

Ivan Norberto Namahela

**ANÁLISE COMPARATIVA DO IMPACTO DO CUSTO DE MATERIAL NO USO DO  
REBAP, RSA E O EUROCODIGO 0, 1 e 2.  
CASO DE ESTUDO: DIMENSIONAMENTO DE UMA LAJE VIGADA**

Faculdade de Engenharias e Tecnologia – FET  
Licenciatura em Engenharia de Construção Civil

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2023

Ivan Norberto Namahela

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DE MATERIAL NO USO DO REBAP, RSA  
E O EUROCODIGO 0, 1 e 2.  
CASO DE ESTUDO: DIMENSIONAMENTO DE UMA LAJE VIGADA**

Monografia apresentada na Faculdade de  
Engenharias e Tecnologias, para a obtenção do  
grau académico de Licenciatura em Engenharia  
de Construção Civil.

Supervisor: Eng<sup>a</sup> Teodósia Checane

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2023

## Índice

Lista de Figuras.....	3
Lista de Tabelas .....	4
Lista de Abreviatura e Símbolos.....	5
DECLARAÇÃO .....	7
AGRADECIMENTO.....	8
RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
CAPITULO I: INTRODUÇÃO .....	11
1.1. Delimitação .....	11
1.2. Justificativa .....	12
1.3. Definição do Problema.....	13
1.4. Formulação das questões de pesquisa .....	13
1.5. Hipóteses.....	14
1.6. Objectivos .....	14
CAPITULO II: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	15
2.1. Introdução as Lajes Maciça Vigadas.....	15
2.2. Legislação Portuguesa.....	15
2.2.1. Vão Teórico .....	15
2.2.2. Direcção da Laje .....	16
2.2.3. Combinações de Acções .....	16
2.2.4. Armaduras mínimas e máximas .....	17
2.2.5. Armaduras de cálculo.....	18
2.3. Legislação Europeia.....	18
2.3.2. Combinações de Acções (EC0 6.4.3.3).....	19
2.3.3. Recobrimento .....	20
2.3.4. Armaduras mínimas e máximas para lajes maciças .....	22
2.3.5. Armaduras de cálculo.....	23
CAPITULO III- CASO DE ESTUDO.....	25
3.1. Introdução .....	25
3.2. Apresentação do Projecto.....	25
3.3. Materias e Acções .....	28
3.3.1. Betão .....	28
3.3.2. Revestimento.....	31

3.3.3.	Categoria de Utilização .....	31
3.3.4.	Classificação das acções .....	31
3.4.	Dimensionamento segundo REBAP e RSA.....	32
3.4.1.	Vão Teórico da Laje.....	33
3.4.2.	Direcção da Laje quanto a armadura:.....	34
3.4.3.	Verificação da deformação (Art.º 102 REBAP) .....	34
3.4.4.	Distância Útil .....	34
3.4.5.	Acções e Combinações .....	34
3.4.6.	Cálculo dos Momentos.....	35
3.4.7.	Verificação da distância Útil face aos Esforços .....	36
3.4.8.	Compensação nos Vãos – Tabela de Czerny .....	37
3.4.9.	Armaduras .....	38
3.4.10.	Verificação do esforço Transverso.....	40
3.4.11.	Emendas e Amarrações (REBAP Art.º 81).....	41
3.4.12.	Disposição construtiva das Armaduras .....	44
3.4.13.	Tabela de Quantidades .....	45
3.5.	Dimensionamento Segundo Eurocódigo.....	46
3.5.1.	Materiais e Acções .....	46
3.5.2.	Cálculo da Direcção da Laje → EC2 -5.3.1 (5) .....	47
3.5.3.	Determinação da profundidade .....	47
3.5.4.	Determinação da Espessura da Laje.....	48
3.5.5.	Determinação de Acções.....	49
3.5.6.	Cálculo dos Momentos.....	50
3.5.7.	Armaduras .....	50
3.5.8.	Verificação do Esforço Transverso - EC2- 6,2 .....	52
3.5.9.	Disposição construtiva das Armaduras .....	53
3.5.10.	Tabela de Quantidades .....	54
3.6.	Comparação das Quantidades .....	54
4.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	57
4.1.	Distancia Útil e Combinação de Acções.....	57
4.2.	Momentos e Armaduras .....	57
4.3.	Custo final.....	58
5.	METODOLOGIA CIENTIFICA.....	60

6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	60
6.1.	Conclusão.....	60
6.2.	Recomendações.....	61
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
8.	ANEXOS .....	63

## Lista de Figuras

Figura 1 - Vão Teórico.....	16
Figura 2 - Valores de cálculo das acções (EQU) .....	19
Figura 3 - Recobrimento mínimo, $C_{(min,b)}$ , requisitos relativos à aderência (EC2 Quadro 4.2) .....	20
Figura 4 - Valores do recobrimento mínimo, $C_{(min,dur)}$ , requisitos relativos à durabilidade das armaduras para betão armado (Quadro 4.4N do EC2).....	21
Figura 5 - Planta do Rés-do-chão.....	25
Figura 6 - Planta do 1 Andar.....	26
Figura 7 - Alçado Frontal.....	26
Figura 8 - 3D da Estrutura .....	27
Figura 9 - Piso 2.....	27
Figura 10 - Laje Piso 2 a Ser usada para o Calculo .....	28
Figura 11 - Tipos correntes de armaduras ordinárias.....	30
Figura 12 - Relações tensões-extensões.....	31
Figura 13 - Laje Principal .....	32
Figura 14 - Painel de laje 1 .....	33
Figura 15 - Compensação noa vãos .....	37
Figura 16 - Disposição construtiva: REBAP .....	44
Figura 17 - Corte A-A.....	44
Figura 18 - Corte B-B .....	45
Figura 19 - Disposição construtiva – EUROCÓDIGO .....	53
Figura 20 - Corte A - EC.....	53
Figura 21 - Corte B - EC.....	54
Figura 22: Tabela de áreas e Pesos de Varões .....	63
Figura 23: Tabela de Marcus .....	64
Figura 24: Categoria de utilização .....	65
Figura 25: Sobrecargas em pavimentos, varandas e escadas de edifícios.....	66
Figura 26 - Peso de Pavimentos de Habitações .....	67
Figura 27 - Peso de Tabiques e Paredes.....	68
Figura 28 - Tabela de Czerny.....	69
Figura 29 - Razões básicas de profundidade efetiva do vão .....	70

**Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Resumo de Regulamentos portugueses. Fonte: Appleton (2013).....	11
Tabela 2 - Classe de Betões .....	29
Tabela 3 -Valores de cálculo das tensões de rotura .....	29
Tabela 4 - Resultado dos momentos, carga e esforços.-REBAP .....	36
Tabela 5 - Momentos Parciais.....	37
Tabela 6 - Momentos Finais .....	37
Tabela 7 - Resultados e quantidades- REBAP.....	45
Tabela 8 - Classes de exposição dos elementos estruturais .....	46
Tabela 9 - Valores das Características do Betão B25/30.....	46
Tabela 10 - Resultado dos momentos, carga e esforços.- EUROCÓDIGO.....	50
Tabela 11 - Resultados e Quantidades – EUROCÓDIGO.....	54
Tabela 12 - Comparação das Quantidades.....	55
Tabela 13 - Distância útil e combinação das acções.....	57
Tabela 14 - Momentos e Armaduras.....	57
Tabela 15 - Comparação dos Custos.....	58

## Lista de Abreviatura e Símbolos

### Abreviaturas

RSA - Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Betão Armado;

REBAP - Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado

CEN - Comité Europeu de Normalização;

EC0 - Eurocódigo 0 – Bases para o Projecto de Estruturas;

EC1 - Eurocódigo 1 – Acções em Estruturas;

EC2 - Eurocódigo 2 – Projecto de Estruturas de Betão;

ELS - Estados Limites de Serviço;

ELU - Estados Limites Últimos;

### Símbolos

$A_{s,mim}$  – Área da secção da armadura [ $cm^2$ ];

$b_t$  – Largura média da zona tracionada da secção; no caso de vigas com banzo de compressão e em que a linha neutra se situa no banzo, a largura deste é tida em conta [m];

$\rho_{mim}$  – Percentagem de armadura mínima;

$d$  – Altura útil da secção [m].

$M_{sd}$  – Momento fletor atuante [kN.m];

$f_{syd}$  – Valor de cálculo da tensão de cedência do aço [kPa].

$V_{sd}$  – Valor de cálculo do esforço transversal actuante;

$V_{sd,red}$  – Valor de cálculo do esforço transversal reduzido, considerando que, na zona em causa, as cargas são minoradas na proporção de  $a/2d$ , sendo  $a$  a distância de cada carga ao eixo de apoio

$b_t$  – Largura média da zona tracionada [m];

$f_{ctm}$  – Valor médio da tensão de rotura do betão à tracção simples [kPa].

$c_{min}$  - Recobrimento mínimo;

$C_{minb}$  – Recobrimento mínimo para os requisitos de aderência;

$C_{min,dur}$  – Recobrimento mínimo relativo às condições ambientais;

$\Delta C_{dur,\gamma}$  – Margem de segurança;

$\Delta C_{dur,st}$  – Redução do recobrimento mínimo no caso da utilização de aço inoxidável;

$\Delta C_{du,od}$  – Redução do recobrimento mínimo no caso de protecção adicional;

$C_{nom}$  - Recobrimento nominal;

$l_{bd}$  - Comprimento de amarração;

$\alpha_1$  – Coeficiente que tem em conta o efeito da forma dos varões;

$\alpha_2$  – Coeficiente que tem em conta o efeito do recobrimento mínimo do betão;

$\alpha_3$  – Coeficiente que tem em conta o efeito da cintagem das armaduras transversais;

$\alpha_4$  – Coeficiente que tem em conta a influência de um ou mais varões transversais soldados ao longo do comprimento de amarração;

$\alpha_5$  – Coeficiente que tem em conta o efeito da pressão ortogonal ao plano de fendilhação ao longo do comprimento de amarração;

$l_{b,rqd}$  – Comprimento de amarração de referência;

$f_{ctd}$  – Valor de cálculo da tensão de rotura do betão à tracção;

## DECLARAÇÃO

Eu, Ivan Norberto Namahela, declaro por minha honra que esta Monografia é resultado da minha investigação pessoal e das orientações dos meus supervisores, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final.

Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para obtenção de qualquer grau académico.

Maputo, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2023

---

(Ivan Norberto Namahela)

## **AGRADECIMENTO**

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu Senhor, Deus que me concedeu forcas e vida para que chegasse neste nível, mesmo enfrentando dificuldades ao longo da caminhada, ele sempre criou condições para que eu continuasse.

Agradecer também a minha família, em especial a minha mãe, pelo amor e pelos cuidados desde a minha tenra idade.

Agradecer também a Eng<sup>a</sup> Teodósia pela bela supervisão, e pela motivação que ela dava cada vez que eu me encontrava com ela.

Aos Colegas no Negocio, Mestre Crimildo Maria, Eng Pedro Rafael, Eng Lauro Mota, pela motivação, pelas ideias e pelo material disponibilizado por eles de modo a finalizar o trabalho com sucesso.

## RESUMO

Para o dimensionamento das Estruturas em betão armado, o nosso país usa a norma portuguesa (REBAB- Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado), mas essa norma foi substituída pela norma europeia, e sendo assim importa analisar de uma forma global os novos procedimentos e implicações que terá a nova legislação europeia no dimensionamento das estruturas de Betão armado em Moçambique.

É importante lembrar que o REBAP- (Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado) é a norma portuguesa e não Moçambicana. Recentemente em 2022, Portugal deixou de usar o REBAP estando a usar EUROCODIGO (Norma europeia). A Pergunta que fica é esta: Porque o nosso país ainda está a usar uma norma não mais útil no seu país de origem?

O objectivo desta Monografia é de fazer uma comparação nos procedimentos de cálculo de uma estrutura de laje em betão armado e saber qual é o impacto económico que a nova legislação terá comparado ao antigo.

**Palavra-chave:** EUROCODIGO, REBAP, Laje, Dimensionamento.

## **ABSTRACT**

For the design of Reinforced Concrete Structures, our country uses the Portuguese standard (REBAB- Regulation of Reinforced and Prestressed Concrete Structures), but this standard was replaced by the European standard, and therefore it is important to analyze in a global way the new procedures and implications that the new European legislation will have in the design of reinforced concrete structures in Mozambique.

It is important to remember that the REBAP- (Regulation for Reinforced and Prestressed Concrete Structures) is the Portuguese standard and not Mozambican. Recently in 2022, Portugal stopped using REBAP and is using EUROCODIGO (European Standard). The question that remains is this: Why is our country still using a standard that is no longer useful in its country of origin?

The objective of this monograph is to make a comparison in the calculation procedures of a slab structure in reinforced concrete and to know what is the economic impact that the new legislation will have compared to the old one.

**Keyword:** EUROCODIGO, REBAP, Slab, Dimensioning.

## CAPITULO I: INTRODUÇÃO

### 1.1.Delimitação

Moçambique foi uma colónia Portuguesa durante um longo período de tempo, neste período foram impostos regulamentos portugueses para construção e dimensionamento de estruturas, e mesmo após a independência do país, continuam a ser utilizados estes regulamentos (RSA e REBAP), pois Moçambique ainda não possui regulamentação própria. A tabela 1, apresenta um resumo em ordem cronológica de regulamentos portugueses para estruturas de Betão Armado.

**Tabela 1** - Resumo de Regulamentos portugueses. Fonte: Appleton (2013)

Regulamento	Principais Características
Regulamento para emprego do Betão armado (1918)	O primeiro regulamento oficial em Portugal que impõe prescrições de ordem técnica e administrativa para construções de betão armado. Baseado em práticas correntes da época e regulamentos de outros países (França, entre outros).
Regulamento de Betão Armado -RBAK1935)	São introduzidas pela primeira vez, ao nível regulamentar, as acções a adoptar no projecto de edifícios. Apresenta uma componente mais detalhada no que se refere ao cálculo de lajes fungiformes.
Regulamento de Segurança das Construções Contra Sismos (1958)	O seu âmbito principal é garantir a não destruição total de construções e a salvaguarda de vidas humanas. O procedimento para o dimensionamento de estruturas sismo-resistentes é baseado em coeficientes sísmicos e zoneamento sísmico.
Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes -RSEP (1961)	Foram congregados num único documento os conceitos relativos às solicitações em estruturas. São considerados valores de sobrecargas obtidos por um método semi-probabilístico de acordo com critérios de permanência de actuação de acções.
Regulamento de Estruturas de Betão Armado - REBA (1967)	O método da verificação da segurança por tensões admissíveis muda para o método de verificação da segurança aos Estados Limites, sendo para a rotura adoptada a filosofia dos coeficientes parciais de segurança.
Regulamento de Segurança e Acções - RSA (1983)	São introduzidos conceitos de betão pré-esforçado, segurança em relação à fadiga e o comportamento de estruturas sob acção sísmica.
Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado REBAP (1983)	São implementados os critérios e modelos de verificação da segurança para estruturas de betão armado pré-esforçado de uma forma integrada com as estruturas de betão armado. Foram progredidos os conceitos sobre fendilhação, deformação, fluência

A união Europeia lançou a Euro Norma, que vem substituir a norma Portuguesa, e esta é uma norma revista e melhorada. Só que em Moçambique ainda está em vigor a norma Portuguesa (REBAP) e o uso desta norma pode trazer impactos negativos na economia do país, pois eleva o custo de construção dos edifícios.

O que nos interessa nesta monografia é fazer a comparação das duas legislações, a Europeia e a Portuguesa, visto que a Norma Europeia (Eurocódigo) substitui a norma Portuguesa (REBAP) e essa nova legislação irá ter no projecto de estruturas um impacto notório, quer a nível técnico quer a nível económico, e nesta monografia estaremos enfatizando a comparação a nível económico. E com vista a fazer a análise da viabilidade económica será Dimensionada uma laje Vigada nos estados limites últimos segundo o REBAP e comparando as quantidades do Aço e betão, segundo o EUROCÓDIGO.

A monografia encontra-se dividida em três capítulos, tratando o primeiro de uma introdução contextualizada ao problema de pesquisa, objectivos e justificativa do mesmo. O segundo capítulo faz uma revisão bibliográfica essencial para a pesquisa e se faz a comparação entre as metodologias de cálculo de ambas legislações. No capítulo terceiro faz-se o dimensionamento da laje vigada usando as duas legislações e comparando os resultados, e mais para o final discute se os resultados obtidos e faz-se as conclusões do trabalho.

## **1.2. Justificativa**

Segundo o MOPHRH, a construção civil é um dos sectores de economia em moçambique que tem uma contribuição notável para o produto interno Bruto.

É sabido por nós que a Construção Civil, ou seja, a construção de infra-estruturas tem um impacto directo na economia de um país, pelo que, é muito importante garantir que a Norma que regula as Estruturas em Moçambique garanta economia na concepção das mesmas.

Este é o motivo que leva o proponente fazer uma breve comparação entre a Legislação Portuguesa e a Legislação Europeia.

A Comparação que será feita nesta Monografia com as duas legislações será a nível técnico e também a nível económico, com mais ênfase a nível económico, com o objectivo de saber qual das normas minimiza o custo de materiais (Betão e Aço) para a Construção, e para isso irá dimensionar uma laje vigada.

