



**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**

**ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

**Estudo Comparativo Entre Estruturas em  
Madeira e Estruturas em Betão Armado**

**Ângela Filipa Ferreira Vara**

Orientador: Prof. Soheyl Sazedj

Co-Orientador: Prof.<sup>a</sup> Teresa Pinheiro-Alves

**Mestrado em Engenharia Civil**

Área de especialização: *Construção*

Dissertação

Évora, 2015



**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**

**ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

**Estudo Comparativo Entre Estruturas em  
Madeira e Estruturas em Betão Armado**

**Ângela Filipa Ferreira Vara**

Orientador: Prof. Soheyl Sazedj

Co-Orientador: Prof.<sup>a</sup> Teresa Pinheiro-Alves

**Mestrado em Engenharia Civil**

Área de especialização: *Construção*

Dissertação

Évora, 2015

### **Agradecimentos:**

Gostaria de dirigir os meus sinceros agradecimentos ao meu Orientador Professor Doutor Soheyl Sazedj, e a minha Co- Orientadora Professora Doutora Teresa Pinheiro Alves, gostaria de agradecer, todo o apoio e disponibilidade prestada durante a realização da minha dissertação.

Um agradecimento aos meus pais, à minha irmã e a toda a minha família que me permitiram a realização deste Mestrado e desta Dissertação e sempre demonstraram apoio incondicional em todos os momentos bons e menos bons

Um agradecimento final, aos meus amigos que sempre me incentivaram e nunca permitiram que desistisse de terminar esta longa caminhada.

## **Resumo:**

Esta dissertação, visa a realização de um estudo comparativo entre duas estruturas em betão armado, e em madeira, em Portugal, a nível económico, consumo de energia e de emissões de CO<sub>2</sub>.

O estudo é realizado através da comparação de dois modelos arquitectónicos iguais, que são projectados para a estrutura em betão e para a estrutura em madeira. Ambos os modelos cumprem condições físicas mínimas relativas a estabilidade e conforto ambiental.

A comparação permite concluir que a madeira tem um comportamento melhor do que o betão armado em relação as emissões de CO<sub>2</sub> e de consumo de energia.

No que diz respeito à comparação entre a madeira e o betão em termos de consumo de energia pode-se dizer, que no caso do betão o consumo é mais elevado do que a madeira cerca de 22%, o mesmo acontece para as emissões de CO<sub>2</sub>, em que é cerca de 45% maior.

Em relação aos custos a madeira tem um valor superior ao da construção em betão armado de 10%.

## **Palavras-chave:**

Construção Sustentável, madeira, madeira lamelada, madeira laminada, betão armado

## Abstract

This thesis titled "Comparative Study between wooden structures and reinforced concrete structures", aimed at carrying out a comparative study between the two structures, both economically and in terms of consumption of energy and release of CO<sub>2</sub>.

The study is conducted by comparison of two equal computed models, which are designed once for concrete structure and the other for timber structure. Both models fulfill minimum physical conditions concerning stability and environmental comfort.

The comparison allows concluding that the timber has better behavior than reinforced concrete, regarding, CO<sub>2</sub> emissions and energy consumption.

Concerning the comparison between the timber and concrete in terms of energy consumption, it can be said that in the case of concrete consumption is higher than about 15% of the consumption of energy for wood structure. The same is true for CO<sub>2</sub> pollution, approximately 45% higher.

With respect to the cost difference between the values is from about 10%, in which case the timber has superior construction value.

## Keywords

Sustainable construction, wood, reinforced concrete

## Índice

1- Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos do trabalho.....	3
1.3 Metodologia do Trabalho.....	4
1.4 Estrutura do trabalho .....	5
2 - Estado de Arte .....	6
2.1 Estado de Arte prática no mundo .....	6
2.2 Estado de Arte no contexto Nacional.....	13
2.3 Enquadramento Normativo .....	19
2.4 Características da madeira .....	21
2.4.1 Proveniência da madeira.....	25
2.4.2 Estrutura macroscópica da madeira.....	27
2.4.3Estrutura microscópica da madeira.....	27
2.4.4 Propriedades da Madeira .....	28
2.5 Características do betão – armado .....	29
2.5.1 Betão.....	29
2.5.1.1 Ligantes .....	30
2.5.1.2 Água.....	31
2.5.1.3 Agregados .....	32
2.5.1.4 Adições.....	32
2.5.1.5 Adjuvantes.....	33
2.5.2 Aço .....	34
3 Desenvolvimento Sustentável.....	36
3.1 Desenvolvimento Sustentável.....	36
3.2 Construção Sustentável .....	40
3.3 Impacte ambiental dos edifícios .....	42
3.4 Ecologia dos materiais .....	44
3.5 Consumo de energia na construção .....	47
3.5.1 Energia Incorporada .....	51
3.6 Emissões de CO <sub>2</sub> .....	52
4 Trabalho experimental.....	55
4.1 Descrição de todo o procedimento betão .....	57

4.2 Descrição de todo o procedimento Madeira:.....	62
4.3 Quantificação dos materiais.....	66
4.4 Energia Incorporada .....	70
4.5 Emissões de CO <sub>2</sub> .....	72
4.6 Custos.....	74
4.7 Comparação.....	77
4.7.1 Comparação Energia.....	78
4.7.2 Comparação de Emissões de CO <sub>2</sub> .....	79
4.7.3 Comparação de Custos.....	80
5 Construção modular em Portugal.....	81
6- Conclusão.....	90
7-Referencias Bibliográficas .....	91
Referencias a Livros/Artigos/Dissertações .....	91
<b>Anexos</b> .....	95

## Índice de Figuras

Figura 1- Hórreo Governo , Castro Rey ; Fonte : <i>Horreos de galicia</i> .....	6
Figura 2 – Kiyomizu-dera, Fonte : <i>www.theodora.com</i> .....	7
Figura 3- Dimensões da Ponte Kintai kyo , Fonte : <i>http://kintaikyo.iwakuni-city.net</i> .....	8
Figura 4 – Ponte KintaiKyo , Fonte : <i>http://kintaikyo.iwakuni-city.net</i> .....	8
Figura 5- Edifício Tamedia em Construção, Fonte : <i>www.swissinfo.ch</i> .....	9
Figura 6 – Edifício Tamedia, Fonte : <i>www.hicarquitectura.com</i> .....	9
Figura 7- Primeira construção em Betão- Barco de Lambot ; Fonte: <i>oseculoxx.blogspot.com</i> ...	10
Figura 8 – Viaduto Duarte Pacheco, Fonte : (Appleton, Delgado, Costa, Pedrinho, & Grave dos Santos, 2004).....	11
Figura 9 – Barragem Cahora Bassa, Fonte: <i>icote.pt</i> .....	12
Figura 10 – Evolução do Valor Acrescentado Bruto no Setor da Construção e do Produto Interno Bruto, em preços Correntes , Fonte : <i>INE, Contas Nacionais</i> .....	16
Figura 11 – Meo Arena Lisboa , Fonte : <i>ruidosono</i> ,2013 .....	18
Figura 12– Herdade do Esporão, Fonte: <i>Jular</i> .....	18
Figura 13 - Estrutura em A, Fonte: <i>Coutinho,1999</i> .....	20
Figura 14 – Estrutra em Caixa, Fonte: <i>Coutinho,1999</i> .....	21
Figura 15 - Vigas de madeira lamelada colada Fonte: <i>www.jular.pt</i> .....	22
Figura 16- Processo de fabrico do OSB, Fonte : <i>www.jular.pt</i> .....	25
Figura 17 – Direções de Crescimento da árvore, Fonte : <i>www.ebah.com</i> .....	26
Figura 18- Processo de produção do cimento e do betão, Fonte: <i>Coutinho, 2006</i> .....	29
Figura 19 – Pilares do desenvolvimento sustentável, Fonte: (Mateus, 2004).....	36
Figura 20- Impacte do meio construido na sua envolvente, Fonte: (Mateus, 2004).....	43

Figura 21- Consumo de energia por setor de atividade, <i>Fonte DGEG</i> .....	48
Figura 22 -Produção de Energia Elétrica a partir de Fontes Renováveis, <i>Fonte DGEG</i> .	49
Figura 23- Consumo de Energia Primária por ano – <i>Ktep Fonte DGEG</i> .....	50
Figura 24 – Aumento de CO <sub>2</sub> e de Temperatura por decada, <i>Fonte: (Henriques,2011)</i> .....	52
Figura 25 – Aumento das Emissões de CO <sub>2</sub> por seculo, <i>Fonte: (Guy-Quint, 2005)</i> .....	53
Figura 26 – Planta da casa .....	55
Figura 27-Parede modelo de betão armado .....	57
Figura 28 – Pilar de betão.....	57
Figura 29 - Exemplo de parede de tijolo, <i>Fonte: CYPE</i> .....	58
Figura 30 - Aplicação de isolamento, pelo exterior em fachadas ventiladas, <i>Fonte : CYPE</i> .....	59
Figura 31- Demonstração de colocação de Reboco, com camada de regularização , <i>Fonte: CYPE</i> .....	59
Figura 32 – Planta com os pilares demonstrados .....	60
Figura 33 – Exemplo de cobertura em betão, <i>Fonte: SPRAL</i> .....	60
Figura 34 - Parede de Madeira, sem pilares.....	62
Figura 35 – Parede de madeira , pilar .....	63
Figura 36– Exemplo de Colocação de Placas OSB, <i>Fonte : www.jular.pt</i> .....	63
Figura 37 – Placas de Aglomerado de Cortiça Expandida ( <i>fonte: Amorim Isolamentos</i> )	64
Figura 38– Exemplo de cobertura , <i>Fonte : Fkcomercio</i> .....	65
Figura 39 - Planta da habitação em betão .....	66
Figura 40 – Energia Incorporada – Solução Construtiva de Betão Armado .....	70
Figura 41 – Energia Incorporada – Solução Construtiva de Madeira .....	71
Figura 42 – CO <sub>2</sub> – Solução Construtiva de Betão .....	72
Figura 43 – CO <sub>2</sub> – Solução Construtiva em Madeira .....	73
Figura 44 -Comparação da Energia .....	78
Figura 45 – Comparação de CO <sub>2</sub> .....	79
Figura 46 – Comparação de Custos.....	80
Figura 47 – Numero de fogos Licenciadas e Concluidos por Trimestre – <i>Fonte INE</i> .....	81
Figura 48 – Numero de Fogos Licenciados e Concluidos por Região ( 1º e 2º T de 2014 ) <i>fonte INE</i> .....	82
Figura 49 Exemplo de casa em madeira tipologia T3 150m <sup>2</sup> .....	84
Figura 50- Planta da casa tipologia T3 150m <sup>2</sup> .....	85
Figura 51- Planta da casa em 3D.....	85
Figura 52- Perspectiva da habitação T3.....	86
Figura 53 – Ilustração da habitação .....	87
Figura 54- Planta da casa da empresa B .....	87
Figura 55- Vista da Casa da Empresa C .....	88
Figura 56– Planta da casa da Empresa C.....	89

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Divisões da Habitação com as áreas.....	56
Tabela 2 – Varões utilizados.....	67
Tabela 3 – Quantidade de Betões.....	67
Tabela 4 – Quantidade Restantes Materiais .....	67
Tabela 5 – Quantidade de materiais para a cobertura em unidade .....	67
Tabela 6 – Peso dos componentes da estrutura de betão-armado .....	68
Tabela 7 – Quantidade de materiais, em unidades .....	69
Tabela 8- Quantidades restantes materiais.....	69
Tabela 9 – Quantidades dos materiais para a cobertura .....	69
Tabela 10- Pesos dos materiais.....	69
Tabela 11 – Energia Incorporada Construção betão armado .....	70
Tabela 12- Energia Incorporada Construção Madeira .....	71
Tabela 13 – Emissões de CO <sub>2</sub> para a estrutura de betão armado .....	72
Tabela 14 – Emissões de CO <sub>2</sub> para a estrutura em madeira .....	73
Tabela 15 – Custos – Solução Construtiva em Betão .....	75
Tabela 16 – Custos – Solução Construtiva em Madeira.....	76

### **Lista de Siglas e Abreviaturas**

Adene – Agencia para a Energia;

ANQEP – Agencia Nacional para a qualificação e o ensino profissional;

AQS – Águas Quentes Sanitárias;

CMAD – Comissão Mundial Ambiente e desenvolvimento;

DGEG – Direcção Geral da Energia e Geologia;

ECO.AP - Programa de eficiência Energética para a Administração Pública;

GEE – Gases de Efeito de Estufa;

IPQ – Instituto Português da Qualidade;

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil;

LNEG – Laboratório Nacional de Engenharia Geológica;

NDP – Nationally Determined Parameters;

PFC – Perfluorocarbonetos;

PNAEE -- Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética;

PNAER - Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis;

RJ-SCIE- Regulamento Jurídico – Segurança Contra Incêndios em Edifícios;

SCIE – Segurança Contra Incêndios em Edifícios.

## 1- Introdução

### 1.1 Enquadramento

A construção civil é uma das áreas mais importantes do mercado nacional e internacional. Atualmente esta área atravessa uma vasta crise, em Portugal, que engloba a construção nova, a reabilitação, pequenas obras de remodelação das habitações do cidadão comum, e conservação. A crise do setor afeta todos os que a esta área estão envolvidos, e por isso este trabalho aborda uma alternativa à construção típica em betão armado, utilizando um material facilmente renovável, a madeira. Inúmeros estudos demonstram que a madeira como material de construção para alguns tipos de construção consegue obter resultados tão bons ou melhores do que os obtidos através do betão armado, a nível estrutural.

Com a crescente importância e preocupação do cidadão com a poluição e com a degradação do meio ambiente, surge então a ideia de desenvolver este trabalho de dissertação, sobre a construção em madeira, por este ser um material rapidamente renovável.

“A madeira é um dos materiais estruturais mais antigos utilizados pelo homem na construção de edificações. Alguns dos edifícios mais antigos do mundo são construções de madeira. Templos japoneses do século VII, igrejas norueguesas do século XII e habitações da Idade Média, trazem até à atualidade a antiga ligação da civilização com os edifícios estruturados em madeira.”. (Laranjeira, 2009)

A madeira é um material com boas características e pode passar a ser uma alternativa à construção em betão armado, como já acontece em inúmeros países a nível mundial.

A construção em betão armado é uma das tipologias construtivas mais utilizadas na construção a nível nacional. É também uma técnica construtiva bastante eficaz e com muita eficiência e rapidez na sua execução. (LNEC,2015)

“Construir com madeira apresenta inúmeras vantagens sob os mais variados pontos de vista, o que justifica os cerca de 90% de construção habitacional em madeira em regiões desenvolvidas como a Austrália, Escandinávia e América do Norte” (Cachim, 2007).

A construção em betão armado, quando apareceu foi uma grande revolução na área das tecnologias, que permitiu que os edifícios crescessem mais em altura, e que tivessem outras tipologias construtivas. É um material muito versátil e é muito usado hoje em dia, mas também tem as suas desvantagens, sendo uma delas e a que se considera mais importante no contexto desta dissertação, que é o facto de o betão ser um material não renovável.

A construção em betão armado é uma construção que utiliza essencialmente como recursos, aço, o cimento, os agregados e a água. *“Este tipo de construção combina as vantagens do aço-tem alta resistência à tração - e do betão - tem uma elevada resistência à compressão. O betão armado não inflamável e pode ter um elevado grau de resistência ao fogo.”* (dlubal, 2015)

A madeira é um material renovável. Este material tem boas características de durabilidade, é um excelente isolador térmico, acústico e eléctrico, tem boas características de resistência ao fogo e aos sismos. (Cachim, 2007)

A madeira ao longo dos anos, tem se mostrado um material com imenso potencial para a construção. Atualmente, e cada vez mais, se tem falado em construção sustentável e em poupar os recursos não renováveis. Construção sustentável, definida por Charles Kibert em 1994 é a *“Criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente dos recursos”*.

## 1.2 Objetivos do trabalho

Os objetivos deste trabalho passam por verificar se a construção em madeira é mais sustentável ambientalmente que a construção em betão armado, verificar qual dos dois casos produz mais emissões de  $\text{CO}_2$ , fazer uma comparação do consumo de energia para ambos os casos e ainda fazer uma comparação de custos relativamente a estas duas tipologias construtivas.

Nesta comparação pretende-se verificar qual a melhor solução, no que diz respeito a cada um destes aspetos.

Irá também fazer-se uma análise económica das duas soluções apresentadas, uma vez que atualmente, os custos de construção também são tidos em conta para a escolha da solução apresentada.

Pretende-se ainda fazer uma análise a três modelos de casas pré-fabricadas em madeira em Portugal.

Nesta dissertação fazer-se-á um estudo comparativo entre as duas tipologias construtivas, a construção em betão armado e a construção em madeira. Esta comparação passará por comparar um modelo habitacional desenhado para o efeito, sendo uma moradia com um único piso, de tipologia T2, composta por dois quartos, uma sala, uma cozinha e uma casa de banho, e um corredor. O estudo passa por “construir” ficticiamente a casa nos dois materiais e comparar os custos de construção de cada uma delas, sendo que se pretende que tenham características de isolamento térmico e acústico e resistência semelhantes.

### 1.3 Metodologia do Trabalho

Para proceder à comparação é considerada uma construção com duas estruturas, uma em madeira e a outra em betão armado.

Para executar a construção de cada uma das habitações, é necessário dimensionar, e escolher os materiais a aplicar, as quantidades necessárias, e escolher o modelo com características semelhantes para ambos os casos, no que diz respeito à resistência mecânica, resistência térmica e acústica.

Através da ISO14040, que indica como se pode fazer a comparação correta e criar as condições necessárias e semelhantes, condições essas que são de estabilidade mínima necessária, e de conforto ambiental como estipulado em regulamento.

Posteriormente ao cálculo e de escolhida a solução para cada um dos modelos, foram quantificados os materiais a utilizar.

Posteriormente, foi necessário fazer uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de encontrar os indicadores relevantes para a comparação, nomeadamente de consumo de energia e de produção de CO<sub>2</sub>. Após a pesquisa dos indicadores foi possível então efetuar o cálculo do consumo de energia e produção de CO<sub>2</sub> para cada um dos modelos utilizados, sendo a partir daí possível proceder a comparação destes resultados.

A última análise que é feita, a análise económica, e posterior comparação dos custos de construção de cada uma das tipologias construtivas, recorrer-se-á ao gerador de preços para obter os preços unitários de cada componente da construção.

Por último estuda-se com dados obtidos a aplicação de três casas pré-fabricadas em madeira, em Portugal.

## 1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado por 4 capítulos em que no primeiro capítulo será abordado o estado de arte, isto é, o estado de arte no mundo e em Portugal, a legislação aplicável ao caso de estudo, as características da madeira e do betão armado.

No segundo capítulo será falado do desenvolvimento sustentável, definindo-o, bem como construção sustentável, energia consumida na construção e as emissões de CO<sub>2</sub>.

O terceiro capítulo é a parte prática da dissertação, onde irá ser descrito todo o edifício, descrita cada uma das tipologias, ou seja o edifício em betão e o edifício em madeira. Irá também falar-se da energia, das emissões de CO<sub>2</sub> e dos custos e por fim fazer a sua comparação.

No quarto capítulo irá falar-se sobre a construção pré fabricada em madeira em Portugal, onde serão apresentados três modelos de diferentes empresas que comercializam casas de madeira pré fabricadas em Portugal.

## 2 - Estado de Arte

### 2.1 Estado de Arte prática no mundo

A madeira, a pedra e a terra, representam os materiais de construção mais usados.

A utilização da madeira é distinta consoante a localização e disponibilidade. Nos países mais frios e com floresta abundante, a madeira constituía o principal material de construção. Em outros países em que a quantidade de madeira é menor, esta é apenas utilizada nalguns elementos estruturais como lajes, escadas e coberturas. Também é utilizada como revestimentos de piso e mobiliário.

Os vestígios mais antigos da construção em madeira datam de cerca de 5000 a.C., as mais antigas que se conhecem eram construções subterrâneas, denominadas por “*pit-houses*”. Estas estruturas eram frequentes na América do Norte, e na América do Sul, e nas regiões Europeias dominadas pelos povos anglo-saxónicos. (Vilela, 2013)

Datadas do período Neolítico, existem hoje ainda os conhecidos *Hórreos da Galiza*, que eram não só utilizados para o armazenamento e a secagem do milho, mas também como dispensa. Estes *Hórreos*, eram pequenos edifícios que estavam elevados do solo com estacas de madeira ou de pedra. Eram construídos em madeira ou em pedra, e ainda hoje existem inúmeros espalhados não só por Espanha, mas também no Norte de Portugal, existem alguns exemplares deste tipo de construção.

Na figura 1 é mostrado um *Hórreo*, localizado em Espanha e construído em madeira.



Figura 1- Hórreo Governo , Castro Rey ; Fonte : *Horreos de galicia*

A China e o Japão, têm uma forte tradição na construção em madeira, que remonta à dinastia *Sung* (960 -1270 d.C.). Na tradição da construção tradicional Japonesa

destacam-se o *Templo Horyu Ji*, em Nara, considerada a construção em madeira mais antiga do mundo (projeto original de 607 d.C), apesar de já ter existido antes construção em madeira, e o Palácio *katsura*, datado do sec. XVII, em Quioto. (Vilela, 2013)

Na Europa do Norte e de Leste, o elemento básico da construção era a madeira, pois existia em abundância bosques de coníferas.

Datado de 778, localizado a meio caminho de OTOWA, na parte Ocidental de Quioto, *Kiyomizu-dera*, é um templo histórico, construído em madeira. Este edifício foi incendiado várias vezes. Este edifício é Património Mundial da UNESCO, e foi construído usando um método muito especial, com 12 metros de altura, pilares montados sem usar um único prego e o piso foi instalado usando mais de 410 placas de Cipreste, conforme ilustrado na figura 2.



Figura 2 – Kiyomizu-dera, Fonte : [www.theodora.com](http://www.theodora.com)

Outra obra bastante famosa e antiga em madeira, é a Ponte Kintai também no Japão, que a semelhança dos pilares do edifício Kiyomizu-dera foi construída sem um único prego. Esta ponte é formada por cinco aros sustentados por pilares de pedra maciça. Esta construção data do ano 1673, tendo sido destruída em 1950, por um tufão e mais tarde reconstruída por os habitantes locais.

Na figura 3 apresenta-se as dimensões de cada um dos aros bem como da sua altura.

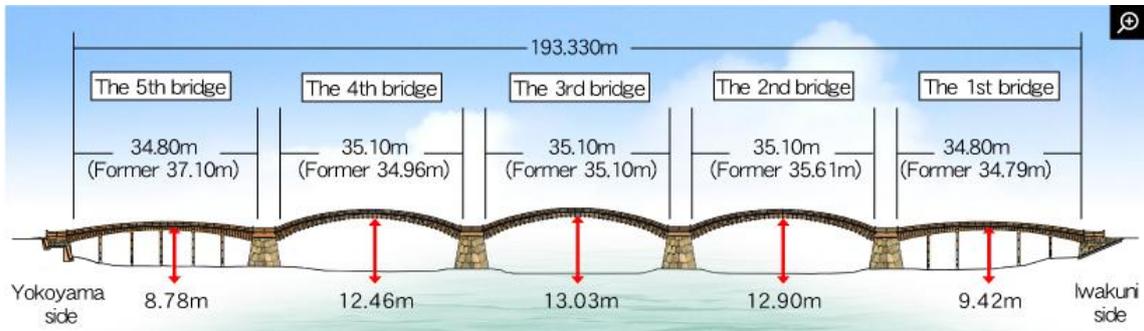


Figura 3- Dimensões da Ponte Kintai kyo , Fonte : <http://kintaikyo.iwakuni-city.net>

Na figura 4, esta apresentada uma imagem real da Ponte Kintai Kyo.



Figura 4 – Ponte KintaiKyo , Fonte : <http://kintaikyo.iwakuni-city.net>

Na era moderna, no centro de Zurique está o maior edifício do mundo construído com madeira. O autor do projeto é o arquiteto Japonês Shigeru Ban, que também é conhecido pelas suas obras em papelão.

“As formas especiais dos pilares e vigotas só poderiam ser feitos em madeira, graças ao caráter suave própria desse material. Elas foram produzidas com tecnologia suíça, a mais desenvolvida do mundo nessa área”, sublinha Shigeru Ban. Na figura 5 esta apresentada uma imagem da construção do edifício, e na figura 6 esta apresentada uma imagem da construção final.



Figura 5- Edifício Tamedia em Construção, Fonte : [www.swissinfo.ch](http://www.swissinfo.ch)



Figura 6 – Edifício Tamedia, Fonte : [www.hicarquitectura.com](http://www.hicarquitectura.com)

No início do século XX, com o desenvolvimento industrial, surgiu um novo material, o betão armado. Desde então, e rapidamente o betão foi assumido como o principal material de construção aliado ao desenvolvimento industrial. O desenvolvimento do betão armado originou que a madeira passasse a ser um elemento de construção secundário.

Já os antigos Romanos usavam um material que era bastante semelhante em termos de características com o betão, para as suas construções. Estes adicionavam ainda adjuvantes e adições. As suas maravilhas arquitetónicas como o Coliseu e o Panteão, tiveram esta tipologia construtiva associada, que consistia na mistura de terras de origem vulcânica com propriedades de endurecimento sob a ação da água. (Appleton J.)

Em 1824, foi patenteado o cimento Portland por Joseph Aspdin, resultado de um estudo de vários anos e de vários investigadores (Smeaton em 1758, James Parker em 1824 e Louis Vicat em 1818). ([1] Appleton)

Em 1836, na Alemanha é realizado o primeiro ensaio à compressão e à tração deste novo material de construção. ([1] Appleton)

*“As primeiras referências ao betão armado datam de 1830, no entanto o barco ferrocimento realizado pelo Francês Jean- Louis Lambot em 1848 é reconhecido como a obra mais antiga de betão armado ainda existente.”* ([1] Appleton)

Na figura 7, é apresentada uma imagem do barco de ferrocimento.

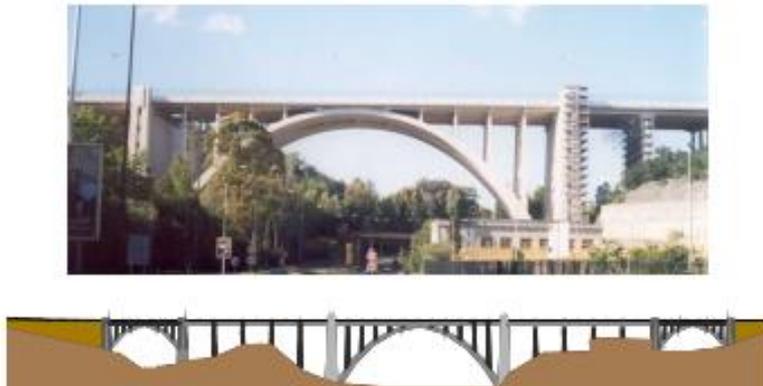


Figura 7- Primeira construção em Betão- Barco de Lambot ; Fonte: [oseculoxx.blogspot.com](http://oseculoxx.blogspot.com)

Anos mais tarde, em 1902, surge o primeiro edifício alto, construído em betão armado é o edifício *Ingalls*, em Cincinnati Ohio Us.

*Em 1906 são publicadas as primeiras instruções francesas (Regulamento), traduzidas e publicadas em 1907 pela Revista de Obras Públicas e Minas da Associação Portuguesa dos Engenheiros Cívicos, com o título “As Instruções Francesas para o Formigão Armado” ([1] Appleton)*

Uma obra de Betão armado conhecida em Portugal é o Viaduto Duarte Pacheco em Lisboa, inaugurado em Maio de 1944. Na figura 8 está representado o Viaduto bem como o alçado do viaduto.



**Figura 8 – Viaduto Duarte Pacheco, Fonte : (Appleton, Delgado, Costa, Pedrinho, & Grave dos Santos, 2004)**

Outra obra bastante conhecida, é a barragem de *Cahora Bassa* em Moçambique, com cerca de 170 m de altura máxima acima das fundações, de abóboda em betão com dupla curvatura. (Silva, Silva, & Guale)



Figura 9 – Barragem Cahora Bassa, *Fonte: icote.pt*

## 2.2 Estado de Arte no contexto Nacional

No que diz respeito ao contexto nacional, do seu estado de arte, há muito por onde falar acerca da história construtiva em Portugal.

Desde meados dos anos 50 e até 1974, ocorreram grandes movimentos migratórios, inter-regionais, tendo por base fundamental o êxodo agrícola e rural dirigido, principalmente, no plano interno para a área metropolitana de Lisboa, e mesmo para fora do país. Em consequência disto, entre 1960 e 1970 assiste-se a uma diminuição significativa da população residente. (Pardal, Manuel Costa Lobo, & Paulo Correia, 2000)

Em 2011, existiam no País cerca de 5,9 milhões de alojamentos familiares clássicos para aproximadamente 4 milhões de famílias clássicas, correspondendo a 1,45 alojamentos por família. (INE, O parque habitacional e a sua reabilitação- Análise e Evolução 2001-2011, 2013)

*“As elevadas taxas de crescimento do parque habitacional português durante as últimas décadas fizeram com que, em 2011, uma parte significativa dos edifícios existentes fosse relativamente recente. Do total de edifícios clássicos existentes em 2011 (3 544 389), os construídos a partir de 1971 constituíam 63,1% deste parque habitacional. Estes edifícios distribuíram-se de forma aproximadamente uniforme por cada uma das décadas, sendo contudo de assinalar uma tendência de ligeira redução do número de edifícios nas últimas décadas. Os edifícios construídos entre 1946 e 1970 representavam 22,5% do parque habitacional português e os edifícios com mais de 65 anos (i.e., anteriores a 1946) representavam os restantes 14,4%.”* (INE, O parque habitacional e a sua reabilitação- Análise e Evolução 2001-2011, 2013)

A maioria do parque habitacional Português em 2011, era constituído na sua maioria por edifícios de baixa altura.

Os edifícios com um e dois pisos representavam 84,9% do total de edifícios (39,4% com um piso e 45,5% com dois pisos). Dos restantes edifícios, 9,5% tinham três pisos e 5,6% tinham quatro pisos ou mais (INE, O parque habitacional e a sua reabilitação- Análise e Evolução 2001-2011, 2013)

Em 2011, quase metade dos edifícios do País tinha estrutura de betão armado (48,6%) e sensivelmente 1/3 dos edifícios tinha estrutura constituída por paredes de alvenaria com placa (31,7%). Os restantes edifícios tinham tipos de estrutura menos representativos: paredes de alvenaria sem placa (13,6%), paredes de alvenaria de pedra solta ou de adobe (5,3%) e outros tipos de estrutura (0,8%) (INE, O parque habitacional e a sua reabilitação- Análise e Evolução 2001-2011, 2013)

Ao longo dos anos, tem havido uma constante evolução na tipologia construtiva utilizada em Portugal.

