



**Universidade de  
Aveiro**  
Ano 2017

Departamento de Engenharia Civil

**TIAGO DANIEL  
RODRIGUES  
LADEIRA**

**Estágio Curricular: FOeng. Gabinete de Engenharia  
Lda.**





**Universidade de  
Aveiro**

**Ano 2016/2017**

Departamento de Engenharia Civil

**TIAGO DANIEL  
RODRIGUES  
LADEIRA**

**Estágio Curricular: FOeng. Gabinete de Engenharia  
Lda.**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Professor Miguel Nuno Lobato de Sousa Monteiro de Morais, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil de Universidade de Aveiro e supervisão profissional do Engenheiro Paulo Alexandre da Rocha Doutor, Engenheiro na empresa FOeng – Gabinete de Engenharia Lda.



*À minha avó*



**o júri**  
presidente

**Professora Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues**  
Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor Miguel Ângelo Carvalho Ferraz**  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da  
Universidade do Porto

**Professor Doutor Miguel Nuno Lobato de Sousa Monteiro de Morais**  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro





## **agradecimentos**

Pretendo dedicar esta página para agradecer a todas as pessoas que sempre me apoiaram e me ajudaram ao longo destes anos.

Antes de mais quero agradecer à minha família, à minha mãe, ao meu pai, aos meus avós. Sem vocês nada disto seria possível, obrigado o apoio incondicional e a confiança que depositaram em mim. Obrigado por tudo.

A todos os meus amigos que me acolheram, e que apesar de me encontrar longe da minha família, sempre me fizeram sentir em casa, o vosso apoio e o companheirismo é inigualável. Obrigado pelas experiências que vivenciámos juntos, pelo vosso tempo, pelas memórias que criámos, e por fazerem parte dos melhores anos da minha vida. Um muito obrigado!

Ao meu orientador, professor Miguel Morais, pela sua ajuda, pelos conhecimentos transmitidos, disponibilidade, dedicação, e compreensão ao longo deste último ano.

A todos os colaboradores da empresa FOeng, por me terem ajudado sempre que precisei, pela orientação fornecida, e por me terem recebido de boa vontade neste meu primeiro contacto com um ambiente profissional.

A todos os colegas e professores que tive o privilégio de conhecer ao longo do meu percurso académico.

Um muito obrigado, e um bem-haja a todos!



**palavras-chave**

Engenharia, estágio, projeto, especialidades, estruturas, medição, vento, painéis fotovoltaicos

**resumo**

O presente documento serve como relatório do estágio realizado no atual ano letivo para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

O estágio curricular foi realizado na empresa FOeng-Gabinete de Engenharia Lda. em parceria com a Universidade de Aveiro. O estágio foi desenvolvido num período de nove meses e teve como tema principal a realização de projetos de engenharia civil.

Na realização do mesmo foi necessário aprender e utilizar ferramentas informáticas, a legislação aplicada à designada tarefa, bem como a metodologia utilizada no gabinete de executar tarefas. Com estes conhecimentos foi possível colaborar nos projetos propostos pela empresa tais como: Projetos de estabilidade de estruturas em betão armado, projetos de estabilidade de estruturas metálicas, projetos de estabilidade de estruturas mistas, medições e orçamentações.

Na duração do estágio curricular foi ainda desenvolvido um estudo de otimização de um parque de painéis fotovoltaicos do ponto de vista estrutural. Este estudo visa comparar o dimensionamento deste tipo de estruturas segundo a legislação atual (Eurcódigo) com um dimensionamento, com a ajuda de uma ferramenta informática, que prevê o fenómeno do efeito de esteira nos painéis fotovoltaicos.

Com a realização do estágio curricular foi possível adquirir novos conhecimentos no âmbito dos projetos desenvolvidos, bem como uma boa perceção de como funciona uma empresa no ramo da engenharia civil.



**keywords**

Engineering, traineeship, project, specialties, structures, measurements, wind, photovoltaic panels

**abstract**

The present document serves as the report of the traineeship accomplished over the last academic year to obtain a Master's degree in Civil Engineering.