### **1.3. Definição do Problema**

Com a formação da União Europeia, e com o desaparecimento das fronteiras, assistiu-se à crescente preocupação na homogeneização das normas de maneira a que um profissional de qualquer um dos estados membros pudesse dimensionar estruturalmente obedecendo a normas uniformizadas. Dessa forma, o Comité Europeu de Normalização (CEN) procurou criar um conjunto de normas articuladas e comuns a todos os países para incentivar o mercado interno europeu. Essa família de normas é denominada por Eurocódigos e é constituída por 10 normas, em que cada uma é, geralmente, organizada em distintas partes. (J. APPLETON 2013)

A maioria dos edifícios existentes na Cidade de Maputo são da época colonial, os portugueses implantaram os edifícios usando assim a Norma Portuguesa que regula os projectos de estruturas em Portugal, e esses edifícios são conhecidos por ser Esbeltos, isto é, possuem pilares com diâmetros muito elevados, são conhecidos também por serem Superdimensionados ou seja, resistem a uma carga maior do que a que é aplicada, e conseqüentemente tem um custo elevado para construção. E aconteceu que quando Moçambique ganhou a independência continuou a usar a norma portuguesa para regular assim as estruturas de betão armado.

Mas com a união Europeia foi lançada a Euro Norma, que vem substituir a norma Portuguesa, e esta é uma norma revista e melhorada. Só que em Moçambique ainda esta em vigor a norma Portuguesa (REBAP) e o uso desta norma pode trazer impactos negativos na economia do país, pois eleva o custo de construção dos edifícios.

### **1.4. Formulação das questões de pesquisa**

Qual será o impacto económico que a nova legislação europeia terá no projecto de estruturas de edifício em betão Armado em comparação com a legislação Portuguesa?

## **1.5.Hipóteses**

Para tentar responder ao problema levantado pelo tema escolhido na pesquisa sobre a comparação entre a Legislação Portuguesa e a Legislação Europeia, Fazendo assim uma análise económica entre as duas, são consideradas as seguintes hipóteses:

### **1.5.1. Hipóteses nula (H0):**

A legislação europeia minimiza o custo de materiais (Betão e Aço) para a Construção, tornando assim a estrutura económica.

### **1.5.2. Hipóteses Alternativa (H1):**

A legislação europeia maximiza o custo de materiais (Betão e Aço) para a Construção, tornando assim a estrutura menos económica.

## **1.6.Objectivos**

### **1.6.1. Objectivo Geral**

- Fazer uma comparação da análise do custo de material no uso da legislação portuguesa, nomeadamente o Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA), e o Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP) com os EC0, EC1 e EC2, referentes a bases para o projecto de estruturas, acções em estruturas, projecto de estruturas de betão.

### **1.6.2. Objectivos Específicos**

- Dimensionar uma laje Vigada usando as duas legislações;
- Comparar as quantidades dos materiais obtidos no cálculo de acordo com as duas legislações;
- Analisar o impacto económico que a legislação europeia terá no projecto de estruturas;

## CAPITULO II: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1.Introdução as Lajes Maciça Vigadas

Laje maciça Vigada é aquela onde toda a espessura é composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão e eventualmente armaduras transversais, e apoiada em vigas ao longo das bordas.

A Seguir serão apresentadas as regras de dimensionamento para estruturas de Laje vigada, designadamente as especificadas pelo REBAP, RSA (referente à legislação portuguesa) e pelos EC0, EC1 e EC2 (referentes à legislação europeia) nos Estados Limites Últimos.

### 2.2.Legislação Portuguesa

#### 2.2.1. Vão Teórico

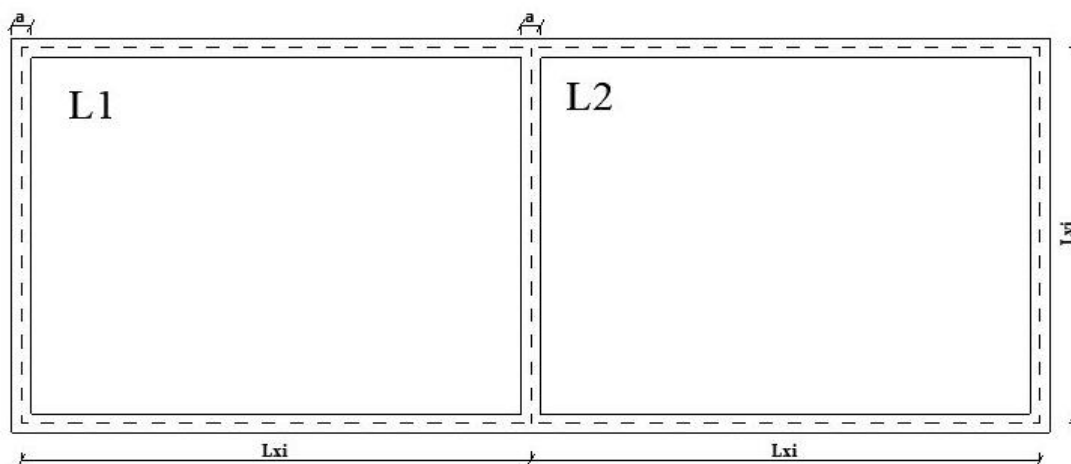
O vão teórico a considerar no dimensionamento das lajes maciças deve ser estabelecido de acordo com os critérios estipulados no artigo 87.º do REBAP para o vão teórico das vigas.

Nos casos correntes, o vão teórico será considerado do modo seguinte:

Nas vigas simplesmente apoiadas, o menor dos valores: o vão livre acrescido de 1/3 da largura de cada apoio (dimensão do apoio na direcção do vão) ou o vão livre aumentado da altura útil da viga; Nas vigas encastradas, o menor dos valores: a distância entre eixos dos apoios ou o vão livre aumentado da altura útil da viga; Nas vigas contínuas: a distância entre eixos dos apoios.

$$l_{xi} = l_x + a/2 + a/2 - \text{Apoio encastrado.} \quad (01)$$

$$l_{yi} = l_y + a/3 + a/3 - \text{Apoios simples.} \quad (02)$$



**Figura 1 - Vão Teórico**

$a$  – Largura do Apoio

### 2.2.2. Direcção da Laje

Quanto as direcções das armaduras a laje vigada é classificada em:

➤ **Armada em uma direcção**

Considera-se que as lajes são armadas numa direcção se:

- As condições de apoio exigirem
- A relação entre vãos respeitar a condição:  $\frac{L_{maior}}{L_{menor}} \geq 2$

➤ **Armada em duas direcções**

Considera-se laje armada em duas direcções ou Laje em Cruz quando a relação entre os vãos respeitem a condições seguinte:  $\frac{L_{maior}}{L_{menor}} \leq 2$

### 2.2.3. Combinações de Acções

O artigo 9.1 do RSA indica-nos as combinações de acções que devem ser tidas em conta no projecto de estabilidade de uma estrutura. Para tal têm de ser considerados dois Estados Limite: Último e de Utilização.

Para os Estados Limite Últimos o artigo 9.2 do RSA indica três combinações fundamentais:

$$S_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} S_{Gik} + \gamma_q [S_{Q1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} S_{Qjk}] \quad (03)$$

$$S_d = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \gamma_q S_{Ek} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} S_{Qjk} \quad (04)$$

$$S_d = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + S_{Fa} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} S_{Qjk} \quad (05)$$

O artigo 9.3 do RSA nos fornece os coeficientes de segurança relativos as acções  $\gamma_g$  e  $\gamma_q$ , e estes tem os seguintes valores:

$\gamma_g = 1.5$ , no caso de a acção permanente em causa ter efeito desfavorável;

$\gamma_g = 1.0$ , no caso contrário;

$\gamma_q = 1.5$ , para todas acções variáveis.

#### 2.2.4. Armaduras mínimas e máximas

A armadura mínima longitudinal das lajes é a indicada no artigo 104º do REBAP, que remete para o artigo 90º do mesmo. Como tal temos a seguinte equação:

$$A_{s,min} = \rho_{min} \times b_t \times d \quad (06)$$

Em que:

- $A_{s,min}$  – Área da secção da armadura [ $cm^2$ ];
- $b_t$  – Largura média da zona tracionada da secção; no caso de vigas com banzo de compressão e em que a linha neutra se situa no banzo, a largura deste é tida em conta [m];
- $\rho_{min}$  – Percentagem de armadura mínima;
- $d$  – Altura útil da secção [m].

$$d = h - c - \frac{\phi}{2} \quad (07)$$

Onde

$\phi$  - É o diâmetro do varão, e por convenção escolhe-se 10 mm;

$c$ - Recobrimento. Ambiente moderadamente agressivo;

$h$  – Espessura da laje;

O artigo 90.2 indica que a percentagem de armadura máxima é dada pela seguinte equação:

$$A_{s,max} = 0.04 \times A_c \quad (08)$$

Em que:

- $A_c$  – Área da secção transversal da viga de betão armado [ $cm^2$ ]

## 2.2.5. Armaduras de cálculo

### 2.2.5.1. Esforço de flexão

O dimensionamento da secção transversal da laje é efectuado com base nas hipóteses de cálculo enunciadas anteriormente, pelo que pode ser efectuado tendo em conta as seguintes equações:

$$A_{scal} = \frac{M_{sd}}{0.9 \times d \times f_{syd}} \quad (09)$$

Em que:

- $M_{sd}$  – Momento fletor atuante [kN.m];
- $d$  – Altura útil da viga [m];
- $f_{syd}$  – Valor de cálculo da tensão de cedência do aço [kPa].

### 2.2.5.2. Esforço transversal

Relativamente ao esforço transversal o REBAP enuncia que, para elementos dimensionados à flexão simples ou composta, o cálculo do esforço transversal resistente é efectuado pela seguinte equação:

$$V_{Rd} = V_{cd} + V_{wd} \quad (10)$$

$$V_{cd} = \tau_1 \times b_w \times d \quad (11)$$

$$V_{wd} = 0.9 \times d \times \frac{A_{sw}}{s} \times f_{syd} (1 + \cot \alpha) \times \sin \alpha \quad (12)$$

Como se trata de uma laje, e na maioria das situações estas não são dimensionadas ao esforço transversal implica que o esforço transversal resistente seja igual ao esforço transversal resistente do betão.

## 2.3. Legislação Europeia

### 2.3.1. Direcção da Laje

Para a Escolha do tipo de laje, a legislação europeia é semelhante que a portuguesa e a condição para a verificação está citada na EC 5.3.1 (5).

$$\lambda = \frac{l_{xi}}{l_{yi}} > 2 \text{ Laje armada numa só direcção} \quad (13)$$

$$\lambda = \frac{l_{xi}}{l_{yi}} < 2 \text{ Laje armada em duas direcções} \quad (14)$$

O dimensionamento à flexão de lajes vigadas pela legislação europeia é semelhante ao preconizado na legislação portuguesa como a seguir se demonstra.

### 2.3.2. Combinações de Acções (EC0 6.4.3.3)

As combinações de acções a ter em conta nas situações de projecto consideradas deverão ser adequadas aos requisitos de utilização e aos critérios de desempenho a verificar, (EC0 6.4.3.3), equações extraídas na expressões 6.10 e 6.12b.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \times G_{k,j} + \gamma_p \times P + \gamma_{Q,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i} \quad (15)$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \times Q_{k,i} \quad (16)$$

E os valores característicos a considerar estão descritos no Quadro A1.2(A) no Anexo A1 do EC0.

Situações de projecto persistentes e transitórias	Acções permanentes		Acção variável de base da combinação *)	Acções variáveis acompanhantes	
	Desfavoráveis	Favoráveis		Principais (caso existam)	Outras
(Expressão 6.10)	$\gamma_{G,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
<p>*) As acções variáveis são as consideradas no Quadro A1.1.</p> <p><b>NOTA 1:</b> Os valores de <math>\gamma</math> poderão ser definidos no Anexo Nacional. O conjunto de valores recomendados para <math>\gamma</math> é:  <math>\gamma_{G,sup} = 1,10</math>  <math>\gamma_{G,inf} = 0,90</math>  <math>\gamma_{Q,1} = 1,50</math> nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)  <math>\gamma_{Q,i} = 1,50</math> nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)</p> <p><b>NOTA 2:</b> Nos casos em que a verificação do equilíbrio estático também envolva a resistência dos elementos estruturais, como alternativa às duas verificações separadas baseadas nos Quadros A1.2(A) e A1.2(B) poderá ser adoptada uma verificação combinada, caso o Anexo Nacional o permita, baseada no Quadro A1.2(A) e com o seguinte conjunto de valores recomendados, que poderão ser alterados nesse Anexo:  <math>\gamma_{G,sup} = 1,35</math>  <math>\gamma_{G,inf} = 1,15</math>  <math>\gamma_{Q,1} = 1,50</math> nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)  <math>\gamma_{Q,i} = 1,50</math> nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)  desde que a aplicação de <math>\gamma_{G,inf} = 1,00</math>, tanto às parcelas favoráveis como desfavoráveis das acções permanentes, não produza um efeito mais desfavorável.</p>					

**Figura 2 - Valores de cálculo das acções (EQU)**

### 2.3.3. Recobrimento

O recobrimento das armaduras é a distância entre a superfície da armadura (incluindo ganchos, cintas, estribos e armadura de pele, quando relevante) que fica mais próxima da superfície de betão mais próxima e esta última.

O Eurocódigo chama de recobrimento nominal e diz que deve ser especificado nos desenhos. O EC também defini como um recobrimento mínimo,  $C_{min}$ , mais uma margem de cálculo para as tolerâncias de execução,  $\Delta C_{dev}$ .

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev} \quad (17)$$

O quadro 4.1 do EC2 apresenta-nos as Classes de exposição em função das condições ambientais e encontramos esse quadro nos anexos do Trabalho.

#### ➤ Recobrimento mínimo, $C_{min}$

Deve utilizar-se o maior valor de  $C_{min}$  que satisfaça simultaneamente os requisitos de aderência e de condições ambientais.

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur} + \Delta C_{dur,\gamma} - \Delta C_{dur,st} - \Delta C_{du,od}; 10mm\} \quad (18)$$

Em que:

- $C_{min,b}$  – Recobrimento mínimo para os requisitos de aderência

Para assegurar simultaneamente a transmissão correta das forças de aderência e a adequada compactação do betão, o recobrimento das armaduras não deve ser inferior a  $C_{min,b}$  dado no Quadro 4.2 do EC2.

Requisito de aderência	
Disposição dos varões	Recobrimento mínimo $c_{min,b}$ *
Isolados	Diâmetro do varão
Agrupados	Diâmetro equivalente ( $\phi_n$ )(ver 8.9.1)
*: Se a máxima dimensão do agregado for superior a 32 mm, $c_{min,b}$ deve ser aumentado de 5 mm.	

**Figura 3** - Recobrimento mínimo,  $C_{(min,b)}$ , requisitos relativos à aderência (EC2 Quadro 4.2)

- $C_{min,dur}$  –Recobrimento mínimo relativo às condições ambientais

O valor do recobrimento mínimo das armaduras para betão armado e das armaduras de pré-esforço no betão de peso normal, que tem em conta as classes de exposição e as classes estruturais, é dado por  $C_{min,dur}$

A classificação estrutural e os valores de  $C_{min,dur}$  a utilizar num determinado país são dados no respectivo Anexo Nacional. A Classe Estrutural recomendada (tempo de vida útil de projecto de 50 anos) é S4 para as resistências indicativas do betão dadas no Anexo E, as modificações recomendadas da Classe Estrutural são dadas no Quadro 4.3N. A Classe Estrutural mínima recomendada é S1.

Os valores recomendados de  $C_{min,dur}$  são dados no Quadro 4.4N do EC2 (armaduras para betão armado), e encontramos esse quadro nos anexos dessa monografia.

Requisito ambiental para $c_{min,dur}$ (mm)							
Classe Estrutural	Classe de Exposição de acordo com o Quadro 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

**Figura 4** - Valores do recobrimento mínimo,  $C_{(min,dur)}$ , requisitos relativos à durabilidade das armaduras para betão armado (Quadro 4.4N do EC2)

- $\Delta C_{dur,\gamma}$  –Margem de segurança

O recobrimento das armaduras deve ser aumentado da margem de segurança,  $\Delta C_{dur,\gamma}$ . O valor de  $\Delta C_{dur,\gamma}$  a utilizar num determinado país é dado no respectivo Anexo Nacional. O valor recomendado é 0 mm.

- $\Delta C_{dur,st}$  – Redução do recobrimento mínimo no caso de utilização de aço inoxidável

Quando se utiliza aço inoxidável ou quando tiverem sido tomadas outras medidas especiais, o recobrimento mínimo pode ser reduzido de  $\Delta C_{dur,st}$ . Nestes casos, devem considerar-se os seus efeitos sobre todas as propriedades dos materiais relevantes, incluindo a aderência.

O valor de  $\Delta C_{dur,st}$  a utilizar num determinado país é dado no respectivo Anexo Nacional. O valor recomendado, na ausência de outras especificações, é 0 mm.

- $\Delta C_{du,add}$  – Redução do recobrimento mínimo no caso de protecção adicional

No caso de betão com protecção adicional (por exemplo, revestimento), o recobrimento mínimo pode ser reduzido de  $\Delta C_{du,add}$ . O valor de  $\Delta C_{du,add}$  a utilizar num determinado país é dado no respectivo Anexo Nacional. O valor recomendado, na ausência de outras especificações, é 0 mm.

➤ **Margem de cálculo para tolerâncias de execução ( $\Delta C_{dev}$ )**

Para o cálculo do recobrimento nominal,  $C_{nom}$ , deverá majorar-se, ao nível do projecto, o recobrimento mínimo para ter em conta as tolerâncias de execução ( $\Delta C_{dev}$ ). O recobrimento mínimo deverá ser aumentado do valor absoluto da tolerância de execução considerado como susceptível de o reduzir. EC2 4.4.1.3.

#### 2.3.4. Armaduras mínimas e máximas para lajes maciças

$$A_{s,min} = \max \begin{cases} 0.26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_t \times d \\ 0.0013 \times b_t \times d \end{cases} \quad (19)$$

Em que:

- $b_t$  – Largura média da zona tracionada [m];
- $f_{ctm}$  – Valor médio da tensão de rotura do betão à tração simples [kPa].