As construções primordiais em Portugal, aproveitavam fundamentalmente os materiais disponíveis na região, semelhando-se então a abrigos. Esses abrigos apresentavam diversas formas, conforme as condições do ambiente natural, e os recursos materiais que este fornecia. Em locais onde o meio ambiente assim o permitia os abrigos, eram naturais, isto é, conforme estavam na natureza, é o caso de alguns abrigos de rocha. Estes abrigos primitivos deram origem a construções de planta circular, construções estas já mais evoluídas com coberturas e construções inteiramente em pedra. A construção de planta circular evoluiu e deu origem a construção de planta quadrangular. (Galhano, Oliveira, & Pereira, 1994)

A maior expansão e mudança ocorrida foi aquando do sismo de Lisboa de 1755, em que se alterou a tipologia construtiva utilizada principalmente em Lisboa, com a principal preocupação de tornar os edifícios mais resistentes às ações sísmicas que pudessem ocorrer daí em diante.

O sistema estrutural, desenvolvido no séc. XVIII, pelos engenheiros e arquitetos militares Manuel da Maia, Carlos Mardel e Eugénio dos Santos e Carvalho constituiu uma extraordinária racionalização integrada na reabilitação sísmica dos edifícios. Este novo sistema construtivo tinha em vista ultrapassar problemas que até então não tinha sido tratado como a estabilidade dos edifícios perante as ações sísmicas, a segurança contra incêndios e a standartização dos elementos construtivos, com o objectivo de economizar tempo e dinheiro. (Ramos & Lourenço, 2000)

*“A principal característica estrutural da construção pombalina é a chamada Gaiola Pombalina, uma estrutura de madeira capaz de resistir a forças horizontais em qualquer direcção, bem como a cargas verticais.”* (Lopes, 2012)

Este sistema estrutural, um reforço tridimensional em madeira criando uma caixa monolítica chamada gaiola pombalina. Pode ser chamado o primeiro sistema mundial

de resistência sísmica com a utilização de madeira. A gaiola pombalina foi aplicada nos edifícios de alvenaria para recuperar a resistência sísmica.

Os edifícios de alvenaria constituem grande parte do edificado do Sul da Europa, Portugal fazendo parte do Sul da Europa também tem uma grande parte dos seus edifícios de alvenaria.

Em 2011, o parque habitacional português foi estimado em 3,5 milhões de edifícios e 5,8 milhões de fogos, registando assim acréscimos, face ao ano anterior, de 0,5% em ambos os casos. Em termos do número de edifícios, a região do Norte é dominante: 35% do parque habitacional existente no país situa-se nesta região. A região do Centro representa 31,2% do total de edifícios, enquanto à região de Lisboa corresponde uma proporção de 12,5%. As restantes regiões representam, em conjunto, menos de 1/4 (cerca de 21,3%) do total de edifícios existentes em Portugal. (INE, 2012)

Ao nível dos fogos, estima-se que no período entre 2001 e 2011 o crescimento médio ronde os 13%, correspondendo a mais 666 mil fogos. O comportamento regional é mais diferenciado do que o registado nos edifícios, e mais notório em algumas regiões do país, evidenciando assim a maior ou menor tendência para a construção em altura, que tão bem caracteriza as regiões do país. (INE, O parque habitacional e a sua reabilitação- Análise e Evolução 2001-2011, 2013)

A crise económica portuguesa tem tido consequências ao nível da desaceleração do PIB. Após um período de quatro anos de crescimentos anuais, o ano de 2008 ficou marcado por uma variação nula, ao que se seguiu o ano de 2009 em que se regista um decréscimo do PIB de 2,5%. Em 2010, registou-se uma pequena recuperação da atividade económica, com um aumento de 1,4%, seguida de uma nova desaceleração da atividade, em 2011. (ADENE, ANQEP, DGEG, & LNEG)

Na figura 8, esta representada a evolução do valor acrescentado bruto no setor da construção e do produto interno bruto em preços correntes.

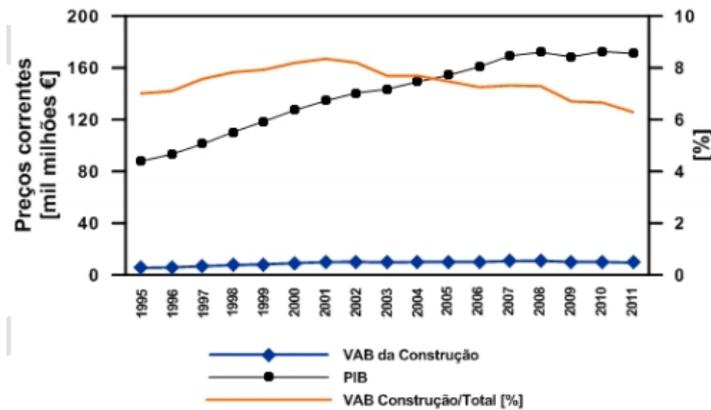


Figura 10 – Evolução do Valor Acrescentado Bruto no Setor da Construção e do Produto Interno Bruto, em preços Correntes, Fonte : INE, Contas Nacionais

A madeira é um material intemporal, usado desde as soluções mais incomuns e modernas, até a recuperação e reabilitação. Este material de construção é um material bastante versátil. Pode ser utilizado tanto no exterior como no interior.

A sua utilização passa por revestimentos de pavimento, mobiliário, a nível estrutural e em peças decorativas.

Ao longo dos tempos, nos locais onde existia abundância de crescimento de florestas, a madeira foi usada desde sempre, como material de construção.

O homem na era primitiva abrigava-se nas rochas, mas não tardou a sair delas, sendo que os primeiros materiais que se utilizaram para as primeiras construções foi a madeira e a terra.

*“As estruturas primitivas de madeira eram constituídas por ramos de árvores enterrados no solo numa forma aproximadamente elíptica, fletidos no topo e amarrados, e posteriormente cobertos por terra e folhagens formando aproximadamente uma cúpula”* (Cachim, 2007)

Segundo testemunhos arqueológicos, já no período Neolítico, se utilizavam as construções em troncos de árvore.

As construções modernas em madeira, estão baseadas estrutural e tecnicamente nas construções primitivas, que já naquela altura, satisfaziam as exigências mais elementares.

Os troncos que serviam nessa época para apoio e suporte, foram os pioneiros que deram origem à construção em madeira que temos hoje em dia, sendo que foi gradual a sua evolução.

Na Europa, uma das primeiras formas de construção em madeira foi a construção com troncos sobrepostos com cantos entalhados. *”O principal inconveniente da disposição horizontal dos troncos, consistia na maior dificuldade em conseguir que os espaços entre eles fossem tapados para evitar a infiltração de ventos e águas. Esta estanqueidade era conseguida, calafetando as fendas com telas tecidas na cor da madeira ou, nas casas mais humildes, com argila, musgo ou terra. No entanto, qualquer destes métodos apenas atenuava a penetração do vento e da chuva.”* (Cachim, 2007)

*“Na Grécia antiga as coberturas inclinadas eram realizadas com um sistema viga e escora, em que a viga de topo da cobertura se apoiava em escoras que se apoiavam em grandes vigas (que podiam ter comprimentos ate 13m) que iam de parede a parede ou numa colunata central.”* (Cachim, 2007)

Entre os anos 400 e 200 a.C. deu-se um grande desenvolvimento nas técnicas de construir em madeira.

A construção em madeira, na idade média na Europa passava por casas e celeiros, nesta época já se passaram a utilizar com frequência os elementos metálicos para facilitar as ligações.

As técnicas de construção no início do segundo milénio estavam bastante avançadas e aperfeiçoadas sendo que ainda existem estruturas construídas nessa época, como por exemplo as igrejas de madeira da Noruega, “Stavkirker”. “ A técnica utilizada consistia numa estrutura base formada por postes verticais que sustentavam as vigas de cobertura. O edifício ficava completo com pranchas altas de madeira que eram também erguidas na vertical de uma forma que faz lembrar a construção naval” (Cachim, 2007)

A madeira não era apenas utilizada para construir edifícios habitacionais, igrejas e celeiros, mas também foi o primeiro material utilizado na construção de pontes. (Marques, 2011)

Um caso conhecido de todos de utilização de derivados da madeira é o pavilhão atlântico em Lisboa (atual Meo Arena), em que a sua cobertura é composta por vigas

feitas em madeira, ficando expostas e tendo a curiosidade que são curvas, devendo-se este efeito a uma característica da madeira que é a sua facilidade de ser trabalhada.



Figura 11 – Meo Arena Lisboa , Fonte : ruidosonoro,2013

Além do Meo Arena em Portugal, existem uma série de outras grandes obras em madeira, é o caso por exemplo da Herdade do Esporão, perto de Reguengos de Monsaraz, onde os seus armazéns são totalmente construídos em madeira, como demonstra a figura 12.



Figura 12– Herdade do Esporão, Fonte: Jular

## 2.3 Enquadramento Normativo

Os Eurocódigos, são um conjunto de Normas Europeias, da responsabilidade do Comité Europeu de Normalização, que visa unificar critérios e normativas de cálculo e dimensionamento de estruturas.

Atualmente encontram-se publicados os seguintes Eurocódigos:

- Eurocódigo 0 (EN 1990) - Bases do projeto de estruturas;
- Eurocódigo 1 (EN 1991) - Ações em estruturas;
- Eurocódigo 2 (EN 1992) - Projeto de estruturas de betão;
- Eurocódigo 3 (EN 1993) - Projeto de estruturas de aço;
- Eurocódigo 4 (EN 1994) - Projeto de estruturas mistas aço-betão;
- Eurocódigo 5 (EN 1995) - Projeto de estruturas de madeira;
- Eurocódigo 6 (EN 1996) - Projeto de estruturas de alvenaria;
- Eurocódigo 7 (EN 1997) - Projeto geotécnico;
- Eurocódigo 8 (EN 1998) - Projeto de estruturas em regiões sísmicas;
- Eurocódigo 9 (EN 1999) - Projeto de estruturas de alumínio.

Cada Eurocódigo pode ou não estar dividido em partes, sendo que o Eurocódigo 3 – Projetos de estruturas de Aço, está dividido em 20 partes, o Eurocódigo 1, em 10 partes, e Eurocódigo 0, por exemplo, não está dividido.

Em Portugal, a tradução dos Eurocódigos e a elaboração dos «anexos nacionais» é, por incumbência do IPQ, coordenada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), que constituiu uma comissão técnica de normalização, a CT115, que agrupa dez grupos de trabalho, um por Eurocódigo.

“As NP EN (xx EN nos outros países europeus) correspondem à tradução para português das diferentes Partes dos Eurocódigos e são acompanhadas pelos respetivos Anexos Nacionais.

Nestes Anexos são definidos, nomeadamente, os Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP – Nationally Determined Parameters), que correspondem a parâmetros deixados em aberto nos Eurocódigos para escolha nacional.” (Pina, 2012)

“Os Eurocódigos estruturais constituem documentos de referência a utilizar para comprovação da conformidade de Projetos de Obras de Construção com as

Exigências Essenciais da Diretiva dos Produtos de Construção, bem como a determinação das características dos produtos de construção estruturais que se referem aquelas exigências e que façam parte da informação que acompanha a marcação CE daqueles produtos, e ainda na elaboração de cadernos de encargos para a execução de obras de construção e prestação de serviços de Engenharia.” (Pina, 2012)

A nível estrutural o Eurocódigo 5- Projetos de Estrutura de Madeira, estabelece os pressupostos para o dimensionamento das estruturas a construir em madeira.

No que diz respeito ao comportamento térmico dos edifícios construídos em madeira o regulamento a aplicar é o Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios.

A normalização e regulamentos usados para as estruturas de betão-armado são o RSA – Regulamento de Segurança e Ações, o REAE- Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios, o REBAP – Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado, pelas especificações do LNEC, e pelo Eurocódigo 2.

No que diz respeito à regulamentação do betão em Portugal, utiliza-se a norma NP EN 206-1:2005, que indica as especificações, desempenho, produção e conformidade.

Utiliza-se também a NP ENV 13670-1:2007, que é norma que se utiliza para a execução de estruturas de betão.

Em relação aos varões de aço mais utilizados existem as especificações do LNEC, que definem para cada tipo de varão as características, marcação e ensaios. As especificações que se utilizam para os aços mais comuns são a E 449:2010, para os varões de Aço A400NR, para os de utilidade especial a especificação é a E 455:2010.

Para os varões A500NR, as especificações utilizadas são a E 450:2010 , e para o de utilidade especial é a E 460:2010.

No caso das redes eletrosoldadas para armaduras de betão armado, a especificação do LNEC que se utiliza é a E 457:2002.

## 2.4 Características da madeira

Os sistemas mais utilizados na construção de edifícios durante a idade média, são a estrutura em A e a estrutura em caixa. Na figura 13, está representada a estrutura em A e na figura 14 a estrutura em caixa.



Figura 13 - Estrutura em A, Fonte: Coutinho,1999



Figura 14 – Estrutura em Caixa, Fonte: Coutinho,1999

A estrutura em A, é caracterizada por uma série de estruturas em forma de A, espaçadas igualmente entre si ao longo do edifício.

A estrutura em caixa é basicamente um sistema de viga e pilar com algumas diagonais para resistir as ações horizontais.

No que se refere a coberturas, na idade média utilizavam-se as asnas simples e as asnas com contra-pernas.

A madeira enquanto material de construção, apresenta uma boa resistência mecânica, tem resistência mecânica à tracção superior á do betão, com a vantagem que tem peso próprio mais baixo. Apresenta boas características de isolamento térmico e absorção acústica, tem facilidade de manuseamento e de trabalhar, pois pode ser trabalhado com ferramentas simples, e tem um custo reduzido de produção, e ainda provem de reservas que podem ser renovadas. (Cachim, 2007)

A madeira tem elevada resistência a nível estrutural, sobretudo quando se compara a resistência com o seu peso. O baixo peso da madeira ajuda a reduzir o tamanho das fundações e a reduzir o efeito da ação sísmica. Este material tem também uma durabilidade excelente, quando devidamente tratada. Não podemos esquecer que é um material que é extremamente agradável à visão humana, quando exposto à superfície.

A madeira embora se possa pensar o contrário, tem uma boa resistência ao fogo, isto porque a sua taxa de combustão é relativamente lenta e as propriedades da zona mantem-se praticamente inalteradas.

Atualmente, a madeira que se utiliza na construção não é apenas madeira maciça, mas também produtos derivados da madeira, como as placas de aglomerados de madeira, a madeira lamelada colada, e até mesmo aproveitamentos de madeira para isolamento térmico e acústico.

A madeira lamelada colada é fabricada de forma muito simples, e consiste no empilhamento de tábuas de madeira aparelhada orientadas com o fio sempre na mesma direção que são coladas de topo e de face, de forma a obter as dimensões desejadas.

“A resistência mecânica dos elementos da madeira lamelada colada, é determinada pela resistência da madeira que constitui as lamelas, pelo arranjo das lamelas na secção transversal e pela resistência das juntas coladas, pelo que se compreende a importância de um apertado controlo na produção.” (Cruz, 2007)

As principais vantagens da utilização da madeira lamelada colada, é a sua versatilidade, o seu design flexível, uma vasta gama de dimensões standard, existindo a possibilidade de fabrico de dimensões a pedido, é fácil de conjugar com outros materiais, forte e resistente, tem uma excelente capacidade de resistência ao fogo, excelente acústica e conforto interior, e é um produto certificado.

Na figura 15 apresenta-se um exemplo de colocação de madeira lamelada colada.



Figura 15 - Vigas de madeira lamelada colada Fonte: [www.jular.pt](http://www.jular.pt)

Os produtos derivados da madeira, são produtos que podem ser utilizados para fins estruturais devido ao facto de possuírem fibras de madeira orientadas segundo o eixo das peças dando-lhe assim uma boa resistência na direção das fibras. As características dos produtos derivados da madeira, nomeadamente a madeira

lamelada colada entre outros, dependem das propriedades da madeira utilizada para o seu processo de fabrico, do controlo de qualidade realizado e da aplicação final. (Cruz, 2007)

No que diz respeito a resistência da madeira, a madeira maciça tem de valor médio de tensão admissível á tração paralela às fibras entre os 8,5 e os 13 MPa. No que diz respeito à compressão os valores são os mesmos que a tração no caso paralelo as fibras. No que diz respeito a tração e compressão perpendicular às fibras a madeira atinge valores de 0,2 MPa de tensão admissível a tração e de 2,5 MPa à compressão.

No que diz respeito a tensão tangencial no eixo paralelo as fibras esta assume valores que vão desde os 0,9 ate 1 MPa, e perpendicular as fibras 1,2 MPa.

No que diz respeito á tensão admissível de torção a madeira maciça o valor é de 1,6 MPa.

O módulo de elasticidade da madeira varia entre 11 e 13 GPa.

(Brettschichtholz,2015)

As madeiras de qualidade Douglas o módulo de elasticidade é 12 GPa, e a compressão tensão admissível paralelo são 50 MPa, e a tração são 100 Mpa. E tensão tangencial é 7 MPa. A compressão perpendicular as fibras é 2 MPa. Utiliza-se sempre a direcção paralela as fibras, devido ao corte que é efectuado. (beka-gruppe, 2015)

As placas de aglomerados de madeira, são fibras de partículas ou macro partículas de madeira aglomeradas entre si, coladas e prensadas. Estas placas estão em crescente uso uma vez que apresentam uma serie de vantagens relativamente aos outros tipos de uso da madeira, nomeadamente o custo, as variadíssimas gamas de dimensões que existem, o acabamento e colocação em obra e os seus inúmeros usos. Como placas de aglomerados de madeira, podemos ter como exemplo um material muito conhecido e usado por todos que são os contraplacados de madeira, os aglomerados de partículas e o OSB (aglomerado de partículas de madeira, longas e orientadas).

No caso do OSB, este material no plano longitudinal, tem uma resistência à flexão de 27 MPa, e no plano transversal tem uma resistência de 14 MPa.

No que diz respeito à tração perpendicular esta assume valores de 0,38 MPa.

O modulo de elasticidade do OSB é de 7,5 GPa. (Jular,2015)

As placas de OSB (oriented strand board, ou aglomerado de partículas de madeiras longas e orientadas), são o desenvolvimento mais importante dos últimos anos na indústria dos derivados da madeira. As placas de OSB, são constituídas por laminas de madeira de resinosas, unidas com uma resina sintética. “Nas camadas exteriores as partículas estão orientadas longitudinalmente em relação ao comprimento da placa, na camada interior estão dispostas perpendicularmente a essa dimensão”. (Banema, 2015)

O OSB, é indicado para aplicações estruturais, tais como pavimentos, forros de telhados e paredes, devido a apresentar características hidrófugas. Estas placas tem um baixo custo relativamente a outro tipo de materiais e tem a vantagem de serem fáceis de aplicar e manusear.

O processo de fabrico do OSB, é um processo complexo, uma vez que as partículas de madeira depois de revestidas com cola, são dispostas em camadas e cada camada orientada de forma diferente, de forma a maximizar a resistência e a estabilidade do painel. Após isto, é submetido a condições de pressão e temperatura muito elevadas, obtendo-se um painel estruturalmente denso, muito resistente e dimensionalmente estável e muito durável. (Jular,2015)

As placas de OSB apresentam um conjunto de vantagens tais como:

- Resistência mecânica elevada;
- Resistência á deformação;
- Excelente relação entre resistência e peso;
- Grande durabilidade (os seus níveis de desempenho ao longo do seu ciclo de vida, mantem-se intactos);
- Desempenho preciso e bem definido;
- Fácil de utilizar;
- Sem defeitos estruturais, sem nós, poros ou discontinuidades;
- Impacto ambiental reduzido.

Na figura 16, apresenta-se uma figura do processo de fabrico de OSB, na fase em que estão a ser coladas as partículas.



Figura 16- Processo de fabrico do OSB, Fonte : [www.jular.pt](http://www.jular.pt)

#### 2.4.1 Proveniência da madeira

A madeira consoante a sua proveniência assim se comporta estruturalmente. Esta possui uma organização microestrutural extremamente elaborada.

É necessário conhecer as características biofísicas da madeira, para que seja possível compreender as suas propriedades.

*“ A madeira é um material originário do tecido vegetal, com características intrínsecas definidas pela fisiologia da árvore, sendo constituída pela raiz, caule e copa.”* (Cachim, 2007)

A raiz, que tem como função prender a árvore ao solo, e permitir a entrada de sais minerais e água nas células por osmose. O caule, que tem como função o suporte face à entrada de vento e da gravidade e condução dos sais minerais e de água até às folhas. A copa constituída por ramos e folhas, que tem como função principal o processo de fotossíntese, que permite a obtenção de oxigénio e hidratos de carbono necessários à subsistência da árvore. O Tronco é o conjunto do fuste ou caule e copa.

Como material de construção, é normal apenas o aproveitamento da madeira do tronco das árvores dos vegetais lenhosos com altura superior ou igual a 5m.

*“ A madeira não é um material homogéneo sendo formada por um conjunto de células especializadas em tecidos que conduzem a seiva, transformam e armazenam os produtos vitais e suportam a árvore. A heterogeneidade da madeira é enorme, variando as propriedades entre as diversas espécies, entre espécimes de uma mesma espécie e mesmo dentro um mesmo tronco de árvore “* (Cachim, 2007)

O reino Vegetal classifica-se em 17 divisões, e o material lenhoso é proveniente de duas destas divisões, as **Gimnospérmicas** (plantas com sementes desprotegidas) e as **Angiospérmicas** (plantas com sementes cobertas).

A classe mais relevante das **Gimnospérmicas** é a das **Coníferas** (regularmente designadas por resinosas) que se caracterizam por ter folha perene, boa resistência à compressão e ainda melhor à tração, elevada taxa de crescimento, que resulta numa madeira de baixa densidade e de resistência relativamente baixa. (Cachim, 2007)

Das **Angiospérmicas** a classe mais importante são as **dicotiledóneas** (geralmente designadas por folhosas).

As principais diferenças entre as resinosas e as folhosas são muito variadas desde a sua botânica até ao terreno em que se inserem, o tipo de folhagem, o fruto e as flores. As diferenças mais importantes para a madeira como material de construção não são apenas de aparência mas sim na estrutura atómica do lenho. (Cachim, 2007)

A madeira proveniente das árvores resinosas é também designada por madeira branda, enquanto a madeira proveniente das árvores folhosas é designada por madeira dura.

As resinosas devido a serem em grande abundância no hemisfério norte e devido ao seu valor económico inferior ao das folhosas, origina que as resinosas sejam utilizadas em estruturas de madeira enquanto as folhosas são utilizadas para funções decorativas e não estruturais, como é o caso de revestimentos e mobiliários. (Cachim, 2007)

O crescimento da árvore dá-se em 3 direcções de crescimento natural, a direcção axial ou longitudinal, a direcção radial e a direcção tangencial, como se demonstra na figura 12.

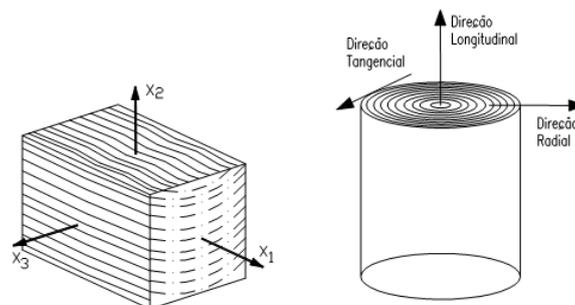


Figura 17 – Direções de Crescimento da árvore, Fonte : [www.ebah.com](http://www.ebah.com)

“A direcção axial é a direcção que permite o transporte da seiva, a direcção radial na qual se desenvolvem os traqueidos radiais permitindo a comunicação tridimensional entre diversas camadas de células bem como uma melhor consistência estrutural, e a direcção tangencial que é a direcção ativa onde as células se dividem de forma a proporcionar o crescimento diametral.” (Cachim, 2007)

*“O estudo da madeira pode conduzir a três níveis de organização, o nível macroscópico, que é a estrutura visível a olho nu ou com uma lupa de 10 vezes o aumento que permite perceber por exemplo a variabilidade da resistência mecânica devido a defeitos como os nós, o nível microscópico, que requer aumentos da ordem das 500 vezes e cujo conhecimento permite compreender a diferença de rigidez transversal e longitudinal; e o nível sub-microscópico, que requer aumentos superiores a 3000 vezes e que permite a compressão, por exemplo, do comportamento de retração e dilatação da madeira.”* (Cachim, 2007)

#### **2.4.2 Estrutura macroscópica da madeira**

As características macroscópicas da madeira são caracterizadas através das três direcções, ou seja do plano transversal, do plano radial e plano tangencial.

No plano transversal pode-se identificar, a olho nu várias zonas do fuste da árvore, são elas os anéis de crescimento, a medula, o cerne, o borne, o câmbio, a casca, os raios lenhosos e o grão. Através dos anéis de crescimento conseguiu-se determinar a idade de uma árvore. Isto é possível através das diferenças de tonalidades dos anéis consoante a estação do ano.

Relativamente ao plano radial e tangencial pode-se verificar a textura o fio e o veio da madeira.

#### **2.4.3 Estrutura microscópica da madeira**

A madeira é constituída por células, que tem funções que são essenciais à vida da árvore. As células têm a função de transporte da água desde a raiz até às folhas. As células são longitudinais e ocas, sendo uma fibra continua desde a raiz até as folhas.

As células são a fonte de nutrição, com armazenamento de energia, e estão localizadas na casca, pois servem de proteção da epiderme da árvore.

A estrutura celular é diferente quer se trate de resinosas quer se trate de folhosas.

#### 2.4.4 Propriedades da Madeira

A madeira por ser um material proveniente das árvores, e por haver inúmeras espécies, existe ou pode existir dispersão nas suas propriedades físicas, mecânicas e químicas.

Pode dizer-se que o principal fator que afeta as características da madeira é a água. A água e as variações que o comportamento da madeira apresenta na sua presença são determinantes para as propriedades da madeira.

Quando se fala das propriedades físicas da madeira, está-se a referir ao seu teor em água ou humidade, a higroscopicidade, retração e dilatação da madeira, a distorções, massa volúmica e densidade, dilatação térmica, condutibilidade térmica, calor específico, difusibilidade térmica, propriedades acústicas, dureza, coeficiente de atrito, condutividade elétrica, constante dielétrica, e fator de potência dielétrica.

No que se refere as propriedades mecânicas da madeira, são a anisotropia e variabilidade, bem como, as ações que condicionam o comportamento da madeira, nomeadamente a duração da carga, o efeito de escala e o teor em água. Nas propriedades mecânicas é necessário ter em conta também as trações e compressões paralelas e perpendiculares à fibra, o comportamento segundo os outros eixos, a flexão, o corte, e o módulo de elasticidade e distorção.

As propriedades químicas da madeira, tem de se ter em conta a matéria-prima para a indústria química e a resistência da madeira a agentes químicos.

Devido a sua complexidade não será contemplado neste trabalho a pormenorização de cada uma das propriedades.

## 2.5 Características do betão – armado

### 2.5.1 Betão

O betão é um dos materiais de construção mais usados, actualmente.

O processo de produção de cimento é complexo, o qual através da adição de agregados e água permite fabricar o betão, como se verifica na figura 18.

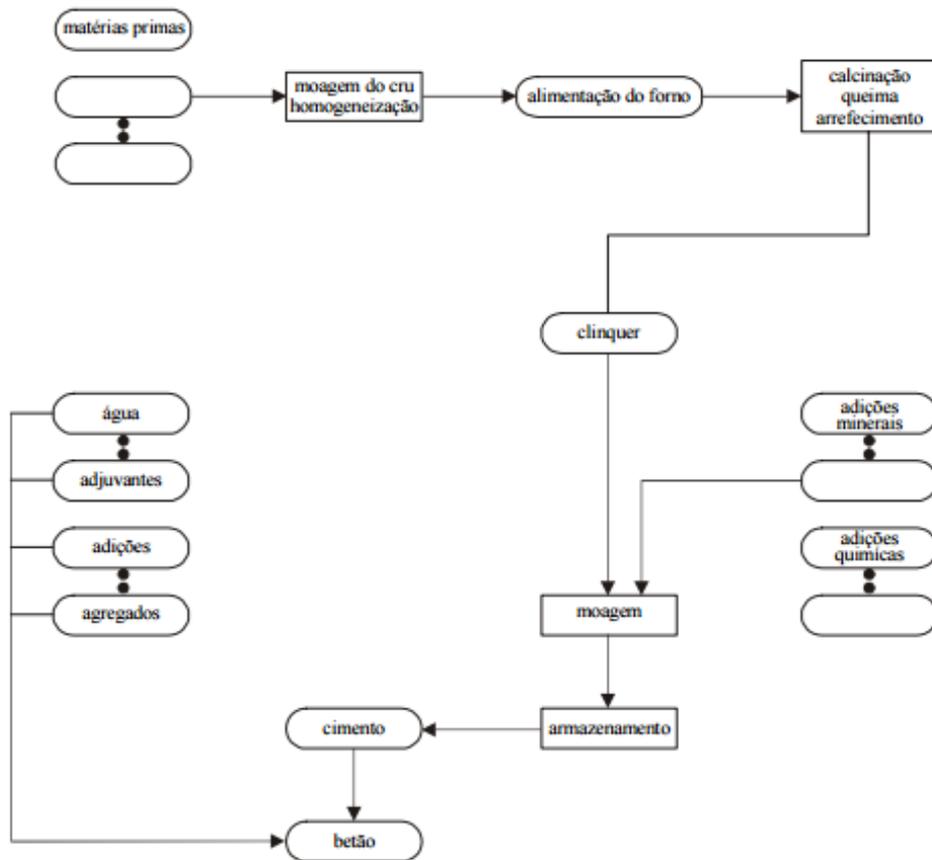


Figura 18- Processo de produção do cimento e do betão, Fonte: Coutinho, 2006

*“Para saber fazer “ betão de Qualidade” é necessário avaliar o ambiente onde a estrutura do betão vai ser inserida, procurando prever as interações ambiente/betão; conhecer o comportamento dos constituintes; controlar as fases de produção, transporte, colocação, compactação, - isto é, o seu comportamento no estado fresco, assim como garantir uma eficiente proteção e cura.” (Coutinho, Materiais de Construção 2- 1ª Parte, 2006)*

Pode-se então resumidamente dizer que o betão, é um material compósito, cujas propriedades dependem, da qualidade dos constituintes, da qualidade da mão de obra de quem produz e o coloca, e das condições ambientais a que estará exposto.

Irá agora descrever-se detalhadamente todos os componentes do betão.

