida. Princípios e Estrutura.
- ISO 14044. Life Cycle Assessment. Requirements and Guidelines (2006) – Avaliação do Ciclo de Vida. Requisitos e Diretrizes

O processo de Avaliação de Ciclo de Vida é uma abordagem sistemática em fases, composta por quatro partes: definição de objetivos e âmbito; análise de inventário; análise de impacto; e interpretação dos resultados, conforme mostrado na figura abaixo.

Tabela 4- Fases de uma Avaliação de Ciclo de Vida Segundo a Norma (NP 14040, 2006)



Portanto, **Definição de Objectivos e Âmbito** é a primeira etapa do processo, em que consiste na definição do objetivo da avaliação e do tipo de avaliação de impacto ambiental com base no processo de tomada de decisão pretendida pelo avaliador. Desta forma, a definição de objetivos e âmbito determinará a duração e a quantidade de recursos necessários para realização da avaliação e

de todo o processo, de modo a garantir resultados significativos. Ainda é de referir que toda a decisão tomada nesta etapa afetará o andamento do projeto e a relevância do resultado final.

Em seguida, a fase de **Análise de Inventário** inclui essencialmente o levantamento e descrição dos dados usados para determinar a entrada e a saída do sistema do produto. O Inventário do Ciclo de Vida é o processo de quantificar a energia, água, materiais utilizados e descargas ambientais (emissões atmosféricas, deposição de resíduos sólidos, descargas de efluentes líquidos) (Ferreira J. V., 2004) durante o ciclo de vida de um produto ou processo. Isso desempenha um papel importante na metodologia, existindo fortes motivos para implementá-la, pelo facto de se a análise de inventário não for realizada, não haverá base de dados para avaliar e comparar os impactes ambientais, sendo impossível fazer melhorias, da mesma forma que os resultados podem ajudar outras organizações a escolher materiais levando em consideração os fatores ambientais.

Após a elaboração da Análise de inventário, segue-se para a fase de **Análise de Impacte**. Nesta fase, caracteriza-se e avalia-se o significado dos potenciais impactes ambientais (aquecimento global etc.) (Ferreira J. V., 2004). Esta é, principalmente, uma fase em que se analisam os efeitos humanos e ecológicos da utilização da energia, da água, dos materiais e das descargas ambientais identificadas na análise de inventário no que ajudará a avaliar produtos e, acima de tudo, fornecerá uma boa base para comparações.

Por fim, nesta fase de **Interpretação**, os resultados da análise de inventário e da análise de impacte, são avaliados de forma a seleccionar o melhor produto, processo ou serviço, compreendendo claramente as incertezas e premissas utilizadas na produção dos resultados. É de notar que os resultados obtidos apontam para os impactes potenciais, mas não prevê os impactes reais tais como: limites, margens de segurança ou riscos potenciais. No entanto, se atenderem ao objetivo e ao âmbito da análise, a ajuda pode ser fornecida na forma de recomendação (Andrade, 2013).

4.2.2 Vantagens e Desvantagens de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)

De acordo com a metodologia referida anteriormente, a maior vantagem é que esta é realmente uma fonte importante para a escolha do melhor produto ou processo com menor impacte ambiental. Assim como também permite correlacionar esses resultados com outros aspetos, como dados de custo e desempenho, o que permite considerar melhor na decisão final (Andrade, 2013).

É de salientar que, através desta metodologia, existe a possibilidade de detetar a transferência de impactes ambientais de um meio para outro, isto é, se forem eliminadas as emissões atmosféricas de um produto este pode ser feito à custa do aumento das emissões de efluentes líquidos, ou é possível identificar transferências de impactes ambientes de uma fase de ciclo de vida para o outra (reciclar um produto e reutilizá-lo de novo) (Ferreira J. V., 2004).

Exemplificando uma situação que, quando selecionamos entre dois produtos neste caso um material de construção pode parecer, que a “opção 1- aço” é mais amiga do ambiente pelo facto de não requerer muita matéria-prima, na fase de fabricação, do que a “opção 2-madeira”. Todavia, ao elaborarmos um estudo Avaliação de Ciclo de Vida, os materiais são considerados em todas as fases do seu ciclo de vida, e ao depararmo-nos com resultado por vezes podemos concluir que a primeira

opção é a que mais impacte causa no ambiente, dado que necessita de um consumo de eletricidade maior do que a segunda opção. Isto tudo para explicar que esses factos não podem ser vistos sem o desenvolvimento de um estudo de ACV.

Para além destes aspetos importantes, segundo José Ferreira (Ferreira J. V., 2004) e Tiago Andrade (Andrade, 2013), a avaliação do ciclo de vida também pode avaliar sistematicamente o impacte ambiental associado a um determinado produto; analisa o equilíbrio ambiental (lucros / perdas) relacionado a um ou mais produtos específicos para que as partes interessadas (estado, comunidade, etc.) possam aceitar as ações planeadas; quantifica as emissões ambientais para a atmosfera, água e solo para cada fase do ciclo de vida e /ou processo principal; contribui na determinação de importantes trocas de impacte ambiental entre as fases do ciclo de vida e o meio ambiente; considera o impacte humano e ecológico do consumo de materiais e a liberação ambiental nas comunidades locais e compara o impacte de dois ou mais produtos na ecologia e na saúde humana.

Portanto, as vantagens da utilização deste método são bastante consideráveis para integrar este mesmo na indústria, assim como também no ramo da construção. O objetivo é tornar as atividades de construção mais destrutivas sem colocar em risco o futuro das gerações futuras.

Porém, como todos os métodos, a avaliação do ciclo de vida expõe algumas desvantagens, principalmente no próprio estudo, que é muito dispendioso em termos de tempo e custo. Como se trata de uma avaliação que requer algumas informações detalhadas, quanto mais pormenorizada for a informação, mais difícil é na obtenção de dados, isto porque os dados não são amplamente distribuídos ou facilmente acessíveis (Andrade, 2013).

Para além disso, infelizmente, este é um método que ainda não é possível estipular qual é o melhor produto ou processo em termos funcionais e rentáveis. Deste modo, as informações obtidas nos estudos de avaliação do ciclo de vida devem ser utilizadas como parte de um processo de tomada de decisão que depende de outras componentes (Ferreira J. V., 2004). Ainda é de salientar que o facto de ainda não existir uma base única requer à pessoa que realiza um estudo de avaliação de ciclo de vida de um produto ponderar muito bem, porque os resultados dos impactes ambientais são convertidos em apenas um valor único.

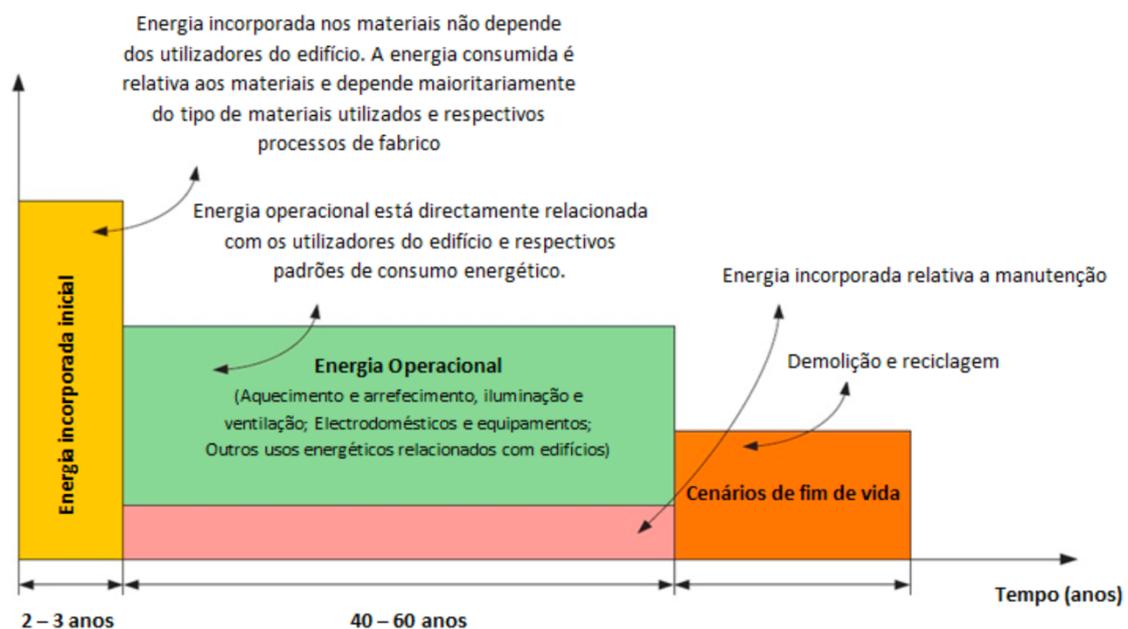
Assim sendo, considerando as vantagens e desvantagens, esta metodologia apresenta uma mais valia de obtermos informação muito detalhada. Porém, o facto de ser dispendioso o acesso à base de dados de inventários, e de o grau acrescido de detalhe não parecer justificar o tempo despendido, sobretudo estando em causa uma avaliação geral na tomada de decisão entre soluções construtivas, o presente trabalho optou por aplicar um método simples de cálculo de carbono incorporado, considerado um bom compromisso na relação custo/benefício da análise (Ashby, 2013). Para o cálculo do carbono incorporado, foi usado o inventário ICE (Inventário de Carbono e Energia) no caso prático que se abordará no seguinte capítulo.

4.3 Carbono Incorporado ou Energia incorporada nos materiais de construção

A crise do petróleo, nomeadamente a de 1979 a 1981 mostrou um aumento na preocupação das pessoas em formas de conservar a energia, principalmente em países industrializados. O termo

carbono incorporado ou energia incorporada surge no final dos anos 70, sendo a soma total de todas as emissões de gases efeito de estufa concedidas ao longo da vida de um material, isto é, vai desde da sua extração do solo, fabricação, a própria construção, sua manutenção até o final da vida útil (Hammond & Jones, 2008). Também, o termo energia operacional surge na construção de edificado, onde este refere-se à energia aplicada no aquecimento, arrefecimento, ventilação, água quente sanitária, sistemas de iluminação e outros equipamentos tais como: eletrodomésticos de cozinha, etc. tendo em consideração todas as fontes de energia, inclusive energias renováveis. (Grazina, 2015).

Tabela 5- Componentes energéticas do ciclo de vida de um edifício segundo Ricardo Grazina (Grazina, 2015)



A energia aplicada na atividade da construção hoje em dia ainda é imprescindível para o desenvolvimento humano, no entanto este consumo de energia traz efeitos "secundários" o que põe em risco a qualidade e a viabilidade a longo prazo da biosfera. Também deve ser notado que muitos desses efeitos "secundários" na produção e consumo de energia podem levar à incerteza dos recursos e, mais importante, podem levar a riscos ambientais potenciais em uma escala local ou mesmo global (Hammond & Jones, 2008).

Acredita-se principalmente que as emissões de poluentes de energia, como o dióxido de carbono CO₂, são as que estão "incorporadas" aos materiais, o que torna isso um problema no contexto do aquecimento global e, principalmente, nas alterações climáticas. Portanto, uma metodologia que determina a magnitude desta energia incorporada é necessária para contabilizar as entradas de energia ao longo de seu ciclo de vida (Hammond & Jones, 2008).