Para a armadura longitudinal máxima o EC2 enuncia que esta não deverá ser superior a 4% da área da secção transversal da laje.

## 2.3.5. Armaduras de cálculo

### 2.3.5.1. Esforço de flexão

O dimensionamento das lajes à flexão pela legislação europeia é semelhante ao dimensionamento preconizado na legislação portuguesa, variando apenas as características dos materiais e relações constitutivas do betão.

$$A_{scal} = \frac{M_{sd}}{0.9 \times f_{yk} \times z} \quad (20)$$

$$z/d = 0.5 \times [1 + \sqrt{(1 - 3k)}] \quad (21)$$

$$k = \frac{M}{b \times d^2 \times f_{ck}} \quad (22)$$

$k < 0.167$  – *Simplismente Armada*

$k > 0.167$  – *Duplamente Armada*

### 2.3.5.2. Esforço transversal

Para a verificação do esforço transversal pelo EC2, é necessário proceder à definição do valor de cálculo do esforço transversal resistente do elemento sem armadura de esforço transversal ( $V_{Rd,c}$ ), do valor de cálculo do esforço transversal equilibrado pela armadura de esforço transversal na tensão de cedência ( $V_{Rd,s}$ ) e do valor de cálculo do esforço transversal máximo do elemento, limitado pelo esmagamento das escoras comprimidas ( $V_{Rd,max}$ ).

O EC2 (equação 6.1) indica que a resistência ao esforço transversal de um elemento com armadura de esforço transversal é igual a:

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} + V_{ccd} + V_{td} \quad (23)$$

Em que:

- $V_{Rd}$  – Esforço transversal resistente do elemento sem armadura de esforço transversal [kN];
- $V_{Rd,s}$  – Valor de cálculo de esforço transversal equilibrado pela armadura de esforço transversal na tensão de cedência [kN];
- $V_{ccd}$  – Componente de esforço transversal da força de compressão, no caso de um banzo comprimido inclinado [kN];

- $V_{td}$  – Componente de esforço transverso da força na armadura de tração, no caso de um banzo tracionado inclinado [kN].

O valor de cálculo do esforço transverso resistente sem armadura de esforço transverso é determinado segundo a seguinte equação:

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ \left[ C_{Rd,c} \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \times \sigma_{cp} \right] \times b_w \times d \right. \\ \left. (V_{min} + k_1 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d \right. \quad (24)$$

Em que:

- $f_{ck}$  – Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão [MPa];
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0$  com  $d$  [mm];
- $\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \times d} \leq 0.02$ ;
- $b_w$  – Menor largura da secção transversal na área tracionada [mm];
- $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0.2 \times f_{cd}$ ;
- $N_{Ed}$  – Esforço normal na secção devido às ações aplicadas ou ao pré-esforço [em N] ( $N_{Ed} > 0$  para compressão). Em  $N_{Ed}$ , a influência das deformações impostas poderá ser ignorada;
- $A_c$  – Área da secção transversal de betão [ $mm^2$ ]

Nos casos em que não se verifica a necessidade de armadura de esforço transverso, o EC2 indica que a armadura mínima de esforço transverso deverá ser calculada de acordo com o 9.2.2. A armadura de esforço transverso deverá formar um ângulo entre  $45^\circ$  e  $90^\circ$  com o eixo longitudinal do elemento estrutural. A armadura transversal pode ser constituída por varões inclinados e estribos que podem ou não envolver a armadura longitudinal de tração ou de compressão. Pelo menos metade da armadura de esforço transverso deve ser constituída por estribos ( $\beta_3=0,5$  no 9.2.2 do EC2).

## CAPITULO III- CASO DE ESTUDO

### 3.1. Introdução

Com este capítulo pretende-se aplicar os conceitos e metodologias de dimensionamento enunciadas nos capítulos anteriores. São apresentados dois dimensionamentos distintos de uma laje maciça vigada, de acordo com a legislação portuguesa e a legislação europeia.

No presente Capítulo serão apresentado os cálculos, verificações e resultados de ambas as legislações, feitos manualmente, sem recurso a um programa de cálculo.

Para melhor destaque das diferenças nos resultados dos cálculos a laje usada terá as mesmas características e mesmas solicitações.

Será feita a comparação de cada passo até ao resultado final, demonstrando assim as diferenças dos regulamentos em estudo.

### 3.2. Apresentação do Projecto

O edifício a ser objecto de estudo Estrutural é constituído por dois pisos, e conta com uma área de implantação de  $50,50 \text{ m}^2$  e de altura de 6,4m, e dentro do edifício o pé direito é de 3m para os dois pisos. No piso térreo a área é ocupada por lojas e no segundo piso a Área é ocupada por escritórios, e o acesso para o piso de cima são escadas sitiadas na parte exterior do edifício. Na fig.5 e 6 são apresentadas as plantas do Rés-do-chão e do 1 andar.

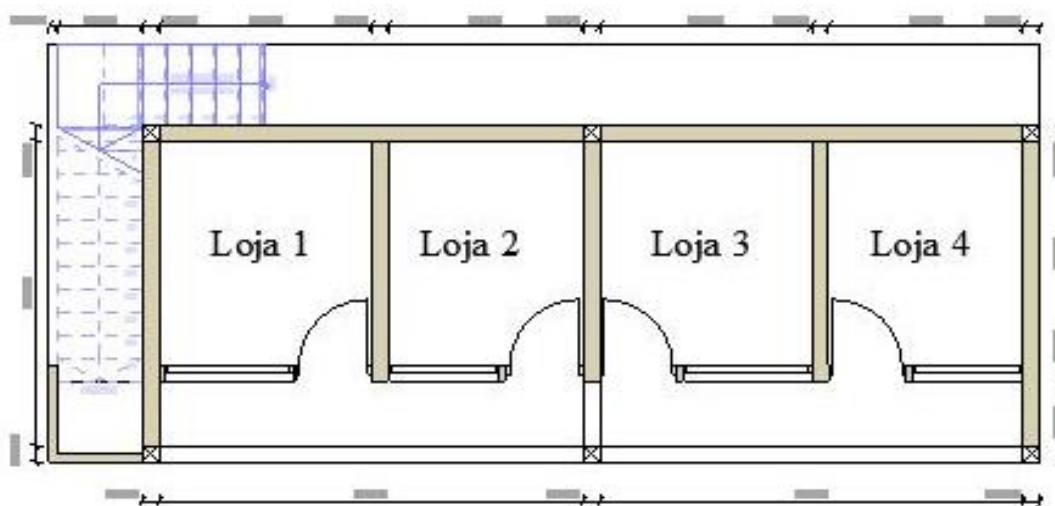
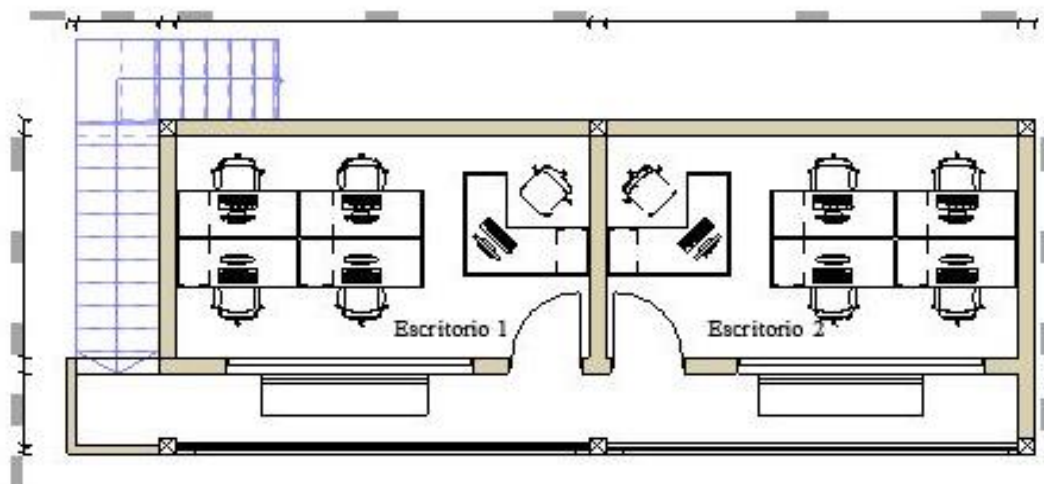


Figura 5 - Planta do Rés-do-chão

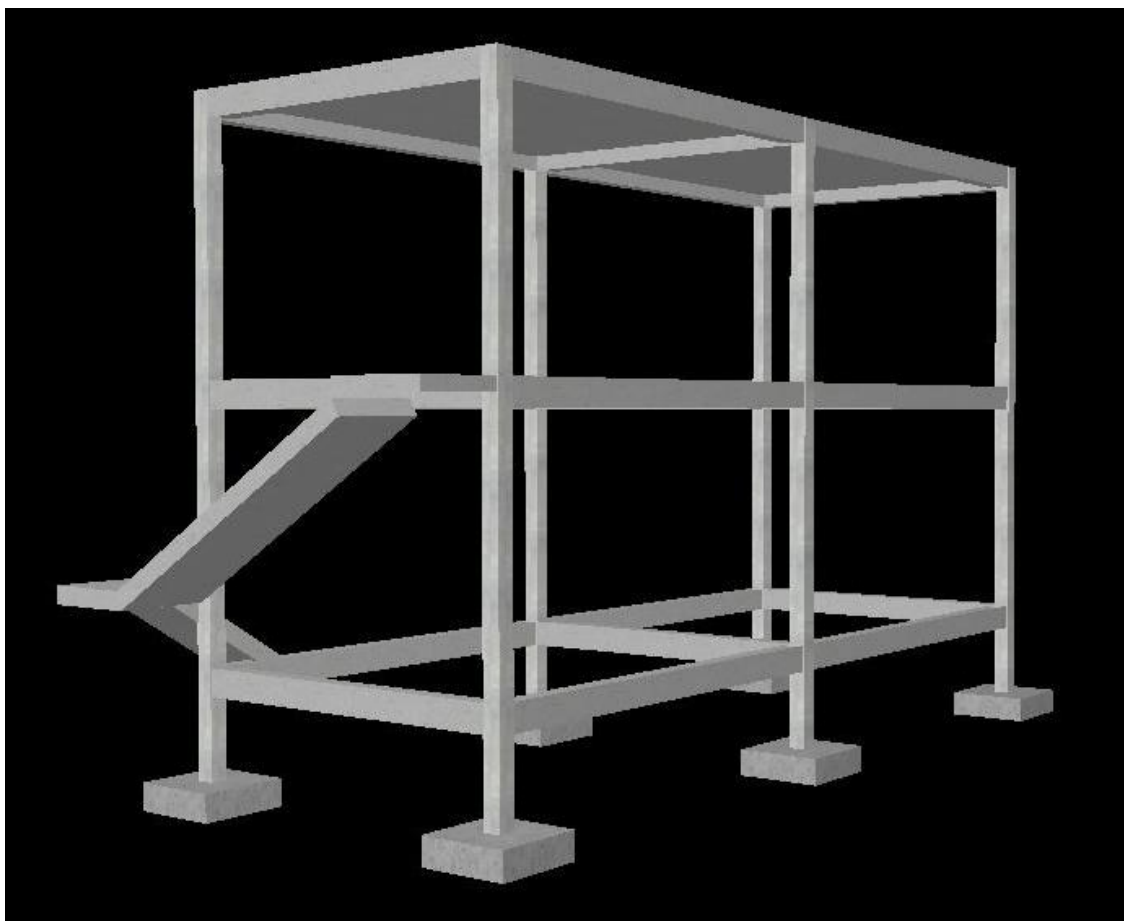


**Figura 6 - Planta do 1 Andar**

Na figura 7 e 8 è apresentada o Alçado frontal e o 3D da Estrutura.

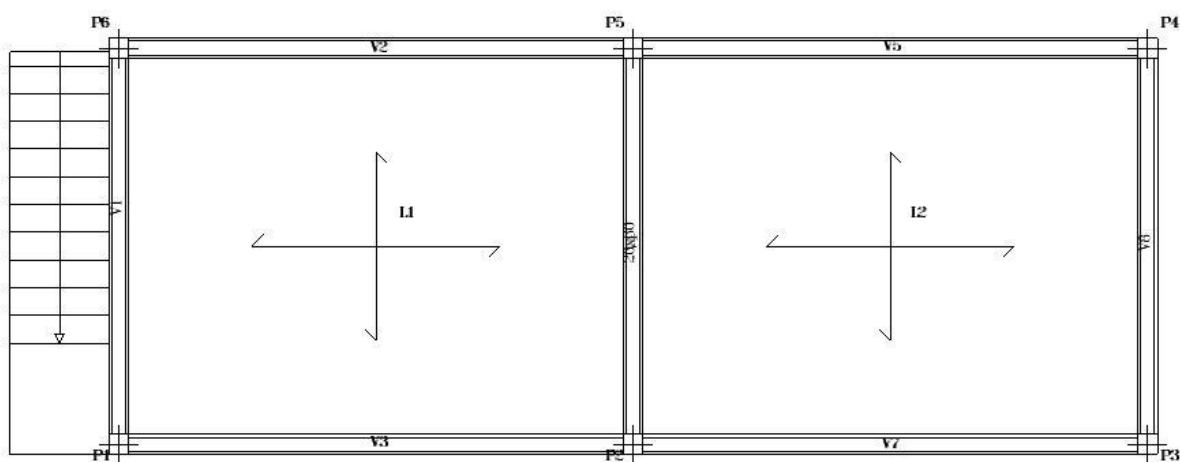


**Figura 7 - Alçado Frontal**

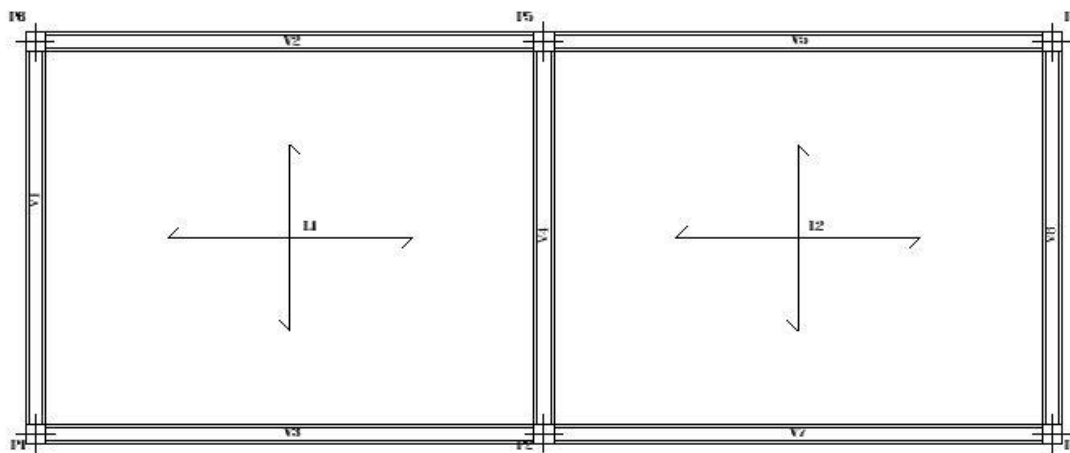


**Figura 8 - 3D da Estrutura**

E em seguida apresento em planta a concepção estrutural da laje do piso 2, laje destinada a ser um espaço de escritório. De salientar que nesta Monografia simplesmente será usada esta laje para o cálculo das quantidades, deste modo serão ignorados, os Pilares, a escada, as vigas, as sapatas etc.



**Figura 9 - Piso 2**



**Figura 10 - Laje Piso 2 a Ser usada para o Calculo**

### **3.3. Materiais e Acções**

#### **3.3.1. Betão**

A resistência à compressão é a característica mecânica mais importante do betão, pois nas estruturas a função deste material é essencialmente resistir às tensões de compressão enquanto as armaduras têm a função de resistir às tensões de tracção.

O artigo 13 do REBAP nos apresenta os tipos e classe que devemos usar numa obra, a saber que, os betões a utilizar devem ser do tipo B, e o quadro a seguir nos apresenta as classes a considerar.

**Tabela 2 - Classe de Betões**

Designação da Classe	Valor característico mínimo da tensão de rotura por compressão, $f_{ck}$ (MPa)	
	Provetes cúbicos (¹)	Provetes cilíndricos (²)
B15	15	12
B20	20	16
B25	25	20
B30	30	25
B35	35	30
B40	40	35
B45	45	40
B50	50	45
B55	55	50

(¹) Cubos com 20cm de aresta

### Valores de cálculo das tensões de rotura

O artigo 19 do REBAP diz que os valores de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão,  $f_{cd}$  são definidos a partir dos correspondentes valores característicos, referidos a provetes cilíndricos, dividindo estes valores por um coeficiente de segurança  $\gamma_c$  tomado igual a 1,5. Os valores de cálculo da tensão de rotura do betão à tracção,  $f_{ctd}$ , são definidos de modo idêntico a partir dos correspondentes valores característicos indicados no artigo 16.º do REBAP

**Tabela 3 -Valores de cálculo das tensões de rotura**

		(Mpa)								
Classe do betão		B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55
$f_{cd}$		8.0	10.7	13.3	16.7	20.0	23.3	26.7	30.0	33.3
$f_{ctd}$		0.80	0.93	1.07	1.20	1.33	1.47	1.60	1.73	1.97

Por conta do que esta descrito no artigo 13 do REBAP podemos então adoptar segundo a tabela 3 o B25 com tensão de compressão de 13.3Mpa.