### 2.5.1.1 Ligantes

*“Um ligante é um produto que ganha presa e endurece, podendo aglomerar outros materiais, tais como agregado grosso e areia. São portanto substâncias com propriedades aglomerantes.”* (Coutinho, Materiais de Construção 1 - Agregados para argamassas e betões, 1999)

Os ligantes podem ser divididos em dois grupos de ligantes os hidrófilos e os hidrófobos.

No que respeita aos ligantes hidrófilos, estes subdividem-se em ligantes aéreos e hidráulicos. Os ligantes hidrófilos aéreos, são ligantes que misturados com a água formam uma pasta que endurece ao ar, mas não resiste à água, exemplo deste ligante é o gesso e a cal aérea. (Coutinho, Materiais de Construção 2- 1ª Parte, 2006)

Os ligantes hidrófilos hidráulicos, são os mais importantes, pois ganham presa e endurecem tanto ao ar como debaixo de água. Estes ligantes têm outra característica bastante importante, que é o seu poder aglomerante, que se manifesta quando misturado com o agregado (grosso, fino), tornando assim possível o fabrico do betão. Dois exemplos de ligantes hidráulicos, são o cimento, e a cal hidráulica (Coutinho, Materiais de Construção 2- 1ª Parte, 2006)

Dos ligantes hidrófilos hidráulicos, o mais importante é o cimento que é o que se utiliza para a formação do betão.

Os ligantes hidrófobos, são ligantes que após o seu endurecimento repelem a água.

O Cimento pode ser classificado em cimentos naturais, cimentos Portland e cimentos aluminosos. Estes cimentos são compostos essencialmente por silicatos e aluminatos de cálcio.

Segundo a normalização Europeia (EN 197-1): *“Cimento é um ligante hidráulico, isto é, um material inorgânico finamente moído que, quando misturado com água forma uma pasta que ganha presa e endurece por reações e processos de hidratação e que,*

*depois de endurecida, conserva a sua capacidade resistente e estabilidade debaixo de água.”*

*“Um cimento que esteja de acordo com esta Norma Europeia, é designado cimento CEM e se for devidamente misturado com a água e agregados, é possível obter-se um betão ou argamassa:*

*- Que conserva a trabalhabilidade adequada durante um período de tempo suficiente;*

*- Que, a determinadas idades atinge níveis de resistência especificados;*

*- E que apresenta estabilidade volumétrica a longo prazo. “ (Coutinho, Materiais de Construção 2- 1ª Parte, 2006)*

Os cimentos que podem ser utilizados no betão simples, armado ou pré-esforçado são definidos na norma NP EN 197-1.

### 2.5.1.2 Água

A água é fundamental no processo do fabrico do betão, pois é o elemento que origina o processo de hidratação do betão. Este processo desencadeia todas as reações que ocorrem no betão, formando então a pasta de betão. Isto acontece devido à reação que ocorre entre os aluminatos e os silicatos, e a água originando uma pasta sólida. (Costa & Appleton, 2002)

A água de amassadura é toda a água potável ou não, que não apresente cheiro nem sabor, utilizada para o fabrico do betão. Não devem ser utilizadas águas com pH inferior a 4. (Costa & Appleton, 2002)

A água de amassadura influi nas propriedades do betão através das substâncias dissolvidas e em suspensão. As substâncias dissolvidas podem afetar a resistência mecânica e química do betão e das armaduras.

A qualidade da água de amassadura para o fabrico de betão pode influenciar os tempos de presa, o desenvolvimento da resistência do betão e a proteção da armadura contra a corrosão.

A NP EN 1008:2003 regula a aptidão da água betão.

### 2.5.1.3 Agregados

De acordo com a norma NP EN 12620, “Agregado é um material granular usado na construção, que pode ser natural, artificial ou reciclado”.

As propriedades mais importantes e relevantes que são exigidas a um agregado para produzir betão são de natureza geométrica, física e química, que apresentem adequada forma e granulometria segundo determinadas regras, adequada resistência as forças, adequadas propriedades térmicas, isenção de substâncias prejudiciais, e adequadas propriedades químicas relativas ao ligante e às ações exteriores. (Coutinho,1999)

Os agregados podem classificar-se segundo vários aspetos: petrográfico, massa volúmica, modo de obtenção e dimensão das partículas. (Costa & Appleton, 2002)

No que diz respeito ao aspeto petrográfico, classificam-se de acordo com as rochas de onde são originários, metamórficos, sedimentares e ígneos.

Em relação à massa volúmica a classificação é feita em três escalas diferentes, agregados leves, agregados normais e agregados muito densos. As massas volúmicas para os agregados leves são inferiores a  $2000\text{kg/m}^3$ , os normais estão compreendidos entre  $2000$  e  $3000\text{ kg/m}^3$ , e os muito densos superiores a  $3000\text{kg/m}^3$ . (Costa & Appleton, 2002)

Os agregados podem ser naturais ou britados, e podem ser classificados segundo a dimensão das partículas, podendo ser areias ou agregados grossos. As primeiras, são agregados com a máxima dimensão inferior a  $5\text{mm}$ , e os agregados grossos apresentam dimensões superiores a  $5\text{mm}$ . (Costa & Appleton, 2002)

A aptidão dos agregados para o fabrico do betão está estabelecida nas normas NP EN 12620 e NP EN 13055-1 e pela Especificação do LNEC E 467.

### 2.5.1.4 Adições

Segundo a norma NP EN 206-1: 2007, “Adição é um material inorgânico finamente dividido, utilizada no betão com a finalidade de melhorar certas propriedades ou alcançar propriedades especiais”.

As adições podem ser de origem natural, ou ter origem em sub-produtos industriais. Um exemplo de uma adição com origem natural é o filler calcário e as pozolanas naturais finamente moídas. As cinzas volantes, as escórias de alto-forno e a sílica de

fumo são exemplos de adições com origem em subprodutos industriais. (Costa & Appleton, 2002)

As adições são classificadas em dois tipos:

Tipo I - Adições quase inertes, como o filer calcário, não tem propriedades hidráulicas latentes nem propriedades pozolânicas;

Tipo II – Tem propriedades hidráulicas latentes, como exemplo a escoria granulada de alto-forno moída, ou com propriedades pozolânicas, como as pozolanas, as cinzas volantes ou a sílica de fumo.

As adições atualmente são acrescentadas á mistura, para melhorar algumas das suas características, por exemplo a resistência e durabilidade. Dependente do tipo de adição que se coloca na mistura assim tem um diferente resultado na melhoria das suas características.

O filer calcário, por exemplo tem efeito positivo nestes aspetos do betão, trabalhabilidade, densidade, permeabilidade, capilaridade, exsudação e tendência para a fissuração. (Coutinho, Materiais de Construção 2- 1ª Parte, 2006)

*“Os betões fabricados com adições do tipo II apresentam, em geral, menores resistências iniciais, mas a prazo (3 – 6 meses) exibem: maiores resistências mecânicas, maior resistência ao ataque químico devido à menor porosidade, menor teor em hidróxido de cálcio e maior resistência à penetração de cloretos. Refira-se que com a utilização de sílica de fumo o problema da redução de resistência inicial é eliminado devido à elevada finura deste material e à sua elevada reatividade.”* (Costa & Appleton, 2002)

#### 2.5.1.5 Adjuvantes

A norma NP EN 206-1: 2007 define: *“Adjuvante como o material adicionado durante o processo de mistura do betão, em pequenas quantidades em relação à massa do cimento, com o objetivo de modificar as propriedades do betão fresco ou endurecido”*.

Os adjuvantes utilizam-se em percentagem inferior a 5% da massa de cimento da mistura, antes ou durante a amassadura, provocando as modificações requeridas das propriedades normais do betão fresco ou endurecido.

Os efeitos que se procuram alcançar com a utilização de adjuvantes são: melhorar a trabalhabilidade, retardar/acelerar a presa, acelerar o endurecimento nas primeiras idades, aumentar a resistência aos ciclos gelo-degelo, diminuir a permeabilidade, criar uma ligeira expansão, ajudar a bombagem, e inibir a corrosão das armaduras. (Costa & Appleton, 2002)

Com a utilização de adjuvantes é possível reduzir a quantidade de água da amassadura sem reduzir a sua trabalhabilidade. Estes adjuvantes são designados por redutores de água e são os plastificantes e superplastificantes. (Costa & Appleton, 2002)

Os adjuvantes mais utilizados hoje em dia são os plastificantes e superplastificantes, os hidrófugos, os aceleradores e retardadores de presa.

Os requisitos e critérios de conformidade dos adjuvantes para a utilização na fabricação de betões encontram-se regulamentados pelas normas NP EN 934-1:2008; NP EN 934-2:2009; NP EN 934-3:2010 e NP EN 934-4:2009.

### 2.5.2 Aço

A utilização do aço na construção surge e viria a dar origem a novos conceitos de construção, um material barato com excelentes propriedades mecânicas que podia ser levado para o local de construção, na forma de componentes pré-fabricados passíveis de serem rapidamente montados. Mais tarde este material passou também a ser utilizado como reforço em estruturas de betão, em fio, vigas, varão, ou rede elevando a resistência a esforços de tração. (Colaço, 2005)

O aço é um material que reúne simultaneamente propriedades como a elevada resistência à tração, a soldabilidade, a capacidade de absorção de energia sem entrar em rotura e a deformabilidade por deformação plástica. (Colaço, 2005)

*“Importa no entanto começar por dizer que o termo “aço” não designa um material em particular. Designa antes um conjunto de materiais extraordinariamente diversificado (algumas centenas de ligas metálicas diferentes são designadas por “aço”), em termos*

*de composição química, microestrutura, propriedades e, naturalmente, aplicabilidade.”*  
(Colaço, 2005)

Existem diversos tipos de aço desenvolvidos consoante as condições de serviço a que vão ser expostos, por exemplo cargas elevadas, desgaste, impacto, corrosão atmosférica, temperaturas elevadas. Um mesmo aço poderá ter sido submetido a diferentes tratamentos térmicos ou mecânicos que lhe alteram as propriedades.

Em geral os aços de construção (e as restantes ligas metálicas) são dúcteis, ou seja sofrem uma deformação plástica considerável antes de ocorrer fratura.

No que se refere ao aço para construção pode consultar-se as Especificações do LNEC E 455, E 456, E 459, e E 460 que são especificações que indicam as características dos aços, marcações e ensaios.

## 3 Desenvolvimento Sustentável

### 3.1 Desenvolvimento Sustentável

O tema desenvolvimento sustentável começou a ser falado em meados do séc. XX, quando a espécie humana se começou a aperceber que o seu comportamento, a este ritmo iria danificar o planeta. A definição de desenvolvimento sustentável, tem sido muito discutida e tem sofrido algumas mudanças ao longo do tempo.

Este conceito foi destacado no Relatório Brundtland (World Commission on Environment and Development, 1987), onde foi definido da seguinte forma:

“Por desenvolvimento sustentável entende-se o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazerem as suas próprias necessidades.”

Esta definição foi um grande passo para um desenvolvimento sustentável, uma vez que traduz ao cidadão que pode satisfazer as suas necessidades, mas pensado sempre nas gerações vindouras.

O desenvolvimento sustentável assenta em três pilares, o social o económico e o ambiental, como é demonstrado na figura 19.

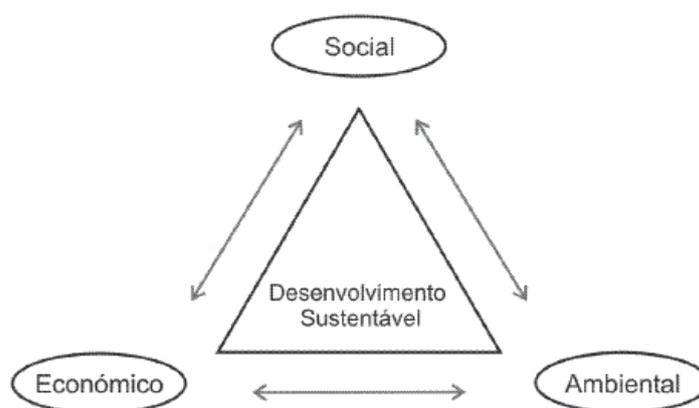


Figura 19 – Pilares do desenvolvimento sustentável, Fonte: (Mateus, 2004)

Andrew Sage (1998) reforçou a ideia de que o desenvolvimento sustentável devia ter como pressupostos o progresso sociocultural e a preservação ambiental (através de uma utilização controlada dos recursos naturais) aliados a uma evolução económica e tecnológica, baseadas na eficiência e competitividade produtiva.

A Comissão Mundial para o Ambiente e Desenvolvimento, surgiu em 1983, com o objetivo de:

- Reexaminar os problemas ambientais e do desenvolvimento e definir propostas de ação inovadoras, concretas e realistas para os remediar;
- Reforçar a cooperação internacional nos domínios do ambiente e do desenvolvimento;
- Aumentar o nível de compreensão e de compromisso sobre a questão ambiental e o desenvolvimento, por parte dos governos, dos indivíduos, das instituições, das organizações e das empresas;

Como resultado dos trabalhos da Comissão Mundial para o Ambiente e Desenvolvimento-CMAD ficou definitivamente assumido que ambiente e desenvolvimento são questões inseparáveis. (apaambiente.pt, 2015)

A declaração do milénio das Nações Unidas, aprovada em 2000, pelos líderes de 189 países, tinha metas a serem cumpridas até ao ano de 2015, metas essas que assentavam em 8 pilares, erradicar a fome e a pobreza extrema, atingir educação primária universal, promover a igualdade de género e a autonomia das mulheres, reduzir a mortalidade infantil, melhorar a saúde materna, combater a sida, a malária e outras doenças, assegurar a sustentabilidade ambiental, e desenvolver uma parceria global para o desenvolvimento. Estes dois últimos pontos são os que mais interessam para o estudo deste trabalho.

A última análise efetuada reporta ao ano de 2014, e pode-se concluir que apesar de se ter conseguido alguns progressos, muito ficou por cumprir. Atualmente encontra-se em preparação uma agenda para o pós 2015, em que o desenvolvimento sustentável assenta em 17 pilares, que terá sido acordada em setembro deste ano.

No âmbito do desenvolvimento sustentável, os acontecimentos mais marcantes foram em 1962 a publicação do livro “ *A primavera Silenciosa*” da autoria da bióloga Rachel Carson, começando nesse momento a desenvolver-se o conceito de desenvolvimento sustentável. Em 1987, acontece o protocolo de Montreal sobre as

substâncias que contribuem para a redução da camada de ozono, e é nesse mesmo ano que se dá a apresentação do Relatório Brutland onde aparece definida a expressão “Desenvolvimento Sustentável”, em 1992 realizou-se a Cimeira do Rio, e em 2009 a Conferência de Copenhaga.

Em referência ao continente Europeu, está-se perante um duplo desafio que concerne em estimular o crescimento necessário para criar emprego e bem-estar à população e garantir que esse crescimento seja de uma forma sustentada, ou seja que conduza a um futuro sustentável e de baixo carbono. Nos últimos 40 anos, tem sido criada um conjunto de legislação com vista a obtenção de melhorias ambientais. Existem três documentos de referência, e são eles o tratado da União Europeia, a Estratégia 2020, e o 7º Programa de Ação em matéria de Ambiente. (Mateus, 2004)

A Agência Portuguesa do Ambiente, é a principal responsável pela aplicação das políticas públicas de ambiente e desenvolvimento sustentável em Portugal.

“Em Portugal o desenvolvimento sustentável encontra-se enquadrado pela Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável – ENDS, elaborado pela primeira vez em 2002 e recentemente atualizado visando o período 2005/2015 (Resolução de Conselho de Ministros nº 112/2005). Este documento é constituído por um conjunto coordenado de atuações nas dimensões Económica, Social e Ambiental, permitindo “*num horizonte de 12 anos assegurar o crescimento económico célebre e vigoroso, uma maior coesão social e um elevado e crescente nível de proteção e valorização do ambiente*”. Relativamente à dimensão ambiental, os condicionamentos ao desenvolvimento sustentável em Portugal podem resumir-se simplifadamente da seguinte forma: ineficaz gestão de resíduos, património natural e de biodiversidade em risco, dependência energética excessiva, deficiente gestão de recursos hídricos e elevados níveis de emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa” (Jalali & Fernando Pachedo Torgal, 2010)

Como resultado das várias cimeiras internacionais definiu-se uma série de objetivos gerais a ser atingidos com vista à obtenção de um desenvolvimento mais sustentável:

- Manter a qualidade e diversidade dos ecossistemas, sem comprometer a sua capacidade de suportar a vida animal, vegetal e humana;
- Utilizar eficientemente os recursos naturais, recorrendo maioritariamente a fontes recicláveis;

- Minimizar a poluição, nomeadamente controlando a produção de resíduos e a emissão de gases poluentes;
- Satisfazer as necessidades da população (habitação, educação, lazer, alimentação, saúde), fomentando a melhoria da qualidade de vida e a equidade social.

(Mateus, 2004)

### 3.2 Construção Sustentável

Com a crescente necessidade e preocupação ambiental em poupar os recursos naturais que estão disponíveis bem como o desempenho energético de cada uma das soluções construtivas, torna-se hoje em dia de extrema importância o estudo da ecologia dos materiais de construção. Com o ritmo que atualmente se consomem os recursos, a curto prazo, irá haver escassez dos mesmos, originando com que a humanidade não consiga sustentar este crescimento de necessidade de recursos.

A poluição ambiental, também é um fator que tem bastante relevância, em relação aos materiais que se utilizam hoje em dia, bem como os recursos utilizados, a matéria-prima, os recursos gastos para a transformação da matéria-prima e transporte.

A indústria da construção é um dos maiores setores industriais, e uma das indústrias mais consumidoras quer de matérias-primas, quer de energia. As matérias-primas utilizadas na construção são responsáveis por o gasto de 30% dos recursos naturais disponíveis, 40% da energia e 20% da água. (Duarte, 2011)

Segundo *Kibert*, Construção Sustentável define-se por “*Criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, baseado na eficiência de recursos e princípios ecológicos*”.

*Kibert* definiu os sete Princípios da Construção Sustentável e serão enumerados a seguir:

- 1- Redução do Consumo de Recursos;
- 2- Reutilização de Recursos;
- 3- Utilização de Recursos Recicláveis;
- 4- Proteção da natureza;
- 5- Eliminação de tóxicos;
- 6- Aplicação da análise do Ciclo de vida em termos económicos;
- 7- Ênfase na qualidade.

Ao longo dos tempos têm sido definidas varias estratégias para reduzir os consumos de energia. O protocolo de Quioto foi o primeiro tratado jurídico internacional que explicitamente pretende limitar as emissões quantificadas de gases com efeitos de estufa nos países desenvolvidos.

Portugal assinou o protocolo de Quioto em 31 de maio de 2002, tendo entrado oficialmente em vigor em 16 de fevereiro de 2005.

A União Europeia acordou numa redução global de 8% (definindo, ao abrigo do compromisso comunitário de partilha de responsabilidades, metas distintas para cada um dos seus Estados-Membros), ambicionando abater as emissões de GEE, em mais de 1% ao ano, desde 2012 a 2020. (Portal de Energia, 2015)

Alguns investigadores afirmam, que a forma mais eficiente para a indústria da construção se tornar uma atividade sustentável passa pela incorporação de resíduos de outras indústrias em materiais de construção. (Torgal & Said Jalali, 2007)

Para o desenvolvimento de uma construção com vista a sustentabilidade é necessária a avaliação do ciclo de vida (*LCA- Life Cycle Assessment*) dos materiais, da construção, dos produtos e dos processos produtivos com vista á sua caracterização ambiental, e de melhoria, promovendo a alteração dos produtos de construção necessários para uma melhoria na sustentabilidade. (Mateus, 2004)

Existem prioridades a considerar no projeto de uma construção sustentável, e são elas a minimização dos custos de ciclo de vida, economizar energia e água, maximizar a durabilidade, minimizar a produção de resíduos, assegurar a salubridade dos edifícios, utilizar materiais eco-eficientes, diminuir o peso, planear a conservação e reabilitação, e garantir condições de higiene e segurança nos trabalhos. (Mateus,2004).

Desde 2005 que se utiliza em Portugal o Sistema LiderA que é uma ferramenta de avaliação de sustentabilidade da construção.

### 3.3 Impacte ambiental dos edifícios

A construção envolve-se diretamente com o meio ambiente, existindo uma relação de dependência entre os dois ambientes, o artificial e o natural. As interações entre os ambientes natural e construído designam-se por impacte ambiental. Quanto menores forem as interações entre os dois ambientes menor será o impacte ambiental produzido pelo ambiente construído. (Mateus, 2004)

Com o aumento da população, tem-se assistido à crescente procura de edifícios de habitação com o conseqüente aumento na procura de recursos e produção de resíduos. São vários os impactes ambientais dos edifícios que contribuem para as alterações climáticas e interferem nos habitats animal e vegetal, podendo ser classificadas em três categorias:

- Problemas relacionados com os consumos energéticos;
- Problemas relacionados com a degradação da camada de ozono e produção de resíduos;
- Destruição de ecossistemas. (Mateus, 2004)

Para evitar construir sem ter esta preocupação hoje em dia, faz-se a “AIA”, Avaliação de Impacte Ambiental, que é um instrumento de carácter preventivo da política do ambiente, que faz estudos e consultas, e tem como objetivo a recolha de informação, identificação e previsão dos efeitos ambientais de determinados projetos. Esta avaliação também contempla a proposta de medidas que evitem ou minimizem os efeitos.

A figura 20 representa os impactos associados à construção, onde se pode ver as diferentes relações que existem entre o ambiente natural e o ambiente edificado. Pode também verificar-se que são libertados pó, fumo, ruídos. O calor residual que é libertado conduz a uma degradação da camada de ozono, bem como a destruição dos ecossistemas. Pode ainda observar-se através da figura 20 que pode haver a contaminação dos rios, oceanos e águas freáticas.

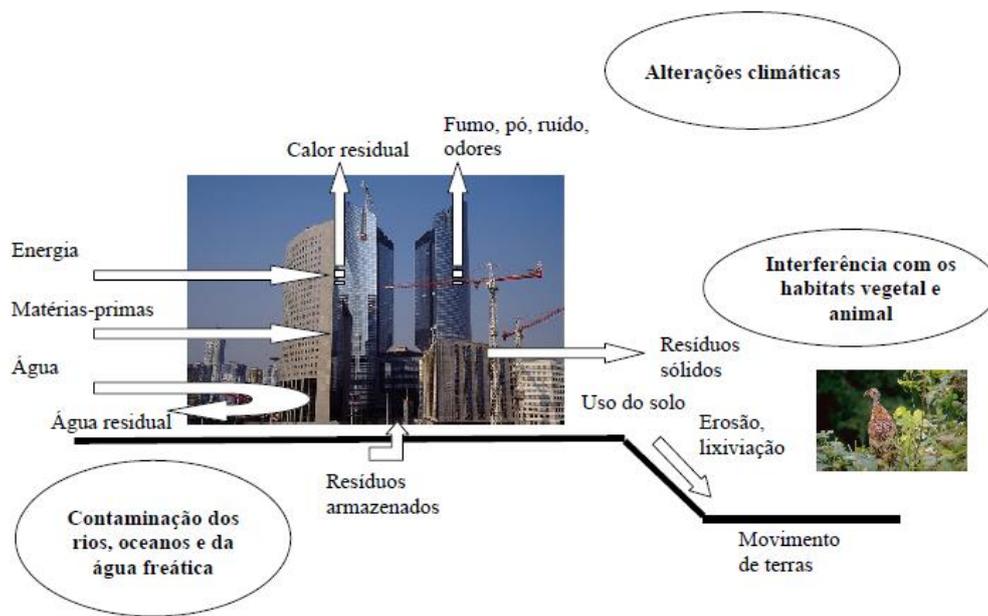


Figura 20- Impacte do meio construído na sua envolvente, Fonte: (Mateus, 2004)

### 3.4 Ecologia dos materiais

“Os recursos da terra, normalmente definem-se como recursos “renováveis” ou “não renováveis”. Os recursos renováveis são aqueles que podem ser renovados ou recolhidos com frequência, tal como a madeira para a construção ou a linhaça para o óleo de linhaça. Estes recursos são renováveis enquanto as condições adequadas de produção existirem (...). Os recursos não renováveis são aqueles que não podem ser renovados por recolha por o exemplo o minério de ferro ou se renovam muito lentamente, como é o caso do petróleo. Muitos destes recursos encontram-se seriamente limitados. “ (Berge, 2007)

Cada vez mais vive-se numa sociedade em que a necessidades de vida de cada um são mais exigentes e conseqüentemente cada recurso é mais necessário e mais transformado, provocando mais dispêndio de energia e também poluindo cada vez mais o ambiente. O consumo em excesso, origina enormes perdas de energia e de recursos, e o grande uso de recursos não renováveis provoca uma diminuição destes junto da natureza.

A dependência da sociedade de hoje em dia por determinados produtos e serviços está a provocar inúmeras conseqüências graves para as populações e para as gerações vindouras.

“ A indústria de construção tornou-se não só no maior consumidor de matéria-prima como também na maior fonte de poluição por causa da produção de materiais de construção e pelo uso de substâncias poluentes.” (Berge, 2007)

Um fator muito importante para estas grandes indústrias é a perda de recursos durante a construção e ao longo de vida da construção.

Atualmente, ainda em número reduzido já existe uma preocupação em reutilizar os resíduos da construção e demolição, algo que é muito importante para o bem estar do meio ambiente e de todos os que nele habitam.

Para rentabilizar os recursos disponíveis é necessário ter atenção a fatores que até então não lhe era dada a devida importância, como dar maior atenção a recursos não utilizados e a produtos de resíduos, isto é, por exemplo aumentar o uso da madeira como material de construção, utilizar fibras provenientes de algas marinhas para uso em isolamentos, e descobrir novas soluções com materiais que até então eram

considerados inúteis, e torná-los úteis a fim de rentabilizar o que a natureza nos disponibiliza.

Um outro fator muito importante é aumentar a utilização de recursos que existem em abundância e que estão longe de se esgotar, o que é o caso da pedra, e da argila, bem como o aumento do uso de recursos renováveis.

Durante o processo de construção também é muito importante a redução da utilização de recursos, sendo isto possível construindo com baixo consumo de materiais, minimizando a perda e o desgaste dos materiais em obra, utilizar os materiais de modo a assegurar uma maior durabilidade e maximizando a reutilização e reciclagem provenientes de demolições. (Berge, 2007)

A indústria da construção enfrenta enormes desafios, no que diz respeito à construção sustentável. Será necessário tomar atitudes que sejam nesse sentido.

Para construir sustentavelmente é necessário, construir consoante as necessidades e não construir apenas por ter uma casa grande, é necessário rentabilizar o espaço, os recursos e claro a energia consumida.

A perda de materiais de construção também é um fator que leva a um grande desperdício de recursos, isto porque existe sempre o “fator de perda” que descreve a quantidade de perda de um material, em particular, durante o armazenamento, o transporte e a instalação do produto final. “ A perda de materiais na obra é de, aproximadamente, 10% do total de resíduos.” (Berge, 2007)

Quando se fala em poupar os recursos que existem disponíveis, fala-se em construir com elevada durabilidade, isto significa que ao produzir produtos mais resistentes esta a assegurar-se que não tem de se substituir os componentes tao brevemente como se fosse uma construção de menor qualidade, significando isto uma poupança de matérias-primas e menos gastos de energias, não só com o transporte dos materiais, mas também com o seu fabrico e transformação.

“O período de vida de um material é determinado, principalmente por quatro fatores: o próprio material, isto é, a sua estrutura física e a sua composição química, a construção e a sua execução, o meio ambiente local, e a manutenção e gestão.” (Berge, 2007)

O local, em que a construção se insere também afeta a durabilidade desta, isto é a quantidade de radiação solar, a temperatura, as intempéries, todos estes fatores são importantes de considerar quando se fala de durabilidade das construções.

*“Os materiais de construção são extraídos e transportados até aos locais de aplicação em distâncias que podem chegar a ser intercontinentais. Assim, os recursos incorporados nas construções não estão apenas relacionados com o peso dos materiais utilizados, mas também com a energia proveniente de fontes não renováveis, consumida na sua extração, processamento, armazenamento, transporte para o local de construção, montagem e construção em obra.”* (Mateus, 2004)

Na fase de projeto, devem ser tidas em conta todos estes fatores nas escolhas dos materiais a utilizar, de modo a minimizar custos e impactos ambientais.

A equipa de projeto, terá de ter em conta para além dos critérios arquitetónicos comuns e dos referidos anteriormente, os seguintes critérios:

- Energia incorporada do material;
- Potencial de reutilização e reciclagem dos materiais;
- A toxicidade dos materiais;
- Que possam permitir o reaproveitamento de resíduos de outras indústrias;
- Que provenham de fontes renováveis;
- Que estejam associados a baixas emissões de Gases de Efeito de Estufa;
- Duráveis;
- Cujas escolhas seja levada a cabo mediante uma análise do seu ciclo de vida.

(Mateus, 2004)

Importa referir também a importância dos materiais de construção no contexto da Construção Sustentável, os impactos ambientais provocados pela extração de matérias-primas necessárias a sua produção.

### 3.5 Consumo de energia na construção

O consumo de energia, divide-se em duas escalas temporais distintas: antes da revolução industrial e depois da revolução industrial até aos dias de hoje.

Antes da revolução industrial, as energias utilizadas eram exclusivamente renováveis, isto é, utilizava-se por exemplo a energia do vento, e a biomassa.

Após a revolução industrial começou a utilizar-se o carvão mineral, tendo este vindo a ser substituído pelo petróleo e energias secundárias.

O aumento das necessidades das populações a nível mundial, tem gerado um aumento da procura e do consumo de energia, gerando um crescimento insustentável a nível global. Portugal, não é exceção e tem um consumo de energia excessivo.

*“No final de 2014, o mix energético do Grupo EDP repartido entre centrais termoelétricas convencionais (carvão, gás natural e centrais de cogeração - 27%), grandes aproveitamentos hidroelétricos (38%) e outras renováveis (eólica, mini-hídrica e solar - 35%). Desde 2009, mais de metade da energia elétrica produzida anualmente tem origem em fontes renováveis, tendo este valor atingido os 73% em 2014.” (EDP, 2015)*

A produção de energia interna em Portugal, baseava-se no mesmo ano em apenas energia de fontes renováveis.

No balanço do ano 2010, os transportes foram os responsáveis por 36,7% da energia consumida, a indústria por 29,6 % e as construções e obras públicas por 3,2%.

Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia, o consumo de energia por setor tem sido o que se apresenta na figura 21, a azul escuro agriculturas e pescas, a cor de rosa a indústria, a azul médio os transportes, a azul clarinho o consumo doméstico, e a cinzento os serviços.