The curricular traineeship had been fulfilled in the FOeng-Gabinete de Engenharia Lda. enterprise in association with the Universidade de Aveiro. The internship was developed over a nine months' period and had the realization of civil engineering projects as its main objective.

During this time was necessary to learn how to use different informatic tools, the task applied legislation, as well as the methodology used in the company to do such tasks. With this knowledge collaboration was possible in the projects proposed by the company, such as: Reinforced concrete structure's stability projects, steel structure's stability projects, mixed structure's stability projects, measurements and budgeting.

Also throughout the duration of the traineeship a study was developed on the optimization of a solar panel park's structures. This foresees a comparison between the legislation project (Eurocode) of this kind of structures and a project that has in consideration the wake effect phenomenon, with the aid of an informatic tool.

With the realization of the traineeship was possible to acquire new traits on the developed projects, as well as a good perception on how a company of the civil engineering branch works.



**ÍNDICE GERAL**

ÍNDICE GERAL.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE TABELAS.....	xviii
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>2</b>
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.2. MOTIVAÇÃO.....	3
1.3. ESTRUTURA DO ESTAGIO.....	3
1.4. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA.....	4
<b>2. TRABALHOS REALIZADOS NO AMBITO DO ESTÁGIO CURRICULAR.....</b>	<b>8</b>
2.1. METODOLOGIA DE EXECUÇÃO DE PROJETOS.....	8
2.1.1. PROJETOS DE ESPECIALIDADES.....	8
2.1.2. FERRAMENTAS INFORMÁTICAS AUXILIARES.....	9
2.2. EDIFÍCIO DO CANAL DA RIA DE AVEIRO.....	10
2.2.1. DESENHOS.....	11
2.2.2. FERRAMENTA INFORMÁTICA AUXILIAR NO CÁLCULO E MODELAÇÃO DE ESTRUTURAS EM BETÃO ARMADO/MISTAS.....	11
2.2.3. AÇÕES.....	12
2.2.4. MODELAÇÃO.....	13
2.2.5. MODELAÇÃO DA COBERTURA.....	13
2.3. PAVILHÃO DE SERVIÇOS DA QUINTA NA BEIRA INTERIOR.....	15
2.3.1. FERRAMENTA INFORMÁTICA AUXILIAR NO CÁLCULO E MODELAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS.....	15
2.3.2. AÇÕES.....	16
2.3.3. DESENHOS.....	17
2.3.4. MODELAÇÃO.....	17
2.4. CONTENÇÃO PERIFÉRICA DA AMPLIAÇÃO DE UM ARMAZEM DE INVENTÁRIO.....	18
2.4.1. FERRAMENTA INFORMÁTICA AUXILIAR NO CÁLCULO E MODELAÇÃO DE ESTRUTURAS DE SUPORTE DE TERRAS EM BETÃO ARMADO.....	18
2.4.2. CONSIDERAÇÕES E IMPLEMENTAÇÃO DE CONTENÇÕES PERIFÉRICAS EXTERIORES.....	19
2.4.3. MEDIÇÕES DE QUANTIDADES.....	20
<b>3. PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....</b>	<b>22</b>
3.1. DIFERENTES TIPOS DE ESTRUTURA DE SUPORTE DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	22
3.1.1. ESTRUTURAS DE SUPORTE DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS MONOPOSTE.....	22