### 3.3.1.1. Características do aço

#### 3.3.1.1.1. Tipos correntes de armaduras ordinárias

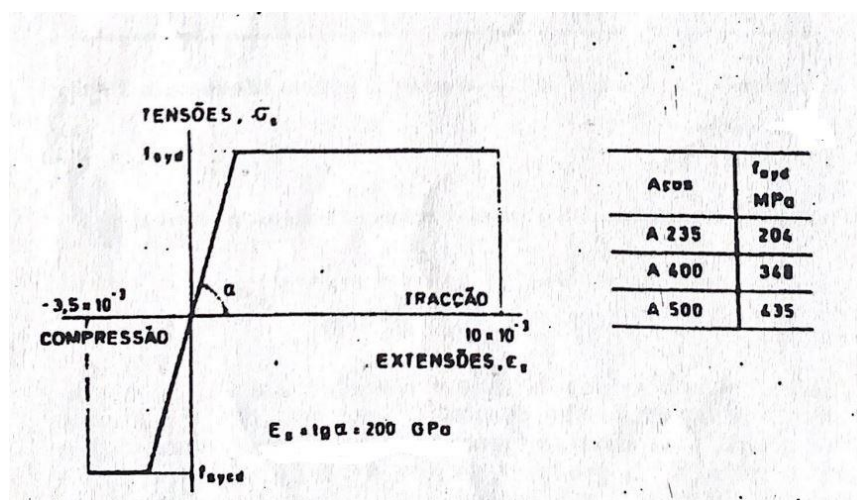
As armaduras ordinárias do tipo corrente são formadas por varões redondos, simples ou constituindo redes electrossoldadas, com as características definidas no quadro V. Os valores indicados para as tensões e extensões são os mínimos que podem assumir os valores característicos destas propriedades mecânicas (valores correspondentes ao quantilho de 5 %). Além das condições expressas no quadro, exige-se ainda que o valor característico (correspondente ao quantilho de 5 %) da relação entre a tensão de rotura e a tensão de cedência ou limite convencional de proporcionalidade a 0,2% não seja inferior a 1,05.

Designação	Processo de fabrico	Configuração da superfície	Características de aderência	Características mecânicas							
				Tração (%)			Dobragem (%)				
				Tensão de cedência $f_{yk}$ (MPa)	Tensão de rotura $f_{mk}$ (MPa)	Extensão após rotura $\epsilon_{mk}$ (%)	Dobragem simples (%)	Dobragem-desdobragem (%) conforme o diâmetro dos varões, $\varnothing$ (mm)			
				12 < $\varnothing$ ≤ 18	18 < $\varnothing$ ≤ 25	25 < $\varnothing$ ≤ 32	32 < $\varnothing$ ≤ 40				
A235 NL	Laminado a quente	Lisa	Normal	235	360	24	2 $\varnothing$	-	-	-	-
A235 NR		Rugosa	Alta				2 $\varnothing$ (?)	5 $\varnothing$	7 $\varnothing$	8 $\varnothing$	10 $\varnothing$
A400 NR	Laminado a quente	Rugosa	Alta	400	460	14	3 $\varnothing$ (?)	6 $\varnothing$	8 $\varnothing$	10 $\varnothing$	12 $\varnothing$
A400 ER	Endurecido a frio	Rugosa	Alta	400	460	12	3 $\varnothing$ (?)	6 $\varnothing$	8 $\varnothing$	10 $\varnothing$	12 $\varnothing$
A400 EL	Endurecido a frio com torção	Lisa	Normal				4 $\varnothing$	-	-	-	-
A500 NR	Laminado a quente	Rugosa	Alta	500	550	12	4 $\varnothing$ (?)	8 $\varnothing$	10 $\varnothing$	12 $\varnothing$	14 $\varnothing$
A500 ER	Endurecido a frio	Rugosa	Alta	500	550	10	4 $\varnothing$ (?)	8 $\varnothing$	10 $\varnothing$	12 $\varnothing$	14 $\varnothing$
A500 EL (8)		Lisa	Normal				4 $\varnothing$	-	-	-	-

Figura 11 - Tipos correntes de armaduras ordinárias

#### 3.3.1.1.2. Relações tensões-extensões de cálculo

As relações tensões-extensões de cálculo dos aços referidos no quadro V, a considerar na determinação dos valores de cálculo dos esforços resistentes para a verificação da segurança de elementos em relação aos estados limites últimos de resistência e de encurvadura que não envolvam fadiga, devem, em geral, ser as indicadas na figura 2, em que  $f_{syd}$  é o valor de cálculo da tensão de cedência ou da tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2% em tracção; o valor de  $f_{syed}$  poderá ser considerado igual a  $-f_{syd}$  excepto se, no caso de aços endurecidos a frio predominantemente por tracção, constar disposição em contrário do respectivo documento de classificação.



**Figura 12 - Relações tensões-extensões**

Para o cálculo foi adoptado o aço A400 NR.

### 3.3.2. Revestimento

#### 3.3.2.1. Revestimento da Superfície Superior

O revestimento superior da laje será feita pela Tijoleira cerâmica, assente por uma argamassa de assentamento. E o peso desta tijoleira cerâmica está especificado na tabela da Fig. 22 nos anexos. Mas temos o valor de  $0.90 \text{ kN/m}^2$ .

#### 3.3.2.2. Revestimento da Superfície inferior

O revestimento inferior da laje será de reboco, e o peso específico do reboco é de  $\gamma = 21 \text{ kN/m}^2$ .

### 3.3.3. Categoria de Utilização

Haja visto que a laje é destinada a um escritório, então o RSA (Regulamento de Segurança e Acções) no seu artigo 35º fornece o valor de sobrecarga em pavimentos e para o escritório temos:  $3,0 \text{ kN/m}^2$ .

### 3.3.4. Classificação das acções

As acções devem ser classificadas, de acordo com a sua variação no tempo, da seguinte forma:

**Acções permanentes (G):** São Acções contínuas na intermidade e constantes ou muito pouco variáveis dentro do tempo, como, por exemplo, o peso próprio das estruturas, dos equipamentos

fixos e dos pavimentos rodoviários, e as acções indirectas causadas por retracção e assentamentos diferenciais;

**Acções variáveis (Q):** São acções que a sua intermitência varia frequentemente e dum forma importante no tempo, a sua duração da aplicação é muito fraca comparada a duração de vida da construção. Os Valores das cargas são fixadas pelo regulamento e condições de exploração de construção, como, por exemplo, as sobrecargas nos pavimentos, vigas e coberturas dos edifícios, a acção do vento ou a acção da neve

**Acções de acidente (SA),** como, por exemplo, explosões ou choque provocado por veículos

### Acções do Vento

Neste capítulo mencionam-se as formas de abordagem dos regulamentos em análise, relativamente a este tipo de acção.

### 3.4. Dimensionamento segundo REBAP e RSA

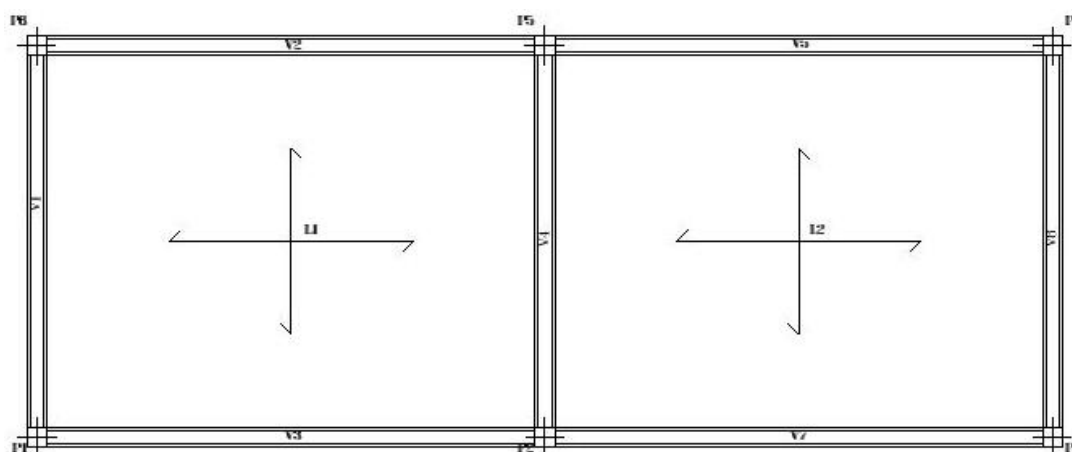


Figura 13 - Laje Principal

Os dados da laje mostram nos que o painel 1 é igual ao painel 2, pelo que, dimensionando o primeiro painel teremos os resultados para o segundo painel.

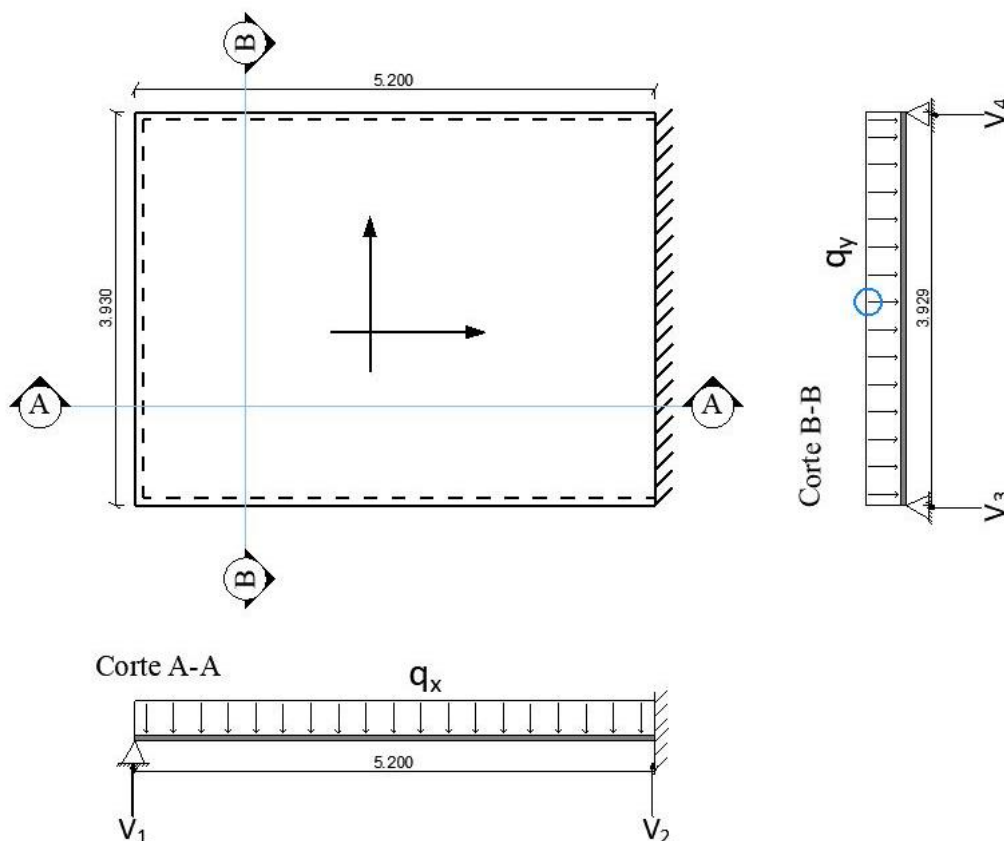


Figura 14 - Painel de laje 1

### 3.4.1. Vão Teórico da Laje

O artigo 87º do REBAP mostra que o vão teórico a considerar no dimensionamento das vigas deve ser estabelecido tendo em conta as condições efectivas de apoio.

E no caso da laje em estudo, nota-se que a mesma é simplesmente apoiada e encastrada num lado, então, a expressão a considerar para o cálculo do vão teórico é:

$$l_{xi} = l_x + \frac{a}{2} + \frac{a}{2} - \text{Direcção X, Apoio simples e encastrado.}$$

$$l_{yi} = l_y + \frac{a}{3} + \frac{a}{3} - \text{Direcção y, apoios simples.}$$

$$l_{xi} = 5 + \frac{0.2}{2} + \frac{0.2}{2} = 5.2\text{m}$$

$$l_{yi} = 3.8 + \frac{0.2}{2} + \frac{0.2}{2} = 4\text{m}$$

### 3.4.2. Direcção da Laje quanto a armadura:

$$\frac{L_{maior}}{L_{menor}} = \frac{5.2}{4} = 1.3 < 2 \rightarrow \text{Laje armada em duas direcções}$$

### 3.4.3. Verificação da deformação (Art.º. 102 REBAP)

$$\frac{l_i}{h} = l_x$$

Sendo que  $l_i = \alpha l$  e  $\alpha = 0.65$

$$h \geq \frac{l \times \alpha}{30\eta}$$

$$h \geq \frac{4 \times 0.65}{30 \times 1}$$

$$h \geq 8.7cm$$

Adotamos **h=20cm**.

### 3.4.4. Distância Útil

$$d = h - c - \frac{\emptyset}{2}$$

$$d = 20 - 3 - \frac{1}{2} = 16,5cm$$

$$d = 16,5cm$$

### 3.4.5. Acções e Combinações

#### Acções Permanentes

- $G_{laje} = \gamma \times h = 25 \times 0.20 = 5.0kN/m^2$
- $G_{Reboco} = \gamma \times e = 21 \times 0.02 = 0.42kN/m^2$
- $G_{Ceramica} = 0.90kN/m^2$  – Consultar Tabela da figura 21 nos anexos.

$$G_{total} = 6.32kN/m^2$$

### Acções Variáveis

- $Q_{parede} = 2.8kN/m^2$  – consultar a tabela da figura 22 nos anexos.
- $Q_{exploração} = 3kN/m^2$  – RSA, Art.º 35.1.1 (b)

$$Q_{total} = 5.8kN/m^2$$

Cálculo das combinações nos estados limites últimos e nos casos mais desfavoráveis será feito usando os seguintes coeficientes de segurança:  $\gamma_g = 1.5, \gamma_q = 1.5$ . (RSA, Art.º 9.3).

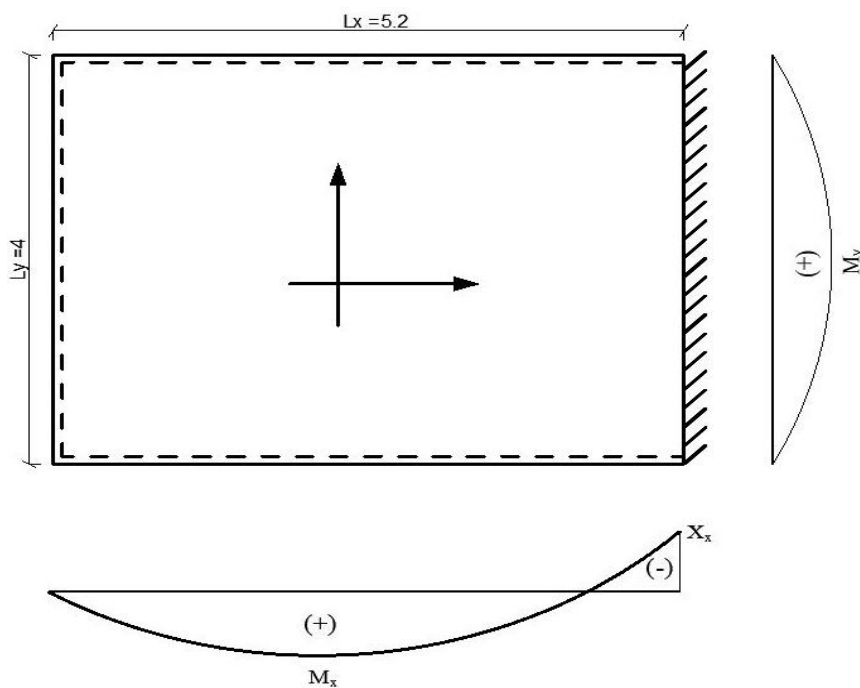
$$q_u = 1.5(G + Q)$$

$$q_u = 1.5(6.32 + 5.8)$$

$$q_u = 18.18kN/m^2$$

### 3.4.6. Cálculo dos Momentos

Para o cálculo dos momentos será usado a tabela de Marcus.



$$l_y/l_x = \frac{4}{5.2} = 0.77 = \text{Tabela 2 de Marcus}$$

$$k_y = 1 - k_x$$

$$M_x = \frac{q \times l_x^2}{m_x}$$

$$M_y = \frac{q \times l_x^2}{m_y}$$

$$q_x = q \times k_x$$

$$q_y = q \times k_y$$

$$X_x = \frac{q \times l_x^2}{n_x}$$

**Tabela 4** - Resultado dos momentos, carga e esforços.-REBAP

Coeficientes	Momentos	Cargas	Esforços
$m_x = 48.24$	10.19		-
$n_x = 17.10$	28.75		-
$m_y = 34.39$	14.29		-
$k_x = 0.468$		$q_x=8.51$	-
$k_y = 0.532$		$q_y=9.67$	-