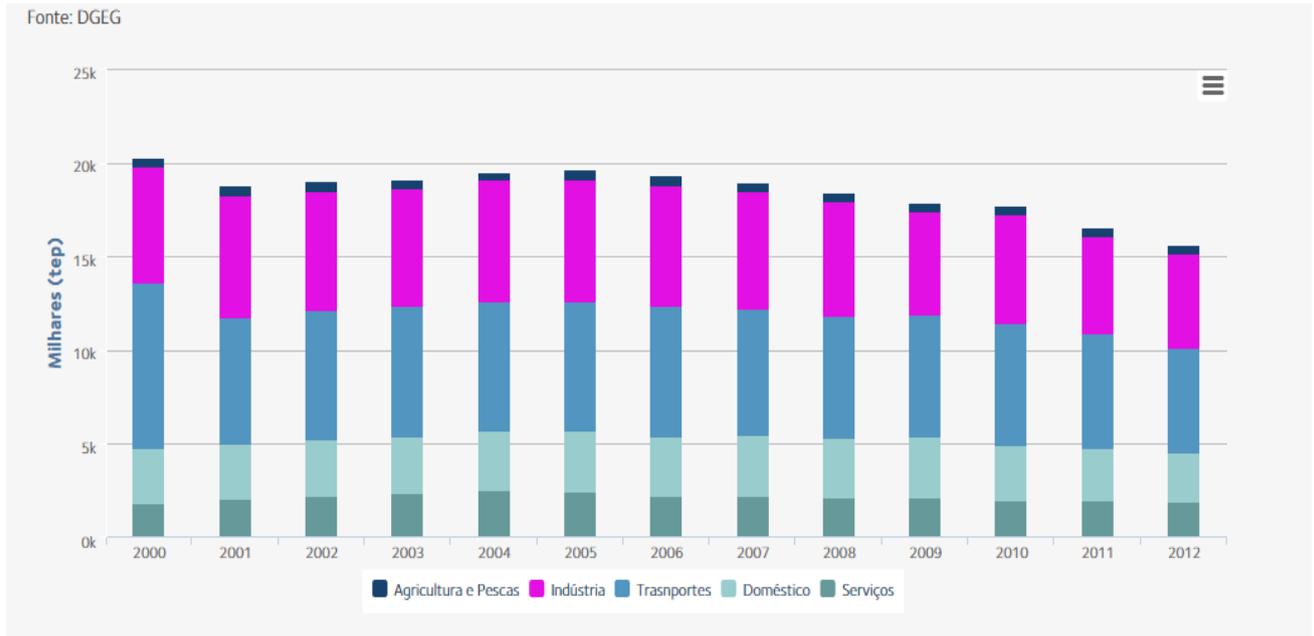


Figura 21- Consumo de energia por setor de atividade, Fonte DGEG

No que diz respeito ao setor da construção, este além da energia gasta para a construção propriamente dita, também gasta energia ao longo de toda a sua vida útil, passa-se a citar: *“Tendo em conta que o setor residencial consome ao longo do seu ciclo de vida mais de 40% de toda a energia produzida, conseguimos facilmente entender o contributo que reduzir neste setor teria na redução do consumo de energia global”* (Spосто & Jacob Silva Paulsen, 2010)

A política energética nacional assenta em dois pilares fundamentais, a racionalidade económica e a sustentabilidade.

Em 2005 entrou em vigor o Protocolo de Quioto, que como principal objetivo era a redução global das emissões de gases que provocam efeitos de estufa. As metas que estão em vigor a nível internacional são então o que se chama o triplo 20, a redução do consumo energético primário em 20%, o aumento do recurso a energias renováveis para 20% (Portugal estabeleceu a meta de 31%), e a incorporação de 20% de biocombustíveis nos carburantes até 2020.

No âmbito de uma política que aposta num modelo energético racional e sustentável, sem comprometer a competitividade das empresas nem a qualidade de vida dos cidadãos, foram desenvolvidos programas e planos que concorrem para objetivos específicos e vão permitir dinamizar medidas a todos os níveis:

PNAEE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNAER - Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

ECO.AP - Programa de eficiência Energética para a Administração Pública

O consumo excessivo de energia tem consequências graves para o planeta e para as gerações vindouras, sendo necessário poupar os recursos, não só pela sua escassez, mas também pelos impactos negativos que geram no meio ambiente.

*“Segundo projeções atuais prevê-se que existam recursos de gás e de petróleo suficientes para os próximos 40-60 anos. As reservas de carvão irão durar mais 1000 anos, mas com a agravante da chuva ácida e das emissões de dióxido de carbono”* (Berge, 2007)

Através da figura 22 disponibilizada pela DGEG, que a seguir se apresenta, consegue-se perceber a evolução da produção de energia através de fontes renováveis, tendo-se a percepção de que ao longo do tempo esta produção tem aumentado, mas ainda assim não sendo o suficiente para ser autossustentável.

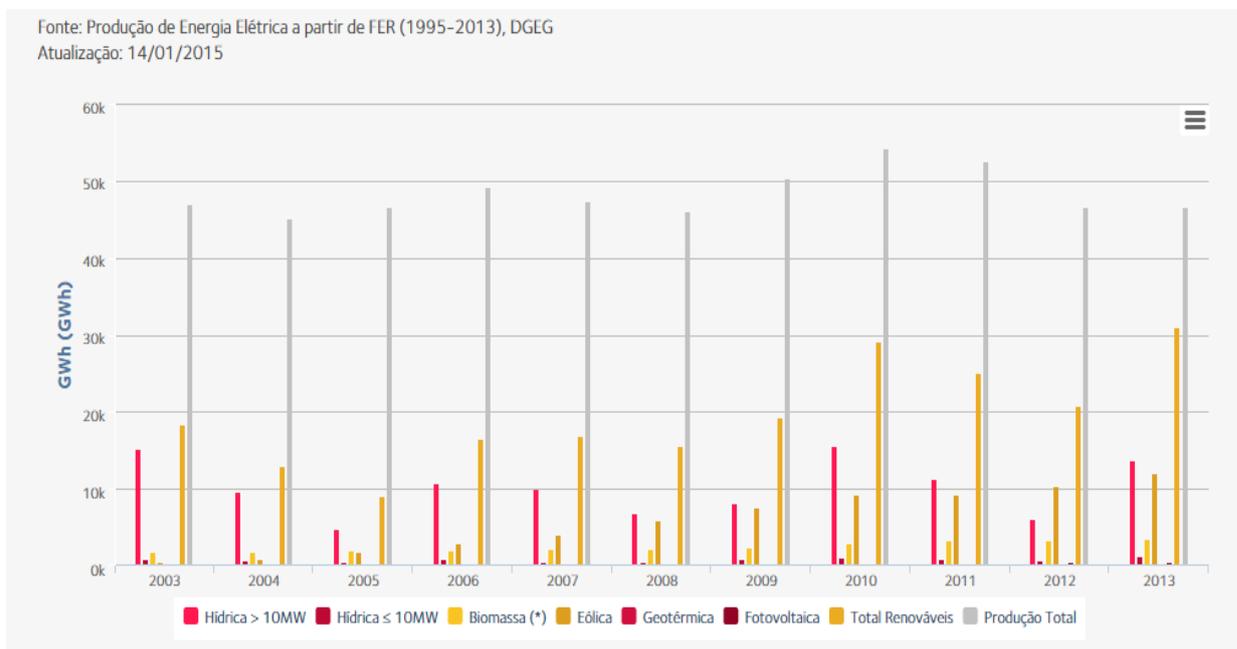


Figura 22 -Produção de Energia Elétrica a partir de Fontes Renováveis, Fonte DGEG

Para um período de 50 anos, a produção, manutenção e renovação de materiais de construção numa casa de habitação padrão de madeira para três pessoas, necessita de um fornecimento total de energia de cerca de 2000 MJ/m<sup>2</sup>. Uma casa construída em blocos de betão leve necessita de mais de 3000 MJ/m<sup>2</sup>, e para edifícios maiores em aço ou betão, a energia necessária é cerca 2500 MJ/m<sup>2</sup>. (Berge, 2007)

Para construir é necessário consumir energia primária que segundo Ricardo Mateus: “O consumo de energia primário (PEC – primary energy consumption), é a energia necessária para se produzir o produto da construção.” (Mateus, 2004)

“Este consumo de energia é normalmente cerca de 80% da incorporação total de energia num material. Estes 80% podem ser divididos em consumo direto de energia na extração de matérias-primas e nos processos de produção, no consumo secundário no processo de fabricação e na energia gasta no transporte de matérias-primas e de produtos transformados. Os restantes 20% de energia são utilizados durante a construção utilização e demolição do património edificado, e é gasta no transporte de produtos manufaturados, no consumo de energia do estaleiro, no consumo durante a manutenção e no consumo de energia durante o desmantelamento ou remoção de materiais durante a demolição. “ (Mateus, 2004)

Na Figura 23, esta apresentado o consumo de energia primária.

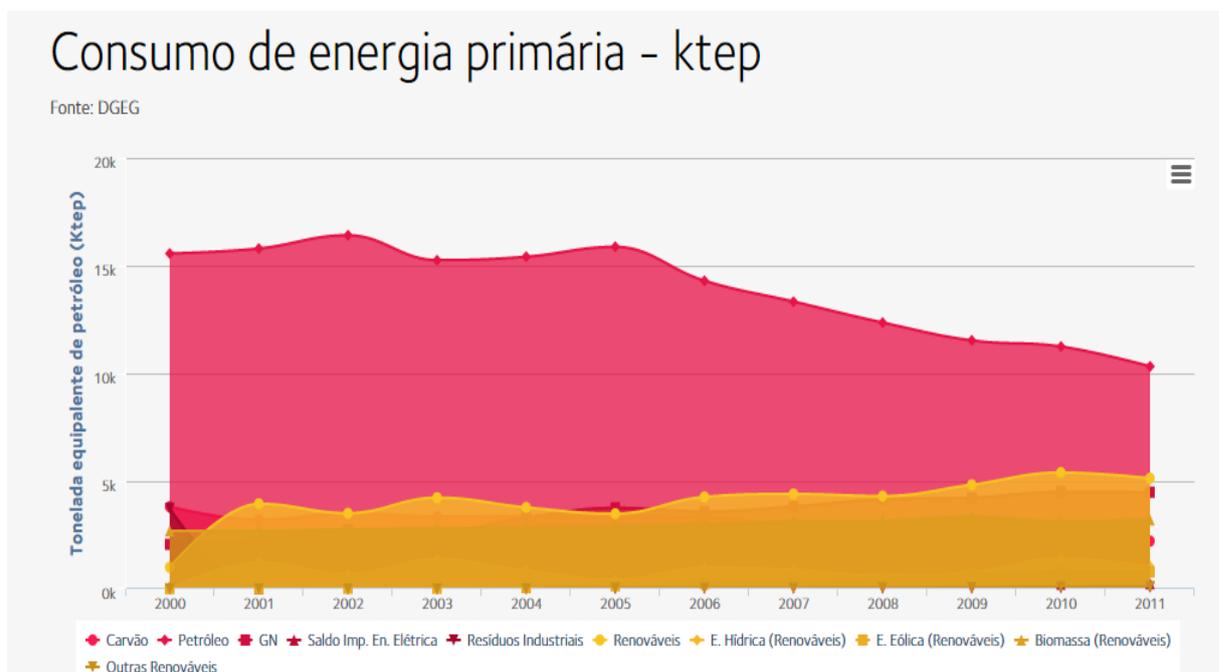


Figura 23- Consumo de Energia Primária por ano – Ktep Fonte DGEG

Existem varias soluções para a redução do consumo de energia na indústria da construção. Estas soluções levariam a uma melhoria no desempenho do consumo energético em Portugal. As soluções a apontar seriam uma utilização dos materiais da zona onde se está a construir, a utilização de materiais que não necessitem de tanta transformação, a utilização de outras soluções de construção, e reforçar a diversificação de fontes de energia primária.

### 3.5.1 Energia Incorporada

A energia incorporada nos materiais de construção é um fator bastante importante para a determinação do consumo de energia no processo de construção de um edifício.

*“A energia incorporada nos materiais corresponde à quantidade de energia necessária para a sua produção, transporte, aplicação na obra, manutenção e demolição. Esta Energia pode variar entre 6 a 20% da quantidade total de energia consumida durante a vida útil de um edifício, dependendo, entre outros fatores, dos sistemas construtivos utilizados, do número de utilizadores do edifício, do grau de conforto exigido pelos ocupantes e do clima do local.”* (Mateus, 2004)

A Energia Primária Incorporada, corresponde a 80% da Energia Incorporada total, e corresponde aos recursos energéticos consumidos durante a produção dos materiais, incluindo a energia diretamente relacionada com a extração das matérias-primas, com o seu transporte para os locais de processamento e com a sua transformação. (Berge, 2007)

O valor da energia incorporada é obtido através do produto da quantidade de material utilizado na construção do edifício objeto de estudo, pelos coeficientes de Energia Incorporada recolhidos na base de dados do ICE V2.0. Foi escolhida a base de dados ICE V2.0, por ser o único documento que junto todos os dados e que é conhecido em toda a Europa, bem como os seus dados representam um valor médio para toda a Europa. Poderiam ter-se utilizado os dados facultados pelos fabricantes dos materiais, o que iria gerar alguns problemas no contexto deste trabalho, pois nem todos os fabricantes disponibilizam o valor. No que diz respeito à madeira, a obtenção destes valores através dos fabricantes seria bastante difícil de obter.

### 3.6 Emissões de CO<sub>2</sub>

Desde os tempos pré-industriais, a humanidade, tem vindo a aumentar a emissão de Gases de Efeito de Estufa (GEE), sendo os mais importantes, referidos no Protocolo de Quioto, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), os hidrofluorcarbonetos (HFC), os perfluorocarbonetos (PFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) (Henriques, 2011)

O dióxido de carbono é o gás produzido pela ação do homem, com maior impacto na emissão de gases com efeitos de estufa para a atmosfera, que causam o efeito de estufa.

A concentração de gases de efeito de estufa, aumenta quando as emissões superam a capacidade no processo de remoção, sendo que estes tipos de gases quando se encontram em concentrações elevadas, forçam a uma resposta por parte do clima. (Henriques, 2011)

Com o aumento da concentração de gases de efeito de estufa, dá-se o aumento da temperatura média, e conseqüente aumento do nível médio das águas do mar. Na figura 24, consegue-se observar a relação entre o aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, e o aumento da temperatura.

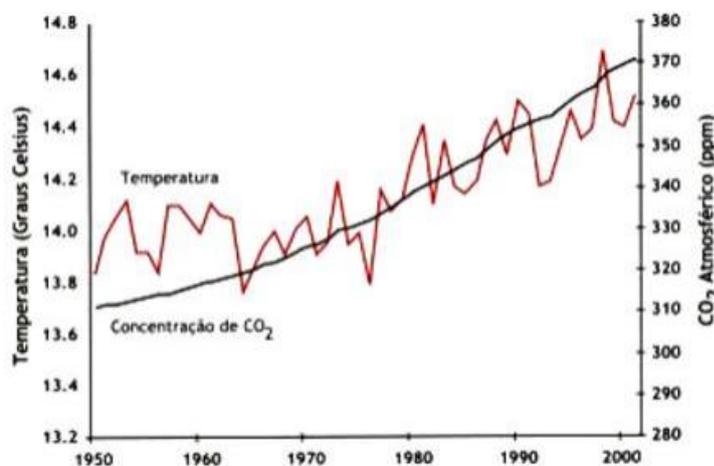


Figura 24 – Aumento de CO<sub>2</sub> e de Temperatura por década, Fonte: (Henriques,2011)

Na figura 25 é possível verificar o aumento exponencial das emissões de CO<sub>2</sub> durante o século XXI que é avaliado através da estimativa do crescimento da população de 6

para 9 mil milhões, do desenvolvimento industrial e das crescentes taxas de urbanização registadas.

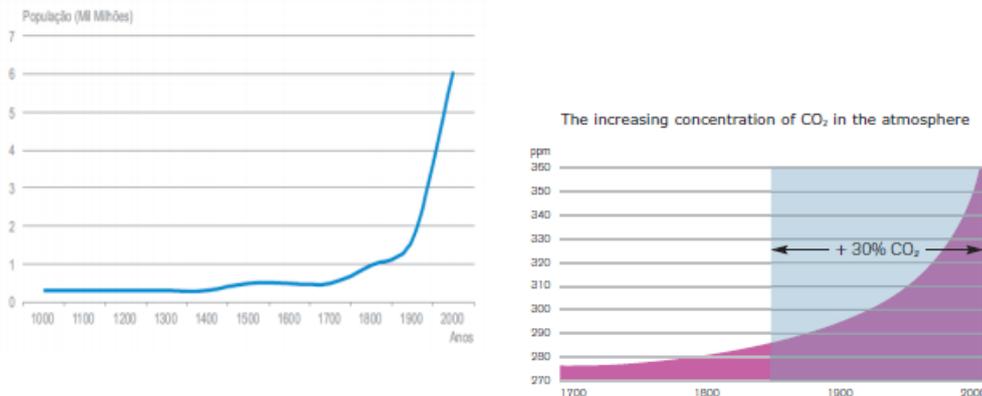


Figura 25 – Aumento das Emissões de CO<sub>2</sub> por século, Fonte: (Guy-Quint, 2005)

Não existe nenhum material de construção geralmente usado, como a madeira, que exigem tao pouca energia para o seu fabrico. Graças à fotossíntese, as árvores são capazes de captar o CO<sub>2</sub> no ar e combina-lo com a água que vem do solo para produzir o material orgânico da madeira. (Guy-Quint, 2005)

Para além disto, este processo também produz oxigénio.

Por cada metro cúbico de madeira utilizada, como substituto de outro material de construção, reduz as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera por uma média de 1,1 t de CO<sub>2</sub>. Se a este valor adicionarmos 0,9t de CO<sub>2</sub> armazenado na madeira, cada metro cúbico de madeira economiza no total 2t de CO<sub>2</sub>. Com base nestes números, um aumento de 10% na percentagem de casas de madeira na Europa produziria uma poupança de CO<sub>2</sub> suficiente para representar cerca de 25% das reduções previstas pelo protocolo de Quioto. (Guy-Quint, 2005)

Os gases de efeito de estufa não tem todos a mesma influência, devido as suas diferentes propriedades e tempo expectável de vida na atmosfera. A influência no aquecimento é geralmente expressa através de uma unidade baseada no poder de aquecimento do CO<sub>2</sub>. (Henriques, 2011)

*“A emissão de CO<sub>2</sub> equivalente é a quantidade de Gases de Efeito de Estufa emitida que, quando multiplicada pelo fator de Potencial de Aquecimento Global (GWP – Global Warming Potential), nos permite obter a quantidade de CO<sub>2</sub> que irá causar a mesma força radioativa para um determinado tempo horizonte. No caso de se ter uma mistura de vários gases deste tipo, a sua contabilização é feita somando a*

*contabilização do CO<sub>2</sub> equivalente. A emissão de CO<sub>2</sub> equivalente é uma medida útil para comparar diferentes emissões de GEE, no entanto isto não significa que se obtenham as mesmas mudanças climáticas.” (Henriques, 2011)*

Para o cálculo do CO<sub>2</sub>, também foi usada a base de dados do ICE V2.0. No caso dos coeficientes de CO<sub>2</sub> esta base de dados não só inclui os valores de emissão de CO<sub>2</sub> como também os restantes gases tóxicos. Nesta base de dados não estão incluídos os valores para o transporte.

## 4 Trabalho experimental

O trabalho prático que foi efetuado consiste em comparar duas estruturas, com arquitectura igual, mas construídas com materiais de construção diferentes. Nesta fase do estudo considere-se fundações iguais para ambos os modelos, uma vez que se vai apenas comparar a estrutura, embora que devido às diferenças dos pesos de cada estrutura a fundação pode variar, no âmbito de utilizar o mínimo material.

Para se proceder à comparação destas duas tipologias construtivas foi necessário escolher as soluções construtivas para cada um dos exemplos, para isso escolheu-se uma combinação de materiais que fosse semelhante em ambos os casos, quer na estabilidade, quer no conforto ambiental, para se proceder a uma correta comparação das mesmas. Os cálculos efetuados são apresentados no anexo 1.

Para tal fez-se a escolha comparando os coeficientes de transmissão térmica de modo a que as duas tipologias tivessem um valor semelhante do coeficiente de transmissão térmica médio da parede e do pilar, sendo assim semelhantes no que diz respeito ao conforto térmico.

A habitação em estudo é uma casa de tipologia T2, com um pé direito de 2,6m, e com uma área total de 102m<sup>2</sup>, como se mostra na figura 26. As áreas de cada divisão são apresentadas na tabela 1.

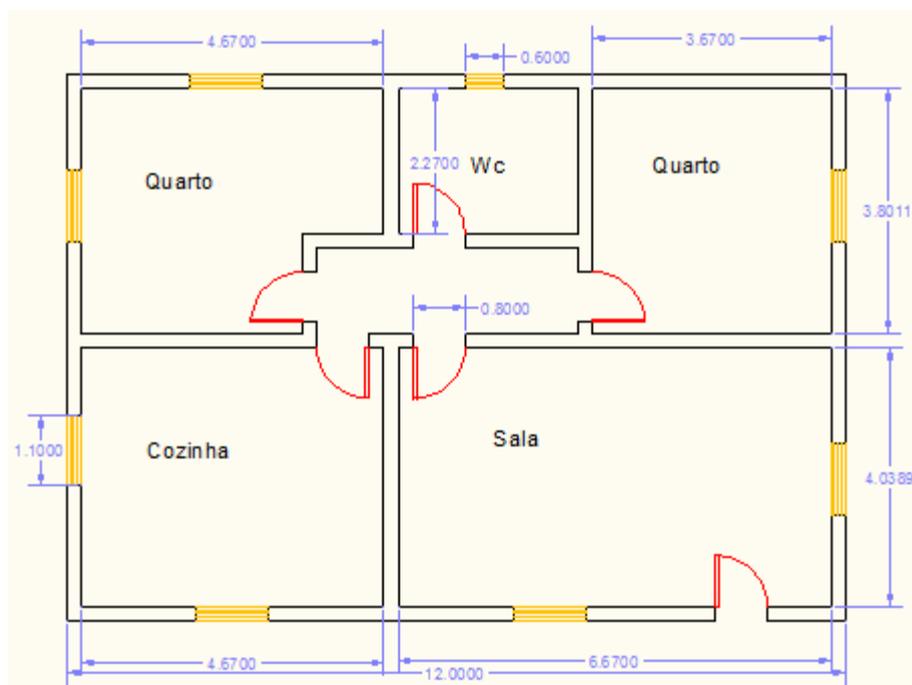


Figura 26 – Planta da casa

Tabela 1 – Divisões da Habitação com as áreas

Divisão	Área (m <sup>2</sup> )
Quarto 1	18
Quarto 2	16
Sala	31,5
Cozinha	22,5
Casa de Banho	9,1
Corredor	4,9

#### 4.1 Descrição de todo o procedimento betão

Para a comparação da estrutura, foi necessário fazer uma escolha criteriosa da solução a adotada.

A estrutura de betão que será analisada, é uma estrutura de betão armado, com parede de tijolo furado de 15 centímetros de espessura, com isolamento pelo exterior e rebocada em ambas as faces. A espessura do isolamento é 3 centímetros e o isolamento térmico escolhido foi poliestireno extrudado, e do reboco 2 centímetros, como representada na figura 27.

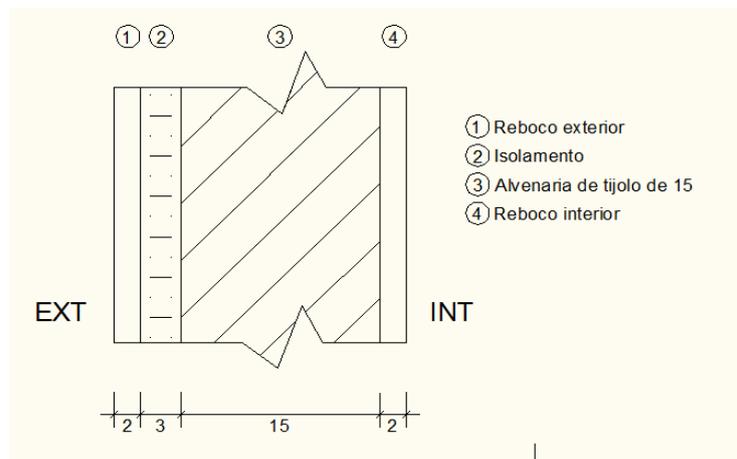


Figura 27-Parede modelo de betão armado

Na figura 28, esta representada a parede na zona do pilar.

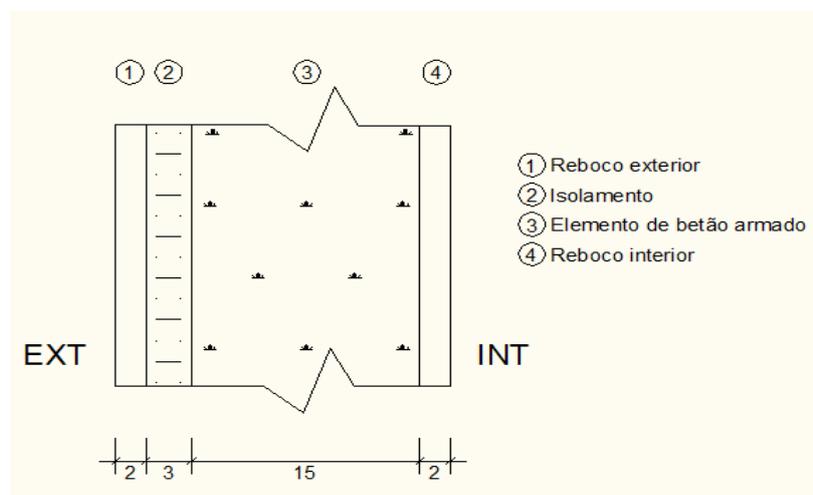


Figura 28 – Pilar de betão

O tijolo utilizado é um tijolo com as dimensões de 30 x 20 x 15cm. Estes tijolos são tijolos cerâmicos de enchimento com furação horizontal, com estrias de reboco, e têm requisitos acústicos e de resistência ao fogo. Tem o peso unitário de 5,2 kg, e são comercializados em paletes que contêm 198 tijolos. Na figura 29, é apresentado um esquema da parede.



Figura 29 - Exemplo de parede de tijolo, Fonte: CYPE

Para o isolamento o material escolhido foi o poliestireno extrudado, mais conhecido por XPS. Esta escolha baseou-se no fato de ser um material bastante usado nas construções em Portugal. Estas placas são altamente resistentes à absorção de água, e a sua capilaridade é praticamente nula. São combustíveis e ardem rapidamente se expostas a fogo, sofrem alterações dimensionais irreversíveis quando expostas a altas temperaturas por longo período de tempo. A temperatura máxima de trabalho é de 75° C. Estas placas tem como condutividade térmica o valor de 0,035 W/m°C. Na figura 30 está um exemplo de colocação de isolamento pelo exterior.



Figura 30 - Aplicação de isolamento, pelo exterior em fachadas ventiladas, *Fonte : CYPE*

No que se refere ao reboco, é um reboco tradicional, formado basicamente por cal e areias, as quais se adiciona cimento. A função do reboco é regularizar as paredes para que fiquem prontas a receber o devido acabamento. O reboco é suficientemente resistente à compressão e aderência. Por ser um produto alcalino, a cal hidratada impede a oxidação das ferragens atuando como agente bactericida e fungicida. A condutibilidade térmica do reboco é  $1,15 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ . Na figura 31 apresenta-se uma representação do reboco.

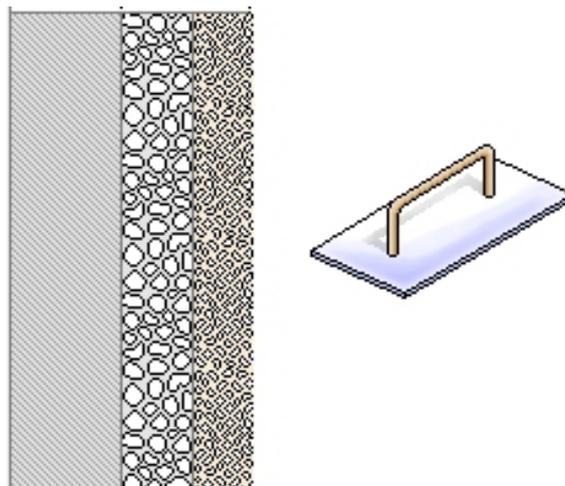


Figura 31- Demonstração de colocação de Reboco, com camada de regularização , *Fonte: CYPE*

Para a construção desta estrutura, serão necessários 12 pilares de betão, com a dimensão de 15 cm por 20 cm, estes pilares terão 5 varões de aço de dimensão 8 mm. Os pilares foram escolhidos de acordo, com a facilidade de construção, ou seja foram

escolhidos pilares retangulares para evitar problemas na sua execução no que diz respeito á espessura do rebolo e isolamentos. Na figura 32, apresenta-se uma planta onde indica a localização dos pilares.

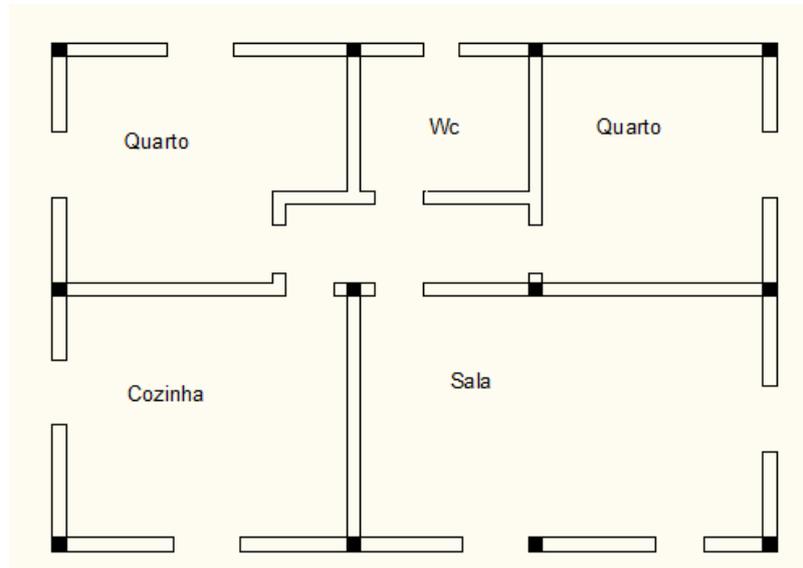


Figura 32 – Planta com os pilares demonstrados

As vigas escolhidas terão a dimensão de 20 cm por 60 cm, e são vigas também de betão.

Quanto à laje, esta é maciça e tem uma espessura de 20 cm.