3.1.1.1.	MATERIAIS E SECÇÕES .....	24
3.1.1.2.	AÇÕES EM ESTRUTURAS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS .....	24
3.1.2.	ESTRUTURAS DE SUPORTE DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS DE APOIO LIVRE	25
3.1.3.	MATERIAIS E SECÇÕES .....	25
3.2.	AÇÃO DO VENTO .....	26
3.2.1.	COMPORTAMENTO DO VENTO .....	26
3.2.2.	RECURSO INFORMÁTICO PARA O ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO VENTO	27
3.2.3.	COMPORTAMENTO DO FLUXO DE CORRENTE DO VENTO.....	27
3.2.4.	AÇÕES EM ESTRUTURAS MONOPOSTE SEGUNDO O EUROCÓDIGO .....	28
3.2.4.1.	MODELO DE CÁLCULO.....	29
3.2.4.2.	ESFORÇOS E REAÇÕES .....	30
3.2.5.	SOLUÇÃO ALTERNATIVA AO DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA MONOPOSTE .....	31
3.2.5.1.	QUANTIFICAÇÃO DE AÇÕES.....	31
3.2.5.2.	AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS.....	32
3.2.5.3.	MODELAÇÃO DE UM PORTICO ISOLADO .....	32
3.2.5.4.	COMPARAÇÃO DE RESULTADOS .....	35
3.2.5.5.	MODELAÇÃO DE DUAS FILEIRAS SUCESSIVAS DE PORTICOS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS .....	35
3.2.5.6.	ESFORÇOS E DEFORMAÇÕES.....	36
3.2.6.	RESULTADOS .....	37
3.3.	RELATÓRIO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DA ESTRUTURA DE SUPORTE DE APOIO LIVRE.....	39
3.3.1.	CONFIGURAÇÃO E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	39
3.3.2.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO APARELHO .....	40
3.3.3.	CARATERÍSTICAS DOS MATERIAIS .....	41
3.3.4.	TESTE DE APOIOS LIVRES .....	41
3.3.5.	TESTE DE APOIOS SEGUROS POR PATILHAS .....	42
3.3.6.	TESTE DE APOIOS FIXOS.....	42
3.3.7.	COEFICIENTE DE ATRITO ESTÁTICO .....	43
3.3.8.	COEFICIENTE DE ATRITO DINÂMICO.....	44
3.4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	47
4.	<b>CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS</b> .....	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52



**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 - Logotipo da Empresa FOeng - Gabinete de Engenharia Lda.....	4
Figura 2 - Organograma da gestão de qualidade da empresa.....	5
Figura 3 – Planta traçada em Autocad .....	9
Figura 4 - Estrutura do edifício do canal modelada em Cypecad.....	10
Figura 5 - Implantação da estrutura na arquitetura existente .....	11
Figura 6 - Esquema ilustrativo do sistema de lajes mistas .....	13
Figura 7 - Ilustração 3D da cobertura a modelar.....	14
Figura 8 - Estrutura da cobertura do edifício em madeira.....	14
Figura 9 - Arquitetura proposta do pavilhão de serviços .....	15
Figura 10 – Estrutura modelada em Cype3D .....	16
Figura 11 - Ilustração do sistema estrutural uniformizado e equidistante.....	17
Figura 12 - Estrutura metálica do complexo do pavilhão de serviços.....	17
Figura 13 - Estrutura modelada em Muros Em Consola De Betão Armado .....	18
Figura 14 - Ilustração do muro "tipo" estandardizado e respetivas geometrias referenciadas ....	19
Figura 15 - Muros exteriores estandardizados e correspondentes cotas topográficas .....	19
Figura 16 - Planta estrutural do parque de painéis fotovoltaicos .....	23
Figura 17 - Ilustração do pórtico tipo.....	23
Figura 18 - Sistema estrutural do pórtico tipo do parque de painéis fotovoltaicos .....	24
Figura 19 - Sistema de suporte de paineis fotovoltaicos Flatfix .....	25
Figura 20 - Sistema estrutural de paineis fotovoltaicos Flatfix .....	26
Figura 21 - Exemplo da capacidade gráfica do programa Autodesk Flow Design .....	27
Figura 22 - Modelação 3D do parque de painéis fotovoltaicos no programa Autodesk Flow Design .....	27
Figura 23 - Esquema representativo do comportamento do vento .....	28
Figura 24 - Valores de $C_{p,net}$ e de $c_f$ para coberturas isoladas de uma só vertente.....	29
Figura 25 – Modelo e representação 3D de cálculo (pórtico tipo).....	30
Figura 26 - Diagramas de esforço axial, momento fletor, e tensão admissível do pórtico tipo ..	30
Figura 27 - Diagrama de deslocamentos da viga principal .....	30
Figura 28 - Simulação de cargas de vento no programa Autodesk Robot Strutral Analysis ....	32
Figura 29 - Definição dos parâmetros da simulação do vento .....	33
Figura 30 - Orientação do pórtico de painéis fotovoltaicos .....	33
Figura 31 - Mapa de pressão do vento incidente na direção perpendicular aos paineis X+.....	34
Figura 32 - Diagrama da deformada do pórtico de paineis fotovoltaicos simulado.....	35
Figura 33 - Modelação de duas fileiras de pórticos de painéis fotovoltaicos.....	36
Figura 34 - Mapa de pressão do vento nos pórticos sucessivos de painéis .....	36
Figura 35 - Diagrama da deformada dos pórticos de paineis fotovoltaicos sucessivos .....	37
Figura 36 - Esquema pormenorizado do procedimento experimental.....	39
Figura 37 – Aparelho experimental Flatfix .....	40
Figura 38 - Teste de apoio livre .....	42
Figura 39 - Teste de apoios seguros por patilhas .....	42
Figura 40 - Teste de apoios fixos .....	43
Figura 41 - Esquema exemplificativo de um sistema de força de atrito estática.....	43
Figura 42 - Esquema exemplificativo de um sistema de força de atrito dinâmica.....	45
Figura 43 - Pórticos de painéis fotovoltaicos protegidos .....	47