4.3.1 Inventário de Carbono e Energia (ICE)

A Universidade de Bath, no Reino Unido, desenvolveu um inventário de banco de dados relacionado à energia incorporada e carbono nos materiais de construção. Este foi elaborado por Craig

Jones sob a orientação do Professor Geoffrey Hammond. O objetivo deste projeto de pesquisa foi criar um banco de dados acessível a todos, a fim de fornecer uma fonte de dados gratuita confiável e sobretudo robusta (Hammond & Jones, 2008). É de referir ainda que, o banco de dados ICE é baseado em um grande número de revisões de literatura e estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), nas quais todos os dados sobre o carbono incorporado nos materiais de construção puderam ser recolhidos e compilados num só inventário.

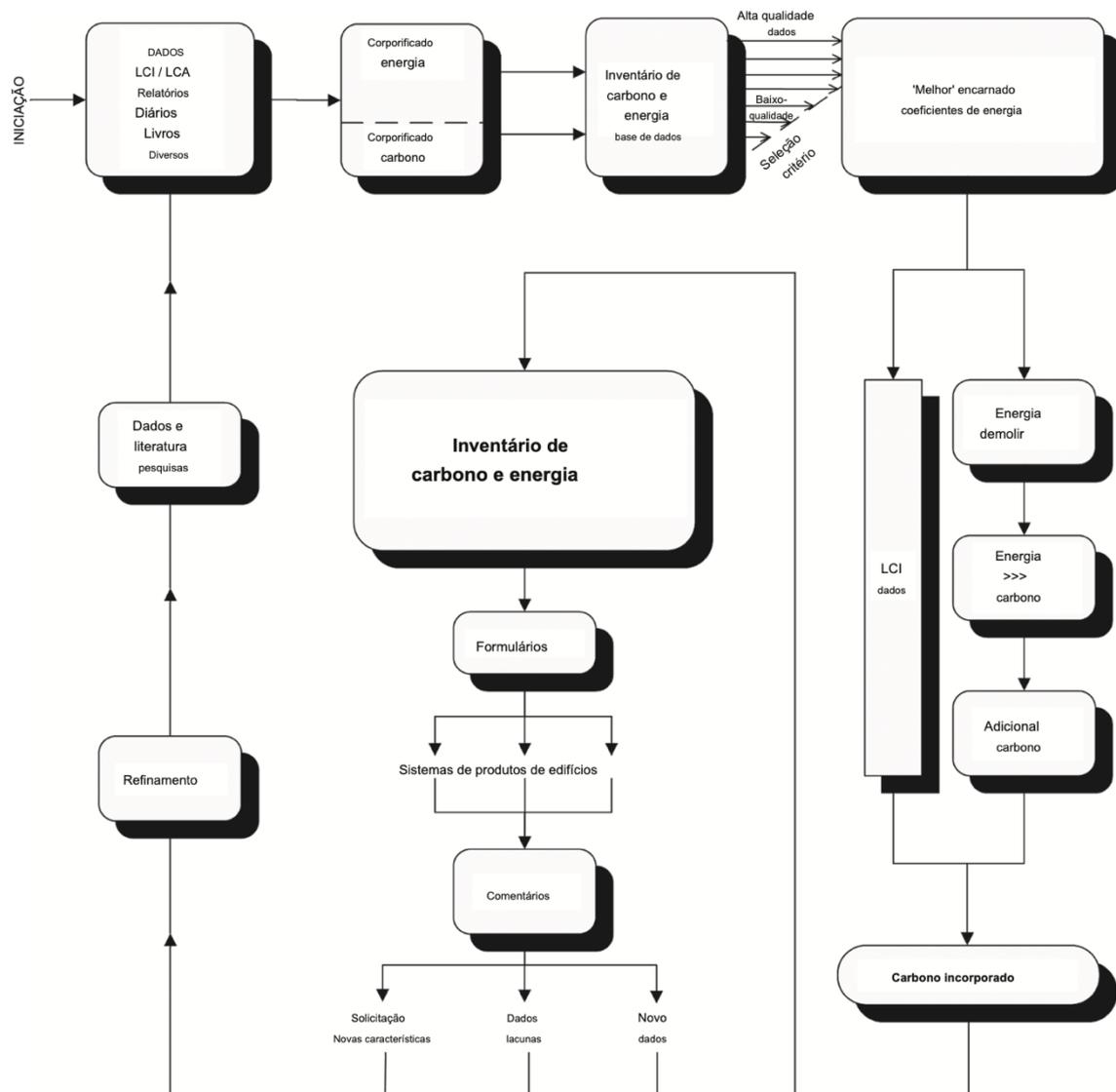
Posto isto, foi efetuada uma avaliação para determinar onde o coeficiente de energia incorporada caia de alta qualidade para baixa qualidade no espectro (Hammond & Jones, 2008). Assim sendo, existem duas fontes de carbono incorporado nos materiais de construção: a entrada de combustíveis fósseis (diretamente relacionado à energia incorporada) e os libertados, quando por exemplo o calcário é convertido em cimento. Ao longo do tempo, o número de materiais disponíveis no inventário tem aumentado, o que neste momento contém mais de 400 materiais com os valores de energia e carbono incorporados, tornando assim o ICE uma escolha ideal para analisar energia ou carbono incorporado em edifícios, produtos e até sistemas (Hammond & Jones, 2008).

Um fator a referir, é que o ICE aplicou cinco critérios de classificação para a seleção de energia incorporada e valores de carbono para os materiais individuais incorporados ao banco de dados, assim garantindo a consistência dos dados no inventário. Sendo assim, os cinco fatores segundo Geoffrey P. Hammond e Craig I. Jones (Hammond & Jones, 2008) foram:

- A conformidade com metodologia ACV (Avaliação Ciclo de Vida) / normas aprovadas (NP 14040/44)
- Limites no Sistema- adoção do conceito cradle to gate, isto é, incluir a energia da matéria prima desde da sua extração até a saída da fábrica, incluindo todos os processos relacionados à sua produção.
- Origem (país) dos dados- Inicialmente os dados no inventário de dados eram restritos apenas aos provenientes das Ilhas Britânicas, porém, não era viável para a maioria dos materiais. Também, devido às diferenças na mistura de combustível e geração de energia em diferentes países, foi adotado os dados de carbono incorporados do Reino Unido, para uso europeu.
- Idade dos dados- Foi dada preferência a fontes mais recentes, visto que a evolução histórica sobre a mistura de combustível e coeficientes de carbono associados à geração de eletricidade acabou por dar origem a uma maior incerteza nos valores de carbono incorporados.
- Carbono Incorporado- Por norma, existe a ausência de dados obtidos conforme a metodologia ACV e por vezes em muitos casos o valor de substituição tem que ser estimado, usando a divisão de combustível típica para o setor industrial específico do Reino Unido.

Para um melhor entendimento dos critérios de seleção Geoffrey P. Hammond e Craig I. Jones (Hammond & Jones, 2008) organizaram uma tabela (Tabela 6) que descreve o processo iterativo de refinar a entrada dos dados para a base de dados.

Tabela 6- Fluxograma do desenvolvimento do inventário de carbono e energia segundo Hammond e Jones (Hammond & Jones, 2008)



Para além desses critérios de seleção que foram aplicados na elaboração do Inventário de carbono e energia (ICE) é de notar que os valores de energia incorporada e de carbono incorporado por vezes não são claros em certos tipos de materiais tais como: alumínio, aço ou madeira. Cada material pode alterar na sua forma e tipo (especialmente a madeira). Deste modo, a elaboração do cálculo do carbono incorporado realizado no presente trabalho foi baseada em valores aproximados.

Hoje em dia, o inventário de carbono e energia lista inúmeros materiais diferentes, selecionados da literatura revisada com base na metodologia de avaliação de ciclo de vida (ACV) definida nos cinco critérios de seleção. O facto de o ICE ter-se tornado público atraiu um interesse significativo, o que desempenhou um papel importante para a escolha dos materiais com melhores valores para a energia incorporada. Embora o Inventário de carbono e energia seja direcionado para a construção no Reino Unido, o conjunto de materiais incluído no banco de dados é de ampla aplicação em todo o setor industrial no mundo (Hammond & Jones, 2008).

5 CÁLCULO DO CARBONO INCORPORADO

Capítulo 5

5 Cálculo do Carbono Incorporado- Caso Prático

5.1 Aplicação do Método ICE

O presente capítulo servirá essencialmente para apresentar os cálculos de carbono incorporado na solução construtiva aplicada no projeto, e estabelecer uma comparação com o valor relativo a soluções construtivas correntes. Como referido anteriormente, recorre-se ao inventário ICE como fonte de dados no que diz respeito ao valor unitário de carbono incorporado nos materiais considerados. Crê-se que os cálculos apresentados permitem ainda demonstrar a utilidade deste método simples de análise do impacte ambiental de materiais e soluções construtivas na tomada de decisão do setor da construção, mais concretamente, na seleção do material/sistema mais indicado em termos ambientais a aplicar na componente prática deste trabalho global.

Primeiramente, este estudo vai consistir numa comparação entre a elaboração de paredes em BTC (blocos de terra compactada) e outros métodos construtivos recorrentes tais como: paredes de betão armado, paredes em alvenaria (alvenaria simples de tijolo furado e alvenaria dupla de tijolo furado) e paredes leves em madeira, de modo a avaliar o impacte ambiental das soluções construtivas.

O caso de estudo aplica-se a uma escola de sustentabilidade projetada para a Cidade Universitária em Lisboa (ver capítulo 6), onde através dos cálculos será possível escolher a melhor solução construtiva para o projeto, de forma a que possamos afirmar todo o propósito deste trabalho e na possível viabilidade dos sistemas construtivos em terra na cidade de Lisboa.

Posto isto, o cálculo do carbono incorporado é elaborado numa folha de cálculo, fornecida pelo orientador do trabalho e disponível no âmbito das atividades pedagógicas e científicas do ISCTE. Esta folha de Excel apresenta uma tabela, onde foi colocado cada camada da parede desde o seu exterior até ao seu interior. Nesta mesma folha, é possível calcular o coeficiente de transmissão térmica. Este conceito, foi nos abordado no decorrer do curso, o que facilitou a sua conceção e interpretação para este trabalho

Para existir coerência nas paredes, do ponto de vista de um requisito, optei por ter paredes com o mesmo valor de coeficiente de transmissão térmica. Assim teremos o mesmo requisito de eficiência energética, mas paredes distintas em função dos materiais. Através de diferentes tipos de materiais é possível analisar o impacte ambiental.

No presente trabalho, considerou-se o valor de coeficiente de transmissão térmica (U) entre 0,35 e 0,4 [$W/m^2 \cdot ^\circ C$], correspondendo ao valor de referência para o clima de Lisboa. Assim sendo, ao calcular o coeficiente de transmissão térmica das soluções construtivas, houve o máximo cuidado em finalizar cálculos semelhantes ou mais próximos do que é pretendido em Lisboa.

5.2 Cálculo do Carbono Incorporado

5.2.1 Paredes em Betão Armado

Recentemente, as paredes de betão armado eram implementadas em circunstâncias especiais, nomeadamente em muros de suporte, embasamento e para o desempenho de funções contenção, caixas de elevadores ou vãos de escada (Araújo, 2016). Com o desenvolvimento da tecnologia relacionada com o sistema de cofragem e o desenvolvimento contínuo do processo de execução, esse tipo de parede passou a ser utilizado com maior frequência em edifícios residenciais, apresentando diferentes tipos de acabamentos.