No que diz respeito à cobertura esta é inclinada, com uma pendente de 30°, e com ripas apoiadas em vigotas que formam assim a cobertura.

Na figura 33 apresenta-se um exemplo de aplicação deste método de cobertura.



Figura 33 – Exemplo de cobertura em betão, Fonte: SPRAL

O cálculo apresentado em anexo foi efectuado de maneira a ser possível calcular todas as quantidades de materiais necessários para a construção desta habitação, para que fosse possível quantificar a energia incorporada, a emissão de CO<sub>2</sub> e o custo da construção.

No caso da construção em betão armado o Coeficiente de Transmissão térmica obtido através do cálculo apresentado em anexo foi o valor de **0,717 W/ m<sup>2</sup> °C, nas paredes.**

## 4.2 Descrição de todo o procedimento Madeira:

A solução de madeira adotada, é uma solução composta por pilares e vigas, com pilares de madeira lamelada colada de dimensão 10cm X 10cm (estas dimensões foram escolhidas de acordo com o que satisfazia os esforços mas também, com a disponibilidade em comercialização), e vigas de 10cm x 20cm também elas vigas de madeira lamelada colada. As paredes são forradas com placas de OSB, com a dimensão de 25 mm, e o isolamento escolhido foi aglomerado de cortiça expandida. Este isolamento foi escolhido, por ser um isolamento natural, uma vez que não fazia sentido numa construção toda em madeira/derivado, ter um material que não fosse natural. No que diz respeito as ligações entre as placas de madeira, não se consideram os parafusos, uma vez que se trata de um valor residual.

Na figura 34, esta a parede representada na zona onde não existem pilares. Na figura 35, está representado a zona de pilares.

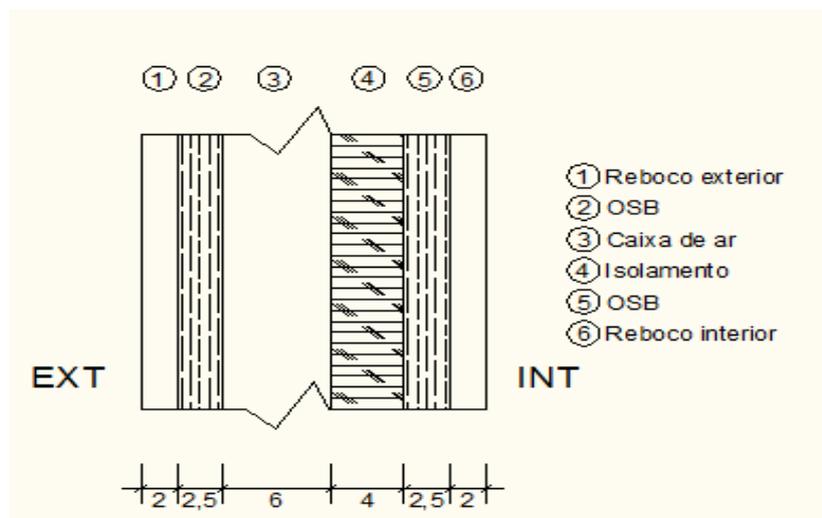


Figura 34 - Parede de Madeira, sem pilares

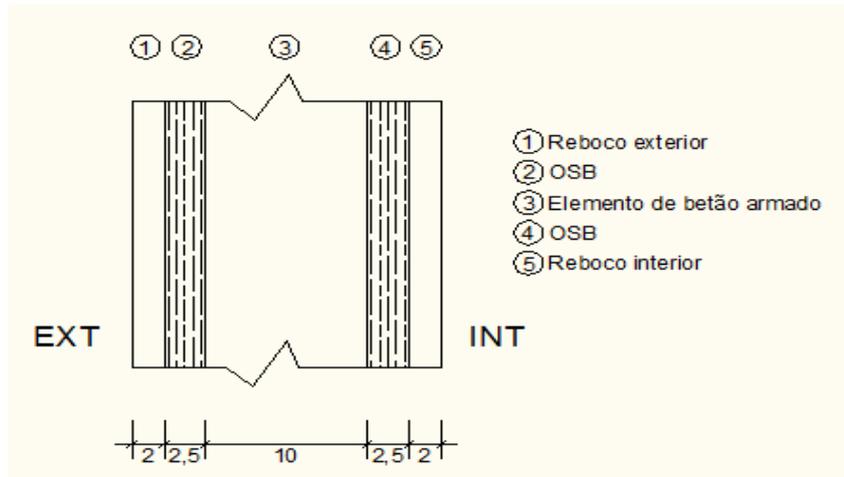


Figura 35 – Parede de madeira , pilar

Os pilares ficam por dentro da estrutura como exemplificado na figura 36.



Figura 36– Exemplo de Colocação de Placas OSB, Fonte : [www.jular.pt](http://www.jular.pt)

O OSB apresenta uma massa volumica de  $630 \text{ kg/m}^3$ , e a sua condutividade termica de  $0,12 \text{ W/m}^\circ \text{C}$ . Estas placas são comercializadas com a dimensão de  $2,5\text{m} \times 1,25\text{m}$ .

O material utilizado para o isolamento foi o aglomerado de cortiça expandida com 40 mm de espessura.

Este material resiste bem a altas temperaturas, tem uma boa resistênci a ao fogo, e é um material bem mais sustentável do que outros materiais correntemente utilizados em isolamento. Apresenta uma resistênci a térmica de  $1,0 \text{ m}^2 \text{ }^\circ \text{C}/ \text{W}$  para a espessura escolhida. Através da ficha de segurança do produto, disponibilizada na internet no site de uma empresa de comercialização deste material, obtém-se a informação que é um material 100% natural, isto é 100% cortiça, sem adição de químicos. Este produto

é comercializado sobre a forma de placas planas castanhas escuras, com a dimensão de 1m x 0,5m, como mostra a figura 37.



Figura 37 – Placas de Aglomerado de Cortiça Expandida (fonte: Amorim Isolamentos)

A madeira lamelada colada usada para as vigas e pilares, pode ser analisada como madeira maciça reconstituída, apresentando um comportamento físico e mecânico, que é na sua essência o da madeira maciça. (Cruz, 2007)

O fato de se usar madeira lamelada colada ao invés de madeira maciça, faz com que se evitem defeitos provenientes da madeira, impossíveis de evitar quando se utiliza madeira maciça, conduzindo então a um material mais homogêneo e conseqüentemente mais fiável e resistente.

A densidade e a resistência térmica da madeira lamelada colada, são  $510 \text{ kg/m}^3$  e  $0,18 \text{ W/m}^0 \text{ C}$ , respetivamente.

Em relação a laje, quer de piso quer térrea estas irão ser vigas e painéis de madeira.

As vigas têm dimensões de  $0,1\text{m} \times 0,2\text{m}$  e tem o comprimento de 6m.

Em relação aos painéis, estes serão de madeira, e terão as dimensões de  $2,4\text{m} \times 0,9\text{m}$  e uma espessura de 10cm.

Relativamente á cobertura, foi previsto que o edifício vai ter uma cobertura em telha lusa, apoiada numa asna de madeira lamelada colada, espaçadas de 4m, perfazendo

um total de 3 asnas ao longo de toda a cobertura. A pendente é de 30°. As ligações são feitas com elementos metálicos, garantindo assim a estabilidade da estrutura.

“O uso destes elementos metálicos, para além de prevenir as deformações no plano ortogonal à estrutura, tem o objetivo de garantir a estabilidade da ligação frente a forças cíclicas (inversão de esforços). Braçadeiras, esquadros e varões metálicos representam as soluções de reforço mais vulgares em ligações tradicionais de madeira.” (Branco, Cruz, & Piazza, 2006)

Na figura 38, apresenta-se uma figura semelhante da cobertura

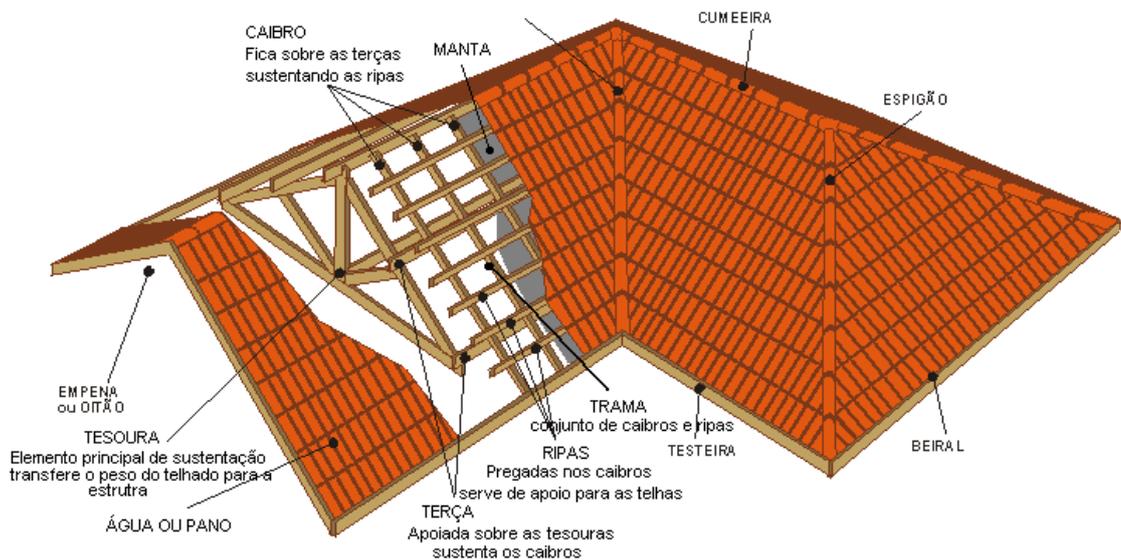


Figura 38– Exemplo de cobertura , Fonte : Fkcomercio

Nas asnas vão apoiar as terças, que por sua vez nestas apoiam os caibros, e nestes apoiam as ripas onde vão apoiar as telhas. As dimensões destes materiais vão ser todos iguais, ou seja 2,5 x 3cm.

No caso da estrutura de madeira o coeficiente de Transmissão térmica toma o valor de **0,712 W/ m<sup>2</sup> °C**.

### 4.3 Quantificação dos materiais

Para proceder à comparação, é necessário quantificar os materiais que se vão utilizar em cada uma das tipologias construtivas, nomeadamente a quantidade de madeira no caso da construção em madeira e no caso da construção em betão a quantidade de betão a utilizar bem como a quantidade de armadura.

No que se refere a fundações, neste estudo não se faz a comparação, uma vez que as fundações se podem aplicar em ambos os casos a mesma. Salienta-se que a comparação se limita ao estudo de materiais usados para a estrutura, em principio os materiais relacionados com a arquitectura são iguais em ambos os casos e não influenciam o estudo.

Irá começar-se por demonstrar no caso do betão a quantidade necessária para a construção da moradia térrea de tipologia T2. Na figura 39 está a planta da habitação em betão armado.

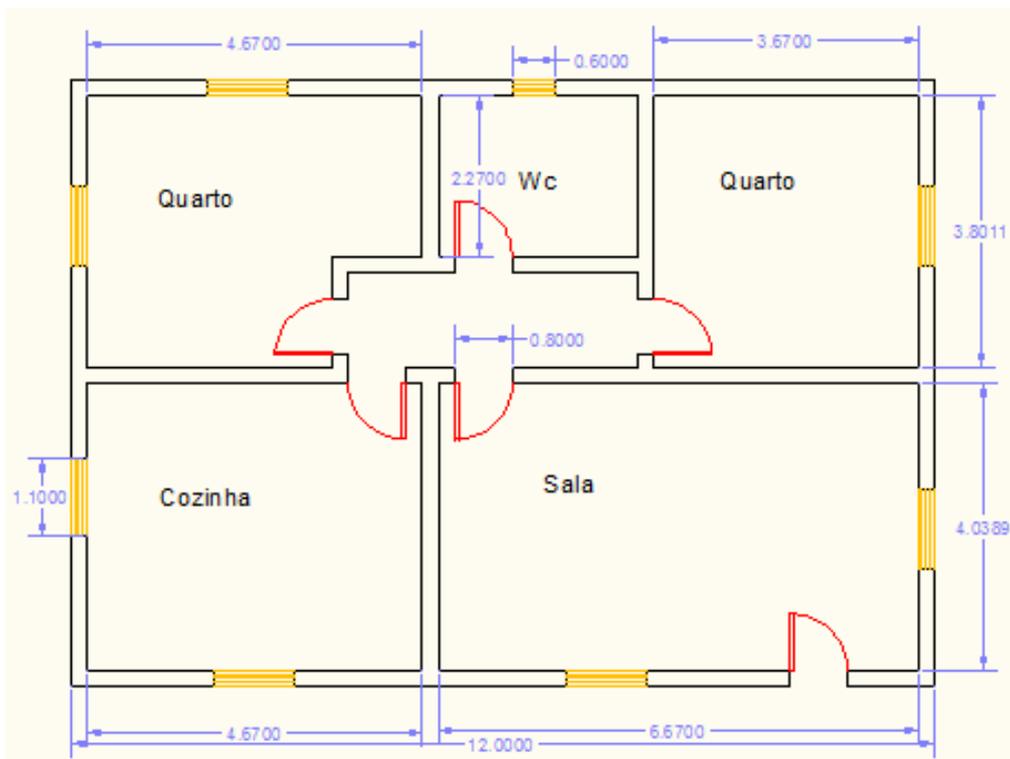


Figura 39 - Planta da habitação em betão

No que diz respeito ao Aço, os varões que vão ser utilizados são os que se mostra nas tabela 2.

Tabela 2 – Varões utilizados

Elemento	Varão
Pilar	5Ø8
Viga	6Ø16
Laje principal inferior x	Ø10//25
Laje principal inferior y	Ø10//25
Laje principal superior x	Ø10//15
Laje principal inferior y	Ø10//15
Laje distribuição x	Ø8//30
Laje distribuição y	Ø8//30

Em termos de betão, e restantes materiais a quantidade que é utiliza é a que se mostra nas tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3 – Quantidade de Betões

Elemento	Quantidade (m <sup>3</sup> )
Pilar	0,936
Vigas	15,72
Laje térrea	20,4
Laje Piso	20,4

Tabela 4 – Quantidade Restantes Materiais

Elemento	Quantidade (m <sup>2</sup> )
Tijolo	182
Argamassa juntas	173
Reboco interior	238
Reboco exterior	106,6
Isolamento XPS	106,6

Tabela 5 – Quantidade de materiais para a cobertura em unidade

Elemento	Quantidade(unidades)
Ripas	312
Vigotas	24
Telhas	1100

O peso total da Estrutura de betão é a soma de todos os pesos dos materiais utilizados como se apresenta no anexo. Na tabela 6, apresenta-se as massas de cada componente.

Tabela 6 – Peso dos componentes da estrutura de betão-armado

Material	Massa (kg)
Aço	4535,28
Betão	137894,40
Tijolo	10647,00
Argamassa	5531,11
Reboco	15529,30
Isolamento	128,80
Telhas	3740,00
Ripas	1812,00
Vigotas	2234,40

A estrutura de betão-armado tem uma massa de **182052,21 kg**.

No que diz respeito às quantidades utilizadas para a estrutura de madeira, são as que se apresentam nas tabelas 7,8 e 9.

Tabela 7 – Quantidade de materiais, em unidades

Elemento	Quantidade
Pilar	62
OSB	56
Isolamento	215

Tabela 8- Quantidades restantes materiais

Elemento	Quantidade (m <sup>2</sup> )
Reboco interior	238
Reboco exterior	106,6

Tabela 9 – Quantidades dos materiais para a cobertura

Elemento	Quantidade(unidades)
Ripas	156
Caibros	48
Terças	18
Asna	3

A massa total da estrutura de cada um dos componentes é o que esta na tabela 10, apresentada a seguir.

Tabela 10- Pesos dos materiais

Madeira	Massa (kg)
Terças	27,54
Caibros	89,96
Ripas	119,34
Asna	520,2
Vigotas laje terrea	3672
Painel Laje terrea	3121,2
Pilares	1849,77
Vigas	669,1
Placas OSB	5512,5
Telhas	740
Isolamento	469,04

No caso da estrutura em madeira a massa total é de **16763,11kg**.

#### 4.4 Energia Incorporada

##### Modelo em Betão Armado

Na tabela 11, está apresentado o cálculo efectuado para todos os componentes de betão, para obter a energia incorporada de cada um dos elementos.

Tabela 11 – Energia Incorporada Construção betão armado

Elemento	Massa (kg)	Coeficiente de Energia (MJ/kg)	Energia ( MJ)
Tijolo	10647,00	3,00	31941,00
Argamassa	5531,00	5,50	30420,50
Reboco	15529,30	5,50	85411,15
Isolamento	128,80	88,60	11411,68
Aço	4535,28	21,60	97962,05
Betão	138504,00	0,78	108033,12
Telhas	3740,00	6,50	24310,00
Ripas	1812,00	0,75	1359,00
Vigotas	2234,40	0,75	2350,80

Para simplificação de análise de resultados, será apresentada a figura 41, em que no eixo das abcissas está cada tipo de material e no eixo das ordenadas o valor da energia para cada material. Com este gráfico podemos ter a perceção facilmente de qual material gasta mais energia. Como seria expectável o aço e o betão são os materiais que consomem mais energia para o seu fabrico.

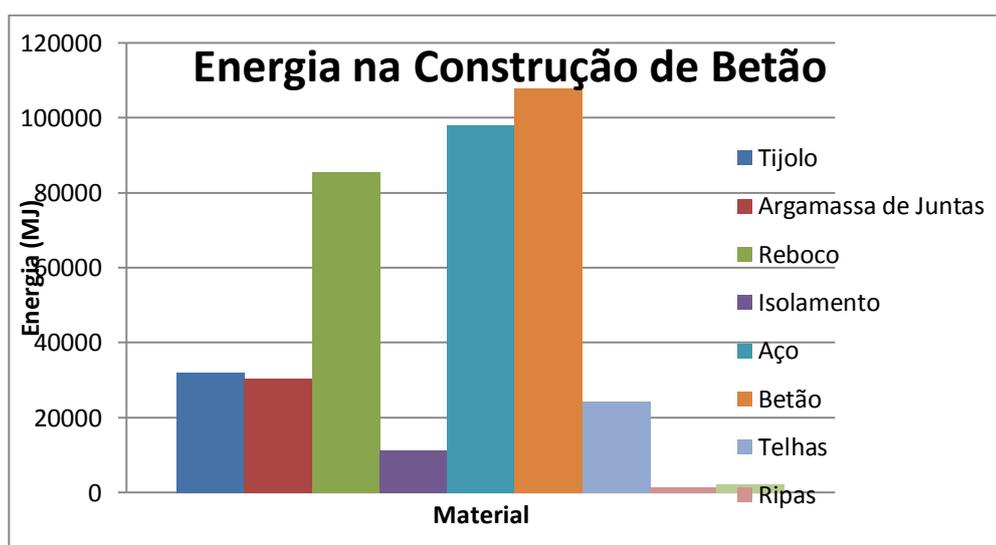


Figura 40 – Energia Incorporada – Solução Construtiva de Betão Armado

O total de Energia Incorporada para o caso da construção de betão armado é **393199,36MJ**.

### **Modelo em madeira**

Na tabela 12, estão os valores de energia incorporada, para a construção em madeira.

Tabela 12- Energia Incorporada Construção Madeira

Elemento	Massa (kg)	Coeficiente de Energia (MJ/kg)	Energia ( MJ)
Pilar	1849,77	3,00	5549,31
Vigas	668,10	3,00	2004,30
OSB	5512,50	15,00	82687,50
Isolamento	469,04	4,00	1876,16
Caibros/terças/ripas	236,84	3,00	710,52
Asna	520,20	3,00	1560,60
Vigotas	3672,00	3,00	11016,00
Paineis	3121,20	3,00	9363,60
Reboco	15529,20	5,50	85410,60
Telhas	3740,00	6,50	24310,00

Através da análise da figura 43, consegue-se ter a percepção que o material utilizado no revestimento das paredes é um material que consome bastante energia para o seu fabrico, em comparação com os restantes materiais utilizados. Esta diferença deve-se ao facto de o OSB, necessitar de mais transformação do que a madeira lamelada colada e do que o aglomerado de cortiça expandida. Relativamente aos painéis da laje, pode verificar-se que, esta diferença é superior pois é necessário uma área superior de painéis do que de qualquer outro material.

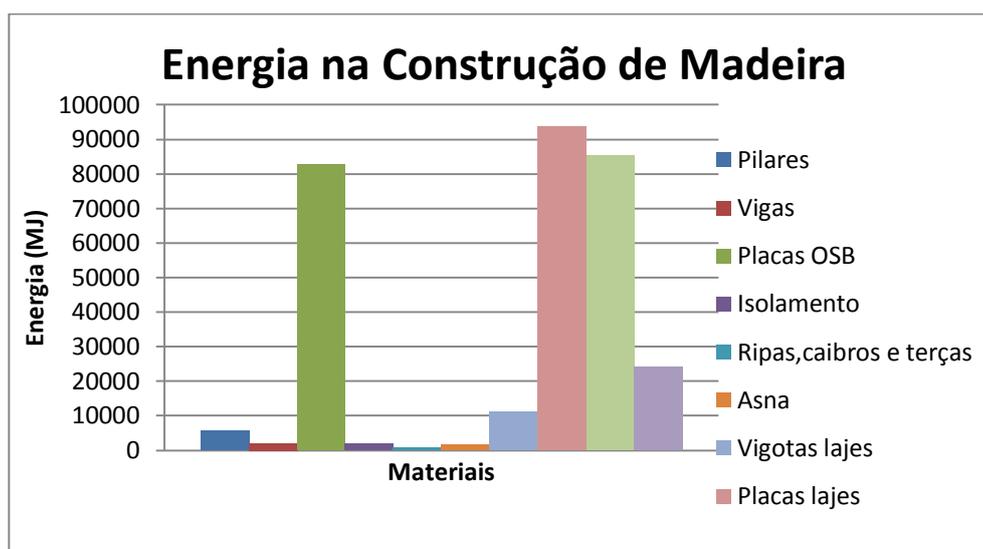


Figura 41 – Energia Incorporada – Solução Construtiva de Madeira

O total de energia incorporada para o caso da construção em madeira é **308760,5 MJ**

## 4.5 Emissões de CO<sub>2</sub>

### Modelo em betão armado

Na tabela 13, estão apresentados os valores das emissões de CO<sub>2</sub> que incluem também os outros gases tóxicos, para o caso da estrutura de betão-armado.

Tabela 13 – Emissões de CO<sub>2</sub> para a estrutura de betão armado

Elemento	Massa (kg)	Coefficiente de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> /kg)	CO <sub>2</sub> ( kg CO <sub>2</sub> )
Tijolo	10647,00	0,24	2555,28
Argamassa	5531,00	0,95	5254,45
Reboco	15529,30	0,95	14752,84
Isolamento	128,80	3,29	423,75
Aço	4535,28	1,86	8435,62
Betão	138504,00	0,11	15235,44
Telhas	3740,00	0,70	2618,00
Ripas	1812,00	0,11	204,76
Vigotas	2234,40	0,11	311,64

Na figura 44, é mostrada a comparação de todos os valores de emissões de CO<sub>2</sub> para a construção em betão.

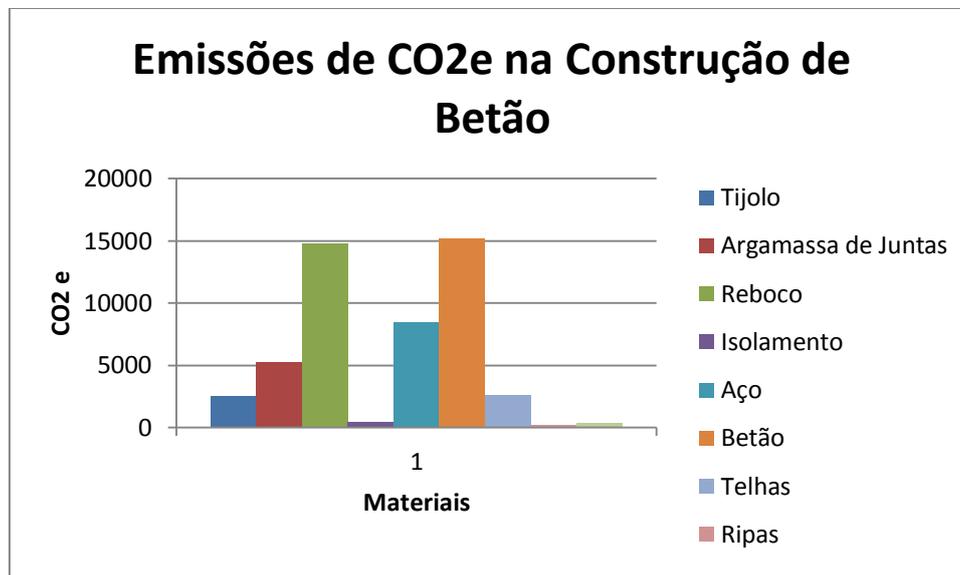


Figura 42 – CO<sub>2</sub> – Solução Construtiva de Betão

O valor total das emissões de CO<sub>2</sub> para a estrutura de betão armado é **49791,78 kg/CO<sub>2</sub>**.

**Modelo em madeira**

Na tabela 14, estão apresentados os valores de emissões de CO<sub>2</sub> para o caso da estrutura em madeira.

Tabela 14 – Emissões de CO<sub>2</sub> para a estrutura em madeira

Elemento	Massa (kg)	Coefficiente de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> /kg)	CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> )
Pilar	1849,77	0,24	443,94
Vigas	668,10	0,24	160,34
OSB	5512,50	0,99	5457,38
Isolamento	469,04	0,19	89,12
Caibros/terças/ripas	236,84	0,24	56,84
Asna	520,20	0,24	124,85
Vigotas	3672,00	0,24	881,28
Paineis	3121,20	0,24	749,09
Reboco	15529,20	0,95	14752,74
Telhas	3740,00	0,70	2618,00

Na figura 45, esta um gráfico dos valores de emissão de CO<sub>2e</sub>, para o caso da construção em madeira, para mais fácil perceção das diferenças entre cada material.

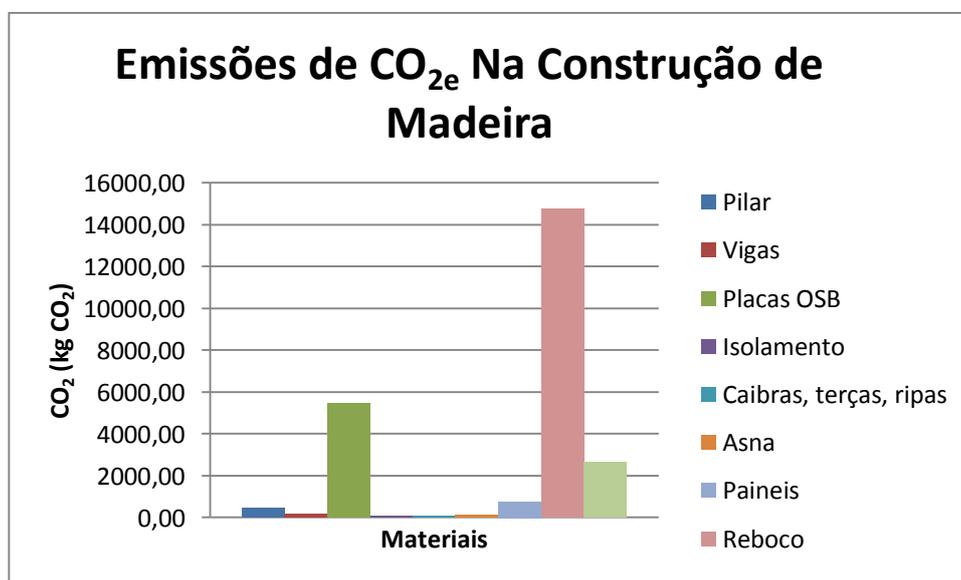


Figura 43 – CO<sub>2</sub> – Solução Construtiva em Madeira

O valor total das emissões de CO<sub>2</sub> para a estrutura de madeira é de **25333,58kg/CO<sub>2</sub>**.

## 4.6 Custos

No que se refere aos custos de construção, utilizou-se o gerador de preços do CYPE CAD, para obter os preços para cada componente.

Estes preços já contêm os valores de meios auxiliares para a construção de cada componente, nomeadamente o valor da mão de obra, de ferramentas e maquinaria que será necessário utilizar.

Relativamente aos custos, não foi feita comparação de custos quer de trabalhos prévios, fundações e outros custos inerentes à obra que sejam semelhantes em ambos os casos, apenas foi feita a comparação da construção da estrutura propriamente dita.

No que diz respeito à construção, os preços que foram tidos em conta foi o preço de construção por m, m<sup>2</sup>, e por m<sup>3</sup> consoante o caso.

Para o caso do betão, foi analisado o preço para a componente das paredes, da laje de piso, para a laje térrea, e para a cobertura.

No caso da madeira, foi feita a análise de custos para a componente das paredes, da treliça, da laje térrea, e da cobertura.

Nesta comparação de custos não foram tidos em conta também os custos para com os acabamentos, pois em ambos os casos, estes também seriam semelhantes, e dependendo de caso para caso.

Para o caso da Construção em betão armado, os preços que se obtiveram foi os preços apresentados na tabela 15.

Tabela 15 – Custos – Solução Construtiva em Betão

Componentes	Preço /m <sup>3</sup>	Preço /m <sup>2</sup>	Preço /m	Comprimento (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Preço total
Pilares	783,95 €					0,936	733,78 €
Vigas	359,65 €					15,74	5.660,89 €
Laje Piso	-	80,34 €			102		8.194,68 €
Laje terrea	-	80,34 €			102		8.194,68 €
Tijolos		17,40 €			190		3.306,00 €
Reboco Base		10,50 €			500,5		5.255,25 €
Reboco exterior	-	20,62 €			106,6		2.198,09 €
Reboco interior	-	22,50 €			393,9		8.862,75 €
Isolamento	-	9,92 €			106,6		1.057,47 €
Vigotas			23,54 €	117,60			2.768,30 €
Ripas			8,05 €	312,00			2.511,60 €
Telhas		20,79 €			117,6		2.444,90 €

No caso dos pilares e das vigas, multiplicou-se o volume de cada um destes componentes pelo valor correspondente por m<sup>3</sup>, obtendo-se assim os valores relativos a esses componentes.

Para as lajes quer de piso quer térreas, área de tijolo, rebocos e isolamento utilizou se o mesmo método.

No que se refere as vigotas, uma vez que no gerador de preços não existe a dimensão de vigotas que se irá utilizar neste trabalho, utilizou-se o preço por m fornecido por um fabricante, e acrescentou-se o preço de mão de obra e meios auxiliares, como se pode verificar em anexo nos cálculos apresentados, o mesmo procedimento aconteceu com as ripas.