### 3.4.7. Verificação da distância Útil face aos Esforços

$$M_{sdmax} = 28.75 \text{ kNm}$$

$$d = \sqrt{\frac{M_{sd}}{0.15 \times f_{cd}}}$$

$$d = \sqrt{\frac{28.75}{0.15 \times 13 \times 10^3}} \times 10^2 = 12.14 \text{ cm} \leq 16.5 \text{ cm}$$

$$d = 16.5 \text{ cm}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

### 3.4.8. Compensação nos Vãos – Tabela de Czerny

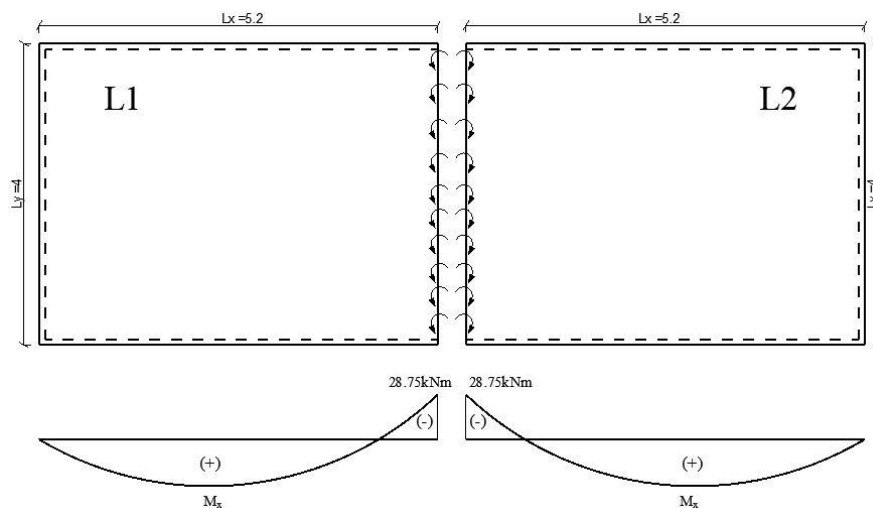


Figura 15 - Compensação noa vãos

$$X_m = \Delta M = 28.75 \text{ kNm}$$

$$\frac{l_x}{l_y} = \frac{5.2}{4} = 1.3$$

Tabela 5 - Momentos Parciais

Laje	Relação	Coefficiente	Momento [kN.m]
L1=L2	$l_x/l_y$	$\gamma_x$ = 0.002	$M_x = 28.75 \times 0.002 = 0.058$
		$\gamma_y$ = 0.126	$M_y = 28.75 \times 0.126 = 3.62$

Tabela 6 - Momentos Finais

Laje	Momentos Finais [kN.m]
L1=L2	$M_x = 10.19 + 0.058 = 10.25$
	$M_y = 14.29 + 3.62 = 17.91$

$$M_x = 10.25kN.m \quad M_y = 17.91kN.m$$

### 3.4.9. Armaduras

Direcção X,  $M_x = 10.25kN.m$

- Armadura Mínima (REBAP, Art.º 90.1 e Art.º 104)

$$A_{smin} = \frac{\rho \times b \times d}{100}$$

$\rho \geq 0.15$  para A400

$$A_{smin} = \frac{0.15 \times 1 \times 0.165}{100} \times 10^4$$

$$A_{smin} = 0.15 \times 1 \times 0.165 \times 100 = 2.475cm^2/m$$

$$A_{fast} = 100 \times \frac{A_v}{A_{cal}} = 100 \frac{0.5028}{2.475} = 20.32 \text{ cm}$$

$$A_{fast} = 20cm$$

→ **Ø8//20**

- Armadura de Cálculo

$$A_{scal} = \frac{M_{sdx}}{0.9 \times d \times f_{syd}} = \frac{1.5 \times 10.25}{0.9 \times 0.165 \times 348 \times 10^3} \times 10^4 = 2.98cm^2$$

→ **Ø8//15**

- Armadura nos Apoios

$$\Delta M = 28.75kN.m$$

$$A_s = \frac{M_{sdx}}{0.9 \times d \times f_{syd}} = \frac{1.5 \times 28.75}{0.9 \times 0.165 \times 348 \times 10^3} \times 10^4 = 8.34cm^2$$

→ **Ø10//7.5**

- Espaçamento (REBAP, Art.º 105.1)

No caso de armaduras ordinárias, o espaçamento dos varões da armadura principal não deve ser superior a 1,5 vezes a espessura da laje, com o máximo de 35 cm.

$$S \leq \begin{cases} 1.5h = 1.5 \times 20 = 30cm \\ 35cm \end{cases}$$

$$S = 30cm$$

- Armadura de Distribuição (REBAP, Art.º 108)

Para Laje armada em duas direcções não è calculado a armadura de distribuição de acordo com a norma portuguesa no Artigo 108 que diz: Nas lajes maciças armadas numa só direcção devem ser colocadas armaduras de distribuição adequadas, constituídas por varões não espaçados de mais de 35 cm. Na face da laje oposta à da aplicação das cargas, tal armadura deve ser disposta transversalmente ao vão e a sua secção deve, localmente, ser pelo menos igual a 20% da secção da armadura principal aí existente.

Direção Y  $M_y = 17.91kN.m$

- Armadura Mínima (REBAP, Art.º 90.1 e Art.º 104)

$$A_{smin} = \frac{\rho \times b \times d}{100}$$

$\rho \geq 0.15$  para A400

$$A_{smin} = \frac{0.15 \times 1 \times 0.165}{100} \times 10^4$$

$$A_{smin} = 0.15 \times 1 \times 0.165 \times 100 = 2.475cm^2/m$$

→ **Ø8//20**

- Armadura de Cálculo

$$A_{scal} = \frac{M_{sdX}}{0.9 \times d \times f_{syd}} = \frac{1.5 \times 17.91}{0.9 \times 0.165 \times 348 \times 10^3} \times 10^4 = 5.20cm^2$$

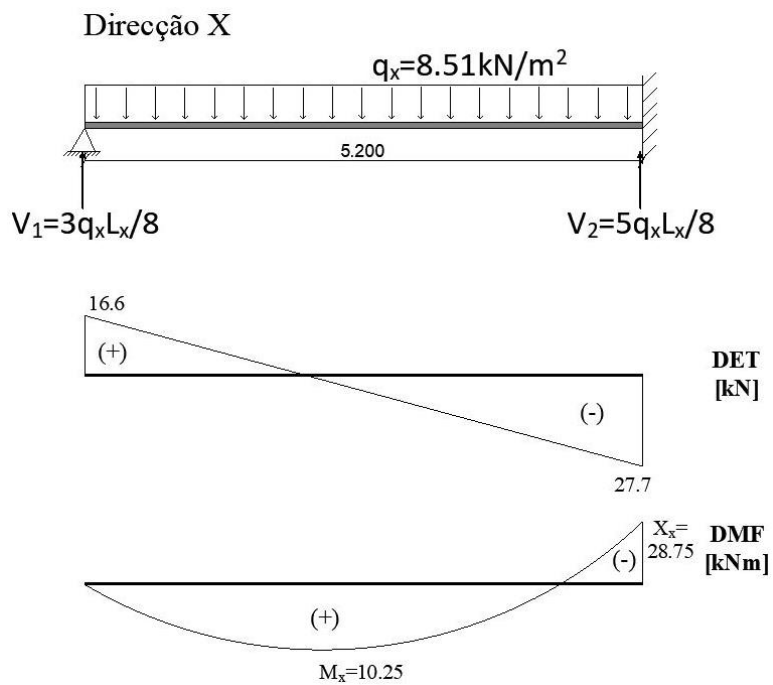
→ **Ø10//15**

### 3.4.10. Verificação do esforço Transverso

Cálculo das reacções

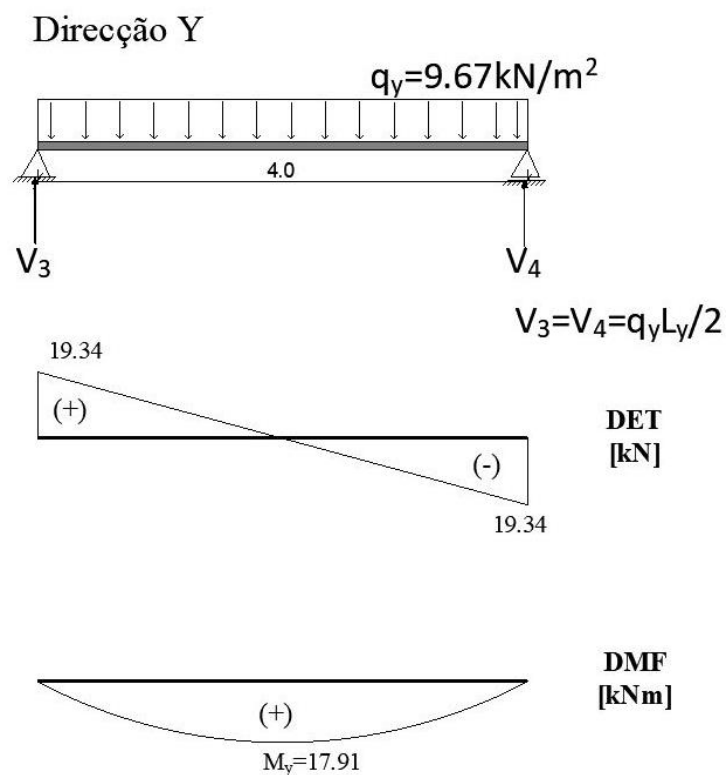
$$q_x = q \times k_x = 18.18 \times 0.468 = 8.51 \text{ kN/m}^2$$

$$q_y = q \times k_y = 18.18 \times 0.532 = 9.67 \text{ kN/m}^2$$



$$V_1 = \frac{3}{8} q_x L_x = \frac{3}{8} 8.51 \times 5.2 = 16.6 \text{ kN}$$

$$V_2 = \frac{5}{8} q_x L_x = \frac{5}{8} 8.51 \times 5.2 = 27.7 \text{ kN}$$



$$V_3 = V_4 = \frac{1}{2} q_y L_y = \frac{1}{2} 9.67 \times 4 = 19.34 \text{ kN/m}$$

$$V_{sdmax} = 23.24 \text{ kN}$$

Cálculo do  $V_{rd}$

$$V_{Rd} = V_{cd} + V_{wd}$$

$$1 - V_{cd} = \tau_1 \times b_w \times d$$

$$V_{cd} = 0.65 \times 1 \times 0.165 \times 10^3 = 107.25 \text{ kN}$$

$$2 - V_{wd} = 0.9 \times d \times \frac{A_{sw}}{s} \times f_{syd} (1 + \cot \alpha) \times \sin \alpha = 0$$

$$V_{Rd} = V_{cd} = 107.25 \text{ kN}$$

$V_{Rd} = 107.25 \text{ kN} > V_{sdmax} = 23.24 \text{ kN}$  Logo, não há necessidade de Armadura para vencer o esforço transversal, o betão por si resiste.

### 3.4.11. Emendas e Amarrações (REBAP Art.º 81)

#### 3.4.11.1. Amarrações

As extremidades dos varões das armaduras ordinárias devem ser fixadas ao betão por amarrações, que podem ser realizadas por prolongamento recto ou curvo dos varões, por laços ou por dispositivos mecânicos especiais.

Os comprimentos da amarração  $l_{b,net}$  são definidos pela expressão:

$$l_{b,net} = l_b \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} \alpha_1$$

Em que

$$l_b = \frac{\emptyset f_{syd}}{4 f_{bd}}$$

Não devendo, porém, em caso algum, ser tomados inferiores a qualquer dos seguintes valores:  $10\emptyset$ ; 100mm;  $0.3l_b$ , no caso de varões traccionados;  $0.6l_b$ , no caso de varões comprimidos. Os símbolos utilizados têm o seguinte significado:

$A_{s,cal}$  –Secção da armadura requerida pelo cálculo;

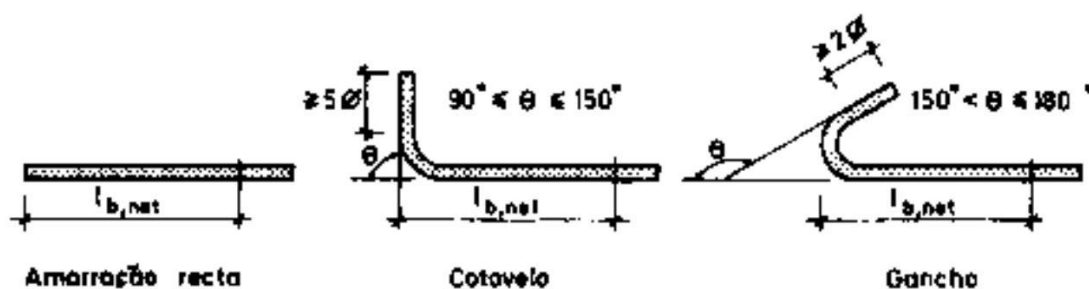
$A_{s,ef}$  –Secção da armadura efectivamente adoptada;

$\alpha_1$  –Coeficiente que toma o valor de 0,7, no caso de amarrações curvas em tracção, e é igual à unidade nos restantes casos;

$\emptyset$  –Diâmetro do varão ou diâmetro equivalente do agrupamento;

$f_{syd}$  –Valor de cálculo da tensão de cedência ou da tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2% do aço;

$f_{bd}$  –valor de cálculo da tensão de rotura da aderência, definido no artigo 80.º;



### 3.4.11.2. Emendas

As emendas dos varões das armaduras ordinárias – que podem ser realizadas por sobreposição, por soldadura ou por meio de dispositivos mecânicos especiais – devem ser empregadas o menos possível e, de preferência, em zonas em que os varões estejam sujeitos a tensões pouco elevadas.

Os comprimentos mínimos de sobreposição,  $l_{b,0}$ , no caso de varões traccionados, devem satisfazer à expressão:

$$l_{b,0} = \alpha 2 l_{b,net}$$

não podendo, em caso algum, ser inferiores a  $15\phi$  nem a 20 cm. Nesta expressão,  $l_{b,net}$  deve satisfazer as condições indicadas no art.º 81.4 do REBAP e  $\alpha 2$  é um coeficiente cujos valores são dados no quadro XII do REBAP.

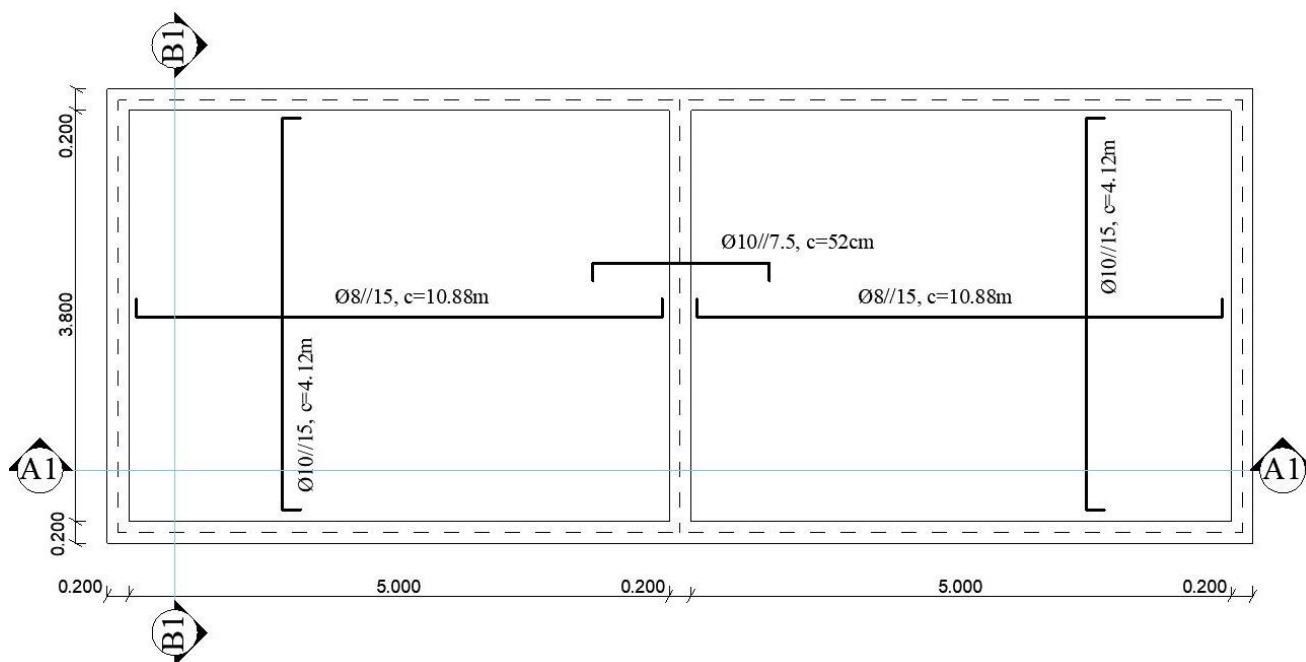
- Comprimento das Barras

$$C_x = (5\phi + l_{b,net} + 500 + l_{b,0}) \times 2 = (4 + 28 + 500 + 12) \times 2 = 1088 \text{ cm}$$

$$C_y = (5\phi + l_{b,net} + 380) = 4 + 28 + 380 = 412 \text{ cm}$$

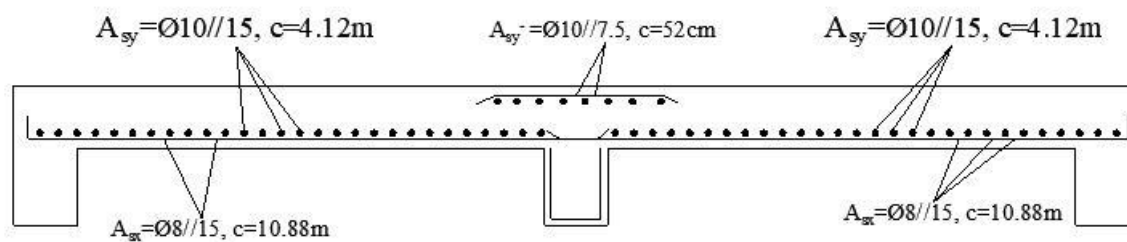
$$C_{\text{Apoio}} = (20 + 5\phi + l_{b,net}) = 20 + 4 + 28 = 52 \text{ cm}$$