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Horário semanal de estágio referente ao primeiro semestre do ano letivo 2016/2017.	2
Tabela 2 - Horário semanal de estágio referente ao segundo semestre do ano letivo 2016/2017.	2
Tabela 3 - Calendarização das atividades de estágio .....	3
Tabela 4 - Calendarização das atividades na empresa FOeng – Gabinete de Engenharia, Lda. ...	4
Tabela 5 - Elementos estruturais do pórtico tipo.....	24
Tabela 6 - Valores máximos de esforço axial e momento fletor.....	31
Quadro 7 - Valores máximos de deformação.....	31
Tabela 8 - Valores de esforço Axial e momento fletor do pórtico de painéis fotovoltaicos simulado .....	34
Tabela 9 - Deformação dos pórtico de paineis fotovoltaicos simulado segundo a direção X+...	34
Tabela 10 - Comparação de resultados entre os dois casos de estudo.....	35
Tabela 11 - Valores de esforço Axial e momento fletor em pórticos de painéis fotovoltaicos sucessivos.....	36
Tabela 12 - Deformação dos pórtico de paineis fotovoltaicos sucessivos .....	36
Tabela 13 - Comparação de esforços entre fileiras de painéis fotovoltaicos consecutivas .....	37
Tabela 14 - Comparação de deformações entre fileiras de painéis fotovoltaicos consecutivas ..	37
Tabela 15 - Dimensionamento de secção ótima do painel protegido.....	38
Tabela 16 - Preço da secção das soluções adotadas .....	38
Tabela 17 - Posição e correspondente carga dos painéis fotovoltaicos.....	41
Tabela 18 - Características geometricas das membranas de interface .....	41
Tabela 19 - Força de atrito estática média.....	44
Tabela 20 - Coeficiente de atrito estático médio.....	44
Tabela 21 - Força de atrito dinâmico média .....	45
Tabela 22 - Coeficiente de atrito dinâmico médio .....	46
Tabela 23 - Coeficientes de atritos estáticos e dinâmicos finais .....	48
Tabela 24 - Coeficientes de atrito estáticos e dinâmicos da interface entre os apoios e as membranas .....	48

# ***Capítulo 1***

---

*Introdução*

## 1. INTRODUÇÃO

Este documento tem como função a apresentação do trabalho realizado no estágio curricular na empresa FOeng – Gabinete de Engenharia Lda. no presente ano curricular 2016/2017.