O valor da construção de betão armado é então **51.188,40 €**

Para a construção em madeira, os preços que obtivemos foram os apresentados na tabela 16.

Tabela 16 – Custos – Solução Construtiva em Madeira

Componentes	Preço /m <sup>3</sup>	Preço /m <sup>2</sup>	Preço/m	Comprimento(m)	Área(m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Preço total
Pilares	628,01					3,627	2.277,79 €
Vigas	601,3					1,31	787,70 €
Laje Piso		119,07 €			102		12.145,14 €
Laje terrea		119,07 €			102		12.145,14 €
Camada Base Reboco		10,50 €			500,5		5.255,25 €
Reboco exterior		20,62 €			106,6		2.198,09 €
Reboco interior		18,17 €			393,9		7.157,16 €
Isolamento		12,43 €			106,6		1.325,04 €
OSB		21,53 €			375		8.071,88 €
Asna		776,63 €			3		2.329,89 €
Ripas, terças, caibros			1,90 €	236,00			448,40 €
Telhas		20,79 €			117,6		2.444,90 €

Para os pilares e vigas utilizou-se os valores por m<sup>3</sup>, e multiplicou-se pelo volume de cada um dos componentes para se obter o valor necessário para esse componente.

No que diz respeito as lajes, rebocos isolamento placas de OSB, multiplicou-se o preço por m<sup>2</sup>, pelo área de cada um dos componentes. No caso das placas de OSB, a área é o dobro da área de parede, pois são duas placas que são necessárias.

Em relação à ASNA, o valor é por unidade de ASNA, ou seja 776,63€ é o valor unitário para construir uma ASNA, incluindo os meios auxiliares para as ligações.

Relativamente às ripas, terças e caibras, o valor foi retirado de um fornecedor, uma vez que no gerador de preços não vinha contemplado este material, a este valor foi acrescentado os custos de mão de obra e materiais necessários.

O custo final da construção em madeira é **56.586,39 €**.

## 4.7 Comparação

Depois de todos os resultados pode-se proceder á comparação entre a construção de betão armado e a construção em madeira.

No que diz respeito à resistência da estrutura, como referido anteriormente a solução adotada para ambos os casos, foi escolhida de acordo com as características semelhantes.

Na resistência ao fogo, a segurança contra incêndios em edifícios (SCIE), regida pelo Regime jurídico da SCIE, baseia-se face ao risco de incêndios nos princípios gerais da preservação da Vida Humana, do Ambiente e do Património Cultural. No que diz respeito à resistência ao fogo, depende do tipo de edifício, da utilização tipo, dos produtos de construção, dos locais de risco, de categorias e fatores de risco. Através da análise destes fatores, conseguimos obter a categoria de risco, que é a menor que satisfaça integralmente todos os critérios indicados.

Neste caso em concreto, a utilização tipo, o local de risco, as categorias e fatores de risco são iguais, apenas alterando os produtos de construção.

#### 4.7.1 Comparação Energia

Como se pode verificar através da figura 46, a construção em betão é a construção que mais consome energia.

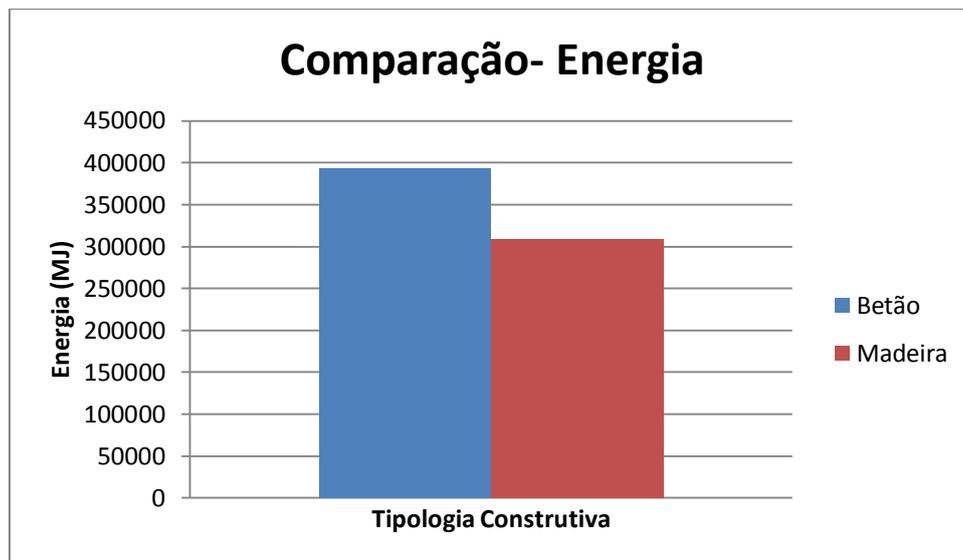


Figura 44 -Comparação da Energia

Esta diferença verificada deve-se ao fato de a madeira ser um material que não necessita de tanta transformação, como é o caso do aço utilizado na estrutura de betão armado, bem como de restantes materiais.

A diferença entre a construção de betão armado e a construção de betão armado é de 84438,86 MJ, isto é a construção de betão armado é superior em termos de consumo de energia em 84438,86MJ.

#### 4.7.2 Comparação de Emissões de CO<sub>2</sub>

No caso das emissões de CO<sub>2</sub> obtemos o mesmo resultado que no consumo de energia. No caso da madeira o CO<sub>2</sub> emitido é em quantidade inferior do que no caso da construção em betão-armado, como pode ver-se na figura 47.

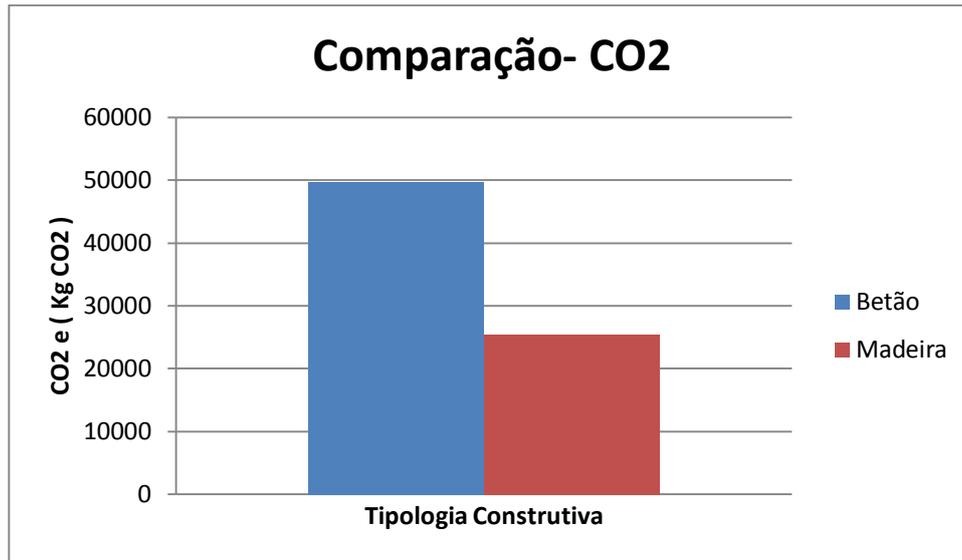


Figura 45 – Comparação de CO<sub>2</sub>

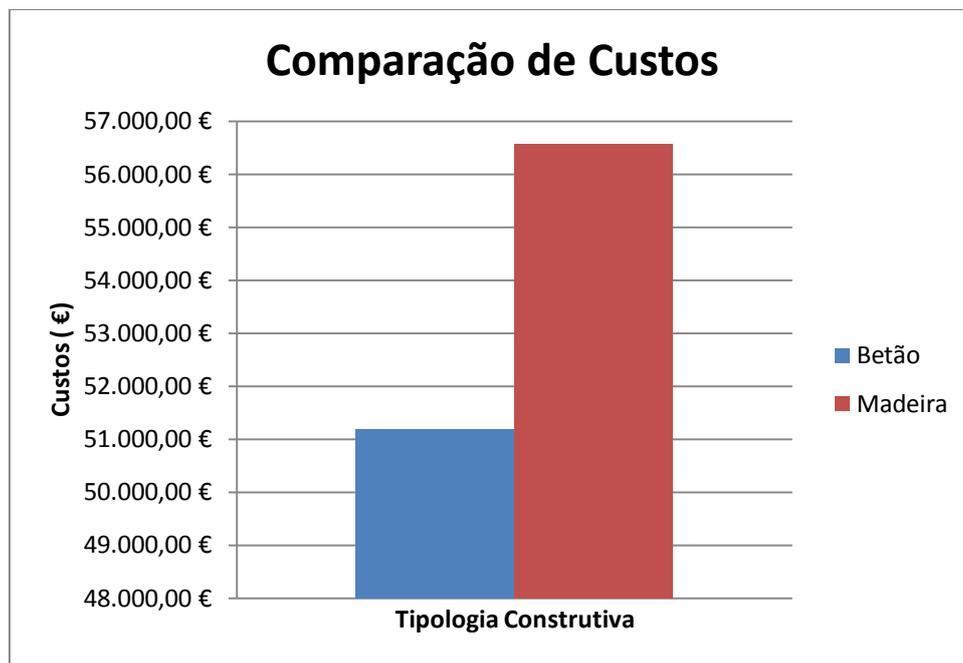
No que se refere às diferenças verificadas, chegou-se à conclusão que a solução construtiva em betão armado, emite mais CO<sub>2</sub> do que a construção em madeira, isto deve-se ao que á quantidade de CO<sub>2</sub> necessária para transformar, fabricar e transportar cada um dos materiais, bem como a origem do material, uma vez que a madeira é um material renovável logo menos poluente para o ambiente.

No que diz respeito ás emissões de CO<sub>2</sub>, a construção em betão armado tem um valor superior em 24458,2 kg/CO<sub>2</sub>, o que representa praticamente o dobro das emissões de CO<sub>2</sub> para a estrutura em madeira.

### 4.7.3 Comparação de Custos

No que diz respeito à comparação dos custos de construção de ambas as tipologias, pode verificar-se que a construção mais económica é a construção em Betão-armado.

Como se pode verificar na figura 48 e por comparação das duas colunas pode-se verificar que o custo da construção em madeira, é superior ao valor da construção em betão – armado.



**Figura 46 – Comparação de Custos**

A construção em betão-armado tem o custo total de 51.188,40 €, enquanto a construção de madeira tem um custo final de 56.586,39€. A diferença é então de 5397,99€.

Esta diferença nos custos pode dever-se ao fato de a madeira ainda ser um material pouco utilizado em Portugal, o que origina que fique mais caro do que o betão-armado que é mais utilizado. Para além disso a madeira necessita de alguns tratamentos iniciais para conseguir responder as exigências de qualidade para hoje em dia.

## 5 Construção modular em Portugal

“As estruturas prefabricadas, por definição são aquelas construídas em fábrica, de forma totalmente integrada, em que as operações, de fábrica e locais, se encontram perfeitamente definidas. A estrutura chega ao local preparada para que de seguida seja apenas necessário proceder a pequenos trabalhos de corte e serragem e á montagem/encaixe dos respetivos elementos que a constituem.” (Vilela, 2013)

A construção modular, poderá ser um mercado em expansão no nosso país. Existem inúmeras razões para que isso aconteça. Atualmente os jovens têm dificuldade em obter financiamento, o que não lhes permite um investimento muito grande, nem a longo prazo numa solução de construção típica usada em Portugal, podendo as casas modulares em madeira ser a solução para os jovens, devido à instabilidade dos seus empregos, bem como dos custos de construção de uma casa típica de betão armado.

Como se pode verificar através da observação da figura 48 e da leitura do relatório semestral da construção em Portugal do 1º Semestre de 2014, verifica-se que a tendência continua decrescente no que se refere ao número de obras licenciadas e concluídas por trimestre.

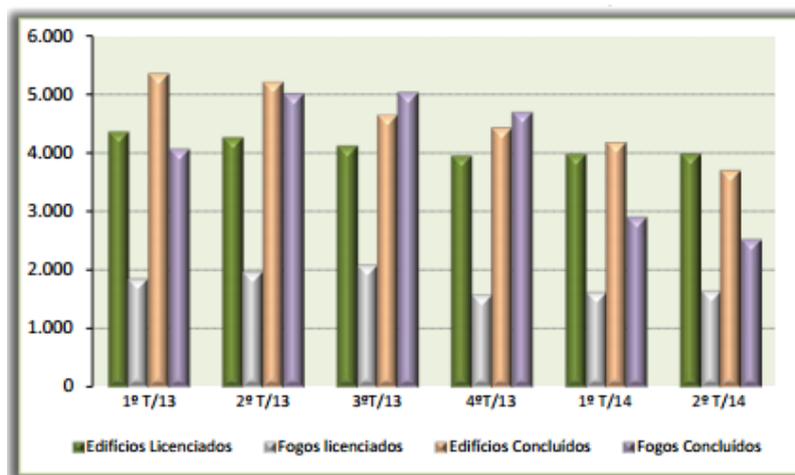


Figura 47 – Numero de fogos Licenciadas e Concluídos por Trimestre – Fonte INE

No que se refere as regiões do país mais afectadas pela falta de construção, pode verificar-se que as zonas mais afectadas são a Região Sul, e Ilhas, como se pode verificar na figura 49.

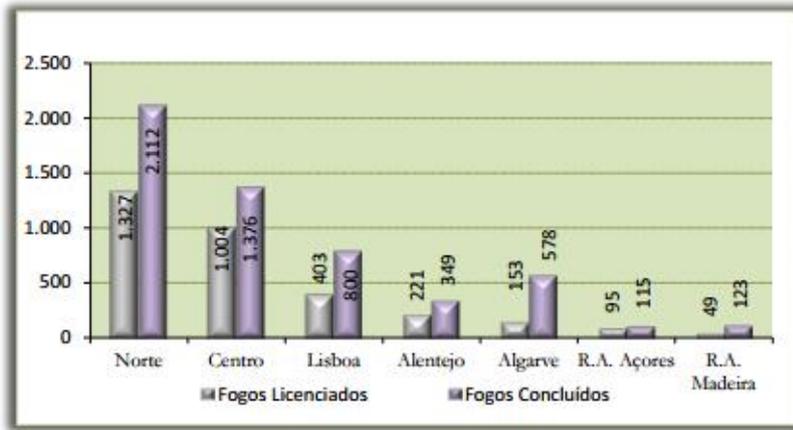


Figura 48 – Numero de Fogos Licenciados e Concluídos por Região ( 1º e 2º T de 2014 ) fonte INE

A Construção em madeira podia ser uma boa alternativa e uma solução para o crescimento da construção em Portugal.

As casas modulares, ou pré fabricadas, têm características muito distintas das habitações construídas de raiz. No que diz respeito à durabilidade, uma casa em madeira pré-fabricada, pode atingir a durabilidade de 400 anos, visto se tratarem de madeiras perfeitamente tratadas.

Atualmente em Portugal, já existem diversas empresas a fabricar casas pré fabricadas, havendo uma possibilidade imensa de combinações possíveis de escolher. Estas casas pré fabricadas têm uns padrões de qualidade bastante elevados e utilizam madeiras certificadas. Escolheram-se três empresas das quais se falará dos tipos de casas que comercializam e também um pouco da historia da própria empresa.

A empresa A é sediada em Penafiel, com mais de 10 anos de experiencia na construção em madeira, e tem como principal missão a construção com durabilidade, requinte, elevado conforto térmico e acústico, rápida construção e a satisfação dos objetivos dos clientes são as suas principais motivações. Esta empresa tem uma particularidade que permite aos clientes, plantar o número de árvores necessários a cada construção. Esta empresa tem como *compromisso ecológico retribuir o que retiram à natureza.*

A empresa B, refere que à luz solar a superfície exterior da madeira pode atingir o 60º C, provocando uma secagem rápida e encolhimento enquanto a água e o vapor dilatam a madeira. A repetição de fases de dilatação e secagem provoca fissuras e acelera o desgaste, assim esta empresa utiliza um tratamento de velatura que consegue garantir uma maior resistência às mudanças de temperatura, evitando assim

a penetração de água a rápida secagem, fissuras fungos e bichos. As habitações comercializadas por esta empresa tem um tratamento Autoclave para classe de uso 3 (NP EN 335-1), com uma classe de penetração NP% (EN 351-1). Uma casa de madeira tem uma resistência ao fogo de R30/REI30, por ter uma condutividade térmica baixa, ou seja a transmissão de calor da madeira é 12 vezes menor que a do betão, 250 vezes menor que a do aço e 1500 vezes menor que a do alumínio.

A empresa B tem como missão *proporcionar satisfação ao Cliente, procurando fornecer uma construção em madeira concebida para ser confortável, segura, duradoura, económica relativamente as construções tradicionais e sem grandes problemas de manutenção* (in site da empresa).

A empresa C, dá início à sua atividade de comercialização das casas de madeira em 1992, esta empresa é sediada em Porto de Mós. Esta empresa utiliza a madeira que extrai e industrializa diretamente das florestas naturais da Amazónia, e ainda utiliza madeiras mais macias como o Pinho Oregon ou Pinho Americana. Esta empresa, utiliza um programa de produção sustentada, isto é, tendo um ciclo de colheita e sistemas cuidados para não originar extinções na floresta Amazónica. Para além disto, esta empresa fabrica casas com paredes exclusivamente da mesma espécie, o que faz com que esta tenha um melhor comportamento.

As madeiras que a Empresa C, utiliza são madeiras maciças exclusivamente, e que garantem conforto térmico, acústico, e durabilidade.

A empresa B, comercializa as suas casas em painéis modulados, não sendo total a sua produção em fábrica, é o caso dos revestimentos cerâmicos utilizados na habitação.

A empresa A, permite que cada cliente opte por escolher as características que deseja na sua própria habitação. A versatilidade e possibilidade de escolha é uma característica importante na construção em madeira.

Neste estudo sobre construção pré-fabricada, irão apresentar-se 3 exemplos comercializados por cada uma das empresas referidas.

No caso da Empresa A, escolheu-se uma habitação do Tipo T3 com 150 m<sup>2</sup>, como apresentado na figura 50.



**Figura 49 Exemplo de casa em madeira tipologia T3 150m<sup>2</sup>**

Esta habitação tem uma estrutura mista, constituída por pilares e vigas de madeira maciça (80 x 80mm) e (80 x 50mm) , num sistema de paredes duplas e metálicos na cobertura. No exemplo apresentado a cobertura é plana de uma água, com caixa de ar ventilada. As paredes exteriores são de pinho seco liso, com réguas de espessura de 22mm, perfazendo uma espessura de 130mm com a caixa de ar ventilada. As madeiras utilizadas tanto nos pilares como nas vigas e nas réguas das paredes, tem tratamento em Autoclave para classe de uso 6 (NP EN 365-1), e com uma classe de penetração NP5 (EN 351-1). Relativamente as paredes interiores estas são efetuadas com o sistema inmak estas paredes interiores tem uma espessura de 130mm, com caixa de ar ventilada. Os isolamentos utilizados no caso das paredes é lã de rocha de alta densidade com 30mm de espessura, e o isolamento utilizado nos tetos são telas de bolhas de ar.

Nas figuras 51 e 52, apresentam-se duas figuras da planta da casa, disponibilizada no site da empresa:

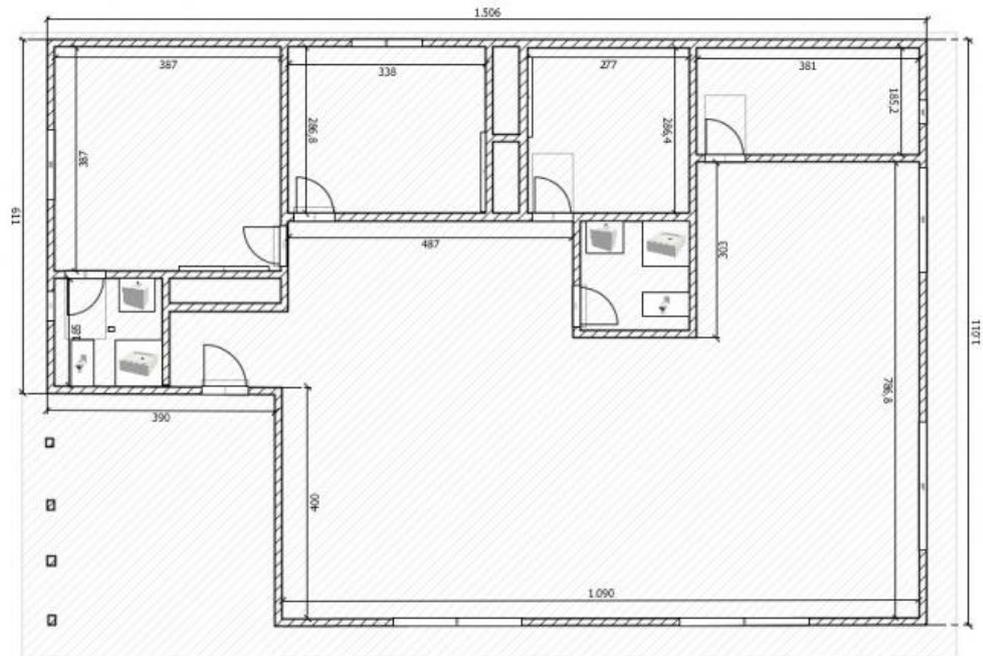


Figura 50- Planta da casa tipologia T3 150m<sup>2</sup>

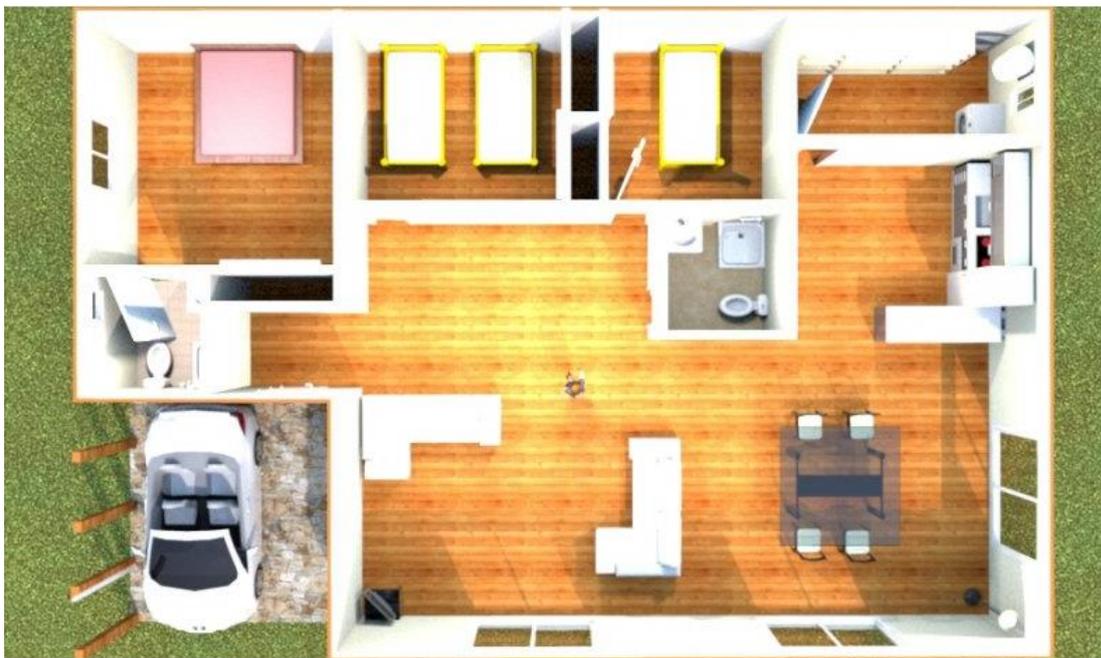


Figura 51- Planta da casa em 3D

Esta habitação pre-fabricada, com o modelo que se apresentou tem o valor de 37500,00 €, valor este ao que acresce o IVA, e não tem incluído as despesas de transporte, nem as ligações às redes de energia, água, telecomunicações e saneamento.

Estas habitações pré-fabricadas, como já foi referido tem inúmeras possibilidades de escolha, a que se apresenta é apenas um exemplo, podendo o consumidor final, alterar de acordo com as suas necessidades e preferencias.

A Empresa B, comercializa diversos tipos de habitações, a escolhida para ser semelhante as habitações pré- fabricadas escolhidas para as duas outras empresas foi a Modelo POMBAL 252, que é uma habitação do tipo T3, com um piso, e com 236,8 m<sup>2</sup>, incluindo a garagem e varandas. A habitação excluindo a garagem e as varandas tem uma área de 152,2m<sup>2</sup>. Na figura 53, esta apresentada uma perspectiva da habitação.



**Figura 52- Perspectiva da habitação T3.**

Esta habitação é construída em parede dupla isolada em meios troncos calibrados. Estas habitações além de terem características de construções definitivas tem também características que permitem ser construções anti sísmicas , no caso estas habitações são construídas com ligações solidárias de painéis com elementos longos e com amarrações e contraventamento eficazes.

No que se refere ao tipo de madeira utilizado, no caso da Empresa B, utilizam Pinho Marítimo para a estrutura da construção, Pinho Nórdico para vigeamento longos, e Abeto Nórdico para revestimentos interiores.

As paredes exteriores podem ser duplas, ou triplas , no caso as utilizadas são paredes duplas com 12 cm de largura e com isolamento à base de lã mineral, perfazendo um peso de 40 kg/m<sup>2</sup>.

As paredes interiores também são paredes duplas em Pinho tratado, com o isolamento em placas semi-rígidas de lã mineral revestidas com placas de gesso cartonado. Estas paredes tem uma largura de 10cm.

O telhado é do tipo leve, e executado pelo Sistema Gang- Nail , pode ser revestido com vários tipos de telha de cimento ou ceramico. Em todas as coberturas é aplicada

uma tela especial em poliéster betuminoso, pára chuva porque não deixa passar a humidade e pára vapor porque é micro porosa e respirante para evitar condensações. Na figura 54, esta apresentada uma ilustração da habitação.



Figura 53 – Ilustração da habitação

Na figura 55 é apresentada a planta da habitação comercializada pela Empresa B.

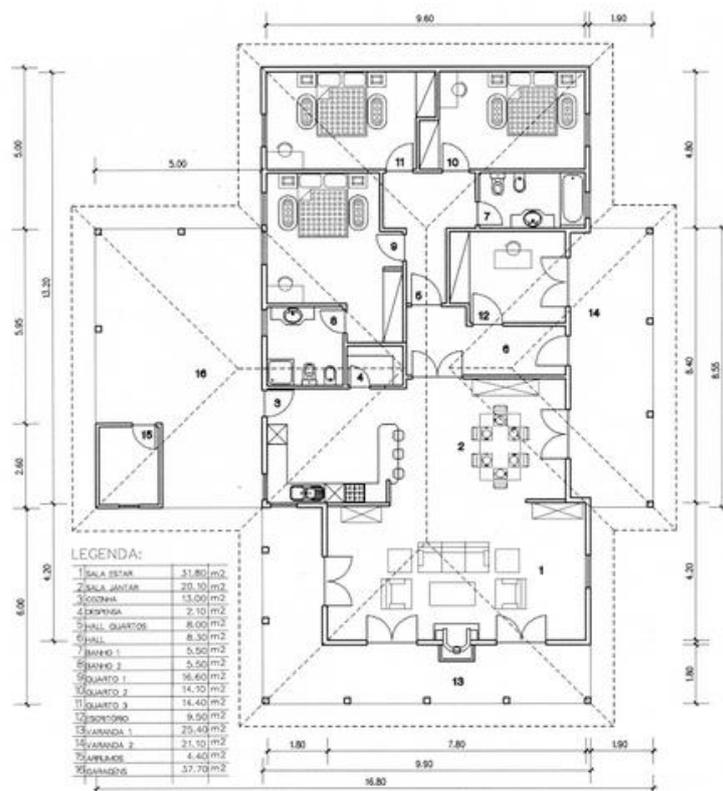


Figura 54- Planta da casa da empresa B

Esta habitação em termos de custo, tem um custo de 650€/m<sup>2</sup>, o que no caso da habitação escolhida faz um custo total de 163.800,00€, ao qual também não está incluído as despesas de transporte nem ligações à rede.

No que se refere à construção da Empresa C, esta empresa comercializa diversas formas de casas pré-fabricadas em madeira, desde as mais simples, as mais modernas.

A que se vai apresentar é a habitação mais semelhante às que são comercializadas por outras empresas, para se proceder a uma correta comparação.

Esta habitação é de tipologia T3, com uma área de aproximadamente 200 m<sup>2</sup>, esta casa é composta por uma suite, dois quartos, uma casa de banho, cozinha, sala de jantar e sala de estar e ainda varandas. Nas figuras 56 e 57 estão representadas respectivamente uma perspectiva da habitação e a planta.



Figura 55- Vista da Casa da Empresa C

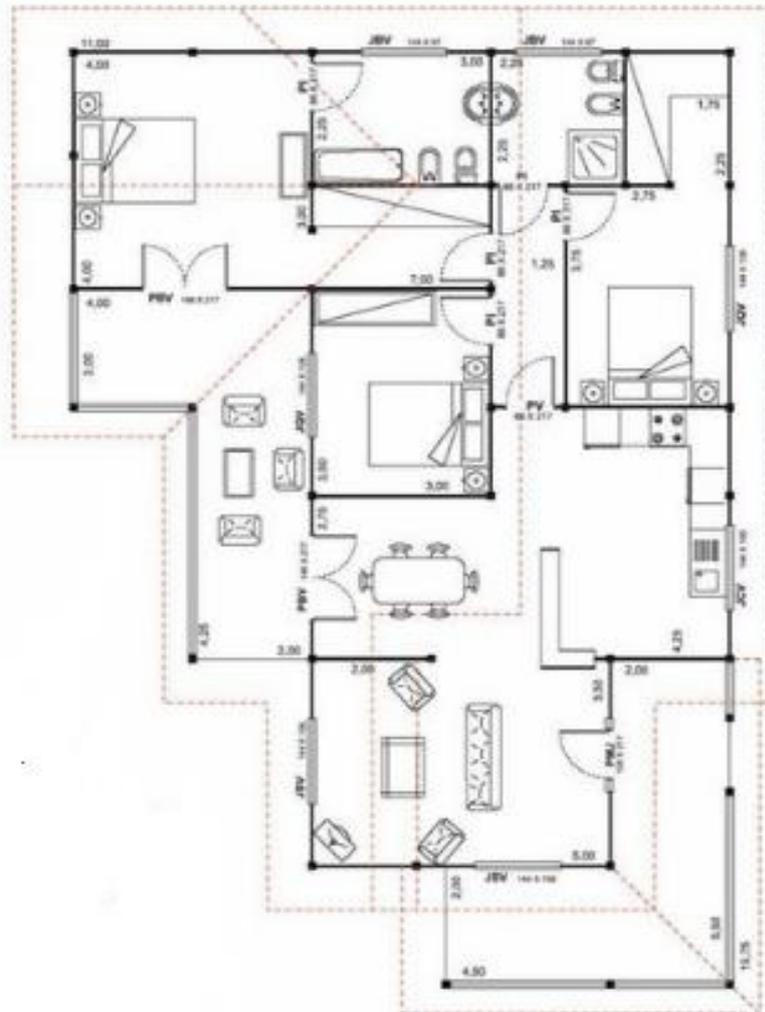


Figura 56– Planta da casa da Empresa C

Esta casa segundo a tabela de preços da empresa, tem o custo final de 137.800€, valor este já com IVA incluído, mas sem o valor das fundações. Este valor é aplicável com madeiras de alta densidade, como é o caso das madeiras TATAJUBA ou MAÇARANDUBA, IPÊ, SUCUPIRA, podendo ter uma redução de cerca de 25% no valor final, se o cliente optar por materiais menos densos, como é o caso do Pinho Oregon e do Pinho Americano.