A solução construtiva adotada a experienciar o cálculo do carbono incorporado consiste numa parede simples em betão armado (parede de 20cm), com o um reboco exterior de 5mm espessura, com um sistema de isolamento térmico exterior em fachadas tipo (ETICS) baseado em cortiça numa espessura de 100mm. No interior, a estrutura é revestida por um reboco de 2cm de espessura.

De seguida, para podermos calcular o coeficiente de transmissão térmica (U) foi necessário o valor das densidades dos materiais e a condutibilidade térmica dos mesmos. Esses valores que foram aplicados nos cálculos foram retirados da publicação do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) chamado *Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios* (Santos & Matias, 2006).

Posto isto, para podermos calcular o carbono incorporado da solução construtiva é necessário recorrer à base de dados, neste caso, o banco de dados do Inventário de carbono e energia (ICE) que foi fornecido pelo orientador, na qual como já referi esta é uma base de dados acessível a todos. Os valores estão organizados por tipos de materiais e o valor tabelado é referente a quantos quilogramas de CO₂ presentes por cada quilograma de material.

Todos os valores que se aplicaram para efetuar os cálculos foram retirados do ICE, considerando-os o mais próximo do que se pode considerar em Portugal, visto que o Inventário de carbono e energia registam valores mais direcionados para o Reino Unido. É de notar que, no valor da cortiça, o valor indicado é considerado excessivo para o contexto português porque, como já foi referenciado, esses valores são a nível Europeu, mais direcionados para o Reino Unido, e como se sabe, o Reino Unido não produz cortiça, sendo que o valor final considera o transporte do material do país produtor ao Reino Unido. Como em Portugal produzimos cortiça, o valor de transporte é muito menor.

Contudo, o objetivo destes cálculos é puramente para comparação e a análise final não dependerá tanto do resultado do cálculo em valor absoluto, mas sobretudo da comparação entre as diversas soluções construtivas consideradas. Assim sendo, considerou-se em todas as soluções construtivas esse valor indicado pela ICE, de forma a ter o mesmo critério para uma análise comparativa. Posto isto, o cálculo é feito automaticamente na folha de Excel e se observarmos o valor indicado na tabela abaixo é de 123 KgCO₂/m².

Tabela 7- Folha de Excel, Cálculo do Carbono Incorporado- Parede em Betão Armado

Ref.	Material	Homogeneous?	Thickness [m]	Density [kg/m ³]	Therm. Conduct. [W/m.°C]	Therm. Resist. [m ² .°C/W]	Specific Heat Cp [J/kg.°C] x 10 ³	Unit. Embod. C. EC _u [kgCO ₂ e/kg]
EXT								
1	Reboco exterior	S	0,005	1900	1,3000			0,142
2	Isolante térmico a.n.cortiça	S	0,100	100	0,0450			0,190
3	b.a.	S	0,200	2300	2,0000			0,249
4	reboco interior	S	0,020	1900	1,3000			0,142
5								
6								
7								
8								
9								
10								
INT								
			0,325					

Heat flow: hor
Rse=Rsi?: n

A1 [m²]:

TotSupMass [kg/m²]: 518

Rsi: 0,13
Rse: 0,04

Rt [m².°C/W]: 2,51

U [W/m².°C]: 0,40

CT, [s]: 0

m_{tsu} [J/m².°C] x 10³: 0

ECs Sup. Emb. C. [kgCO₂e/m²]: 123

EWS Sup. Emb. W. [L/m²]: 0

5.2.2 Paredes em Alvenaria Simples (Tijolo Furado)

O principal material do sistema de construção feito em tijolos cerâmicos furado ou maciço é a argila. Estes são possíveis de encontrar em diferentes formas de tijolos, mas os mais comuns são os tijolos furados. A concessão de aplicar um método construtivo em alvenaria provém de estes serem económicos na sua execução, de fácil abertura de roços (Araújo, 2016).

A segunda solução construtiva abraçada para calcular o carbono incorporado consiste em uma parede de alvenaria simples em tijolo furado de 20 cm de espessura, com um reboco exterior de 5mm de espessura, com um sistema de isolamento térmico exterior em fachadas tipo (ETICS), baseado em cortiça numa espessura de 80mm. No interior, a estrutura é revestida por um reboco de 2cm de espessura. É de referir que alguns elementos como o isolamento térmico e por vezes o reboco exterior e interior terão os mesmos valores em uma ou mais soluções construtivas.

Tal como na primeira solução e assim como todas as soluções construtivas analisadas, para calcular o coeficiente de transmissão foi necessário ir buscar o valor das densidades dos materiais e a condutibilidade térmica dos diversos materiais. Esses valores aplicados nos cálculos foram retirados do livro do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) chamado *Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios* (Santos & Matias, 2006).

É de salientar que o valor aplicado na densidade do tijolo furado de 20cm, considerou-se os diversos tipos de tijolo (furação) e sobretudo as juntas de argamassa para assentar a alvenaria.

Assim sendo, como já foi referido todos os valores para calcular o carbono incorporado da solução construtiva foram retirados da base de dados do Inventário de carbono e energia (ICE) e, se

observamos a tabela abaixo concluímos que a solução construtiva em questão tem um valor de 41 KgCO₂/m², um valor mais inferior que o anterior.

Tabela 8- Folha de Excel, Cálculo do Carbono Incorporado- Parede em Tijolo Furado Simples

Ref.	Material	Homogeneous?	Thickness [m]	Density [kg/m ³]	Therm. Conduct. [W/m.°C]	Therm. Resist. [m ² .°C/W]	Specific Heat Cp [J/kg.°C] x 10 ³	Unit. Embod. C. EC _s [kgCO ₂ e/kg]
EXT								
1	reboco exterior	S	0,005	1900	1,3000			0,142
2	cortiça	S	0,080	100	0,0450			0,190
3	alvenaria tijolo 20	n	0,200	770		0,52		0,210
4	reboco interior	S	0,020	1900	1,3000			0,142
5								
6								
7								
8								
9								
10								
INT			0,305					

Heat flow: hor
 Rse=Rsi?: n

A1 [m²]:

TotSupMass [kg/m²]: 210

Rsi: 0,13
 Rse: 0,04

Rt [m².°C/W]: 2,49

U [W/m².°C]: 0,40

CTs [s]: 0

ECs Sup. Emb. C. [kgCO₂e/m²]: 41

EWs Sup. Emb. W. [L/m²]: 0

5.2.3 Paredes de Alvenaria Dupla (Tijolo Furado)

O seguinte método construtivo considerado para calcular o carbono incorporado consiste em uma parede de alvenaria dupla em tijolo furado, com panos de 15 e de 11cm de espessura, com um reboco exterior de 2cm de espessura, com um sistema de isolamento térmico baseado em cortiça numa espessura de 80mm. No interior, a estrutura é revestida por um reboco de 2cm de espessura.

Todo o restante processo até ao cálculo final aplica-se tal como no caso de paredes de alvenaria simples de tijolo furado. Posto isto, e dado o mesmo processo, o valor do carbono incorporado em paredes em alvenaria de tijolo furado é de 55 KgCO₂/m² sendo um pouco mais elevado do que uma parede em alvenaria de tijolo simples, como podemos observar na tabela abaixo.

Tabela 9- Folha de Excel, Cálculo do Carbono Incorporado- Parede em Tijolo Furado Duplo

Ref.	Material	Homogeneous?	Thickness [m]	Density [kg/m ³]	Therm. Conduct. [W/m.°C]	Therm. Resist. [m ² .°C/W]	Specific Heat Cp [J/kg.°C] x 10 ³	Unit. Embod. C. EC ₀ [kgCO ₂ e/kg]
EXT								
1	reboco exterior	s	0,020	1900	1,3000			0,142
2	alvenaria tijolo 15	n	0,150	773		0,39		0,210
3	cx ar	n	0,050	1		0,18		0,000
4	cortiça	s	0,080	100	0,0450			0,190
5	alvenaria tijolo 11	n	0,110	782		0,27		0,210
6	reboco interior	s	0,020	1900	1,3000			0,142
7								
8								
9								
10								
INT			0,430					

Heat flow: Rsi: 0,13
 Rse=Rsi?: Rse: 0,04

A1 [m²]:

TotSupMass [kg/m²]:

Rt [m².°C/W]: 2,82

U [W/m².°C]: **0,35**

CT_s [s]: 0

m_{tsu} [J/m².°C] x 10³: **0**

ECs Sup. Emb. C. [kgCO₂e/m²]: **55**

EWs Sup. Emb. W. [L/m²]: **0**

5.2.4 Paredes em Madeira

A matéria-prima madeira, enquanto material é visto como o mais antigo a ser utilizado pela humanidade. Desde há muitos anos que existem diferentes tipologias de paredes em madeira tais como: formadas por troncos, pré-fabricadas etc., mas tudo isso depende de como é aplicada a matéria prima (Araújo, 2016).

O método construtivo adotado para calcularmos o carbono incorporado segundo os valores da ICE (Inventário de Carbono e Energia) consiste numa estrutura em madeira com as dimensões 60x40mm, com um revestimento exterior em madeira com uma espessura de 10mm, de seguida aplicou-se OSB de 15mm e como isolante térmico optou-se por cortiça com 30mm de espessura a revestir os elementos estruturais; na zona sem elemento estrutural, a espessura total de isolamento é de 90mm, assim seguindo os critérios comuns às soluções que estão em análise. O revestimento interior é em placas gesso cartonado de 13mm de espessura.

Para calcularmos o coeficiente de transmissão térmica numa solução construtiva em madeira, existe a necessidade de obtermos dois valores de coeficiente de transmissão térmica: um representará a área entre prumos e outro será o valor do coeficiente de transmissão térmica na zona do prumo de madeira. Isto acontece porque ocorre dois momentos distintos de fluxo de calor sendo que o fluxo de calor do prumo de madeira será mais alto visto que nesta zona a espessura de isolante térmico é menor. Relativamente ao fluxo de calor da área entre prumo, este será mais baixo devido ao isolamento

térmico. Assim sendo, na folha de Excel existe um separador que nos indicará o valor de coeficiente de transmissão térmica (U) ponderado do conjunto em causa (ver Tabela 12). Posto isto, ao calcularmos o carbono incorporado da solução construtiva há que ter em especial atenção que a madeira que foi considerada provém de florestas exploradas de forma sustentável, isto é, a quantidade de madeira que for considerada, não excede o ritmo de crescimento considerado normal. Ainda é de referir que foi considerado nos valores do carbono incorporado para a madeira o seu armazenamento, visto que este é um fator crucial para obtermos o valor aproximado do absoluto.

Assim sendo, se observamos a Tabela 12 onde encontramos os valores ponderados tanto da área entre prumos e do próprio prumo, verificamos que o valor do carbono incorporado é de $-25 \text{ KgCO}_2/\text{m}^2$, refletindo o excelente comportamento ambiental desta solução, resultado de um balanço negativo entre o carbono armazenada pela madeira e o que é emitido nos processos de extração e produção.