### 3.4.12. Disposição construtiva das Armaduras



**Figura 16** - Disposição construtiva: REBAP

- **Corte A:**



**Figura 17** - Corte A-A

- **Corte B:**

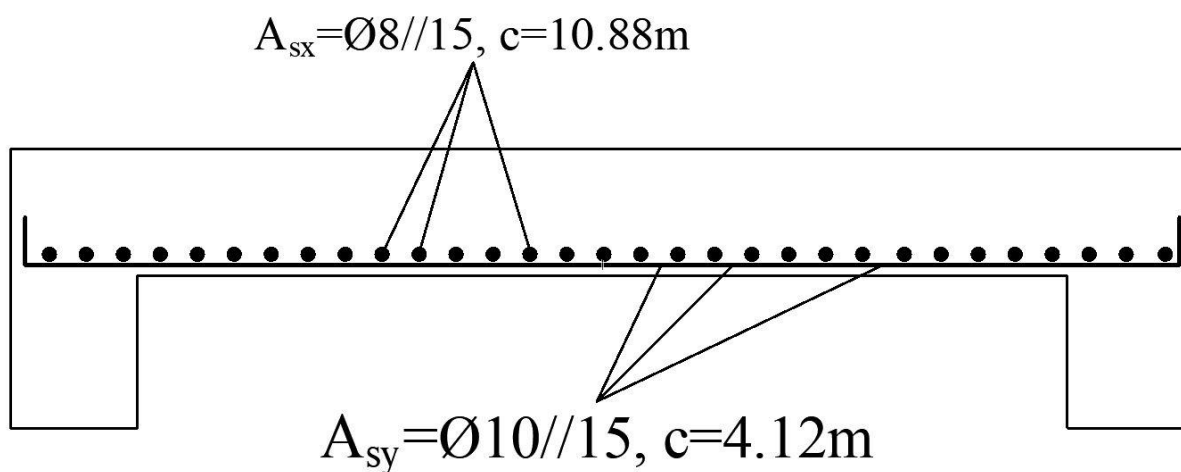


Figura 18 - Corte B-B

### 3.4.13. Tabela de Quantidades

**Tabela 7** - Resultados e quantidades- REBAP

Painel	Direção	Face	Armaduras	$A_s$ [cm <sup>2</sup> /m]	MRd [kN.m]
1	X	Apoio	Ø10//7.5	8.34	28.75
		Inferior	Ø8//15	2.98	10.25
	Y	Inferior	Ø10//15	5.0	17.91
2	X	Apoio	Ø10//7.5	8.34	28.75
		Inferior	Ø8//15	2.98	10.25
	Y	Inferior	Ø10//15	5.0	17.91

### 3.5. Dimensionamento Segundo Eurocódigo

#### 3.5.1. Materiais e Acções

##### 3.5.1.1. Betão

Na escolha do tipo de betão a aplicar é necessário primeiramente proceder à escolha da classe de exposição do betão do edifício, com recurso à NP EN 1992-1-1, 2010, cláusula 4.2.1. A classe de exposição resulta da interação entre os materiais da estrutura e o meio ambiente. Considera-se que num dado elemento estrutural as superfícies de betão podem estar sujeitas a condições ambientais distintas.

Por o betão estar sujeito à humidade e ao ar, a estrutura encontra-se com risco de corrosão induzida por carbonatação, sendo por isso escolhida a classe de exposição XC. Classificando em seguida o ambiente em que a estrutura estará inserida, com recurso ao quadro 4.1 da NP EN 1992-1-1:2010 obteve-se a classificação visível na Tabela a seguir.

Tabela 8 - Classes de exposição dos elementos estruturais

Estrutura	Classe de exposição	Descrição do Ambiente
Elementos de fundação	XC2	Húmido ou raramente seco
Restantes elementos	XC1	Seco ou permanentemente húmido

A classe de resistência do betão a adotar é a C25/30

Com base no Quadro 3.1 da NP EN 1992-1-1:2010, na Tabela 2.3 encontram-se as características mecânicas do betão C25/30.

Tabela 9 - Valores das Características do Betão B25/30

C25/30	
Valor característico da tensão de rotura à compressão aos 28 dias - $f_{ck}$	25 MPa
Valor médio da tensão de rotura à compressão - $f_{cm}$	33 MPa
Valor médio da tensão de rotura à tração simples - $f_{ctm}$	2.6 MPa
Valor do módulo de elasticidade secante - $E_{cm}$	31 GPa
Valor do Peso Volúmico - $\gamma_c$	25 kN/m <sup>3</sup>
Valor do Coeficiente de Poisson - $\nu$	0.2

### 3.5.1.2.Aço

O tipo de aço escolhido pertence à classe C e é A400 NR SD.

### 3.5.1.3.Revestimento

#### 3.5.1.3.1. Revestimento da Superfície Superior

O revestimento superior da laje será feita pela Tijoleira cerâmica, assente por uma argamassa de assentamento. E o peso desta tijoleira cerâmica esta especificado na tabela da Fig. 22 nos anexos. Mas temos o valor de  $0.90\text{kN/m}^2$ .

#### 3.5.1.3.2. Revestimento da Superfície inferior

O revestimento inferior da laje será de reboco, e o peso específico do reboco é de  $\gamma = 21\text{kN/m}^2$ .

### 3.5.1.4.Categoria de Utilização

A sobrecarga num edifício é resultante da sua ocupação. Através da categorização dos elementos e de acordo com a NP EN 1991-1-1:2009. Com base no Quadro 6.1 e no Quadro 6.2 podemos extrair a sobrecarga do Escritório que é de  $3\text{kN/m}^2$ .

## Dimensionamento

### 3.5.2. Cálculo da Direcção da Laje → EC2 -5.3.1 (5)

$$l_{xi} = 5 + 0.2/2 + 0.2/2 = 5.2 \text{ m}$$

$$l_{yi} = 3.8 + 0.2/2 + 0.2/2 = 4.0 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{xi}}{l_{yi}} = \frac{5.2}{4.0} = 1.30 < 2 \rightarrow \text{Laje armada em duas direcções}$$

### 3.5.3. Determinação da profundidade

$$d = \frac{\text{Vão Efetivo}}{\text{Relação de prof} \times f_c}$$

- Para laje com vão  $< 8.5$  então  $f_c = 1$ .
- Relação de Profundidade = 33.

$$d = \frac{5.2}{33 \times 1}$$

$$d = 0.16m$$

### 3.5.4. Determinação da Espessura da Laje.

$$h = d + \frac{\emptyset}{2} + c$$

$\emptyset$  – Diâmetro da armadura, e por convenção escolheu – se 10 mm

$c$  - Recobrimento: E este é calculado de acordo com a Secção 4.4.1 do Eurocódigo.

- Determinação de Recobrimento – EC2 (4.4.1)

Segundo a Tabela 4.1 do EC2 pode-se saber a exposição da estrutura do ponto de vista ambiental: Classe XC3.

E para o cálculo do recobrimento nominal tem-se a seguinte fórmula:

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

E para o Cálculo de  $C_{min}$  tem-se como fórmula:

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur} + \Delta C_{dur,\gamma} - \Delta C_{dur,st} - \Delta C_{du,add}; 10mm\}$$

Com o auxílio do EC2 (4.4.1) conseguiu-se determinar cada valor para o cálculo de  $C_{min}$ , pelo que term-se:

$$C_{min} = \max\{10mm; 25mm + 0 - 0 - 0; 10mm\}$$

$$C_{min} = \max\{10 mm; 25 mm; 10 mm\}$$

$$C_{min} = 25 mm$$

Importa agora saber o valor do  $\Delta C_{dev}$ , e de acordo com EC2 4.4.1.3 (3) pode-se obter o recobrimento mínimo tendo em conta a tolerância de execução.

$$\Delta C_{dev} = 5 mm$$

Logo:

$$C_{nom} = 25 mm + 5 mm$$

$$C_{nom} = 30 mm$$

$$h = d + \frac{\emptyset}{2} + c$$

$$h = 16 + \frac{1}{2} + 3$$

$$h = 19.5 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

$$d = 16 \text{ cm}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

### 3.5.5. Determinação de Acções

#### Acções Permanentes

- $G_{\text{laje}} = \gamma \times e = 25 \times 0.20 = 5.0 \text{ kN/m}^2$
- $G_{\text{Reboco}} = \gamma \times e = 21 \times 0.02 = 0.42 \text{ kN/m}^2$
- $G_{\text{Ceramica}} = 0.90 \text{ kN/m}^2$  – Consultar a tabela da Fig. 22 nos anexos.

$$G_{\text{total}} = 6.32 \text{ kN/m}^2$$

#### Acções Variáveis

- $Q_{\text{parede}} = 2.8 \text{ kN/m}^2$  – Tabelado
- $Q_{\text{exploração}} = 2 \text{ kN/m}^2$  – EC1- Quadro 6.1- Categorias de Utilização. Ver Figura 20 e 21 no anexo.

$$Q_{\text{total}} = 4.8 \text{ kN/m}^2$$

#### 3.5.5.1. Combinações de Acções

Com o Auxílio do Quadro da Figura 1 da presente monografia – Valores de cálculo das acções (EQU) pode-se ter os valores dos coeficientes  $\gamma_{Gj,sup}$  e  $\gamma_{Q.1}$ .

$$\gamma_{Gj,sup} = 1.35$$

$$\gamma_{Q.1} = 1.5$$

$$q_u = 1.35 \times G + 1.5 \times Q$$

$$q_u = 1.35 \times 6.32 + 1.5 \times 4.8$$

$$q_u = 15.73 \text{ kN}$$

### 3.5.6. Cálculo dos Momentos

Para o cálculo dos momentos será usado o mesmo método que foi usado para o cálculo de momento no REBAP, a tabela de Marcus.

$$l_y/l_x = \frac{4}{5.2} = 0.77 = \text{Tabela 2 de Marcus}$$

$$k_y = 1 - k_x$$

$$M_x = \frac{q \times l_x^2}{m_x}$$

$$M_y = \frac{q \times l_x^2}{m_y}$$

$$q_x = q \times k_x$$

$$q_y = q \times k_y$$

$$X_x = \frac{q \times l_x^2}{n_x}$$

**Tabela 10** - Resultado dos momentos, carga e esforços.- EUROCÓDIGO

Coeficientes	Momentos	Cargas	Esforços
$m_x = 48.24$	8.82		
$n_x = 17.10$	24.87		
$m_y = 34.39$	12.37		
$k_x = 0.468$		7.36	
$k_y = 0.532$		8.37	

### 3.5.7. Armaduras

Direcção X,  $M_x = 8.82 \text{ kN.m}$

- Armadura Mínima - EC2, 9.2.1.1(1)

$$A_{s,min} = 0.26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_t \times d = 0.26 \times \frac{2.6}{348} \times 100 \times 16.0 = 3.21 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 3.21 \text{ cm}^2 \quad \text{Ø8//15}$$

- Armadura de Cálculo

$$k = \frac{M_x}{b \times d^2 \times f_{ck}} = \frac{8.82 \times 10^6}{1000 \times 160^2 \times 25} = 0.013 < 0.196$$

$$z/d = 0.5 \times [1 + \sqrt{(1 - 3k)}] = 0.5 \times [1 + \sqrt{(1 - 3 \times 0.013)}] = 0.99$$

$$z = 0.99 \times d = 0.98 \times 160 = 0.163 \text{ m}$$

$$A_{s,calc} = \frac{M_{sdx}}{0.9 \times f_{yk} \times z} = \frac{1.5 \times 8.82}{0.9 \times 348 \times 163.3} \times 10^6 = 244.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,calc} = 2.44 \text{ cm}^2$$

A armadura calculada é menor que a mínima então vamos adotar a armadura mínima Ø8//15.

- Armadura nos Apoios

$$\Delta M = 24.87 \text{ kN.m}$$

$$A_{s,calc} = \frac{M_{sdx}}{0.9 \times f_{yk} \times z} = \frac{1.5 \times 21.46}{0.9 \times 348 \times 163.3} \times 10^6 = 629.38 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,calc} = 6.29 \text{ cm}^2 \quad \text{Ø10//12.5}$$

- Espaçamento (EC2 9.3.1.1 (3))

$$S \leq \begin{cases} 2h \leq 250 \text{ mm} \\ 3h \leq 400 \text{ mm} \end{cases}$$

$$S \leq \begin{cases} 2 \times 150 = 300 \text{ mm} \\ - \end{cases}$$

Logo o espaçamento será de 250 mm.

Direcção Y  $M_y = 12.37 \text{ kN.m}$

- **Armadura de Cálculo**

$$k = \frac{M_x}{b \times d^2 \times f_{ck}} = \frac{12.37 \times 10^6}{1000 \times 160^2 \times 25} = 0.018 < 0.196$$

$$z/d = 0.5 \times [1 + \sqrt{(1 - 3k)}] = 0.5 \times [1 + \sqrt{(1 - 3 \times 0.018)}] = 0.99$$

$$z = 0.99 \times d = 0.99 \times 160 = 163.35 \text{ mm}$$

$$A_{s\text{calc}} = \frac{M_{sdx}}{0.9 \times f_{yk} \times z} = \frac{1.5 \times 12.37}{0.9 \times 348 \times 163.3} \times 10^6 = 362.79 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{calc}} = 3.63 \text{ cm}^2 \quad \text{Ø10//20}$$

- **Armadura de Distribuição ( EC2 9.3.1.1)**

A armadura de distribuição só é aplicada na laje armada numa só direcção e a norma EN 1992-1-1:2010 diz o seguinte: Nas lajes armadas numa só direcção, deverão utilizar-se armaduras transversais de distribuição correspondentes a pelo menos 20% da armadura principal. Nas zonas junto de apoios, não é necessária armadura transversal aos varões superiores principais no caso em que não exista momento flector transversal.

### 3.5.8. Verificação do Esforço Transverso - EC2- 6,2

$$V_{Ed} = 23.92 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} \leq \frac{\alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

Sendo que:

- $v_1 = 0.6 \left[ \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \times \left[ \frac{25}{250} \right] = 0.54$
- $f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 16.67 \text{ Mpa} - \text{Ec2} - \text{Seccao 3.1.6}$
- $z \approx 0.9 \times d$
- $\theta = 30^\circ$
- $\alpha_{cw} = 1.0$

$$V_{Rd,max} = \frac{1 \times 1 \times (0.9 \times 0.165) \times 0.54 \times 16.67 \times 10^3}{\cot 30 + \tan 30} = 578.84kN$$

$V_{Rd,max} = 578.84kN > V_{Ed} = 20.64kN$  – Não há necessidade de Armadura para vencer o esforço transversal, o betão por si resiste.

### 3.5.9. Disposição construtiva das Armaduras

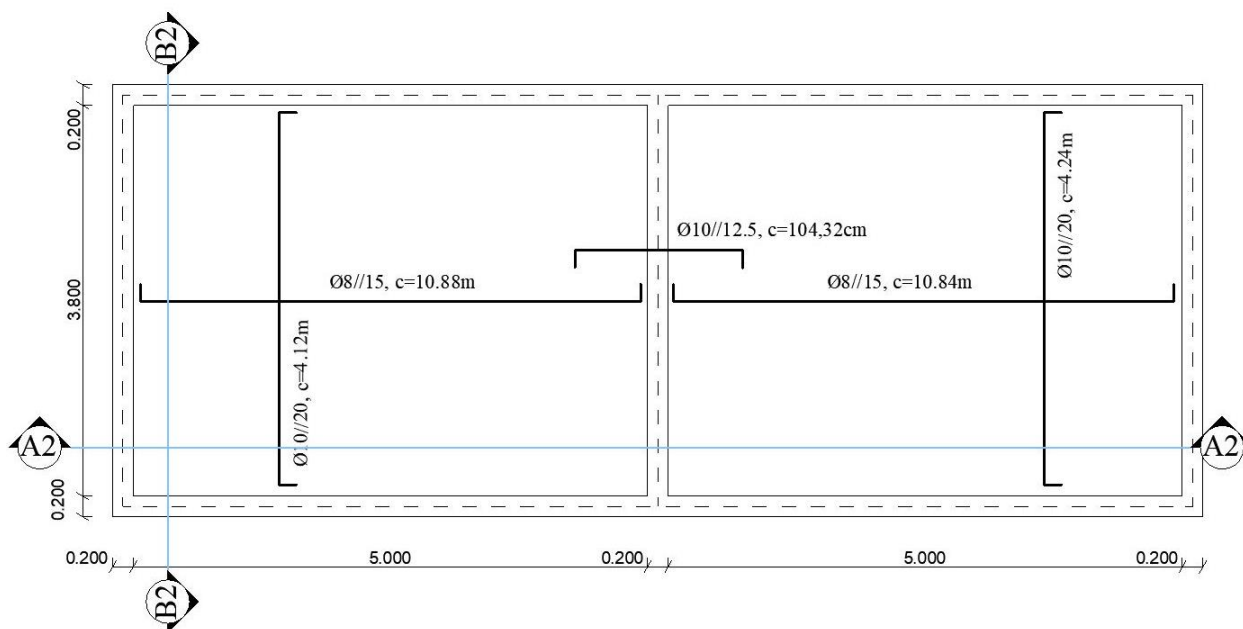


Figura 19 - Disposição construtiva – EUROCÓDIGO

- Corte A:

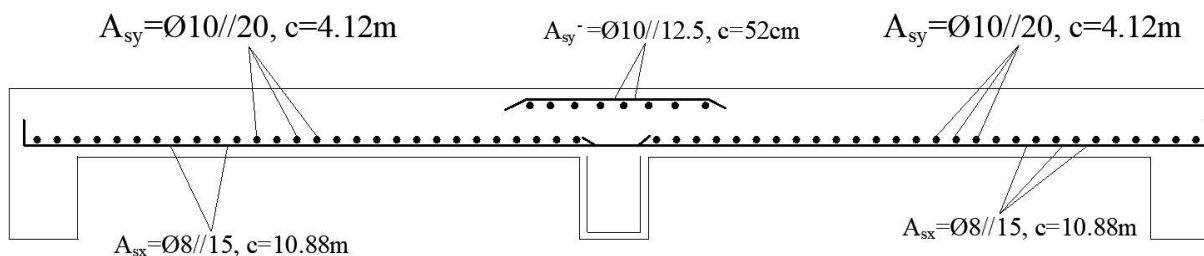


Figura 20 - Corte A - EC

- Corte B:

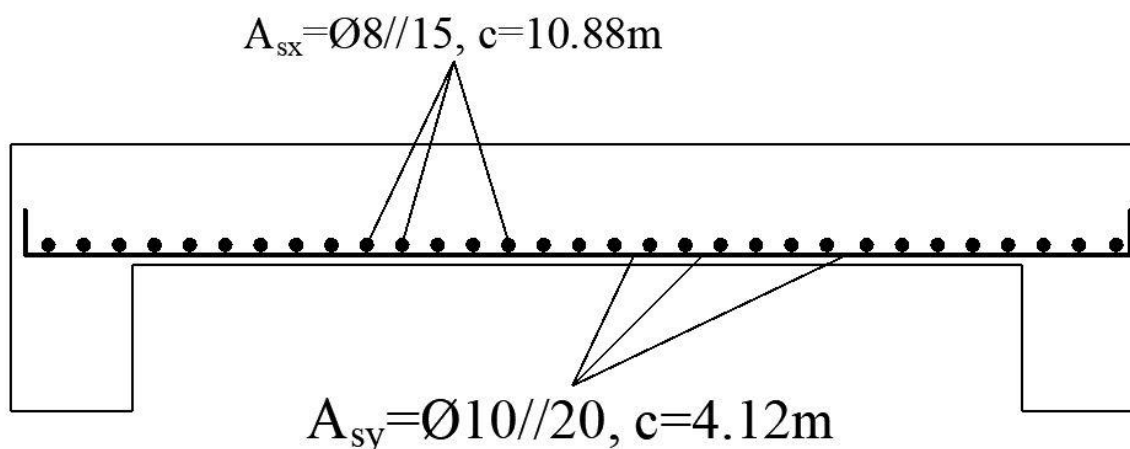


Figura 21 - Corte B - EC

### 3.5.10. Tabela de Quantidades

**Tabela 11 - Resultados e Quantidades – EUROCÓDIGO**

Painel	Direcção	Face	Armaduras	$A_s$ [cm <sup>2</sup> /m]	MRd [kN.m]
1	X	Apoio	Ø10//12.5	6.29	24.87
		Inferior	Ø8//15	3.31	8.82
	Y	Inferior	Ø10//20	3.63	12.37
2	X	Apoio	Ø10//12.5	6.29	24.87
		Inferior	Ø8//15	3.31	8.82
	Y	Inferior	Ø10//20	3.63	12.37

### 3.6. Comparação das Quantidades

De seguida apresenta-se a quantidade de aço, a percentagem de aumento ou de redução dos resultados dos momentos e da área de aço para cada regulamentação, detalhando a quantidade do aço, e apresentando o somatório da quantidade final por cada regulamento, ver Tabelas abaixo.

**Tabela 12** - Comparação das Quantidades

Painel	Direcção	Face	REBAP			EUROCÓDIGO		
			Armaduras	As [cm <sup>2</sup> /m ]	MRd [kN.m ]	Armaduras	As [cm <sup>2</sup> /m ]	MRd [kN.m ]
1	X	Apoio	Ø10/ /7.5	8.34	28.75	Ø10/ /12.5	6.29	24.87
		Inferior	Ø8//15	2.98	10.25	Ø8//15	3.31	8.82
	Y	Inferior	Ø10//15	5.0	17.91	Ø10//20	3.63	12.37
2	X	Apoio	Ø10/ /7.5	8.34	28.75	Ø10/ /12.5	6.29	24.87
		Inferior	Ø8//15	2.98	10.25	Ø8//15	3.31	8.82
	Y	Inferior	Ø10//15	5.0	17.91	Ø10//20	3.63	12.37

Com base na tabela anterior conclui-se que de uma forma geral, os resultados dos momentos provenientes da legislação europeia são inferiores à da legislação portuguesa, tendo que para  $M_x^-$  reduz em 13.50%,  $M_x$  reduz em 13.95% e  $M_y$  reduz em 30.93%.

### ➤ REBAP

O número de barras longitudinais (x) é de 26, com o comprimento de 10.88 m em cada barra, e as barras referidas são de diâmetro de 8 mm. Havendo a necessidade de quantificar as armaduras em kg, será usado o peso específico para o cálculo das armaduras em kg, ver tabela 17 nos Anexos.

O peso específico para um varão de diâmetro 8 mm é de  $\gamma_{\phi 8} = 0.4 \text{ kg/m}$ , então o peso das 26 barras com o comprimento de 10,88 m é dado pela formula  $P_{t\phi 8} = \gamma_{\phi 8} \times C \times n^\circ \text{ barras} = 0.4 \times 10.88 \times 26 = 113.15 \text{ kg}$ .

E para a direcção transversal temos 69 barras com o comprimento de 4.12m, com varões de 10 mm, logo  $P_{t\phi 10} = \gamma_{\phi 10} \times C \times n^\circ \text{ barras} = 0.62 \times 4.12 \times 69 = 176.25 \text{ kg}$ .

Nos apoios tem-se  $P_{t\phi 10} = \gamma_{\phi 10} \times C \times n^\circ \text{ barras} = 0.62 \times 0.52 \times 58 = 18.7 \text{ kg}$

Somando os pesos para armadura de 10 mm tem-se  $P_{t\phi 10} = 176.25 + 18.7 = 194.95 \text{ kg}$

➤ **EUROCÓDIGO**

O número de barras longitudinais difere das do REBAP, pois tem-se 26 barras e um comprimento de 10.88 m, e o varão indicado é o de diâmetro de 8 mm, pelo que tem-se a seguinte expressão do cálculo:  $P_{t\phi 8} = \gamma_{\phi 8} \times C \times n^{\circ} \text{barras} = 0.4 \times 10.88 \times 26 = 113.15 \text{ kg}$ .

Nos apoios tem-se que  $\phi 10//12.5$  com o comprimento de 0.52cm, logo:  $P_{t\phi 10} = \gamma_{\phi 10} \times C \times n^{\circ} \text{barras} = 0.62 \times 0.52 \times 32 = 10.32 \text{ kg}$

E para a direcção transversal temos 52 barras com o comprimento de 4.12m, com varões de 10 mm, logo  $P_{t\phi 10} = \gamma_{\phi 10} \times C \times n^{\circ} \text{barras} = 0.62 \times 4.12 \times 52 = 132.83 \text{ kg}$ .

Os resultados dos pesos para as barras transversal e dos apoios é o mesmo que as do REBAP, pelo que tem-se:  $P_{t\phi 10} = 132.83 + 10.32 = 143.15 \text{ kg}$ .

#### 4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No presente ponto será feito à apresentação, interpretação, análise e discussão dos resultados da comparação feita entre a norma europeia e a norma portuguesa, com o caso de estudo do dimensionamento de uma laje vigada, a fim de analisar o impacto económico que a nova legislação terá no dimensionamento das estruturas de betão armado.

A Laje usada para a comparação tem dois painéis e é armada em duas direcções, tem uma espessura de 15 cm, e a seguir serão apresentados os resultados dos cálculos em forma de comparação.

##### 4.1. Distancia Útil e Combinação de Acções

**Tabela 13** - Distância útil e combinação das acções

	Recobrimento (c)	Distancia (d)	Carga Útil ( $q_u$ )
REBAP	3 cm	16.5 cm	18.18 kN/m <sup>2</sup>
EUROCODIGO	3 cm	16.0 cm	15.73 kN/m <sup>2</sup>

Com esta comparação podem-se notar que o valor do recobrimento e da distância útil são os mesmos, mas apesar de serem os mesmos a metodologia de cálculo de recobrimento é bem diferente, e isso pode se consultar na memória de cálculo desta monografia. E notou-se também que, a carga útil do EUROCÓDIGO é inferior do que do REBAP, e isso leva-nos a entender que a laje segundo o REBAP está mais sobrecarregada.

##### 4.2. Momentos e Armaduras

**Tabela 14** - Momentos e Armaduras

		REBAP	EUROCÓDIGO
Momentos [kN/m <sup>2</sup> ]		$M_x^- = 28.75$	$M_x^- = 24.87$
		$M_x = 10.25$	$M_x = 8.82$
		$M_y = 17.91$	$M_y = 12.37$
Armadura [Kg]	Ø8	113.15	113.15
	Ø10	194.95	143.15

Para determinar os momentos, usaram-se as tabelas de Marcus, tanto para REBAP, assim como para EUROCÓDIGO. Assim, conseguiu-se perceber que os momentos calculados através do EUROCÓDIGO são menores em relação ao REBAP.

E quanto as armaduras, verificou-se que a quantidade dos varões de diâmetro 8 mm são menores usando a norma Europeia comparados aos da norma Portuguesa. E as quantidades do varão de diâmetro de 10 mm são as mesmas em ambos regulamentos.

### 4.3. Custo final

O custo da laje que será apresentado nesta monografia, está de acordo com os cálculos feitos no caso de estudo.

**Tabela 15** - Comparação dos Custos

	Material	Quantidades da Laje	Custo	Custo total	
REBAP	Betão	6.7 m <sup>3</sup>	7000 Mt/m <sup>3</sup>	46900 Mt	
	Armadura	Ø8 = 87.52 kg	169 Mt/2.32kg	6375.4 Mt	
		Ø10 = 155.94 kg	269 Mt/3.6kg	41947.9 Mt	
	Reboco	Cimento	5 Sacos	500Mt/un	2500Mt
		Areia	0.45m <sup>3</sup>	1200Mt/m <sup>3</sup>	540Mt
	Tijoleira	152un	116.67Mt/un	17733.8Mt	
				115997.1 Mt	
EUROCÓDIGO	Betão	6.7 m <sup>3</sup>	7000 Mt/m <sup>3</sup>	46900 Mt	
	Armadura	Ø8 = 87.52 kg	169 Mt/2.32 kg	6375.4 Mt	
		Ø10 = 125.73 kg	269Mt/3.6 kg	33821.4 Mt	
	Reboco	Cimento	5 Sacos	500Mt/un	2500Mt
		Areia	0.45m <sup>3</sup>	1200Mt/m <sup>3</sup>	540Mt
	Tijoleira	152un	116.67Mt/un	17733.8Mt	
				91870.6 Mt	

Nesta tabela é possível perceber que o custo total apresentado pela norma europeia é inferior em relação ao custo apresentado pela norma portuguesa, o custo no EUROCÓDIGO baixa em 20.8%

em relação ao custo no REBAP. E a conclusão que pode-se tirar de acordo com este estudo, é que usando norma Europeia para dimensionamento, a estrutura torna-se económica quando comparado a norma portuguesa, e isso justifica-se devido a sobrecarga da estrutura que é baixa.

## **5. METODOLOGIA CIENTIFICA**

Sendo uma pesquisa de abordagem quantitativa, com exposições e explicações, utilizou de procedimentos técnicos de investigação e revisão bibliográfica, observando publicações em dissertações, artigos e livros, consulta aos engenheiros e os regulamentos em causa. Quanto ao tratamento dos dados e informações, buscou na análise comparativa.

## **6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **6.1. Conclusão**

Esta Pesquisa teve como objectivo fazer uma análise de viabilidade económica, comparando a norma Europeia e a norma Portuguesa, a fim de analisar o impacto económico que a nova legislação terá no dimensionamento das estruturas de betão armado, e teve como caso de estudo - o dimensionamento de uma laje vigada. E neste processo todo foi possível chegar a seguinte conclusão:

- A metodologia de cálculo do EUROCODIGO é minuciosa em relação ao REBAP
- O EUROCODIGO apresenta-nos coeficientes menores em relação ao REBAP
- O uso da norma Europeia apresenta vantagens em termos económicos em relação a norma Portuguesa.

## 6.2.Recomendações

O Objetivo principal de projetar no âmbito da engenharia civil é minimizar, seja:

- A probabilidade do risco de colapso;
- O custo de execução do projecto;
- Tempo de execução.

E as normas existentes vem nos ajudar a alcançar esses resultados esperados, e o Eurocódigo apresenta melhorias em aspetos que as normas anteriores falhavam ou não tinham em consideração.

Para fazer uma boa análise de esforços, deformações e outros parâmetros importantes é necessário ter precisão.

E de acordo com essas conclusões, recomendo o uso do Eurocódigo pois além de garantir a segurança nas estruturas reduz o custo da execução do projeto. O Eurocódigo apresenta precisão nos resultados obtidos.

E o apelo que faco a Universidade, a Ordem dos Engenheiros e ao país no geral, é de que, o EUROCÓDIGO seja incluído nos programas académicos das universidades do nosso país, pois esta norma carrega consigo vantagens consideráveis.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Eurocódigo 0 – Bases para o projeto de estruturas, NP EN 1990, 2009.
- Eurocódigo 1 – Ações em estruturas Parte 1-1: Ações gerais, pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios, NP EN 1991-1-1, 2009.
- Eurocódigo 1 – Ações em estruturas Parte 1-4: Ações gerais, Ações do vento, NP EN 1991-4, 2010.
- Eurocódigo 2 – Projeto de estruturas de betão Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, NP EN 1992-1-1, 2010.
- REBAP, “Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado”, Decreto-Lei n.º349-c/83, de 30 de julho.
- RSA, “Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes”, Decreto Lei n.º 235/83, de 31 de maio.
- PEREIRA, ALEXANDRE E.T, Dissertação De Mestrado: Implicações da Nova Legislação no Projecto de um Edifício de Betão Armado, Universidade de Madeira, Setembro de 2016.
- APPLETON, JÚLIO, EUROCÓDIGO 2 – EN1992-1-1, Dezembro de 2004
- GOMES, NUNO A.V, Adaptação dos Critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 no PAC-Pórticos, Faculdade de Engenharia de Universidade do Porto, Junho de 2011.
- MOPHRH, Boletim Estatístico de Construção e Montagem 2018, Janeiro 2019
- P. BHATT, T. J. MACGINLEY, B.S. CHOO, Reinforced Concrete Design to Eurocodes - Design theory and example, Fourth Edition, 2006.

## 8. ANEXOS

Tabela 10 - Percentagem mínima de armadura longitudinal para as lajes e vigas.

$\rho_{min}$	A235	A400	A500
[%]	0,25	0,15	0,12

Tabela 11 - Percentagem mínima de armadura longitudinal para as lajes e vigas.

Classe do betão	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55
$\tau_2$ [MPa]	2,40	3,20	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00

Tabela 12 - Espaçamento máximo para os varões longitudinais nas lajes pelo REBAP [cm]

Ambiente	A235	A400	A500
Pouco agressivo	-	25,00	20,00
Moderadamente agressivo	-	15,00	10,00

$\varnothing$	Áreas de secções de varões [cm <sup>2</sup> ]												Peso
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Kg/m
6	0.28	0.57	0.85	1.13	1.41	1.70	1.98	2.26	2.54	2.83	3.11	3.39	0.22
8	0.50	1.01	1.51	2.01	2.51	3.02	3.52	4.02	4.52	5.03	5.53	6.03	0.40
10	0.79	1.57	2.36	3.14	3.93	4.71	5.50	6.28	7.07	7.85	8.64	9.42	0.62
12	1.13	2.26	3.39	4.52	5.65	6.79	7.92	9.05	10.18	11.31	12.44	13.57	0.89
16	2.01	4.02	6.03	8.04	10.05	12.06	14.07	16.08	18.10	20.11	22.12	24.13	1.58
20	3.14	6.28	9.42	12.57	15.71	18.85	21.99	25.13	28.27	31.42	34.56	37.70	2.47
25	4.91	9.82	14.73	19.63	24.54	29.45	34.36	39.27	44.18	49.09	54.00	58.90	3.85
32	8.04	16.08	24.13	32.17	40.21	48.25	56.30	64.34	72.38	80.42	88.47	96.51	6.31