O estágio referido teve início em outubro de 2016, terminou em junho de 2017, no qual se desenvolveram soluções estruturais de otimização de parques de painéis fotovoltaicos, e onde também se acompanham e elaboram projetos de engenharia civil.

Foi estabelecido de acordo com o horário de funcionamento da empresa e de acordo com o regulamento de estágio do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, que estabelece o mínimo de 20 horas semanais, um horário semanal de estágio para o primeiro semestre do ano letivo 2016/2017. Representado na Tabela 1 e Tabela 2.

*Tabela 1 - Horário semanal de estágio referente ao primeiro semestre do ano letivo 2016/2017*

Horas	Dias da Semana						
	Seg.	Ter.	Qua.	Qui.	Sex.	Sab.	Dom.
9:00h - 13:00h							
14:00h - 18:00h							

*Tabela 2 - Horário semanal de estágio referente ao segundo semestre do ano letivo 2016/2017*

Horas	Dias da Semana						
	Seg.	Ter.	Qua.	Qui.	Sex.	Sab.	Dom.
9:00h - 13:00h							
14:00h - 18:00h							

### 1.1. OBJETIVOS

Com a realização do estágio curricular pretende-se acompanhar de perto os projetos realizados num gabinete de projetos de engenharia civil.

Para além do acompanhamento de trabalhos em curso na empresa, pretende-se estudar soluções de otimização de estruturas de parques de painéis fotovoltaicos, abordando a análise dos esforços neste tipo de estruturas, e um posterior dimensionamento otimizado das mesmas. Para tal, a realização de todas estas atividades exigiu a aprendizagem de novas ferramentas informáticas e de novos conteúdos.

### 1.2. MOTIVAÇÃO

Ao longo dos anos, no curso de mestrado de Engenharia Civil, foram adquiridos conhecimentos e competências. A realização deste estágio curricular é dado por duas principais razões, a vontade de querer por em prática estes conhecimentos e competências, essenciais à execução de qualquer projeto de engenharia civil, e a vontade de querer aprender novas competências e aperfeiçoar as já adquiridas.

### 1.3. ESTRUTURA DO ESTAGIO

Na Tabela 3 encontra-se a calendarização das atividades realizadas no âmbito do estágio curricular.

*Tabela 3 - Calendarização das atividades de estágio*

Tarefa	Meses											
	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
i)												
ii)												
iii)												
iv)												

Tarefas:

- i) Estágio na Empresa FOeng – Gabinete de Engenharia, Lda.
- ii) Pesquisa bibliográfica
- iii) Redação do relatório intermedio
- iv) Redação do relatório de estágio

Na Tabela 4 encontra-se a calendarização prevista para o período de estágio na empresa FOeng – Gabinete de Engenharia, Lda.

*Tabela 4 - Calendarização das atividades na empresa FOeng – Gabinete de Engenharia, Lda.*

Tarefa	Meses											
	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
a.												
b.												
c.												
d.												
e.												

Tarefas:

- a. Acompanhamento dos trabalhos desenvolvidos na empresa.
- b. Recolha de informação, e estudos prévios do trabalho a desenvolver do dimensionamento do parque de painéis fotovoltaicos.
- c. Modelação de calculo de dimensionamento do parque de painéis fotovoltaicos.
- d. Análise dos resultados obtidos.
- e. Desenvolvimento de soluções a serem aplicadas.

#### 1.4. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Situada em Aveiro, a FOeng – Gabinete de Engenharia Lda. (Figura 1), foi fundada em 2007 e tem como fundamentos pressupostos bastante exigentes de originalidade, competência, risco e inovação.



*Figura 1 - Logotipo da Empresa FOeng - Gabinete de Engenharia Lda.*

Assegurando a qualidade dos seus serviços, a FOeng implementou o Sistema de Gestão de Qualidade da ISO9001, aspirando assim obter um grande nível de satisfação da parte dos seus clientes.

Na seguinte Figura 2 está representado um organograma que mostra a organização e os principais campos de atividade da empresa.