Tabela 10- Folha de Excel, Cálculo do Carbono Incorporado- Parede em Madeira



TECNOLOGIAS
E ARQUITETURA

School of Technologies and Architecture

Energy efficiency + Life cycle
test version | July 2020 | Vasco Rato

Ref.	Material	Homogeneous?	Thickness [m]	Density [kg/m ³]	Therm. Conduct. [W/m.°C]	Therm. Resist. [m ² .°C/W]	Specific Heat Cp [J/kg.°C] x 10 ³	Unit. Embod. C. EC _o [kgCO ₂ e/kg]
EXT								
1	Wood finishing	S	0,010	565	0,1800			-1,290
2	OSB	S	0,015	650	0,1300			-1,050
3	Cork	S	0,030	100	0,0450			0,190
4	OSB	S	0,015	650	0,1300			-1,050
5	Structural wood	S	0,060	565	0,1800			-1,290
6	Plasterboard	S	0,013	875	0,2500			0,390
7								
8								
9								
10								
INT			0,143					

Heat flow: hor
Rse=Rsi?: n

A1 [m²]: 0,040

TotSupMass [kg/m²]: 73

Rsi: 0,13
Rse: 0,04

Rt [m².°C/W]: 1,51

U [W/m².°C]: **0,66**

CT, [s]: 0

m_{tsu} [J/m².°C] x 10³: **0**

ECs Sup. Emb. C. [kgCO₂e/m²]: **-66**

EWS Sup. Emb. W. [L/m²]: **0**

Tabela 11- Folha de Excel, Cálculo do Carbono Incorporado- Parede em Madeira, Prumo

Ref.	Material	Homogeneous?	Thickness [m]	Density [kg/m ³]	Therm. Conduct. [W/m.°C]	Therm. Resist. [m ² .°C/W]	Specific Heat Cp [J/kg.°C] x 10 ³	Unit. Embod. C. EC _i [kgCO ₂ e/kg]
EXT								
1	Wood finishing	S	0,010	565	0,1800			-1,290
2	OSB	S	0,015	650	0,1300			-1,050
3	Cork	S	0,030	100	0,0450			0,190
4	OSB	S	0,015	650	0,1300			-1,050
5	Cork	S	0,060	80	0,0450			0,190
6	Plasterboard	S	0,013	875	0,2500			0,390
7								
8								
9								
10								
INT			0,143					

Heat flow	hor	Rsi	0,13
Rse=Rsi?	n	Rse	0,04
A1 [m ²]	0,560	Rt [m ² .°C/W]	2,51
TotSupMass [kg/m ²]	44	U [W/m ² .°C]	0,40
		ECs Sup. Emb. C. [kgCO ₂ e/m ²]	-22
		CT _s [s]	0
		m _{tsu} [J/m ² .°C] x 10 ³	0
		EWs Sup. Emb. W. [L/m ²]	0

Tabela 12- Folha de Excel, Cálculo do Carbono Incorporado- Parede em Madeira, Valores Ponderados

U [W/m ² .°C]	0,42	m _{tsu} [J/m ² .°C] x 10 ³	0
ECs Sup. Emb. C. [kgCO ₂ e/m ²]	-25	EWs Sup. Emb. W. [L/m ²]	0
TotSupMass [kg/m ²]	46,3		

5.2.5 Paredes em BTC (Blocos de Terra Compactada)

A terra é um material abundante em todo o mundo e sobretudo é facilmente acessível a todos, sendo que é a matéria prima mais antiga e usada como material de construção. De acordo com o Luís (Araújo, 2016), um terço da população mundial habita em casas com esta tipologia de parede. Desta forma, existem diversas técnicas construtivas em que esta é aplicada.

A solução construtiva em causa trata-se de paredes executadas em blocos de terra compactada com 20cm de espessura, sendo que nesta solução considerou-se o bloco à vista no seu exterior, de modo a dar ênfase à solução. De seguida, é proposto um isolante térmico, cortiça, com uma espessura de 100mm e no interior optou-se por revestir com placas de gesso cartonado com 13mm de espessura.

Consideradas todas as camadas deste método inovador, embora tradicional, obteve-se um coeficiente de transmissão térmica de $0,36 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, o que é considerado um ótimo coeficiente na área de Lisboa. Tal como todos as restantes soluções construtivas, os valores para a condutibilidade térmica e densidade foram retirados do livro do LNEC chamado *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios* (Santos & Matias, 2006).

Deste modo, a parte crucial da elaboração desses cálculos é afirmar que a solução construtiva proposta para o projeto conceptual do presente trabalho apresente um impacte ambiental baixo. Assim sendo, considerou-se os valores da base de dados do Inventário de carbono e energia (ICE) aplicando o mesmo critério das restantes soluções e concluiu-se que este tem o valor mais baixo de todos os métodos apresentados acima (com a exceção da parede em madeira), com um valor de $29 \text{ KgCO}_2/\text{m}^2$.

Portanto, considerando todas as soluções construtivas calculadas, que todas seguiram os mesmos critérios assim tornando clara a comparação e saliência de que a solução proposta no projeto conceptual é uma excelente opção, sobretudo no seu baixo impacte ambiental como também existir a possibilidade de um dia mais tarde, se o edifício em questão for demolido, conseguimos devolver à natureza a terra utilizada para a conceção dos blocos.

Tabela 13- Folha de Excel, Cálculo do Carbono Incorporado- Parede em BTC

Ref.	Material	Homogeneous?	Thickness [m]	Density [kg/m ³]	Therm. Conduct. [W/m.°C]	Therm. Resist. [m ² .°C/W]	Specific Heat Cp [J/kg.°C] x 10 ³	Unit. Embod. C. EC _o [kgCO ₂ e/kg]
EXT								
1	BTC	s	0,200	1885	1,1000			0,061
2	cortiça	s	0,100	100	0,0450			0,190
3	cx ar	n	0,048	1		0,18		0,000
4	gesso cartonado	s	0,013	875	0,2500			0,390
5								
6								
7								
8								
9								
10								
INT 0,361								

Heat flow	hor	Rsi	0,13
Rse=Rsi?	n	Rse	0,04
A1 [m ²]		Rt [m ² .°C/W]	2,81
TotSupMass [kg/m ²]	398	U [W/m ² .°C]	0,36
		ECs Sup. Emb. C. [kgCO ₂ e/m ²]	29
		CTs [s]	0
		msu [J/m ² .°C] x 10 ³	0
		EWs Sup. Emb. W. [L/m ²]	0

6 COMPONENTE PRÁTICA

Capítulo 6

6 PROPOSTA DE INTERVENÇÃO NA CIDADE UNIVERSITÁRIA

6.1 Área de Estudo



Figura 23- Ortofotomapa Cidade Universitária (Fonte: Google Earth)

A Cidade Universitária situa-se no centro de Lisboa, demarcada pela Avenida General Norton de Matos (Segunda Circular), Avenida das Forças Armadas, pelo Campo Grande e pela Avenida dos Combatentes. Esta mostra uma morfologia única, em primeiro lugar pelo facto de a sua envolvente apresentar um carácter residencial (Bairro de Alvalade, Telheiras, Avenidas Novas) e em segundo lugar, pela dimensão considerável dos edifícios da Cidade Universitária e sobretudo pelas infraestruturas que a compõem.

O facto de não existir um limite físico isolando a Cidade Universitária do espaço envolvente, o próprio espaço público serve à Cidade Universitária a função limitadora que, ao mesmo tempo, confere um sentido de monumentalidade aos edifícios e, acima de tudo, os enfatiza da massa de edificado mais próxima. A diversidade de infraestruturas pode atrair diferentes grupos de usuários, tornando esta área mais abrangente. Contudo, essa variedade prova ser temporária devido à grande diferença nos níveis

de uso entre o dia e a noite. Isso significa que a Cidade Universitária é uma área central, mas de carácter individualista, pelo facto de os edifícios não funcionarem como um só.

6.1.1 Enquadramento da Cidade Universitária

A primeira proposta de criação da Cidade Universitária surgiu na década de 30, com o objetivo de concentrar edifícios universitários no mesmo local. A área da Cidade Universitária foi alvo de vários estudos e planos desde 1920, através da proposta de implantação do bairro universitário em terrenos anexos ao Campo Grande pelo arquiteto Carlos Ramos, o que prosseguiu com o projeto integral de Caeiro da Mata, com o objetivo de integrar zonas estabelecidas a campos de jogos e a residências universitárias.

Em 1935, foi apresentada uma planta de urbanização dos terrenos da Palma para a elaboração de edifícios universitários e o Hospital Escolar sendo que, no mesmo ano, também foi exposto um anteprojecto para execução do conjunto da reitoria e respetivas faculdades desenhado pelo Arquitecto Pardal Monteiro.

Já em 1937, a CANEU apresenta uma planta de urbanização do terreno a poente do Campo 28 de Maio, os edifícios universitários e o Hospital Escolar, ao mesmo tempo que é feita a compra dos terrenos para a proposta de Pardal Monteiro. Porém, somente na década de 50 a proposta de Pardal Monteiro foi aprovada com algumas modificações. Posto isso, foi aprovado o projeto do Hospital Escolar desenhado pelo Arquitecto Hermann Distel, que foi executado entre 1944 e 1953. Após a conclusão do Hospital Escolar, o plano da Cidade Universitária sofre alterações e o atual Estádio Universitário é construído.

Conforme mencionado, o plano da Cidade Universitária visa centrar um conjunto de edifícios com o mesmo intuito; porém, ao longo do tempo, a falta de planeamento estratégico de longo prazo e construções posteriormente executadas, mostram que hoje a Cidade Universitária apresenta uma leitura muito difícil e uma falta de consistência como um todo.

6.2 Proposta de Grupo

Dada a especial atenção do recinto da Cidade Universitária, é proposto pelos docentes um *masterplan* para a Cidade Universitária, mais concretamente no seu parque de estacionamento, em que neste desenvolve-se um conjunto de equipamentos com base em toda a história da sustentabilidade que é o tema mais falado em todo o mundo.

Em primeiro lugar, em grupo começamos por analisar a zona da Cidade Universitária desde a sua permeabilidade até à sua topografia. Ao observarmos as análises feitas à zona, concluímos que o local de intervenção era um espaço central no recinto da Cidade Universitária. No entanto, encontra-se isolado, marcado pelas traseiras e de difícil acesso.

Assim sendo, propusemos desenvolver a nossa proposta no sentido de monumentalidade e centralidade e ao mesmo tempo melhorar a acessibilidade ao campo e as relações aos vários campus, propondo um enorme espaço de praça.