**Figura 22:** Tabela de áreas e Pesos de Varões

**Cálculo de Lajes em Cruz – Marcus**  
**TABELA 2**



$L_x$

$$M_x = \frac{q \cdot l_x^2}{m_x}$$

$$M_y = \frac{q \cdot l_x^2}{m_y}$$

$$X_x = \frac{-q \cdot l_x^2}{n_x}$$

$$q_x = k_x \cdot q$$

ly/lx	k <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>	n <sub>x</sub>	m <sub>y</sub>
0,50	0,135	140,93	59,20	45,13
0,51	0,145	132,95	55,31	44,11
0,52	0,154	125,68	51,77	43,22
0,53	0,165	119,03	48,56	42,38
0,54	0,175	112,94	45,64	41,60
0,55	0,186	107,35	42,97	40,88
0,56	0,197	102,20	40,54	40,21
0,57	0,209	97,46	38,32	39,60
0,58	0,220	93,08	36,28	39,03
0,59	0,232	89,03	34,41	38,51
0,60	0,245	85,28	32,69	38,04
0,61	0,257	81,79	31,11	37,60
0,62	0,270	78,55	29,66	37,20
0,63	0,282	75,53	28,31	36,83
0,64	0,295	72,71	27,07	36,49
0,65	0,308	70,07	25,93	36,19
0,66	0,322	67,60	24,86	35,92
0,67	0,335	65,28	23,88	35,67
0,68	0,348	63,10	22,97	35,44
0,69	0,362	61,05	22,12	35,25
0,70	0,375	59,12	21,33	35,07
0,71	0,388	57,30	20,59	34,92
0,72	0,402	55,58	19,91	34,78
0,73	0,415	53,95	19,27	34,67
0,74	0,428	52,41	18,67	34,57
0,75	0,442	50,94	18,11	34,50
0,76	0,455	49,56	17,59	34,44
0,77	0,468	48,24	17,10	34,39
0,78	0,481	46,98	16,64	34,36
0,79	0,493	45,79	16,21	34,35
0,80	0,506	44,65	15,81	34,35
0,81	0,518	43,56	15,43	34,36
0,82	0,531	42,53	15,08	34,39
0,83	0,543	41,54	14,74	34,42
0,84	0,554	40,60	14,43	34,48
0,85	0,566	39,69	14,13	34,54
0,86	0,578	38,83	13,85	34,62
0,87	0,589	38,01	13,59	34,70
0,88	0,600	37,22	13,34	34,80
0,89	0,611	36,46	13,10	34,91
0,90	0,621	35,73	12,88	35,03
0,91	0,632	35,04	12,67	35,16
0,92	0,642	34,37	12,47	35,29
0,93	0,652	33,73	12,28	35,44
0,94	0,661	33,12	12,10	35,60
0,95	0,671	32,53	11,93	35,77
0,96	0,680	31,97	11,77	35,95
0,97	0,689	31,43	11,61	36,13
0,98	0,697	30,91	11,47	36,33
0,99	0,706	30,41	11,33	36,53
1,00	0,714	29,93	11,20	36,74

ly/lx	k <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>	n <sub>x</sub>	m <sub>y</sub>
1,00	0,714	29,93	11,20	36,74
1,02	0,730	29,02	10,96	37,19
1,04	0,745	28,18	10,73	37,68
1,06	0,759	27,41	10,53	38,19
1,08	0,773	26,69	10,35	38,74
1,10	0,785	26,02	10,18	39,31
1,12	0,797	25,40	10,03	39,92
1,14	0,808	24,83	9,89	40,55
1,16	0,819	24,29	9,77	41,21
1,18	0,829	23,79	9,65	41,90
1,20	0,838	23,33	9,45	42,62
1,22	0,847	22,89	9,44	43,36
1,24	0,855	22,49	9,35	44,13
1,26	0,863	22,11	9,27	44,93
1,28	0,870	21,75	9,19	45,75
1,30	0,877	21,42	9,12	46,59
1,32	0,884	21,11	9,05	47,46
1,34	0,889	20,82	8,99	48,34
1,36	0,895	20,54	8,93	49,26
1,38	0,901	20,28	8,88	50,20
1,40	0,906	20,04	8,83	51,15
1,42	0,910	19,81	8,79	52,14
1,44	0,915	19,59	8,74	53,14
1,46	0,919	19,39	8,70	54,16
1,48	0,923	19,20	8,67	55,21
1,50	0,927	19,01	8,63	56,28
1,52	0,930	18,84	8,60	57,36
1,54	0,934	18,68	8,57	58,47
1,56	0,937	18,52	8,54	59,60
1,58	0,940	18,37	8,51	60,74
1,60	0,942	18,23	8,49	61,91
1,62	0,945	18,10	8,46	63,11
1,64	0,948	17,97	8,44	64,31
1,66	0,950	17,85	8,42	65,53
1,68	0,952	17,74	8,40	66,78
1,70	0,954	17,63	8,38	68,04
1,72	0,956	17,52	8,36	69,33
1,74	0,958	17,42	8,35	70,63
1,76	0,960	17,33	8,33	71,96
1,78	0,962	17,25	8,32	73,30
1,80	0,963	17,15	8,30	74,65
1,82	0,965	17,07	8,29	76,03
1,84	0,966	16,99	8,28	77,42
1,86	0,968	16,91	8,27	78,85
1,88	0,969	16,84	8,26	80,27
1,90	0,970	16,77	8,24	81,73
1,92	0,971	16,70	8,23	83,18
1,94	0,972	16,64	8,23	84,67
1,96	0,974	16,57	8,22	86,19
1,98	0,975	16,51	8,21	87,70
2,00	0,976	16,46	8,20	89,22

Figura 23: Tabela de Marcus

Quadro 6.1 – Categorias de utilização

Categoria	Utilização específica	Exemplos
A	Actividades domésticas e residenciais	Salas em edifícios de habitação; quartos e enfermarias de hospitais; quartos de hotéis, cozinhas e lavabos.
B	Escritórios	
C	Locais de reunião (com excepção das utilizações correspondentes às categorias A, B e D) <sup>1)</sup>	<p><b>C1:</b> Zonas com mesas, etc.; por exemplo, em escolas, cafés, restaurantes, salões de jantar, salas de leitura, recepções.</p> <p><b>C2:</b> Zonas com assentos fixos; por exemplo, em igrejas, teatros ou cinemas, salas de conferências, salas de aulas, salas de reunião, salas de espera.</p> <p><b>C3:</b> Zonas sem obstáculos para a movimentação de pessoas; por exemplo, em museus, salas de exposição, etc. e em acessos de edifícios públicos e administrativos, hotéis, hospitais, e em átrios de entrada de estações de comboio.</p> <p><b>C4:</b> Zonas em que são possíveis actividades físicas; por exemplo, salões de dança, ginásios, palcos.</p> <p><b>C5:</b> Zonas de possível acolhimento de multidões; por exemplo, edifícios para eventos públicos, tais como salas de concertos, salas para actividades desportivas incluindo bancadas, terraços e zonas de acesso; plataformas ferroviárias.</p>
D	Actividades comerciais	<p><b>D1:</b> Zonas de lojas em geral.</p> <p><b>D2:</b> Zonas de grandes armazéns.</p>
<p><i>1) Chama-se a atenção para 6.3.1.1(2), em particular para C4 e C5. Ver a EN 1990 quando for necessário considerar efeitos dinâmicos. Para a Categoria E, ver o Quadro 6.3.</i></p>		
<p><b>NOTA 1:</b> Dependendo das utilizações previstas, as zonas que seriam normalmente classificadas como C2, C3 e C4 poderão ser classificadas como C5 por decisão do dono de obra e/ou do Anexo Nacional.</p>		
<p><b>NOTA 2:</b> O Anexo Nacional poderá estabelecer subcategorias para A, B, C1 a C5, D1 e D2.</p>		
<p><b>NOTA 3:</b> Ver 6.3.2 para zonas de armazenamento ou de actividades industriais.</p>		

Figura 24: Categoria de utilização

Quadro 6.2 – Sobrecargas em pavimentos, varandas e escadas de edifícios

<i>Categorias de zonas carregadas</i>	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
<b><i>Categoria A</i></b>		
- Pavimentos	<u>1,5 a 2,0</u>	<u>2,0 a 3,0</u>
- Escadas	<u>2,0 a 4,0</u>	<u>2,0 a 4,0</u>
- Varandas	<u>2,5 a 4,0</u>	<u>2,0 a 3,0</u>
<b><i>Categoria B</i></b>	<u>2,0 a 3,0</u>	<u>1,5 a 4,5</u>
<b><i>Categoria C</i></b>		
- C1	<u>2,0 a 3,0</u>	<u>3,0 a 4,0</u>
- C2	<u>3,0 a 4,0</u>	<u>2,5 a 7,0 (4,0)</u>
- C3	<u>3,0 a 5,0</u>	<u>4,0 a 7,0</u>
- C4	<u>4,5 a 5,0</u>	<u>3,5 a 7,0</u>
- C5	<u>5,0 a 7,5</u>	<u>3,5 a 4,5</u>
<b><i>Categoria D</i></b>		
- D1	<u>4,0 a 5,0</u>	<u>3,5 a 7,0 (4,0)</u>
- D2	<u>4,0 a 5,0</u>	<u>3,5 a 7,0</u>

Figura 25: Sobrecargas em pavimentos, varandas e escadas de edifícios

Designação	Peso g kN/m <sup>2</sup>	Designação	Peso g kN/m <sup>2</sup>
<b>a) Elementos estruturais</b>		<b>Pavimentos armados de vigotas ocas de fibrocimento incl. o betão de ligação das vigotas e excl. a lajeta de compressão</b>	
Solho de 0,022 m sobre vigas de madeira afastadas 0,35 m a 0,40 m eixo a eixo (para peso do tecto ver quadro 4.2:3).	0,5	espessura 0,13 m .....	1,20
Abobadilha de tijolo de 0,10-0,12 m de espessura apoiada em vigotas metálicas, incluindo argamassa de ligação dos tijolos		espessura 0,15 m .....	1,45
Pavimentos armados de blocos cerâmicos(*) incl. o betão de ligação dos blocos e a lajeta de compressão	2,1	<b>b) Elementos de enchimento</b>	
espessura 0,08 m .....	1,10	areia, por cm de espessura .....	0,16
" 0,10 m .....	1,45	arg. de cal, por cm de espessura .....	0,17
" 0,12 m .....	1,85	arg. de cimento, por cm de espessura ....	0,21
" 0,15 m .....	2,00	betão, por cm de espessura .....	0,25
" 0,18 m .....	2,20	escórias e cinzas de choque, por cm de espessura .....	0,07
" 0,20 m .....	2,60	jorra, por cm de espessura .....	0,10
" 0,25 m .....	3,00	<b>c) Elementos de revestimento e isolamento</b>	
" 0,30 m .....	3,50	cortiça em placas, por cm de espessura	0,02
Pavimento de blocos leves(*) apoiados em vigotas armadas pré-fabricadas, incl. o betão de enchimento		borracha, por cm de espessura .....	0,18
espessura 0,18 m .....	1,80	linóleo, por cm de espessura .....	0,10
espessura 0,25 m .....	2,70	tacos de madeira assentes com cola asfáltica .....	0,20
Pavimentos de blocos cerâmicos apoiados em vigotas ou "pranchas" pré-fabricadas e pré-esforçadas, incluindo o betão de enchimento		tacos de madeira assentes com arg. e prego de fixação .....	0,50
espessura 0,15 m .....	2,30	ladrilho cerâmico, incl. argamassa de assentamento .....	0,70
" 0,20 m .....	3,00	ladrilho hidráulico, incluindo arg. de assentamento .....	0,90
" 0,22 m .....	3,50	ladrilho asfáltico, incluindo argamassa de assentamento .....	1,10
" 0,25 m .....	3,80	revestimento de pedra serrada de 0,03 m, incluindo argamassa de assentamento ....	1,20
" 0,30 m .....	4,20	marmorite com 0,008 m de espessura ....	0,20

Figura 26 - Peso de Pavimentos de Habitações

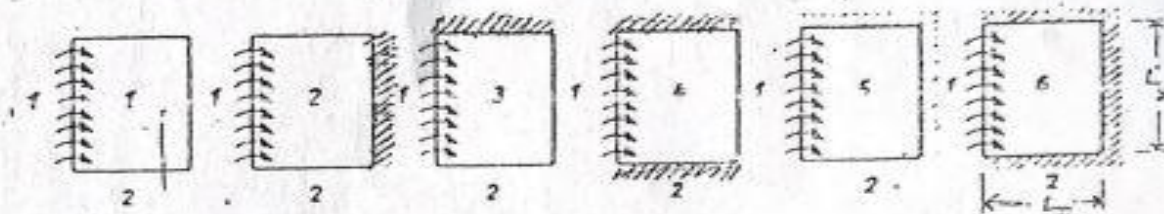
Designação	Peso g	Designação	Peso g
<b>a) Materiais de construção</b>	$kN/m^3$	furado e maciço (alvenaria mista) a	$kN/m^2$
alvenaria de adobe .....	17,00	1 vez .....	4,10
alvenaria de tijolo maciço pesado .....	18,00	maciço a 1 vez .....	4,75
alvenaria de tijolo maciço leve .....	16,00	maciço a 1/2 vez .....	2,55
alvenaria de tijolo furado vulgar .....	14,00	maciço a 1/4 vez (ao cutelo) .....	1,90
alvenaria de tijolo furado leve .....	12,00		
alvenaria de tijolo silicocalcário maciço	20,00		
alvenaria de blocos furados de betão, leves .....	13,00	3 — Paredes de tijolo furado leve para enchimento de painéis de estrutura incluindo argamassa de assentamento e reboco em ambas as faces	
alvenaria de blocos furados de betão, pesados .....	16,00	0,10 m espessura .....	1,40
alvenaria de blocos de gesso furados .....	9,00	0,15 m espessura .....	1,80
argamassa de cimento .....	21,00	0,18 m espessura .....	2,30
		0,24 m espessura .....	2,60
<b>b) Elementos estruturais, incluindo rebocos e estuque em ambas as faces</b>	$kN/m^2$	0,26 m espessura .....	2,90
Tabiques diversos		0,32 m espessura .....	3,30
tabique de madeira fasquiada .....	1,35	0,35 m espessura .....	3,80
tabiques de placas ou blocos de fibra de madeira aglutinada por cimento ("omnilite") tendo:		0,40 m espessura .....	4,20
— 0,09 m de espessura com placas de 0,05 m .....	1,00		
— 0,17 m de espessura com blocos de 0,13 m .....	1,30	4 — Paredes de blocos furados de betão, incluindo argamassa de assentamento e reboco em ambas as faces	
— 0,26 m de espessura com blocos de 0,22 m .....	1,40	de 0,14 m com blocos furados .....	1,85
tabique de 0,10 m de espessura, de blocos de cortiça aglom. com gesso, incluindo estuque em ambas as faces .....	0,60	de 0,26 m com blocos furados .....	2,80
tabique de 0,08 m de espessura com placas de gesso, incluindo reboco de 0,05 m em ambas as faces .....	0,70	de 0,08 m com blocos maciços .....	1,50
tabique de tijolo de vidro de 0,08 m de espessura, incluindo argamassa de assentamento .....	0,90	de 0,11 m com blocos maciços .....	1,80
		de 0,14 m com blocos maciços .....	2,30
2 — Paredes resistentes de tijolo pesado incluindo argamassa de assentamento e reboco em ambas as faces		de 0,26 m com blocos 1/2 maciços	5,20
furado a 1 vez (0,25 m espes.) .....	3,75	de 0,38 m com blocos 1/2 maciços em fiadas alternadas com blocos furados .....	4,30
furada a 1/2 vez (0,14 m espes.) ...	2,10		
furada a 1/4 vez (ao cutelo, 0,10 m espes.) .....	1,55	5 — Grelhagens	
		de tijolo .....	1,00
		de betão .....	2,50
		<b>c) Elementos de revestimento, incluindo argamassa de assentamento</b>	
		— azulejo cerâmico .....	0,55
		— azulejo hidráulico .....	0,55
		— marmorite de 0,08 m de espessura .....	0,20

Figura 27 - Peso de Tabiques e Paredes

# TABELA DE CZERNY

TABELAS 8 E 9

MOMENTOS FLETORES  $\gamma_x$  E  $\gamma_y$  NO CENTRO DAS LAJES PARA MOMENTO SENOIDAL UNITARIO APLICADO NOS LADOS :



Tab. 8) Momento aplicado no lado maior  $l_y > l_x$

$l_y/l_x$ <i>ex/ey</i>	VALORES DE $\gamma_x$ E $\gamma_y$ PARA $l_y/l_x \geq 1$					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1.0	0.036 0.144	0.043 0.116	0.000 0.125	-0.021 0.112	0.009 0.113	-0.022 0.111
1.1	0.063 0.144	0.064 0.112	0.024 0.132	-0.093 0.121	0.031 0.116	-0.005 0.118
1.2	0.109 0.142	0.082 0.106	0.059 0.116	0.021 0.122	0.070 0.111	0.014 0.120
1.3	0.138 0.139	0.098 0.100	0.087 0.138	0.048 0.138	0.092 0.105	0.033 0.120
1.4	0.161 0.137	0.113 0.093	0.115 0.136	0.075 0.138	0.098 0.100	0.052 0.116
1.5	0.185 0.128	0.126 0.087	0.141 0.134	0.103 0.139	0.106 0.092	0.072 0.112

Tab. 9) Momento aplicado no lado menor  $l_y < l_x$

$l_y/l_x$ <i>ey/ex</i>	VALORES DE $\gamma_x$ E $\gamma_y$ PARA $l_y/l_x \leq 1$					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1.0	0.036 0.144	0.043 0.116	0.010 0.125	-0.022 0.112	0.009 0.113	-0.022 0.111
1.1	0.032 0.140	0.028 0.118	-0.010 0.116	-0.037 0.100	-0.009 0.109	-0.018 0.099
1.2	0.015 0.134	0.013 0.117	-0.024 0.105	-0.066 0.087	-0.021 0.103	-0.050 0.086
1.3	0.002 0.126	0.002 0.113	-0.032 0.093	-0.051 0.074	-0.031 0.092	-0.066 0.075
1.4	-0.007 0.118	-0.003 0.105	-0.036 0.081	-0.052 0.050	-0.036 0.081	-0.066 0.054
1.5	$\gamma_x$ -0.015 $\gamma_y$ 0.109	-0.013 0.102	-0.041 0.072	-0.041 0.053	-0.041 0.072	-0.057 0.056

Para Tabelas 8 e 9  $l_x$  e  $l_y$  normal ao lado onde se aplica o momento.

Figura 28 - Tabela de Czerny

<i>Structural system</i>	<i>Factor for structural system K</i>	<i>Basic span–effective depth ratio</i>	
		<i>Concrete highly stressed (<math>\rho = 1.5\%</math>)</i>	<i>Concrete lightly stressed (<math>\rho = 0.5\%</math>)</i>
1. Simply supported beam or one/two-way spanning simply supported slab	1.0	14	20
2. End span of continuous beam or one-way continuous slab or two-way slab continuous over one long side	1.3	18	26
3. Interior span of continuous beam or one-way or two-way spanning slab	1.5	20	30
4. Slab on columns without beams (flat slab) based on longer span	1.2	17	24
5. Cantilever	0.4	6	8

**Figura 29** - Razões básicas de profundidade efetiva do vão