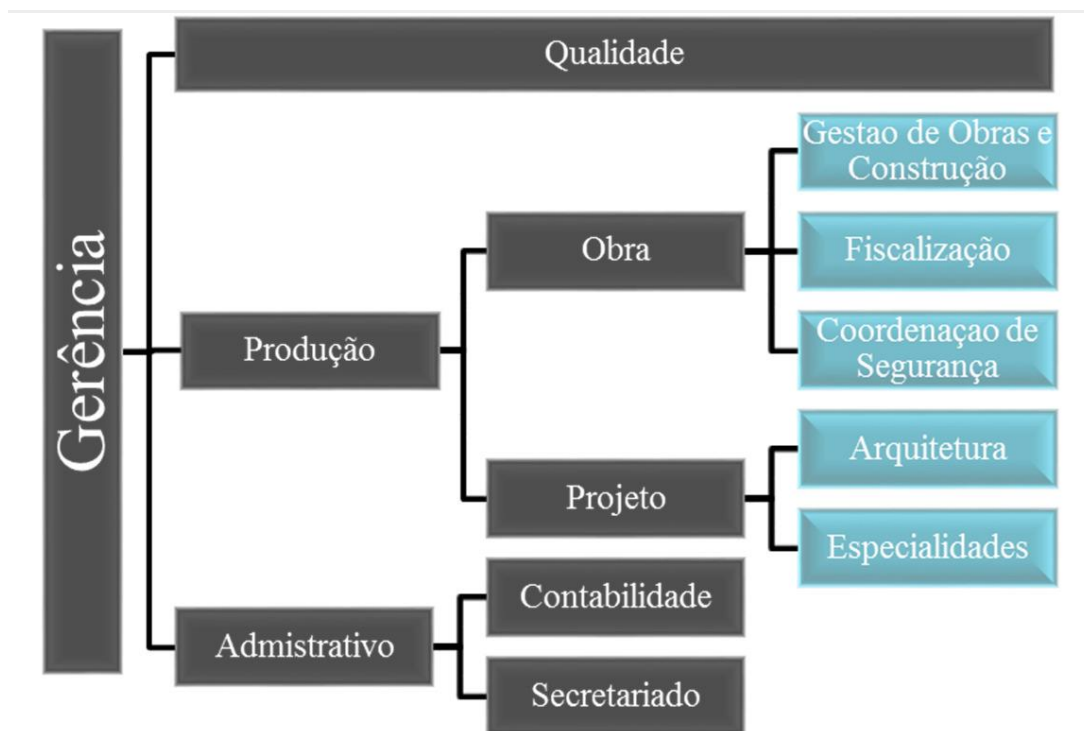


Figura 2 - Organograma da gestão de qualidade da empresa

Para além destes campos, acima referidos, a FOeng também oferece serviços nas áreas de otimização, conceção fabrico e montagem de estruturas, consultadoria e projetos de investimento e avaliações de imóveis, consultadoria energética, casas pré-fabricadas, vias de comunicação, painéis solares fotovoltaicos, geotermia, e consultadoria agrícola.





## ***Capítulo 2***

---

*Trabalhos Realizados no Âmbito do Estágio  
Curricular*

## **2. TRABALHOS REALIZADOS NO AMBITO DO ESTÁGIO CURRICULAR**

Este capítulo visa a apresentação de todos os projetos realizados no âmbito do estágio curricular na empresa FOeng, bem como uma contextualização da metodologia utilizada na abordagem dos ditos projetos.

### **2.1. METEDOLOGIA DE EXECUÇÃO DE PROJETOS**

No que diz respeito à metodologia de execução de projetos, a empresa usa como base a Portaria 701-H/2008 que define as distintas fases de um projeto de obra. Entre estas o programa base, o estudo prévio, o projeto base, o projeto de execução e assistência técnica.

O programa base é uma proposta preliminar de maneira a proporcionar ao dono de obra uma boa compreensão das soluções apresentadas pela empresa à obra requerida.