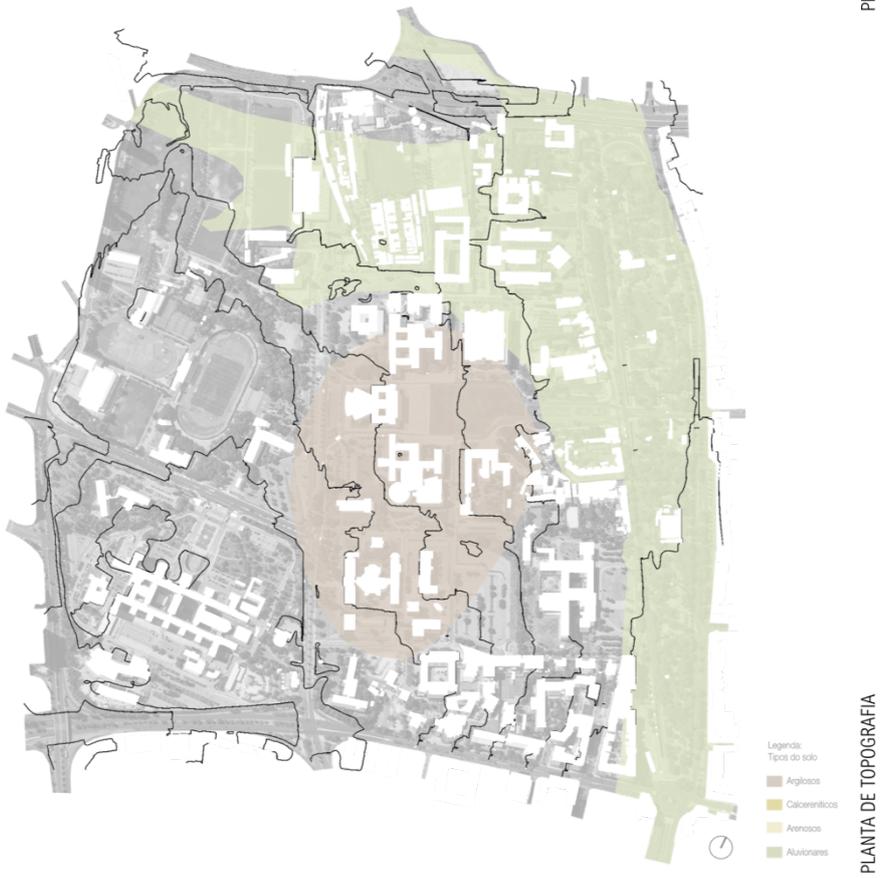
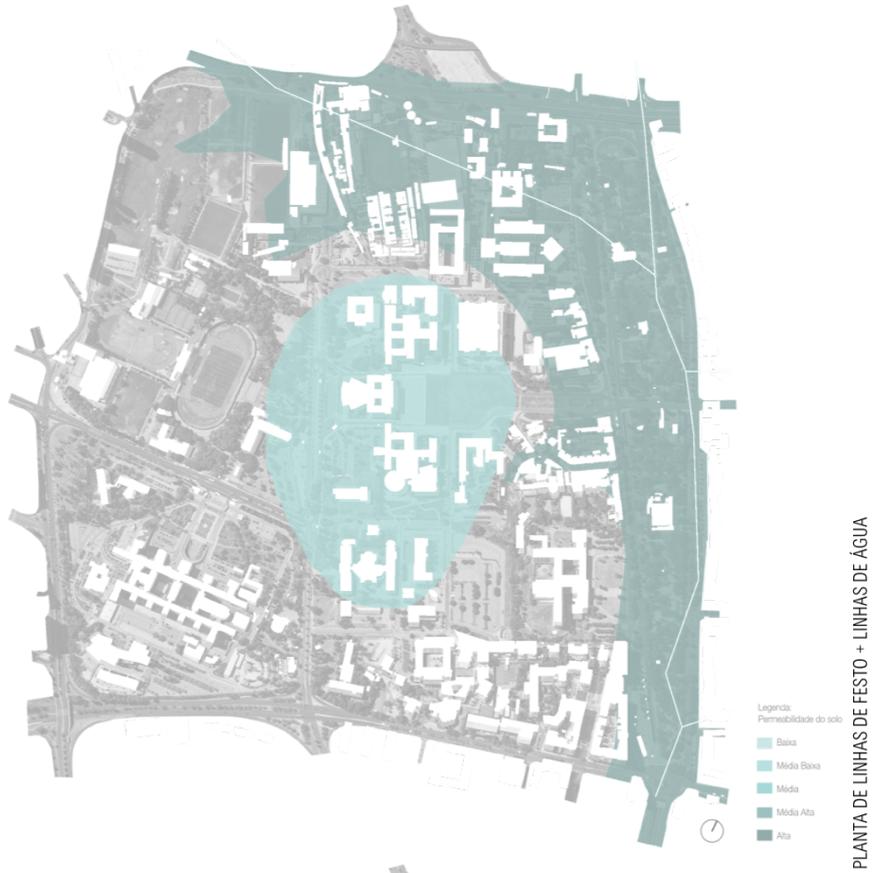


Figura 24 e 25- Planta de Linha de Festo e Planta de Topografia (Fonte: Elaborado pelo grupo)

6.2.1 Percursos Propostos

A infraestrutura viária existente, limita o perímetro da Cidade Universitária, por consequência de um maior crescimento urbano nas zonas de festo e de planalto. Os percursos pedonais existentes são marcados por este difícil acesso em especial da ligação ao Campo Grande.

Para tal, os percursos propostos pelo grupo são reestruturados, de forma a devolver centralidade e promover a implantação destes acessos entre a linha de água e a linha de festo, os quais já estavam programados no plano de Pardal Monteiro de 1960, como já foi referenciado.



Figura 26- Eixos Viários Existentes

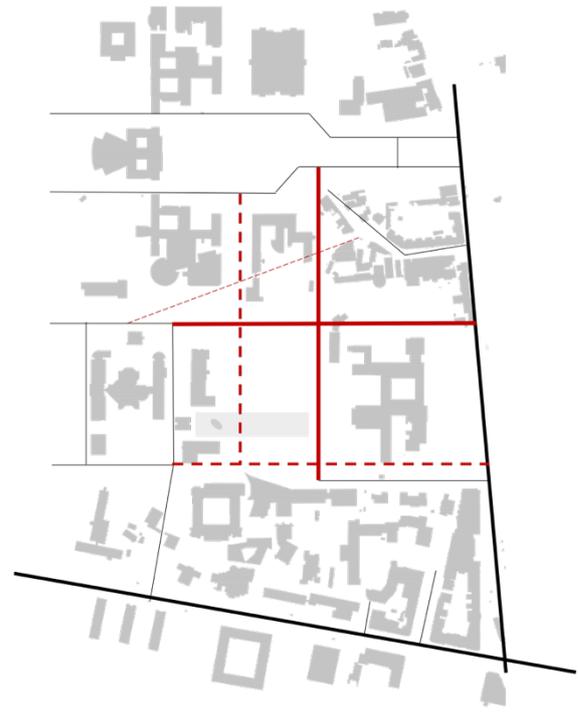


Figura 27- Proposta de Percursos

6.2.2 Implantação



Figura 28- Alçado Proposta de Grupo (Fonte: elaborado pelo grupo)

Ao longo de vários estudos da forma volumétrica, a proposta do grupo pretendeu desenvolver no sentido de monumentalidade e centralidade do local, de modo a melhorar as acessibilidades e as relações entre os vários campus. Com base neste conceito, o objetivo da proposta do grupo é uniformizar esta relação propondo um espaço de “praça”. Assim sendo, são propostos três conjuntos de programas, nomeadamente uma residência de estudantes, que se localiza em frente ao conjunto de edifícios do ISCTE, permitindo uma dinâmica de proximidade com a rua professor Aníbal Bettencourt.

Localizado a Norte da implantação, onde é criada uma nova “avenida”, encontra-se um centro socio-tecnológico e de empreendedorismo, que pretende trazer movimentação e uma nova vida ao local com carácter mais comercial e empresarial.

Mais a Oeste do centro socio-tecnológico, é proposta uma escola de sustentabilidade, com o objetivo de promover o conceito da sustentabilidade empregue para todas as idades. Este tenta trazer os benefícios de poder experienciar novos conceitos da atualidade dinamizado pelas várias gerações.

Em torno dos edifícios propostos, surge uma dupla fachada, como símbolo conceptual, marco de um edifício monumental, regulador do espaço e de centralidade. Este é um elemento unificador da proposta, que se multiplica numa estrutura que interliga os três conjuntos de edificado.

É de referir que a transição para os espaços mais públicos é feita através de um espaço de estufa onde é possível a criação de produção alimentar em pequena escala. Também é proposto um mercado com intuito de dinamizar todo o espaço e possibilitando aos residentes venderem os seus produtos, assim como criar um possível ponto de venda às zonas de refeição propostas no *masterplan*.



Figura 29- Proposta de Grupo, Implantação (Fonte: elaborado pelo grupo)

6.3 Proposta Individual

Após elaboração da proposta de grupo, a volumetria do edifício escolhido para aprofundar individualmente foi a escola de sustentabilidade (Sustainability School), pelo facto de se inserir num espaço rodeado de faculdades/Universidades, demonstrando ser um desafio interessante.

A Sustainability School localiza-se mais a norte da proposta de grupo, junto à faculdade de psicologia da Universidade de Lisboa. Primeiramente, a escola foi organizada de forma a que no piso térreo se localize todo o programa de cariz público (sala de estudo, receção, zona de refeições, sala de exposição, etc.) sendo que no seu 1º piso localiza-se todo o programa escolar semipúblico, neste caso, salas de aula e salas de vídeo conferência e, por fim, no seu 2º piso localiza-se toda o programa administrativo que uma escola necessita.

A ideia da Sustainability School, é abrigar alunos dos 7 aos 70 anos de idade para que estes possam interagir entre gerações e aprender melhor o conceito de sustentabilidade. Esta também, tem como objetivo ser um centro de aprendizagem, mas também ser um espaço de convívio para todos os espaços envolventes.

Ao depararmos com a escola, esta pode ser acedida de três formas: pela porta principal, localizada a norte, onde deparamo-nos com a receção; pela zona do “jardim” localizada a sul, sendo um espaço de união dos programas, nesta zona da escola, encontra-se um pequeno espaço público onde este é delimitado pela sala de coworking e pela sala de exposição. Este espaço público é um momento de união entre o interior e o exterior, isto porque os programas que o delimitam têm a possibilidade de se expandir tornando este espaço público parte integrante do programa em questão.



Figura 30- Proposta Individual, Fotomontagem

Ainda é de referir que existe uma terceira forma de aceder à escola, esta é feita através de uma escadaria exterior localizada a oeste do projeto. Este acesso é mais direcionado a quem pretende ir à zona administrativa, assim como aceder às salas de conferências web, sem ter que o fazer pelo interior do edifício. Esta escadaria proporciona à pessoa um sentimento de calma, isto porque ao lado da escadaria encontra-se um espelho de água e assim quando a pessoa estiver a subir para o piso superior consegue ver sempre este espelho de água.

No interior do edifício, o primeiro sentimento que este transmite é a ideia de transparência, de forma a que as pessoas se sintam como se tivessem ainda no exterior, um espaço amplo e desafogado. O epicentro do projeto, concentra-se na grande escadaria com o objetivo de átrio e de acesso ao piso superior. Esta oferece aos estudantes uma zona de lazer e convívio, sobretudo por ser um ponto de referência no edifício. Ainda é de salientar, que a circulação no piso superior é feita em torno da mesma.

Nos tempos em que vivemos, há que ter em especial atenção de como são vividos todos os espaços e a Sustainability School não foge a esta regra. A salas de aula foram pensadas para que estas possam acolher o número médio de 25 alunos por sala assim como ao mesmo tempo existe a possibilidade de através de painéis em madeira amovíveis juntando duas ou mais salas, aumentando assim a área sempre que for necessário. Também foi pensado em salas de vídeo conferência dedicadas a uma ou mais pessoas que necessitam de um espaço para ter reuniões ou aulas online face à situação em que estamos.