## 6- Conclusão

Neste trabalho, apresentou-se uma análise comparativa de emissões de CO<sub>2</sub>, de Consumo de Energia e de Custos. A análise realizada baseia-se numa comparação de duas estruturas semelhantes.

Através desta análise conseguiu-se obter as conclusões que em termos de emissões CO<sub>2</sub>, a madeira tem um melhor comportamento relativamente as emissões, uma vez que revela um valor substancialmente inferior.

No que se refere ao consumo de Energia, a construção em madeira também revela um melhor comportamento face a construção em betão armado.

Relativamente aos custos, a construção em madeira neste caso apresenta um custo superior relativamente a construção em betão.

Em relação à análise efetuada sobre a construção modular em Portugal, pode concluir-se que é uma área em que há muito ainda para estudar, e que é uma área em expansão em Portugal.

Através deste trabalho conseguiu-se chegar à conclusão que a madeira é um material, pouco utilizado em Portugal, mas com bastantes potencialidades. Além de ser um material durável, é sustentável e um recurso renovável.

Em Portugal, já existem inúmeras empresas a operar na área da construção em madeira, embora a pouca procura deste tipo de construção, por vezes não seja vantajosa do ponto de vista dos custos como seria de esperar, caso houvesse mais procura e mais oferta.

## 7-Referencias Bibliográficas

### ***Referencias a Livros/Artigos/Dissertações***

- ADENE, ANQEP, DGEG, & LNEG. (s.d.). Formação para as renováveis e eficiência energética no sector da construção- Análise do Estado de Arte. Build up skills.
- Appleton, J. (2011). *Reabilitação de Edifícios Antigos- Patologias e Tecnologias de Intervenção*. Amadora: Edições Orion.
- Appleton, J. (s.d.). Construções em Betão - Nota histórica sobre a sua evolução. Lisboa: IST.
- Appleton, J., Delgado, J., Costa, A., Pedrinho, V., & Grave dos Santos, J. (2004). Reabilitação do Viaduto Duarte Pacheco. Encontro Nacional de Betão Estrutural.
- Bauer, L. A. (1994). *Materiais de Construção 2, volume 2*. Livros Técnicos e Científicos.
- Berge, B. (2007). *Ecologia dos Materiais de Construção*. Lisboa: Universidade do Minho.
- Branco, J., Cruz, P., & Piazza, M. (Dezembro de 2006). Asnas de Madeira. A importância da Rigidez das ligações. 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas.
- Cachim, P. B. (2007). *Construções em Madeira - A madeira como material de Construção*. Porto: Publindústria.
- Colaço, R. (2005). *Materiais de Construção- Guia de Utilização*. Arquitectura e vida.
- Costa, A., & Appleton, J. (2002). Estruturas de Betão I- Parte II Materiais. Instituto Superior Técnico.
- Coutinho, J. S. (1999). *Materiais de Construção 1 - Agregados para argamassas e betões*.
- Coutinho, J. S. (2006). *Materiais de Construção 2- 1ª Parte*. FEUP.
- Cruz, H. (Julho de 2007). Estruturas de madeira lamelada colada em Portugal. Instrumentos para a garantia de Qualidade.
- Duarte, A. P. (13 de Abril de 2011). *Construção Sustentável- Oportunidades e Boas Práticas*. Celorico da Beira: LNEG.

- Galhano, F., Oliveira, E. V., & Pereira, B. (1994). *Construções Primitivas em Portugal*. Lisboa: Publicações Dom Quixote.
- Gomes, A., & João Vinagre. (Setembro de 1997). *Betão Armado e Pré Esforçado I Tabelas de Calculo*. Instituto Superior Tecnico.
- Guy-Quint, C. (2005). *Tackle Climate Change*. Cei Bois.
- Henriques, V. (Outubro de 2011). *Impacte Ambiental de Estruturas de Edifícios - A produção de CO2*. Lisboa: Instituto Superior Tecnico .
- Hulscher, W. (Janeiro de 2000). *Basics of wood Energy Planning- A manual*.
- INE, I. (2012). *Estatísticas da Construção e Habitação 2011*. Lisboa.
- INE, I. (2013). *O parque habitacional e a sua reabilitação- Análise e Evolução 2001-2011*. Lisboa.
- Jalali, S., & Fernando Pacheco Torgal. (2010). *A sustentabilidade dos Materiais de Construção*. Tecminho.
- Laranjeira, J. (Julho de 2009). *Considerações sobre análise e dimensionamento de estruturas de madeira para habitações uni e plurifamiliares*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Lopes, M. (2012). *Estrutura Sismo- Resistente da Gaiola Pombalina : Passado e Futuro*. Conferencia Internacional Sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria.
- Marques, A. C. (2011). *A tradição da madeira na actualidade - Noruega e Portugal*. FEUP.
- Mateus, R. (2004). *Novas tecnologias construtivas com vista á sustentabilidade da Construção*. Universidade do Minho.
- Pardal, S., Manuel Costa Lobo, & Paulo Correia. (2000). *Normas Urbanísticas Volume IV - Planeamento Integrado do Território- Elementos de teoria Crítica*. Lisboa: Universidade Tecnica de Lisboa - Direcção Geral do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Urbanístico.
- Pereira, J., & Jose Correia da Silva. (2012). *Contributo para a melhoria do desempenho termico das paredes de taipa*. *Congresso Construção 2012*. Coimbra.
- Pina, C. (2012). *Os Eurocodigos estruturais : Estado da Sua Implementação em Portugal*. *Comportamento ao fogo de Estruturas mistas de Aço-Betão : Novas metodologias de Cálculo*. Lisboa .
- Ramos, L., & Lourenço, P. (2000). *Análise das Técnicas de Construção Pombalina e Apreciação do Estado de Conservação Estrutural do Quarteirão do Martinho da Arcada*. Universidade do Minho.

- Ribeiro, B. (s.d.). Betões de Ligantes Hidraulicos e Seus Componentes. Texto de Apoio aos Alunos da Universidade de Évora.
- Silva, F., Silva, h., & Guale, R. (s.d.). Monitoramento Ambiental da Albufeira de Cahora Bassa.
- Silva, J. J., & Pedro Henriques. (s.d.). Project MARIE: Presentation and stage of development. Universidade de Évora.
- Sposto, R. M., & Jacob Silva Paulsen. (2010). Energia Incorporada em habitações de interesse social na fase de pre-uso: O caso do programa minha casa minha vida no Brasil. *Oculum ensaios*, 39-50.
- Torgal, F. P., & Said Jalali. (2007). Construção Sustentavel. O caso dos Materiais de Construção . *Congresso Construção 2007*. Coimbra.
- Torgal, F., & Jalali, S. (Junho 2011). Energia Incorporada em Materiais de Construção Versus Energia Operacional. *Revista Internacional Construlink* , nº 27 .
- Vilela, M. I. (2013). A madeira na Construção de Habitação Colectiva. Universidade Lusofona do Porto.

### **Referencias de Sites**

- Agencia Portuguesa do Ambiente*. (s.d.). Obtido em 20 de Junho de 2014, de [www.apambiente.pt](http://www.apambiente.pt)
- America's Cement Manufacturers*. (s.d.). Obtido em 27 de Julho de 2015, de [www.cement.org](http://www.cement.org)
- Amorim Isolamentos. (s.d.). Obtido em 13 de Abril de 2015, de [www.amorimisolamentos.com](http://www.amorimisolamentos.com)
- Banema. (2015). Obtido em 10 de Maio de 2015, de [www.banema.pt](http://www.banema.pt)
- Beka gruppe (2015). Obtido em 25 de Agosto de 2015 de [www.beka-gruppe.de](http://www.beka-gruppe.de)
- Brettschichtholz. (s.d.). Obtido em 21 de Agosto de 2015, de [www.brettschichtholz.de](http://www.brettschichtholz.de)
- Casas de Madeira*. (2013). Obtido em 22 de Maio de 2015, de <http://www.casasdemadeira.com.pt>
- Cype Cad. (s.d.). Obtido em 11 de Março de 2015, de [www.geradordepreços.info](http://www.geradordepreços.info)
- Concrete Network*. (s.d.). Obtido em 25 de Julho de 2015, de <http://www.concretenetwork.com>
- Direcção Geral da Energia e Geologia*. (s.d.). Obtido em 20 de Maio de 2015, de [www.dgeg.pt](http://www.dgeg.pt)
- Dlubal* (2015). Obtido a 20 de Agosto 2015, de [www.dlubal.com](http://www.dlubal.com)
- Ebah* (s.d.). Obtido em 14 de Maio de 2015, de [www.ebah.pt](http://www.ebah.pt)

*Ecochoise.* (s.d.). Obtido em 21 de Maio de 2014, de [www.ecochoise.pt](http://www.ecochoise.pt)

*Edp*(2015), Obtido em 18 de Outubro de 2015, de [www.edp.pt](http://www.edp.pt)

*Hicarquitectura.*(s.d.). Obtido a 5 de Junho de 2015 de [www.hicarquitectura.com](http://www.hicarquitectura.com)

*Horreos de galicia.* (s.d.). Obtido em 10 de Outubro de 2015, [www.horreosdegalicia.com](http://www.horreosdegalicia.com)

*lcote.* (s.d.). Obtido em 10 de Setembro de 2015, de [www.icote.pt](http://www.icote.pt)

*Instituto Nacional de Estatística.* (s.d.). Obtido em 30 de Abril de 2015, de [www.ine.pt](http://www.ine.pt)

*Jular.* (2008). Obtido em 20 de Maio de 2015, de [www.jular.pt](http://www.jular.pt)

*Laboratorio tomaz.* Obtido em 21 de Setembro de 2015, de [www.laboratoriotomaz.pt](http://www.laboratoriotomaz.pt)

*LNEC.* (s.d.). Obtido em 20 de Março de 2014, de [www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)

*Kintaikyo.*(s.d.). Obtido em 10 de Junho de 2015 de <http://kintaikyo.iwakuni-city.net>

*Namelei.* (2006). Obtido em 22 de Março de 2014, de [www.namelei.com](http://www.namelei.com)

*Portal da Energia.* (s.d.). Obtido em 10 de Maio de 2015, de [www.portal-energia.com](http://www.portal-energia.com)

*Portal da Habitação.* (s.d.). Obtido em 11 de Fevereiro de 2014, de [www.portaldahabitacao.pt](http://www.portaldahabitacao.pt)

*Portal da Construção Sustentável* (s.d) obtido a 10 de Outubro de 2015 de [www.csustentavel.com](http://www.csustentavel.com)

*Theodora.* (s.d.). Obtido em 10 de Junho de 2015 de [www.theodora.com](http://www.theodora.com)

### **Referencia a Normas**

Eurocódigo 1 (EN 1991) - Acções em estruturas;

Eurocódigo 5 (EN 1995) - Projecto de estruturas de madeira;

RSA – Regulamento de Segurança e Acções

ISO 14040

## Anexos

## Anexo 1 – Calculo do Coeficiente de Transmissão Térmica

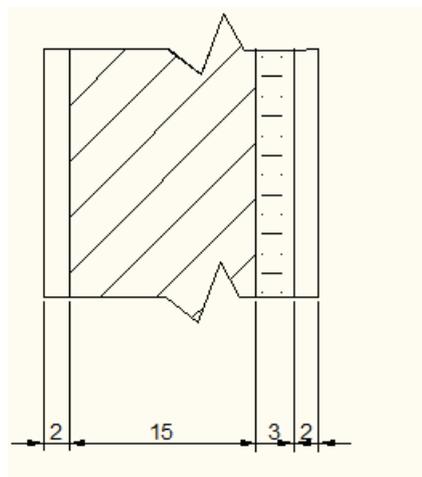
Para o cálculo do coeficiente de Transmissão Térmica, a formula que se irá utilizar é a seguinte:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}}$$

De forma a obter-se as resistências térmicas dos diferentes elementos da fracção autónoma, recorreu-se quer ao ITE 50, para retirar os valores da condutibilidade térmica, e á seguinte fórmula:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

No caso da parede de Betão será calculado o coeficiente de transmissão térmica, para o caso do pilar e para o caso em que é a parede de tijolo. Assumimos que a percentagem do pilar é 20 % da parede total.



$$R_{\text{Reboco}} = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,02}{1,3} = 0,015038 \times 2 = 0,0308 \text{ m}^2\text{°C/ W}$$

$$R_{\text{Tijolo}} = 0,39 \text{ m}^2\text{°C/ W} \quad (\text{Valor Retirado directamente do ITE 50})$$

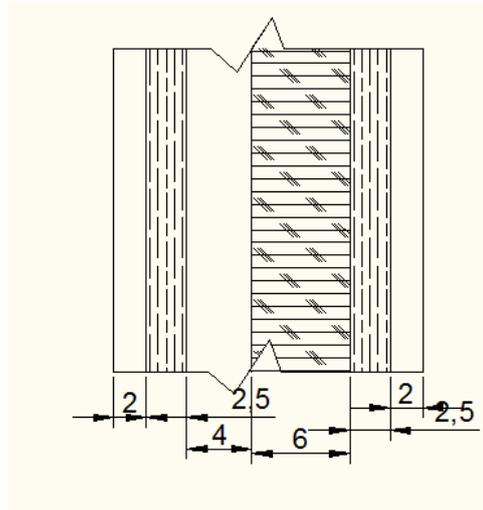
$$R_{\text{isolamento}} = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,03}{0,034} = 0,88 \text{ m}^2\text{°C/ W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{°C/ W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{°C/ W}$$



No caso da parede em madeira, os pilares uma vez que são colocados em distâncias menores, assumimos que tem uma percentagem de 40% da parede total.



$$R_{\text{Reboco}} = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,02}{1,3} = 0,015038 \times 2 = 0,0308 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$R_{\text{OSB}} = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,025}{0,12} = 0,208 \text{ m}^2\text{C/W}$$

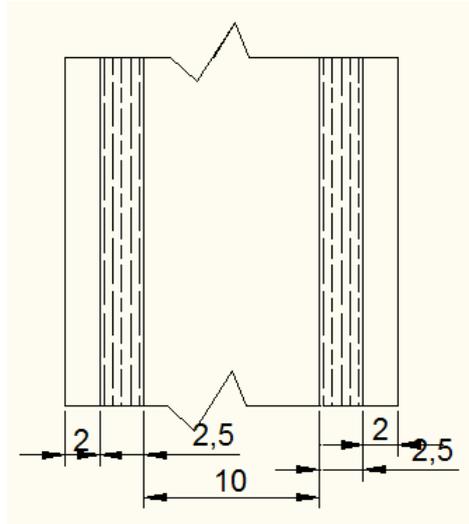
$$R_{\text{isolamento}} = 1 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$R_{\text{se}} = 0,04 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$R_{\text{si}} = 0,13 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$U = \frac{1}{R_{\text{si}} + \sum R_j + R_{\text{se}}} = \frac{1}{0,0308 + 0,208 + 0,208 + 1 + 0,04 + 0,13} = 0,62 \text{ W/m}^2\text{C}$$

No caso do pilar:



$$R_{\text{Reboco}} = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,02}{1,3} = 0,015038 \times 2 = 0,0308 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$$

$$R_{\text{OSB}} = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,025}{0,12} = 0,208 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$$

$$R_{\text{Pilar}} = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,10}{0,18} = 0,555 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$$

$$R_{\text{se}} = 0,04 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$$

$$R_{\text{si}} = 0,13 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$$

$$U = \frac{1}{R_{\text{si}} + \sum R_j + R_{\text{se}}} = \frac{1}{0,0308 + 0,208 + 0,208 + 0,555 + 0,04 + 0,13} = 0,85 \text{ W}/\text{m}^2\text{C}$$

$$U_{\text{envolvente}} = 0,4 \times 0,85 + 0,6 \times 0,62 = 0,712 \text{ W}/\text{m}^2\text{C}$$

## Anexo 2- Dimensionamento do edifício em Betão - armado

### Cálculo das Acções Permanentes

*“(...) As acções permanentes são aquelas que assumem valores constantes, ou com pequena variação em torno do seu valor médio, durante toda ou praticamente toda a vida da estrutura. Consideram-se como acções permanentes os pesos próprios dos elementos estruturais e não estruturais da construção, os pesos dos equipamentos fixos, os impulsos de terras, certos casos de pressões hidrostáticas, os pré-esforços e os efeitos da retracção do betão e dos assentamentos de apoios. (...)” (RSA - Artigo 5.º)*

- **Paredes interiores**

Parede simples de tijolo furado de 30x20x11, com revestimento de 0,02 em ambas as faces (Peso = 2,1 kN/m<sup>2</sup>).

Em edifícios habitacionais cujos pavimentos possuam constituição que garanta uma distribuição eficaz das cargas, o peso das paredes divisórias poderá assimilar-se a uma carga permanente uniformemente distribuída em todo o pavimento, com valores característicos por metro quadrado obtidos por 40% do peso de uma faixa de parede com o comprimento de 1 m e com altura igual à altura da parede. (RSA - Artigo 15.º)

$$PP_{P.Int.} = 2,1 \text{ kN/m}^2 \times 2,6 \text{ m} \times 40 \% = 2,2 \text{ kN/m}^2$$

- **Lajes de piso**

Revestimento em mosaicos cerâmicos (incluindo até 5 cm de camada de regularização e assentamento) e estuque ou tecto falso na face inferior da laje (Peso = 1,5 kN/m<sup>2</sup>).

Nas utilizações em que a concentração de pessoas é o elemento preponderante, o valor da sobrecarga em pavimentos para compartimentos destinados a utilização de carácter privativo, como habitações, é em geral  $2,0 \text{ kN/m}^2$ . (RSA - Artigo 35.º)

Considera-se uma altura da laje no pré-dimensionamento de  $0,20 \text{ m}$ .

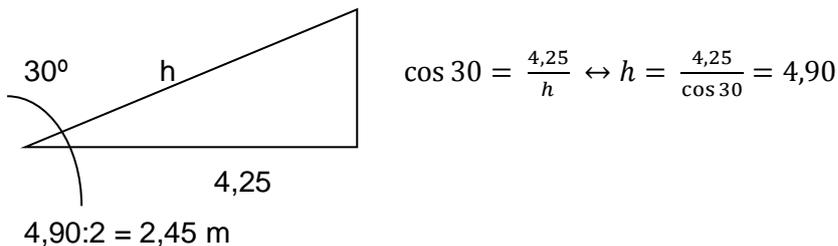
$$PP_{L.Piso} = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0,20 \text{ m} = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$Psd_{L.Piso} = \gamma_g \times cp + \gamma_q \times sc = 1,5 \times (5 + 1,5 + 2,2) + 1,5 \times 2 = 17,55 \text{ kN/m}^2$$

- **Lajes de cobertura**

Revestimento de cobertura

Cobertura inclinada, de telha apoiada em ripa de betão. Pelas tabelas técnicas obteve-se o seguinte valor para o peso das telhas  $1,5 \text{ kN/m}^2$ .



Considera-se uma altura da laje no pré-dimensionamento de  $0,20 \text{ m}$ .

$$PP_{L.Cob.} = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0,2 \text{ m} = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$Pp \text{ cobertura} = 1,5 \text{ kN/m}^2 \times 2,45 \text{ m} = 3,5 \text{ kN/m}$$

$$Psd_{L.Cob.} = \gamma_g \times cp = 1,5 \times (3,5 + 5) = 12,75 \text{ kN/m}^2$$

### Calculo da Cobertura:

No que refere a cobertura de betão:

As vigotas são colocadas com uma distância de 1m entre si, e tem um comprimento de 4,9m. Assim:

$12 \text{ Vigotas} \times 2 = 24 \text{ vigotas no total.}$

As ripas são distanciadas entre si 0,4m.

$4,9\text{m} : 0,4\text{m} = 12,23 \cong 13 \text{ Ripas}$

$13 \times 2 = 26 \text{ ripas}$

Cada ripa tem 1 metro de comprimento, logo são necessárias 12 ripas por comprimento, isto fica

$12 \times 26 = 312 \text{ ripas no total.}$

Em relação á área da cobertura:

$4,9 + 4,9 = 9,8 \cong 10\text{m}$

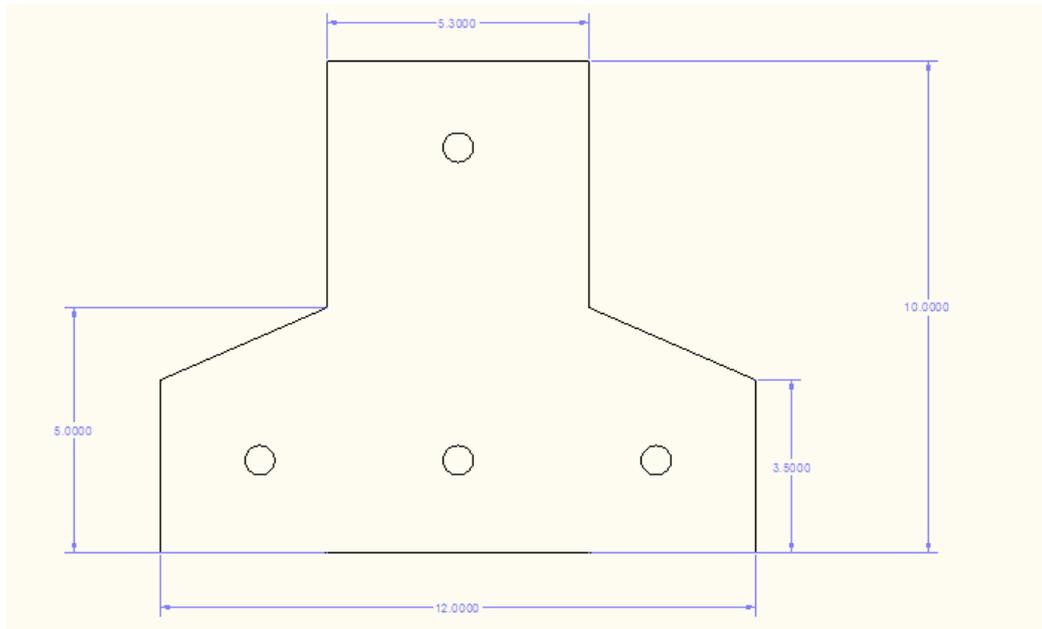
$A_{\text{cobertura}} = 10 \times 12 = 120\text{m}^2.$

$1 \text{ m}^2 \rightarrow 9 \text{ Telhas}$

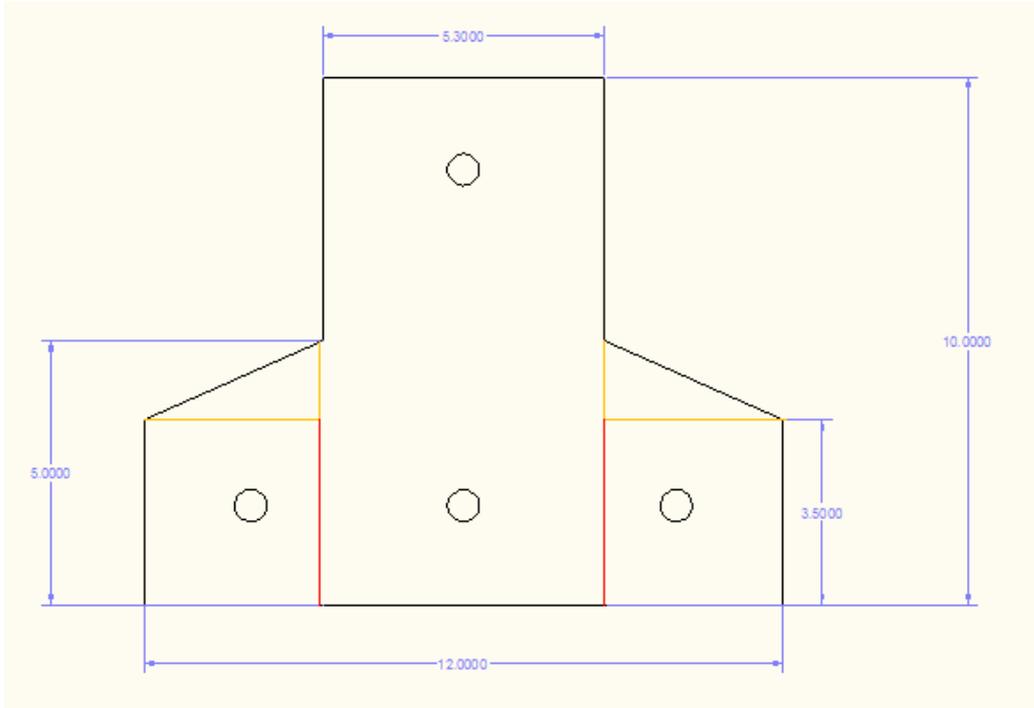
$120 \times 9 \text{ telhas} = 1080 \text{ telhas .}$

Para efeitos de cálculo utilizou-se as 1100 telhas, para eventuais telhas partidas, ou cortes.

No caso das vigotas de betao a vigota que se vai utilizar é uma vigota como apresentada na figura seguinte:



Para conseguirmos calcular a area da vigota, dividimos a vigota em figuras conhecidas. Na area delimitado a amarelo, estao dois triangulos, na area delimitada a vermelho dois rectangulos e a restante area um rectangulo tambem. Calculamos a area para conseguirmos saber a area de aço na vigota.



$$12 - 5,3 = 6,7$$

$$6,7 : 2 = 3,35$$

$$A_{\text{triangulo}} = \frac{3,35 \times 1,5}{2} \times 2 = 5,025 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{rectangulo vermelho}} = 3,35 \times 3,5 = 11,75 \times 2 = 23,41 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{rectangulo}} = 10 \times 5,3 = 53 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{total}} = 5,025 + 23,41 + 53 = 81,43$$

A área dos varões pelas tabelas técnicas é de  $1,13 \text{ cm}^2$ .

$$81,43 \text{-----} 100\%$$

$$1,13 \text{-----} x \quad x = 1,4 \%$$

$$1,4\% \text{ de } 2234,4\text{kg} = 31,28\text{kg}$$

### Anexo 3- Dimensionamento do edifício em Madeira

- Escolher a classe de serviço

Eurocódigo 5

Classe de serviço 1

(Por observação do site de Geofísica da Universidade de Évora, dia 24-03-2015, obtivemos a percentagem de humidade relativa, e concluímos que (temperatura 20°C, humidade ≤65% várias semanas seguidas) (pág. 22)

Módulo de elasticidade

$$E = \frac{E_{mean}}{(1+K_{def})} \quad (2.3.2.2) \text{ Equação 2.7}$$

$$K_{def} \rightarrow 3.1.4 \rightarrow K_{def} = 0,6$$

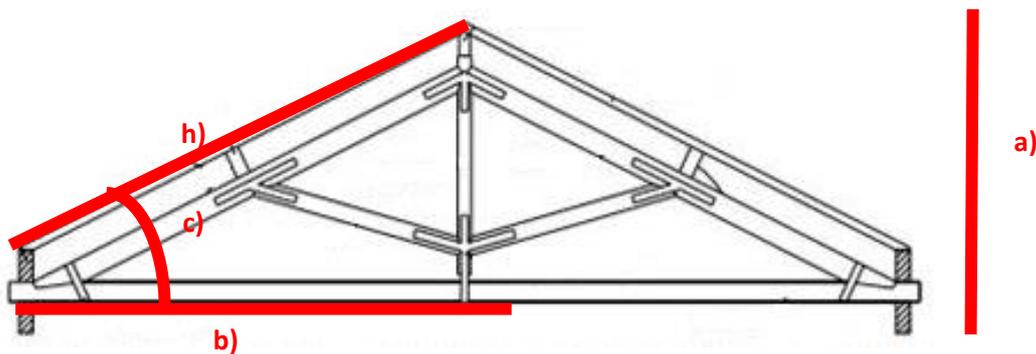
$$E = \frac{E_{mean}}{1,6}$$

Resistência

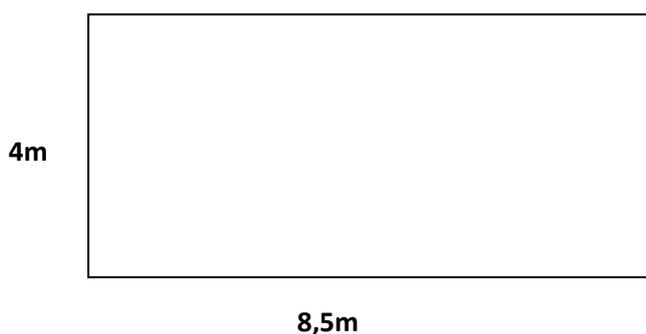
$$R_d = K_{mod} * \frac{R_k}{\gamma_m} = 0,6 * \frac{R}{1,3} \quad (\text{Equação 2.17})$$

Falar no ponto 3.5

Fibras paralelas ao eixo



Treliça: a) 2,125; b) 4,25; c) 30°; h) 4,91m;



$$h = \frac{4,25}{\cos 30} = 4,91 \text{ m}$$

$$A = 0,1 * 0,15 * (4,91 * 2 + 8,5 + 2,125 + 2,2) = 0,34 \text{ m}^3$$

Peso da madeira

$$\delta = \frac{480\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{4,8 \text{ kN}}{\text{m}^3}$$

Peso da treliça

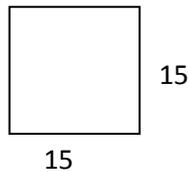
$$Pt = 0,34 * 4,8 = 1,63 \text{ kN}$$

Peso da cobertura

$$Pc = 4 * 8,5 * 1 = 34 \text{ kN}$$

$$P_{total} = 1,63 + 34 = 35,63 \text{ kN}$$

Pilar



$$35,63/2 = 17,85 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{17,85}{0,15 * 0,15} = 791,78 \text{ kN/m}^2 = 0,79 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma}{1,3} * 0,6 = \frac{20}{1,3} * 0,6 = 9,24 \text{ MPa}$$

Logo resiste.