Figura 31- Proposta Individual, interior, Fotomontagem

Por fim, o último piso foi pensado para projetar toda a zona de administração, onde o acesso pode ser feito pelo interior ou pela escadaria exterior, referida anteriormente. O objetivo na zona administrativa foi tentar trazer a ideia de coworking, isto é, todo o espaço de secretariado é feito em

open space, de forma a que haja uma melhor interação entre funcionários e uma melhor coerência no trabalho destes. Ainda é pensado numa sala de reuniões e, não menos importante, uma zona de receção para orientar melhor a quem ali passa.

6.3.1 Sistema Construtivo

No contexto de um interesse na construção em terra, ressurgindo em todo o mundo como um material sustentável de baixo impacte ambiental, e com um potencial na arquitetura, o projeto conceptual vem a demonstrar a aplicação de um sistema construtivo em terra misto. Dada à escala do projeto, e dado a todo estudo detalhado de alguns sistemas construtivos em terra, conclui-se que ainda não é possível construir um edifício desta dimensão 100% em terra.

Assim sendo, a opção empregue no projeto foi a aplicação de paredes em BTC (blocos de terra compactada) em função de uma estrutura metálica, isto é, todo o “esqueleto” do edifício é desenhado em estrutura metálica com perfis IP500 de forma que a possa suportar vãos de grandes dimensões. Relativamente às paredes, estas são elaboradas em Blocos de Terra Comprimida à vista no exterior do edifício e no seu interior revestida com placas de gesso cartonado tipo *“pladur”* para transmitir a ideia de clareza e transparência.

O objetivo deste projeto, com este método construtivo inovador, é demonstrar no seu exterior o sistema construtivo, de forma a realçar que é possível construir com um teor baixo de carbono incorporado embora, a estrutura metálica venha acrescentar algum carbono incorporado. Quanto ao seu interior, este é revestido em madeira pintada de branco de modo a transmitir a ideia de transparência no edifício. Todavia, em alguns momentos do edifício podemos encontrar paredes em BTC à vista.



Figura 32- Proposta individual, Foto montagem

6.4 Workshop PFA

No início do 2º semestre do ano letivo, foi criado um Workshop de uma semana para todos os alunos que frequentam o 5º ano. Este Workshop decorreu em paralelo com o FISTA (Forum of Iscte-iul School of Technology and Architecture), de modo a integrar o melhor de ambos. O Workshop surgiu através da colaboração de 3 ateliers de arquitetura em Lisboa, dispostos a demonstrar um pouco do seu trabalho e como desenvolvem os seus projetos. Os ateliers em questão foram: os Embaixada, o Atelier Rua e os ExtraStudio, onde após a apresentação deste, os alunos foram organizados em grupos de 4 a 5 pessoas e divididos pelos 3 ateliers.

No meu caso, fui colocada no atelier Embaixada, onde foi uma experiência gratificante e acima de tudo vantajosa para o meu futuro. É de referir que, cada atelier lançou um desafio diferente. Deste modo a cada grupo teve uma experiência diferente para que depois pudesse transmitir aos restantes colegas.

No atelier Embaixada, propuseram-nos a análise quantitativa e qualitativa as Torres do Alto da Eira, situada em Penha de França, Lisboa, sendo que no primeiro dia foi feita a visita ao local, onde cada grupo teve de analisar e entender a problemática das torres e a sua envolvente para que pudessemos continuar o exercício ao longo da semana.

Ao visitarmos o edifício em questão, identificamos um grave problema. A falta de hierarquia nos diferentes limites, se reparássemos a nível da implantação urbana as torres situavam-se junto a uma vila operária, onde eram separadas apenas por um muro. Em relação às fachadas das torres, estas tinham dimensões pequenas, o que revelava uma vista muito controlada para o exterior. Ao analisarmos as torres quantitativamente concluímos que, 1 piso de uma torre equivalia a 6 lotes da vila operária (Vila Gadanho), assim como a distância entre as duas torres apresentava uma dimensão de 88 mãos.



Figura 33- Torres do Alto da Eira, Lisboa (Fonte: Tirada por um elemento do grupo)

6.4.1 Solução de Grupo

Através do conceito “*Thickness of the Limit*” apresentado pelos arquitetos do atelier Embaixada, a nossa estratégia de grupo focou-se na subtração dos limites das Torres do Alto da Eira. Assim sendo, abordamos de 3 formas originando assim uma proposta: em primeiro lugar, promovemos a relação entre o embasamento rígido das torres com a vila operária, subtraindo o muro da envolvente e assim articulou-se o piso térreo das torres como um momento de encontro das ruas através de uma “nova praça”.

De seguida, optou-se por encaixar “visualmente” as duas torres, de modo a criar nos pisos intercalados espaços públicos que funcionariam nas extremidades dos volumes, eliminando assim uma tipologia T2 ou T3. Esta solução resolveria a problemática do pouco espaço de convívio e das poucas aberturas para o exterior.

Por fim, desenvolveu-se espaços “*in between*”, que incentivam diferentes usos e privacidade, criando assim novos limites entre o saguão e as entradas das tipologias e também o limite entre o saguão e o exterior.



Figura 34- Proposta de Grupo, Autoria de Eduardo Alves, Marco Cardoso, Mário Santos, Neuza Duarte, Nuno Fernandes e Renata Almeida



CONCLUSÃO

Capítulo 7

7 CONCLUSÃO

7.1 Considerações Finais

Hoje em dia, a intenção de projetar um edifício advém da intenção de construir de modo sustentável. Isto porque, quando planeamos projetar edifícios baseamo-nos em integrar tecnologias de poupança energética, sistemas construtivos modulares, aplicação e a reutilização de matérias naturais/locais e sobretudo promover a durabilidade e multifuncionalidade dos edifícios de forma a pensar no que estes serão daqui a 50 anos.

Mas o facto é que a construção, no geral, é responsável por grande parte do impacto ambiental, consumindo a maior parte dos recursos naturais. Para tal, o presente trabalho de investigação consistiu na importância de projetar edifícios com o menor impacto ambiental possível. Foi através da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) com recurso ao inventário ICE (inventário de carbono e energia) que se avaliou a solução construtiva aplicada no projeto conceptual da componente prática deste trabalho na qual foi o seu impacto ambiental segundo o cálculo do carbono incorporado nos materiais. Através destes cálculos, foi possível concluir que o uso de materiais naturais, neste caso a terra, são uma boa alternativa às soluções construtivas correntes com um valor de carbono incorporado bem inferior, considerando o seu ciclo de vida desde produção até ao destino final. Apesar desta solução construtiva aplicar outros materiais artificiais, não a impede de que o seu impacto ambiental seja baixo.

Contudo, atualmente construções com apenas materiais naturais não é possível visto que ainda é necessário integrar sistemas construtivos correntes considerando assim a aplicação de sistemas construtivos misto. Isto porque segundo as informações recolhidas ao longo do estado de arte, as soluções construtivas em terra tradicionais apresentam algumas desvantagens que sozinhas não suportam as exigências que a construção de um edifício necessita.

No projeto conceptual do presente trabalho, foi aplicado um sistema construtivo misto visto que se trata de um edifício de grande escala e que exigem alguns critérios que ainda só construções tradicionais não suportam. No entanto, foi possível projetar um edifício sustentável cumprindo alguns requisitos de edifícios sustentáveis (económico, multifuncional, e baixo impacto ambiental).

Ainda é de referir que o presente trabalho se focou na construção em terra e no consumo energético dos materiais de construção, daí a maioria dos artigos científicos analisados estarem relacionados com a temática de sustentabilidade de soluções construtivas referentes a elementos construtivos que mais condicionam o comportamento do edifício no campo energético neste caso destacou-se as paredes, como podemos observar na elaboração dos cálculos e no projeto conceptual.

É importante observar ainda que o consumo de água e o desperdício de resíduos na construção têm um impacto enorme no meio ambiente e por vezes são aspetos que não se consideram. Neste contexto, a solução do grupo no projeto conceptual passa por solucionar estes aspetos significativos numa avaliação de sustentabilidade ambiental.

Assim sendo, a construção é uma atividade que determina fortemente a sustentabilidade e nós, como futuros arquitetos, devemos cada vez mais ter em atenção quando projetarmos, principalmente

no que diz respeito ao processo de conceção, pois é quando se selecionam os materiais. Da mesma forma, conseguiremos projetar o edifício com soluções eficientes para uma construção sustentável.

Posto isto, é de salientar que a construção em terra ao ressurgir mundialmente, tem sido abraçada de forma positiva, isto porque cada vez mais podemos encontrar edifícios recentemente construídos, aplicando métodos construtivos em terra sob sistemas construtivos correntes. Em especial, em Portugal nas zonas mais a sul podemos encontrar algumas construções executadas e outras a decorrer.

Apesar de Portugal encontrarmos alguma construção em terra, ainda não existe uma regulamentação adaptada à construção em terra, isto porque é um processo que depende de aprovação política fazendo com que as soluções construtivas em terra ainda não sejam reconhecidas como métodos construtivos recorrentes. Contudo, a divulgação de informações via internet tem vindo a ajudar na divulgação da construção em terra.

Acredita-se que, com a grande preocupação no meio ambiente, dando ênfase às construções sustentáveis poderá ajudar a promover o conceito da construção em terra como um método construtivo corrente e de baixo impacte ambiental em Portugal.

7.2 Perspetivas futuras

Na sequência do trabalho executado ao longo de diversos capítulos espera-se que toda esta investigação seja um elemento de introdução a uma nova abordagem para futuros projetos. Ao longo do tempo, acredita-se que o conceito de sustentabilidade na construção e sucessivamente nos restantes setores seja uma preocupação prioritária do ser humano, pois não é possível reciclar o planeta, devemos olhar por ele porque é o único que temos.

Recomenda-se que num futuro próximo a metodologia Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) torne-se um requisito obrigatório para a projeção de edifícios no contexto sustentável. No entanto, esse método necessita de alterar alguns parâmetros em relação ao fornecimento de dados específicos, pois sabe-se que este é ainda hoje, muito dispendioso em termos de tempo e custo. Como se trata de uma avaliação que requer algumas informações detalhadas, quanto mais pormenorizada for a informação, mais difícil é na obtenção de dados, isto porque os dados não são amplamente distribuídos ou facilmente acessíveis.

No entanto, o facto de se aplicar a metodologia Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) com o recurso ao ICE (Inventário de carbono e energia) é possível obter uma base de dados com valores únicos. Porém estes valores são indicados a nível Europeu, mais precisamente para o Reino Unido o que fez com que os valores não correspondessem 100% à realidade de Portugal, quanto à avaliação dos cálculos do carbono incorporado da solução construtiva aplicada no projeto conceptual.

Nesta sequência, notou-se alguma dificuldade em obter dados exatos para a solução construtiva em terra visto que a base de dados se encontra em constante atualização. Também o facto de o método construtivo ser misto (paredes em terra e estrutura metálica) fez com que os valores não fossem exatamente coerentes se considerássemos todos os elementos construtivos (paredes, pavimentos, cobertura).

Espero que, este trabalho possa ser uma fonte para próximos trabalhos de investigação com este propósito, pois seria interessante aprofundar a metodologia de Avaliação de Ciclo de vida (ACV) com recurso ao ICE. Ainda é de salientar, que no ponto de vista da investigação científica seria aliciante elaborar um estudo a justificar a introdução de valores específicos para Portugal na base de dados do ICE, de forma a obter valor absolutos para futuras avaliações de ciclo de vida.

Conclusivamente, acredito que após a elaboração do presente trabalho o conceito de sustentabilidade estará sempre presente no meu percurso, assim como estarei sempre aberta a novos desafios e sobretudo espero que o presente trabalho sirva de elemento de introdução de pesquisa para aqueles que queiram projetar de forma ambientalista, no que toca ao consumo energético de soluções construtivas em edifícios de grande e pequeno escala.

8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Capítulo 8

8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

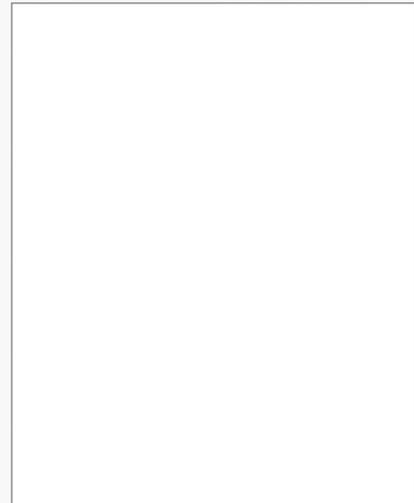
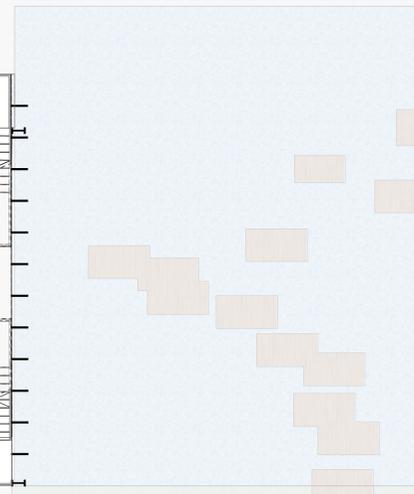
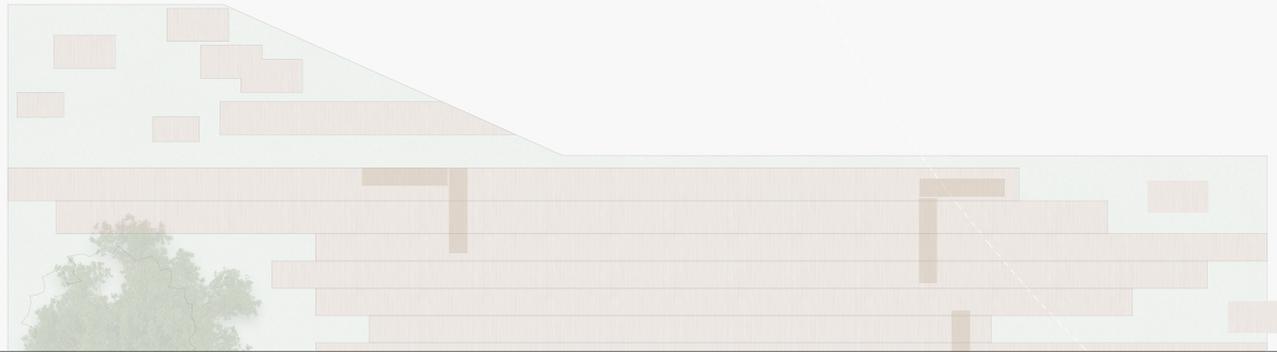
- (UE), U. E. (2004). *Working group on sustainable construction: Final Report*.
- Aguiar, B., Camões, A., Fangueiro, R., Eires, R., Cunha, S., & Kheradmand, M. (2014). *Materiais de Construção Sustentáveis*.
- Allen, A. (9 de Julho de 2018). *Economia Linear, Economia Circular e Blockchain*. Obtido de A Criação.com: <http://www.acriacao.com/economia-linear-economia-circular-e-blockchain/>
- Andrade, T. F. (2013). *Integração Da Análise Ciclo De Vida Nas Práticas De Projetos De Edifícios*. Porto: Faculdade De Engenharia Da Universidade Do Porto.
- Araújo, L. C. (2016). *Caracterização de uma biblioteca de paredes na metodologia BIM*. Lisboa.
- Ataide, F., Eires, R., Camões, A., & Jesus, C. (2016). Argamassas de revestimento para paredes de tabique. *II Congresso Luso Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis*. II CLB-MCS 2016.
- Bâtiment, C. I. (1999). *Agenda 21 on sustainable construction*. CIB Report Publication.
- BARBOSA Normando Perazzo, G. K. (2014). Earth construction and sustainability. *Trans Tech Publications, Switzerland*, 433-446.
- Brito, J., & Flores, I. (2003). *Paredes em Terra Crua*.
- Commission on Environment and Development. (4 de Agosto de 1987). *Our Common Future*.
- Correia, M. (2010). *Arquitetura de Terra em Portugal: Abordagem às Técnicas Construtivas*.
- Duarte, S. R. (2013). *CONSTRUIR COM A TERRA- Uma Proposta de Intervenção no Bairro do Barruncho, Odiveelas*.
- Estanqueiro, B. A. (2012). *Análise de ciclo de vida da utilização de agregados reciclados no fabrico de betão*.
- Falcão, J. M. (2014). *Arquitetura Contemporânea em Terra*.
- Ferreira, C. d. (Outubro de 2012). *A SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA CONSTRUTIVO EM TERRA. UM PROJECTO DE REABILITAÇÃO*.
- Ferreira, J. V. (2004). *Análise de Ciclo de Vida dos Produtos*.
- Ferreira, L. M. (2015). *ARQUITETURA DE TERRA, Das técnicas construtivas ao desenvolvimento de competências*. Porto.
- Foundation, E. M. (2017). *Economia circular*. Obtido de Ellen MacArthur Foundation: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular/conceito>
- Franke, L. N. (2017). *Arquitetura Contemporânea em Terra: modos de ver e de fazer*.
- GEJER, L., & TENNENBAUM, C. (17 de Março de 2017). *10 coisas que precisa saber sobre a economia circular*. Obtido de Ideia Circular: <https://www.ideiacircular.com/10-coisas-que-voce-precisa-saber-sobre-a-economia-circular/>
- Gervasio, H., & Dimova, S. (2018). *Model for Life Cycle Assessment (LCA) of buildings*. EUR 29123 EN, Publications Office of the European Union, 2018.
- Giesekam, J., & Pomponi, F. (2018). Briefing: Embodied carbon dioxide assessment in buildings: guidance and gaps. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering Sustainability*, 334–341.

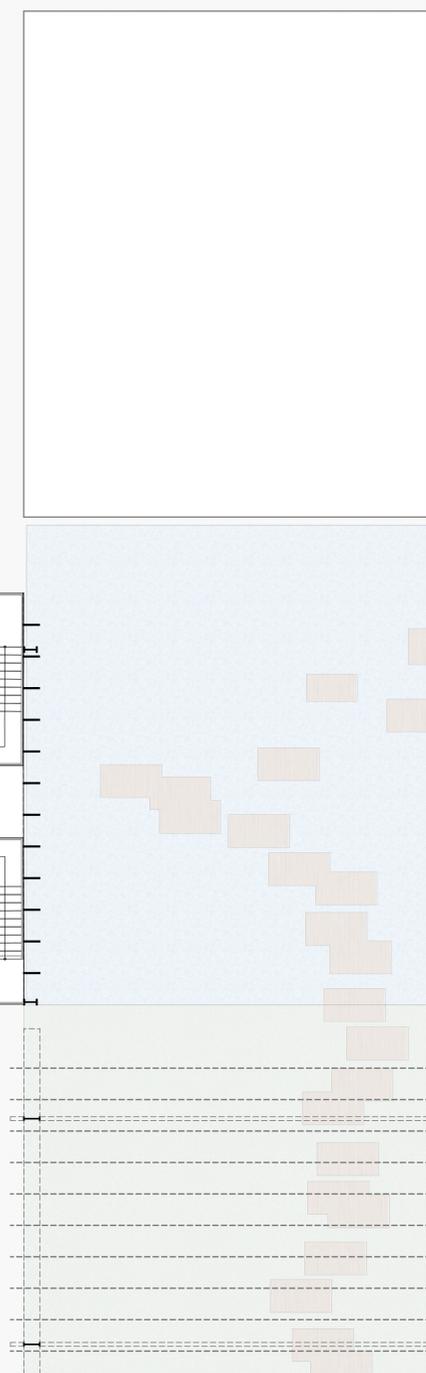
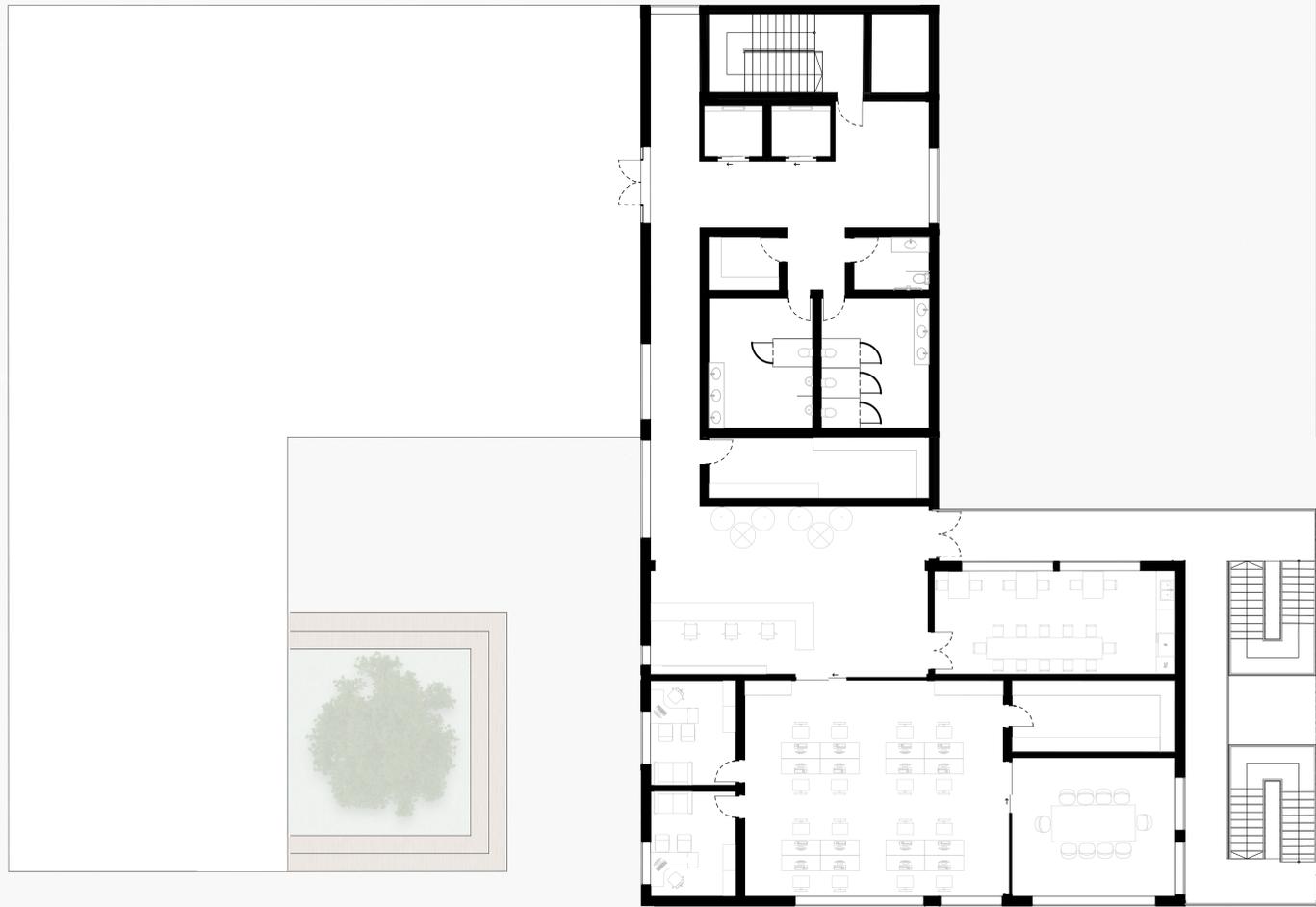
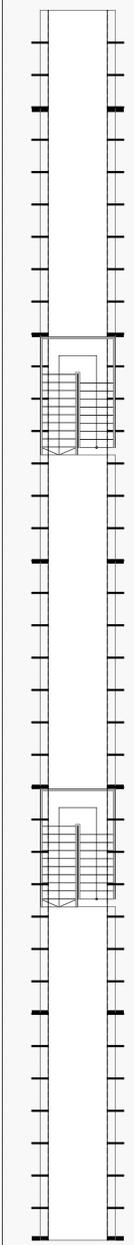
- Grazina, R. M. (2015). *Energia operacional em edifícios de habitação novos: Aplicação de uma metodologia baseada no desempenho a Portugal*. Lisboa.
- Hammond, G. P., & Jones, C. I. (2008). Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy*.
- Joensuu, T., Edelman, H., & Saari, A. (2020). Circular economy practices in the built environment. *Journal of Cleaner Production*.
- Konstantinovas, B., Bento, N. V., & Sanches, T. (2019). *Economia Circular no Setor da Construção Civil I - Ciclo dos materiais*. Lisboa: Edição digital, Comissão de Coordenação e desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo.
- Linden, J. V. (2019). Potential of contemporary earth architecture for low impact building in Belgium. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Lisboa, C. d. (2020). *Economia Linear vs. Economia Circular*. Obtido de Lisboa - Capital Verde Europeia 2020: <https://lisboagreencapital2020.com/noticias/economia-linear-vs-economia-circular/>
- Mateus, R. (2004). *Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção*. Universidade do Minho, Portugal.
- Mourão, J., & Pedro, J. B. (2012). *Princípios de edificação sustentável*. Lisboa: Laboratorio Nacional de Engenharia Civil.
- Narayanaswamy, A. H., Walker, P., Reddy, B. V., Heath, A., & Maskell, D. (2020). Mechanical and thermal properties, and comparative life-cycle impacts, of stabilised earth building products. NP 14040. (2006). Norma Portuguesa. *Gestão ambiental Avaliação do ciclo de vida, Princípios e enquadramento*.
- NP 14044. (2006). Norma Portuguesa. *Gestão ambiental Avaliação do ciclo de vida, Requisitos e linhas de orientação*.
- Reis, C. F. (2014). *A Arquitectura em terra, na Arquitectura Contemporânea*.
- Rocha, M. (2017). *VALE DAS LOBAS- Dossier BTC*.
- Santos, C. A., & Matias, L. (2006). Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. Lisboa: LNEC.
- Santos, M. F. (2010). *Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil*. Universidade Sagrado Coração - USC - Departamento de Arquitetura e Urbanismo.
- Silva, M. F. (2015). *Blocos de terra compactada com e sem materiais cimentícios*. Lisboa.
- Soares, S. R., Souza, D. M., & Pereira, S. W. (2014). *A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil*.
- Torgal, F. P., Eires, R. M., & Jalali, S. (2009). *Construção em Terra*. Portugal: TecMinho.
- Unizambeze, M. M., & Santos, C. C. (2017). *Alvenaria de sacos de terra- Análise do ciclo de vida*.
- Williamson, L. (s.d.). Obtido de https://www.hugedomains.com/domain_profile.cfm?d=earthcomegablock&e=com