Uma das principais dificuldades da avaliação do estado de segurança de estruturas de madeira existentes é a determinação das propriedades mecânicas a utilizar para efeitos de cálculo.

### **Cobertura de Madeira:**

As terças, caibros e ripas tem dimensão de 2,5cm x 3,0cm.

No caso das **terças** optou-se por se colocar 3 terças por altura, o comprimento de cada terça é 4m, logo:

$$12\text{m} : 4\text{ m} = 3$$

$$3 \text{ Terças} \times 3 = 9 \text{ terças}$$

$$9 \text{ Terças} \times 2 \text{ águas} = 18 \text{ terças}$$

No total são necessárias 18 terças.

Os **caibros** apoiados nas terças distanciam entre si 0,5m.

$$12\text{m} : 0,5 = 24 \text{ caibros}$$

$$24 \text{ Caibros} \times 2 \text{ águas} = 48 \text{ Caibros}$$

Por sua vez as **ripas** que são apoiadas nos caibros e espaçadas entre si 0,4m.

$$4,9\text{m} : 0,4\text{m} = 13 \text{ ripas}$$

$$13 \text{ Ripas} \times 2 \text{ águas} = 26 \text{ ripas}$$

Cada ripa tem o comprimento de 2m, logo:

$$12\text{m} : 2 = 6\text{m}$$

$$26 \times 6 = 156 \text{ ripas.}$$

São necessárias ainda 3 Asnas de cobertura.

No que se refere á quantidade de telhas o cálculo é igual com o efectuado para o betão armado.

### **Laje de madeira**

Para as **vigas**:

$$A_{\text{viga}} = 0,1 \times 0,2 = 0,02 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{viga}} = 0,02 \times 6\text{m} = 0,12 \text{ m}^3$$

Estas vigas têm uma densidade de 510 kg/m<sup>3</sup>.

Logo o peso de cada viga é calculado da seguinte forma :

$$P = 0,12 \times 510 = 61,2 \text{ kg}$$

As vigas estão espaçadas de 0,6m entre si.

$$8,5\text{m} : 0,6 \cong 15 \text{ vigas}$$

15 vigas x 2 = 30 Vigas

No caso dos **Painéis**:

$$A_{\text{laje}} = 12\text{m} \times 8,5 = 102 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{laje}} = 102 \times 0,03 = 3,06 \text{ m}^3$$

Logo o peso da laje é calculado da seguinte forma:

$$P = 3,06 \times 510 = 1560,6 \text{ kg}$$

Como são duas lajes os valores serão a dobrar.

#### Anexo 4- Calculo das Quantidades e Pesos

Para o cálculo dos pesos, no caso do betão multiplica-se a massa volúmica do betão pelo seu volume, e obtém-se o peso.

Elemento	Quantidade	Volume (m <sup>3</sup> )	Quantidade x volume (m <sup>3</sup> )	Massa volúmica(kg/m <sup>3</sup> )	Massa (kg)
Pilar	12	0,078	0,936	2400	2246,4
Vigas	131	0,12	15,72	2400	37728
Laje	2	20,4	40,8	2400	97920

No caso do betão, recorreu-se as tabelas técnicas, e tirou-se o peso dos varões, multiplicando-o pela sua quantidade, bem como comprimento.

Elemento	Quantidade	Tipo	Quantidade de varões	Área tabelada (cm <sup>2</sup> )	Quantidade x tipo (cm <sup>2</sup> )	Peso Varão (kgf/m) (kgf/m <sup>2</sup> )	Massa (kg)
Pilar	12	Ø8	5	3,93	122,616	0,39	70,2
Viga	131	Ø16	6	12,06	9479,16	1,58	3725,64
		Tipo	Area de Varões (cm <sup>2</sup> )				
Laje principal inferior x	1	Ø10//25	102	2,63	2,63	2,47	251,94
Laje principal inferior y	1	Ø10//25	102	3,24	3,24	2,47	251,94
Laje principal superior x	1	Ø10//15	102	4,69	4,69	4,11	419,22
Laje principal superior y	1	Ø10//15	102	5,88	5,88	4,11	419,22
Armadura distribuição sup x	1	Ø8//30	102	5,24	5,24	1,32	134,64
Armadura distribuição sup y	1	Ø8//30	102	5,24	5,24	1,32	134,64

No que diz respeito aos restantes materiais, através de dados fornecidos pelas empresas que comercializam estes materiais, obteve-se o peso unitário, e para o caso do isolamento a massa volúmica, multiplica-se pelas respectivas quantidades.

Elemento	Quantidade	Massa unitária (kg)	Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Massa (kg)
Tijolo	2730	3,9		10647
Argamassa	173	30,8		5531,11
Reboco interior	394	30,8		12135,2
Reboco exterior	106,6	30,8		3283,28
Isolamento	106,6		40	127,92
Ripas	312	6		1872
Vigotas	24	19		2234,4
Telhas	1100	3,4		3740

No caso da madeira, basta saber o volume de cada componente, e a sua densidade e obtemos o peso de cada componente.

Madeira	Volume (m3)	Densidade (kg/m3)	Massa (kg)
Terças	0,054	510	27,54
Caibros	0,1764	510	89,964
Ripas	0,234	510	119,34
Asna	1,02	510	520,2
Vigotas laje térrea	7,2	510	3672
Painel Laje térrea	6,12	510	3121,2
Pilares	3,627	510	1849,77
Vigas	1,31	510	668,1
Placas OSB	8,75	630	5512,5
Isolamento	4,264	110	469,04



## Estudo Comparativo Entre Estruturas em Madeira e Estruturas de Betão Armado

**EHV010** **m³** **Viga de betão armado.**

Viga **rasa** de betão armado, realizada com **betão C25/30 (XC1(P); D12; S3; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua**, e aço **A400 NR**, quantidade **150 kg/m³**; montagem e desmontagem do sistema de cofragem **de madeira**, em piso de **até 3 m** de altura livre.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt08eva010a	m²	Sistema de cofragem recuperável para a execução de vigas de betão para revestir, composto de: escoras metálicas telescópicas, travessas metálicas e superfície cofrante de madeira tratada reforçada com varões e perfis, até 3 m de altura livre de piso.	3,500	22,40	78,40
mt07aco020c	Ud	Separador homologado para vigas.	4,000	0,08	0,32
mt07aco040b	kg	Aço em varões nervurados, A400 NR, elaborado em oficina e colocado em obra, diâmetros vários.	150,000	0,82	123,00
mt10haf020bgngc	m³	Betão C25/30 (XC1(P) D12; S3; CI 0,4), fabricado em central, segundo NP EN 206-1.	1,050	103,85	109,04
mo041	h	Oficial de 1ª estruturista.	0,903	17,69	15,97
mo087	h	Ajudante de estruturista.	0,903	17,27	15,59
	%	Meios auxiliares	2,000	342,32	6,85
	%	Custos indirectos	3,000	349,17	10,48
Custo de manutenção decenal: 25,18€ nos primeiros 10 anos.				Total:	359,65

### Gerador de Preços – Viga de Betão





Estudo Comparativo Entre Estruturas em Madeira e Estruturas de Betão Armado

FFZ015

m<sup>2</sup>

**Pano exterior de fachada, de alvenaria de tijolo cerâmico para revestir, com caixa de ar ligeiramente ventilada.**

Pano exterior de parede de fachada, de 15 cm de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico furado triplo, para revestir, 30x20x15 cm, assente com argamassa de cimento confeccionado em obra, com 250 kg/m<sup>3</sup> de cimento, cor cinzento, dosificação 1:6, fornecida em sacos, com caixa de ar ligeiramente ventilada (drenagem não incluída neste preço).

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt04lpt010e	Ud	Tijolo cerâmico furado triplo, para revestir, 30x20x15 cm, segundo NP EN 771-1.	16,800	0,16	2,69
mt08aaa010a	m <sup>3</sup>	Água.	0,004	1,50	0,01
mt01arg005a	t	Areia de pedreira, para argamassa preparada em obra.	0,021	18,00	0,38
mt08cem011a	kg	Cimento Portland CEM II/B-L 32,5 R, cor cinzento, em sacos, segundo NP EN 197-1.	3,175	0,10	0,32
mt07aco040b	kg	Aço em varões nervurados, A400 NR, elaborado em oficina e colocado em obra, diâmetros vários.	0,800	0,82	0,66
mt18bdb010a800	m <sup>2</sup>	Tijoleira tradicional, acabamento mate ou natural, 8,00€/m <sup>2</sup> , segundo NP EN 14411.	0,100	8,00	0,80
mq06hor010	h	Betoneira.	0,009	1,68	0,02
mo020	h	Oficial de 1ª construção em trabalhos auxiliares de pedreiro.	0,371	16,85	6,25
mo112	h	Operário não qualificado construção em trabalhos auxiliares de pedreiro.	0,333	15,82	5,27
	%	Meios auxiliares	3,000	16,40	0,49
	%	Custos indirectos	3,000	16,89	0,51
Custo de manutenção decenal: 0,87€ nos primeiros 10 anos.				Total:	17,40

Referência e título da norma	Aplicabilidade (1)	Obrigatoriedade (2)	Sistema (3)
EN 771-1:2011 Especificações para unidades de alvenaria - Parte 1: Tijolos cerâmicos para alvenaria	122012	122013	
EN 197-1:2011 Cimento - Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes	172012	172013	1+
EN 14411:2012 Pavimentos e revestimentos cerâmicos - Definições, classificação, características, avaliação da conformidade e marcação	172013	172014	

(1) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência

(2) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE

(3) Sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho

Gerador de preços – Tijolo

EPV010 m **Viga pré-fabricada de betão armado.**

Viga pré-fabricada de betão armado tipo T invertido, de 50 cm de largura de alma, 40 cm de altura do banzo, 120 cm de largura total e 120 cm de altura total, com um momento flector máximo de 2725 kN·m.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt07pha030hppz2	m	Viga pré-fabricada de betão armado tipo T invertido, de 50 cm de largura de alma, 40 cm de altura do banzo, 120 cm de largura total e 120 cm de altura total, com um momento flector máximo de 2725 kN·m, segundo EN 13225.	1,000	16,50	16,50
mq07gte010c	h	Autogrua de braço telescópico com uma capacidade de elevação de 30 t e 27 m de altura máxima de trabalho.	0,050	66,84	3,34
mo046	h	Oficial de 1ª montador de estrutura pré-fabricada de betão.	0,051	17,69	0,90
mo093	h	Ajudante de montador de estrutura pré-fabricada de betão.	0,101	17,27	1,74
	%	Meios auxiliares	2,000	22,50	0,45
	%	Custos indirectos	3,000	22,95	0,69
Custo de manutenção decenal: 14,28€ nos primeiros 10 anos.				Total:	23,54

Referência e título da norma	Aplicabilidade (1)	Obrigatoriedade (2)	Sistema (3)
EN 13225:2004 Produtos prefabricados de betão - Elementos estruturais lineares	192005	192007	2+
EN 13225:2004/AC:2006	112008	112008	

Utilizou-se a tabela do gerador de preços, mas com a adaptação do valor da viga, para a viga por utilizada no trabalho.

O valor de 16,50€ obtém-se do acréscimo do IVA, ao valor abaixo apresentado, retirado de uma empresa de Comercialização de vigas.

$$13,42 + 23\% = 16,50 \text{ €}$$

Viga de Cimento

[voltar à listagem](#)

**13,42 €** /Un + iva 23%

4,90 m

1 Comprar

Sugerir



Perfil pré-fabricado em betão pré-esforçado, com armadura constituída por fios de aço aderentes, sendo utilizados em coberturas, servindo de vara de apoio e/ ou de ripa. Em lajes aligeiradas: utilizam-se em conjunto com os blocos de cofragem de betão ou cerâmica.

**Comprimento** 4,90 m  
**Altura Total** 10 cm  
**Largura Total** 112 cm  
**Classe de Resistência** C35/ 45

EPV010 m **Viga pré-fabricada de betão armado.**

Viga pré-fabricada de betão armado tipo T invertido, de 50 cm de largura de alma, 40 cm de altura do banzo, 120 cm de largura total e 120 cm de altura total, com um momento flector máximo de 2725 kN-m.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt07pha030hppz2	m	Viga pré-fabricada de betão armado tipo T invertido, de 50 cm de largura de alma, 40 cm de altura do banzo, 120 cm de largura total e 120 cm de altura total, com um momento flector máximo de 2725 kN-m, segundo EN 13225.	1,000	1,69	1,69
mq07gte010c	h	Autogrua de braço telescópico com uma capacidade de elevação de 30 t e 27 m de altura máxima de trabalho.	0,050	66,84	3,34
mo046	h	Oficial de 1ª montador de estrutura pré-fabricada de betão.	0,051	17,69	0,90
mo093	h	Ajudante de montador de estrutura pré-fabricada de betão.	0,101	17,27	1,74
	%	Meios auxiliares	2,000	7,67	0,15
	%	Custos indirectos	3,000	7,82	0,23
Custo de manutenção decenal: 14,28€ nos primeiros 10 anos.				Total:	8,05

Referência e título da norma	Aplicabilidade (1)	Obrigatoriedade (2)	Sistema (3)
EN 13225:2004	192005	192007	
Produtos prefabricados de betão - Elementos estruturais lineares			2+
EN 13225:2004/AC:2006	112008	112008	

Preços - Viga de Betão pré – esforçada

Para o caso da ripa fez-se o mesmo processo que no caso da viga de betão.

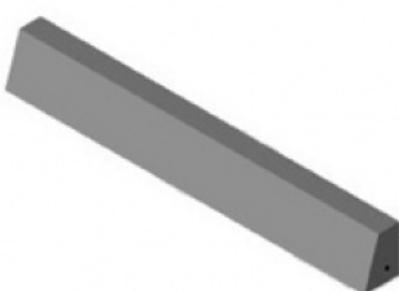
O valor 1,69€ é o valor obtido através da soma do IVA, ao 1,37€ de valor unitário de cada ripa com 1 metro de comprimento.

Ripa de Cimento R6 [voltar à listagem](#)

**1,37 €** /Un + iva 23%

1,00 m

1 **Comprar**



Sugerir

Ripa pré-fabricada em betão pré-esforçado, com armadura constituída por fios de aço aderentes, sendo utilizadas nas coberturas para apoio das telhas e similares.

**Comprimento 1,00 m**  
**Altura 6 cm**



**NAF010** m<sup>2</sup> **Isolamento pelo interior em fachada dupla de alvenaria face à vista.**

Isolamento pelo interior em fachada dupla de alvenaria face à vista formado por **placa de aglomerado de cortiça expandida, de 25 mm de espessura, cor preto, fixado por pontos de cimento cola.**

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt16aaa041	m <sup>2</sup>	Repercussão de cimento cola, para fixação por pontos, de placas isolantes em paramentos verticais.	1,000	0,36	0,36
mt16acg010ac	m <sup>2</sup>	Placa de aglomerado de cortiça expandida, de 25 mm de espessura, cor preto, segundo EN 13170, resistência térmica 0,65 m <sup>2</sup> C/W, condutibilidade térmica 0,036 W/(m°C), Euroclasse E de reacção ao fogo, de aplicação como isolante térmico e acústico.	1,050	7,67	8,05
mo053	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0,101	17,41	1,76
mo099	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,101	16,45	1,66
	%	Meios auxiliares	2,000	11,83	0,24
	%	Custos indirectos	3,000	12,07	0,36
Custo de manutenção decenal: 0,25€ nos primeiros 10 anos.				Total:	12,43

Referência e título da norma	Aplicabilidade (1)	Obrigatoriedade (2)	Sistema (3)
EN 13170:2012 Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios - Produtos manufacturados de cortiça expandida (ICB) - Especificação Especificação	192013	192013	

(1) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência

(2) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE

(3) Sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho

Gerador de Preços- Custo isolamento Cortiça

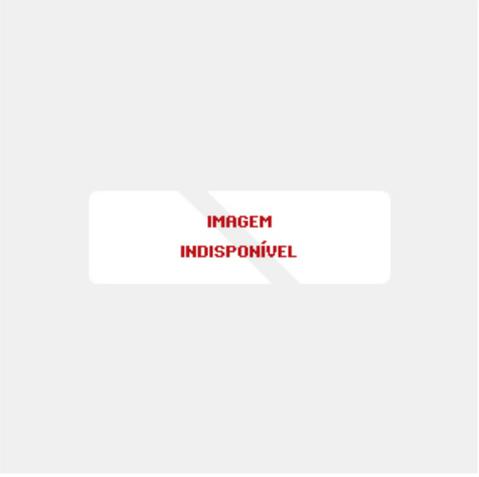
Ripa de Telhado em Madeira 260x3x2.5 cm (Dúzia)

[voltar à lista](#)

**12,75 €** /Duz + iva 23%

1

[Sugerir](#)



**Ripa de Telhado em Madeira.**

Para aplicação em telhados, para sustentação das telhas.

**Material :** Pinho Tosco  
**Comprimento :** 260 cm  
**Largura :** 3 cm  
**Altura :** 2.5 cm  
**Quantidade por embalagem :** 12 unidades

Majodir

EPV010 m Viga pré-fabricada de betão armado.

Viga pré-fabricada de betão armado tipo T invertido, de 50 cm de largura de alma, 40 cm de altura do banzo, 120 cm de largura total e 120 cm de altura total, com um momento flector máximo de 2725 kN·m.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt07pha030hppz2	m	Viga pré-fabricada de betão armado tipo T invertido, de 50 cm de largura de alma, 40 cm de altura do banzo, 120 cm de largura total e 120 cm de altura total, com um momento flector máximo de 2725 kN·m, segundo EN 13225.	1,000	1,30	1,30
mq07gte010c	h	Autogrua de braço telescópico com uma capacidade de elevação de 30 t e 27 m de altura máxima de trabalho.	0,050	66,84	3,34
mo046	h	Oficial de 1ª montador de estrutura pré-fabricada de betão.	0,051	17,69	0,90
mo093	h	Ajudante de montador de estrutura pré-fabricada de betão.	0,101	17,27	1,74
	%	Meios auxiliares	2,000	7,28	0,15
	%	Custos indirectos	3,000	7,43	0,22
Custo de manutenção decenal: 14,28€ nos primeiros 10 anos.				Total:	7,65

Referência e título da norma	Aplicabilidade (1)	Obrigatoriedade (2)	Sistema (3)
EN 13225:2004	192005	192007	
Produtos prefabricados de betão - Elementos estruturais lineares			2+
EN 13225:2004/AC:2006	112008	112008	

- (1) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência  
 (2) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE  
 (3) Sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho

Preços – Ripas, Terças e Caibros

No caso das ripas de madeira, e uma vez que estas são comercializadas ao lote, transformamos o valor das 12 ripas pelo seu valor unitário, ou seja:

$$12,75 + \text{IVA} = 15,68\text{€}$$

$$15,68\text{€}/12 = 1,30\text{€ por } 2,60\text{m}$$

Este valor não tem contemplado os custos de mão de obra, nem de materiais auxiliares. Desta forma recorreu-se ao gerador de preços e fez-se a adaptação:

São necessárias 156 ripas, 48 caibros e 18 terças. No caso das terças estas necessitam de um comprimento total de 4m, os caibros de 4,9m, e as ripas tem 2m de comprimento cada uma.

Então:

$$18 \times 4\text{m} = 72 \text{ m}$$

$$48 \times 4,9\text{m} = 235,2 \text{ m}$$

$$156 \times 2\text{m} = 304 \text{ m}$$

No total de ripas, caibros e terças perfaz 611,2m. Estas ripas têm comprimento de 2,6m que podem ser facilmente corta para fazer o comprimento necessário.

Então para cálculo consideramos que o preço é por cada 2,60m de ripa, ou seja  $611,2\text{m} : 2,60\text{m} \cong 236\text{m}$ .

## Estudo Comparativo Entre Estruturas em Madeira e Estruturas de Betão Armado

EMF020

m<sup>2</sup>

Laje de vigotas e painel de madeira.

Laje tradicional com uma separação entre eixos de 60 cm, de vigotas de madeira serrada de pinho silvestre (*Pinus sylvestris*), de 10x20 a 15x25 cm de secção e até 6 m de comprimento, qualidade estrutural MEG, classe resistente C-18, protecção da madeira com classe de penetração NP2, trabalhada em oficina, painel estrutural de madeira, de 30 mm de espessura, membrana impermeabilizante, aço A400 NR, quantidade 1,1 kg/m<sup>2</sup>, em camada de compressão de 4 cm de espessura de betão leve LC25/28 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4; D1,4) fabricado em central.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt50spa052b	m	Pranchão de madeira de pinho, de 20x7,2 cm.	0,040	25,51	1,02
mt50spa101	kg	Pregos de aço.	0,045	1,30	0,06
mt50spa081a	Ud	Escora metálica telescópica, até 3 m de altura.	0,013	13,37	0,17
mt07mee018da	m <sup>3</sup>	Madeira serrada de pinho silvestre ( <i>Pinus sylvestris</i> ) com acabamento polido, para vigota de 10x20 a 15x25 cm de secção e até 6 m de comprimento, para aplicações estruturais, qualidade estrutural MEG segundo UNE 56544, classe resistente C-18 segundo EN 338 e EN 1912 e protecção contra agentes bióticos que corresponde com a classe de penetração NP2 (3 mm nas faces laterais do alburno) segundo EN 351-1, trabalhada em oficina.	0,063	412,96	26,02
mt08eff020a	m <sup>2</sup>	Painel estrutural de madeira para uso em ambiente seco, de 2400x900 mm e 30 mm de espessura, com ligação macho-fêmea nos quatro cantos, segundo NP EN 312.	1,050	10,26	10,77
mt15dan300	m <sup>2</sup>	Membrana impermeabilizante bicamada de 6 mm de espessura, formada por uma lâmina superior betuminosa fono-absorvente e uma lâmina inferior de polipropileno.	1,050	9,70	10,19
mt07rem040a	Ud	Parafuso de aço galvanizado qualidade 6.8 segundo EN ISO 898-1, tipo M-7,5, de cabeça hexagonal e rosca métrica total segundo DIN 931 e NP EN ISO 4014, de 7,5 mm de diâmetro e 155 mm de comprimento, com anel de retenção, para a sua utilização como conectores em lajes de madeira e betão.	6,100	1,82	11,10
mt07aco020o	Ud	Separador homologado para malha electrossoldada.	2,000	0,08	0,16
mt07aco040b	kg	Armadura elaborada em fábrica com aço em varões nervurados, A400 NR, diâmetros vários.	1,100	0,78	0,86
mt10hes060fAEe	m <sup>3</sup>	Betão leve LC25/28 (XC1(P) D12; S2; CI 0,4; D1,4), fabricado em central, segundo NP EN 206-1.	0,042	169,93	7,14
mo048	h	Oficial de 1ª montador de estrutura de madeira.	0,355	17,69	6,28
mo095	h	Ajudante de montador de estrutura de madeira.	0,355	17,27	6,13
mo042	h	Oficial de 1ª estruturista.	0,914	17,69	16,17
mo089	h	Ajudante de estruturista.	0,914	17,27	15,78
mo113	h	Operário não qualificado construção.	0,046	15,82	0,73
mo112	h	Operário especializado construção.	0,046	16,32	0,75
	%	Meios auxiliares	2,000	113,33	2,27
	%	Custos indirectos	3,000	115,60	3,47
Custo de manutenção decenal: 17,86€ nos primeiros 10 anos.				Total:	119,07

Gerador de Preços- Laje de Madeira

**EMS010** m<sup>3</sup> **Pilar de madeira serrada.**

**Pilar de madeira serrada de pinho silvestre (Pinus sylvestris), de 14x14 a 20x20 cm de secção e até 4 m de comprimento, qualidade estrutural MEG, classe resistente C-18, protecção da madeira com classe de penetração NP2, trabalhada em oficina.**

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt07mee010d	m <sup>3</sup>	Madeira serrada de pinho silvestre (Pinus sylvestris) com acabamento polido, para pilar de 14x14 a 20x20 cm de secção e até 4 m de comprimento, para aplicações estruturais, qualidade estrutural MEG segundo UNE 56544, classe resistente C-18 segundo EN 338 e EN 1912 e protecção contra agentes bióticos que corresponde com a classe de penetração NP2 (3 mm nas faces laterais do alburno) segundo EN 351-1, trabalhada em oficina.	1,000	384,63	384,63
mo047	h	Oficial de 1ª montador de estrutura de madeira.	8,096	17,69	143,22
mo093	h	Ajudante de montador de estrutura de madeira.	4,048	17,27	69,91
	%	Meios auxiliares	2,000	597,76	11,96
	%	Custos indirectos	3,000	609,72	18,29
Custo de manutenção decenal: 113,04€ nos primeiros 10 anos.				Total:	628,01

Gerador de Preços- Pilar de Madeira

### Aglomerado de partículas longas e orientadas (OSB)

TABELA DE PREÇOS – JANEIRO 2011

PREÇOS: EUR/M2 (I.V.A. não Incluído)

ESPESSURA (mm)	OSB 3 ( €/mt2 )	OSB 4 ( €/mt2 )
8	6,10 €	7,50 €
9	6,90 €	8,00 €
10	7,50 €	8,45 €
11	8,20 €	9,30 €
12	8,70 €	10,10 €
15	10,70 €	12,55 €
18	12,75 €	15,20 €
22	15,30 €	18,70 €
25	17,50 €	20,85 €

#### CARACTERÍSTICAS

OSB 3 - Placas para aplicações em ambiente húmido.

OSB 4 - Placas para aplicações exigentes em ambiente húmido.

#### DIMENSÕES (mm)

2500 x 1250    5000 x 1250    5000 x 2500

Outras qualidades, medidas e espessuras sob consulta.

#### PREÇOS

Os produtos indicados são para produto não lixado.

Preços OSB

**RPR010 m<sup>2</sup> Reboco liso sobre paramento exterior.**

Reboco **liso com acabamento lavado** realizado com argamassa de cal sobre um paramento **exterior, armadura e reforço com malha anti-álcalis.**

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt09mor050d	m <sup>3</sup>	Argamassa de cal aérea ou apagada (1:4), confeccionada em obra.	0,010	123,30	1,23
mt09mor050c	m <sup>3</sup>	Argamassa de cal aérea ou apagada (1:3), confeccionada em obra.	0,007	126,30	0,88
mt09var030a	m <sup>2</sup>	Malha de fibra de vidro tecida, com impregnação de PVC, de 10x10 mm, anti-álcalis, de 115 a 125 g/m <sup>2</sup> e 500 µ de espessura, para armar rebocos tradicionais, emboços e argamassas.	1,050	1,55	1,63
mo038	h	Oficial de 1 <sup>a</sup> rebocador.	0,385	16,85	6,49
mo077	h	Ajudante de rebocador.	0,385	16,45	6,33
mo109	h	Operário especializado rebocador.	0,385	16,65	6,41
	%	Meios auxiliares	2,000	22,97	0,46
	%	Custos indirectos	3,000	23,43	0,70
Custo de manutenção decenal: 11,34€ nos primeiros 10 anos.				Total:	24,13

Gerador de Preços – Reboco Exterior

## Estudo Comparativo Entre Estruturas em Madeira e Estruturas de Betão Armado

**RPR011 m<sup>2</sup> Reboco liso sobre paramento interior.**

Reboco **liso com acabamento lavado** realizado com argamassa de cal sobre um paramento **interior, armadura e reforço com malha anti-álcalis.**

QTT010		m <sup>2</sup>	Cobertura inclinada de telhas cerâmicas sobre espaço habitável	Rend.	Preço unitário	Importância
Unitário	Ud					
mt09mor050d	m <sup>3</sup>		Argamassa de cal aérea ou apagada (1:4), confeccionada em obra.	0,010	123,30	1,23
mt09mor050c	m <sup>3</sup>		Argamassa de cal aérea ou apagada (1:3), confeccionada em obra.	0,007	126,30	0,88
mt09var030a	m <sup>2</sup>		Malha de fibra de vidro tecida, com impregnação de PVC, de 10x10 mm, anti-álcalis, de 115 a 125 g/m <sup>2</sup> e 500 µ de espessura, para armar rebocos tradicionais, emboços e argamassas.	1,050	1,55	1,63
mo038	h		Oficial de 1 <sup>a</sup> rebocador.	0,354	16,85	5,96
mo077	h		Ajudante de rebocador.	0,354	16,45	5,82
mo109	h		Operário especializado rebocador.	0,354	16,65	5,89
	%		Meios auxiliares	2,000	21,41	0,43
	%		Custos indirectos	3,000	21,84	0,66
Custo de manutenção decenal: 10,58€ nos primeiros 10 anos.					Total:	22,50

Gerador de Preços- Reboco Interior

## Estudo Comparativo Entre Estruturas em Madeira e Estruturas de Betão Armado

Cobertura inclinada de telhas cerâmicas, sobre espaço habitável, com uma pendente média de 30%, composta de: impermeabilização: placa sob telha, cobrimento: telha cerâmica lusa, 43x26 cm, cor vermelho, fixada com parafusos rosca-chapa sobre ripas metálicas; formação de pendentes com laje de betão ou painel cerâmico (não incluída neste preço).

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt13lpo010ca	m <sup>2</sup>	Placa asfáltica 10 ondas de perfil ondulado e cor preto, à base de fibras minerais e vegetais saturadas com uma emulsão betuminosa a altas temperaturas, segundo NP EN 534.	1,250	4,56	5,70
mt13lpo035a	Ud	Prego, para fixação de placa sob telha.	3,000	0,08	0,24
mt13blw140	m	Ripa de chapa galvanizada para fixação de telhas.	3,000	1,38	4,14
mt13blw131	Ud	Parafuso para fixação de ripa.	6,000	0,26	1,56
mt13tax010a	Ud	Telha cerâmica lusa, 43x26 cm, cor vermelho, segundo EN 1304.	12,000	0,45	5,40
mt13tax013a	Ud	Telha cerâmica de ventilação, lusa, cor vermelho, segundo EN 1304.	0,100	3,10	0,31
mt13blw101	Ud	Parafuso rosca-chapa para fixação de telhas em ripa.	4,500	0,06	0,27
mq06hor010	h	Betoneira.	0,010	1,68	0,02
mo010	h	Oficial de 1ª montador.	0,063	17,41	1,10
mo078	h	Ajudante de montador.	0,063	16,45	1,04
	%	Meios auxiliares	2,000	19,78	0,40
	%	Custos indirectos	3,000	20,18	0,61
Custo de manutenção decenal: 6,86€ nos primeiros 10 anos.				Total:	20,79

Gerador de Preços- Cobertura- telhas.