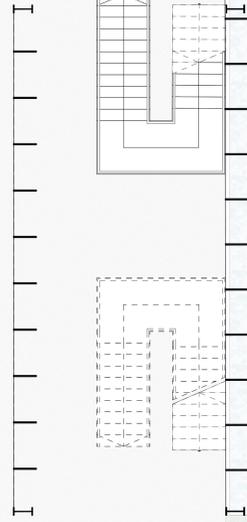
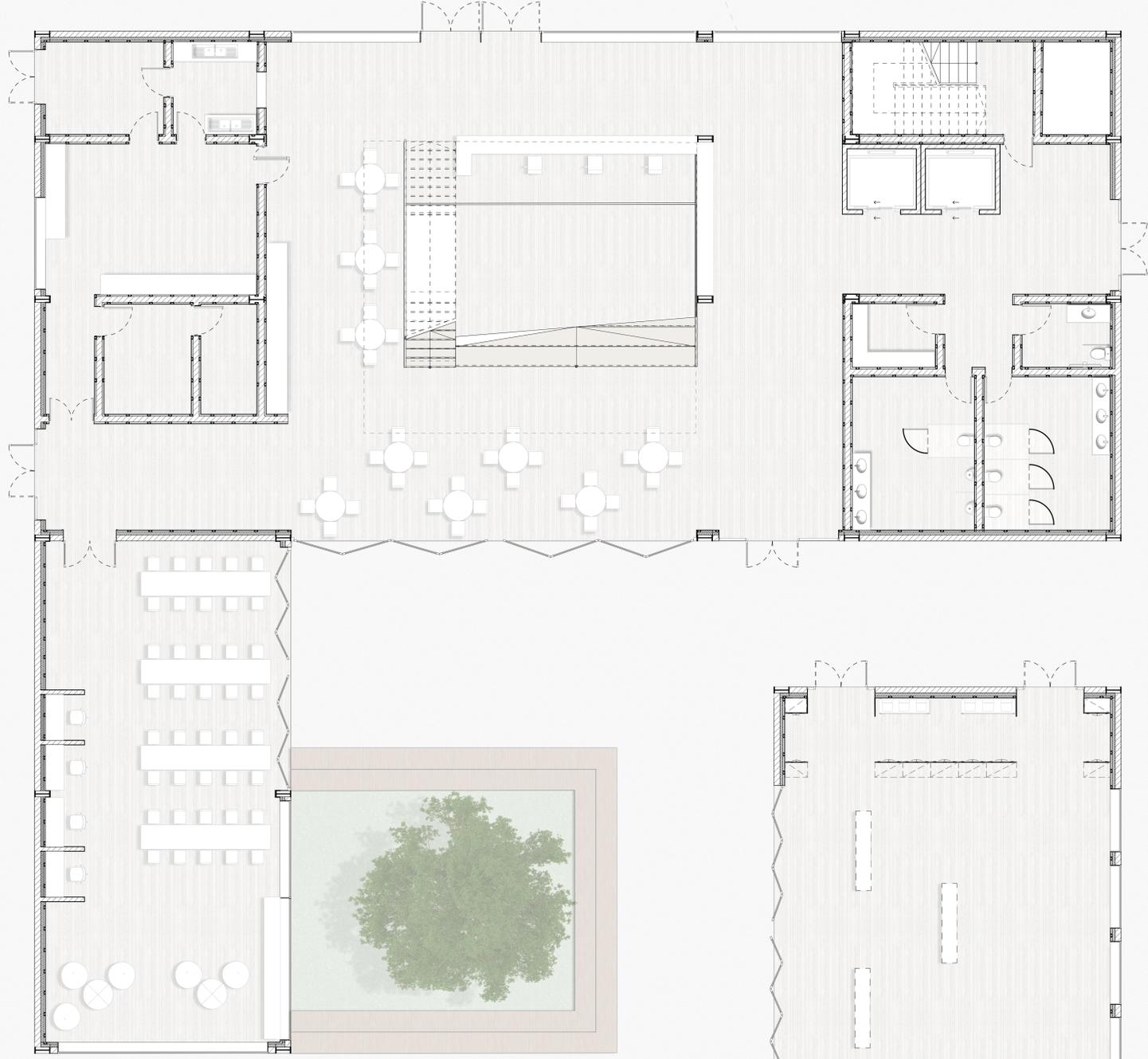
9 ANEXOS

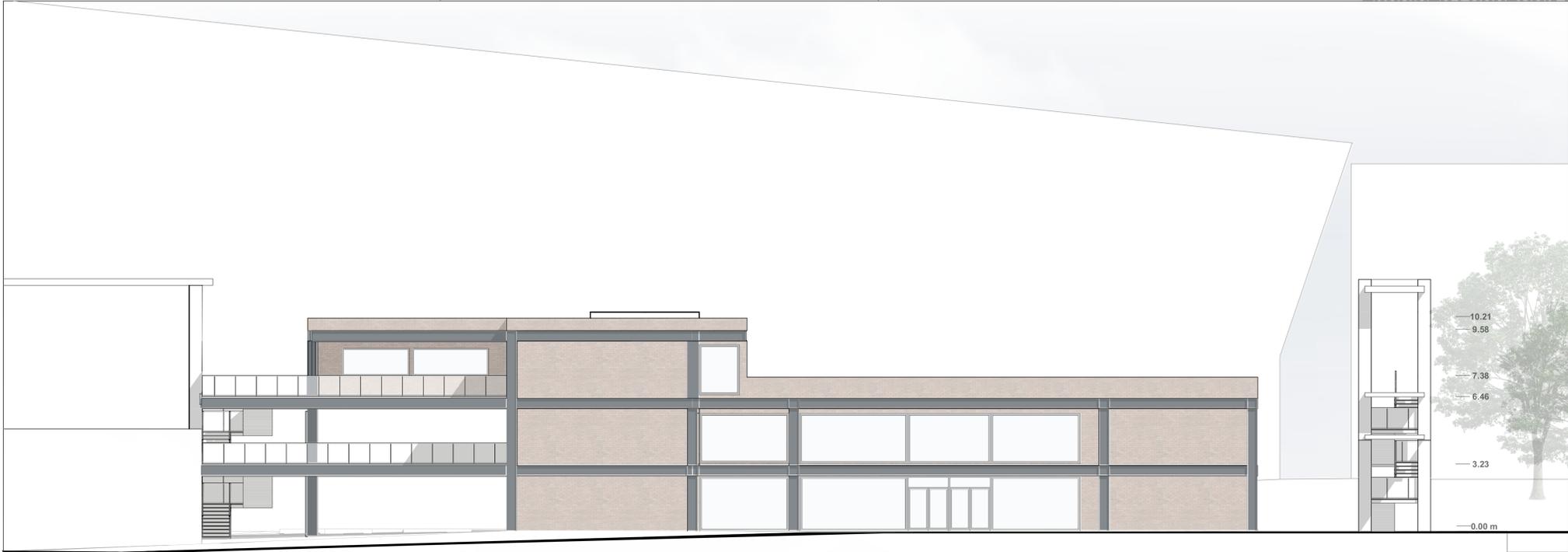
Capítulo 9













SUSTAINABILITY SCHOOL

CORTE A, CORTE B



ESCALA

1:200

ANEXO F