No estudo prévio são desenvolvidas as soluções propostas e adotadas no programa base. Com a aprovação do estudo prévio pela parte do dono de obra é então realizado projeto base que consiste num conjunto coordenado de soluções e informações específicas à especialidade em questão de fácil interpretação por parte dos intervenientes na execução da obra. Estas soluções são apresentadas em forma de peças escritas (termos de responsabilidade, fichas, declarações de dispensa, memórias descritivas e justificativas), e peças desenhadas (plantas, cortes e pormenorizações).

Por fim é realizado o projeto de execução e a assistência técnica que consiste no desenvolvimento do projeto base pelas entidades intervenientes em obra, bem como exigir que este seja desenvolvido segundo as peças escritas e desenhadas bem como obedecer a todas as legislações e regulamentações aplicáveis.

#### **2.1.1. PROJETOS DE ESPECIALIDADES**

Quanto às especialidades de projeto desenvolvidas a empresa rege-se em conformidade com a Portaria nº113/2015 que as divide em onze grupos distintos:

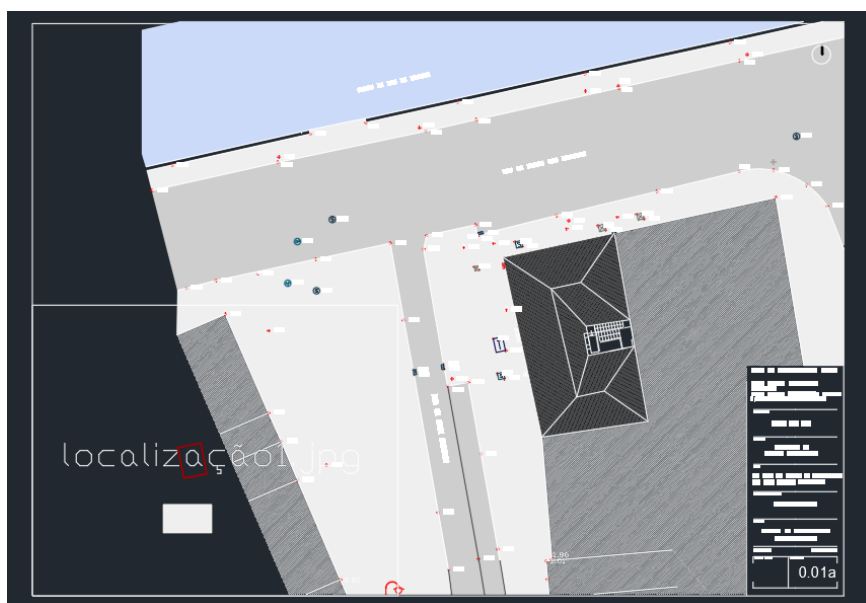
1. Projeto de Estabilidade;
2. Projeto de Redes Prediais de Água e Esgotos;
3. Projeto de Águas Pluviais;
4. Projeto de Alimentação e Distribuição de Energia Elétrica;
5. Projeto de Instalações Telefónicas e Telecomunicações;
6. Projeto de Instalação de Gás;
7. Projeto Acústico;
8. Estudo de Comportamento Térmico;
9. Projeto de Segurança Contra Incêndios;
10. Projeto de Arranjos Exteriores;
11. Plano de Acessibilidades.

### 2.1.2. FERRAMENTAS INFORMÁTICAS AUXILIARES

Para as especialidades anteriormente referidas, principalmente para projetos de estabilidade, foi necessário recorrer a variadas ferramentas informáticas para o auxílio da sua execução tendo em conta os diferentes materiais e tipologias de construção.

Na base de todos os projetos a serem realizados é necessário um bom suporte gráfico (peças desenhadas de arquitetura), bem como um bom programa onde seja possível, posteriormente, executar peças pormenorizadas com toda a informação e detalhe necessário.

Para além dos fatores anteriormente referidos é necessário um programa que seja compatível com todos os diferentes programas para qual os desenhos vão servir de base arquitetónica, postos estes fatores, foi utilizado o programa de desenho assistido por computador Autocad (Figura 3).

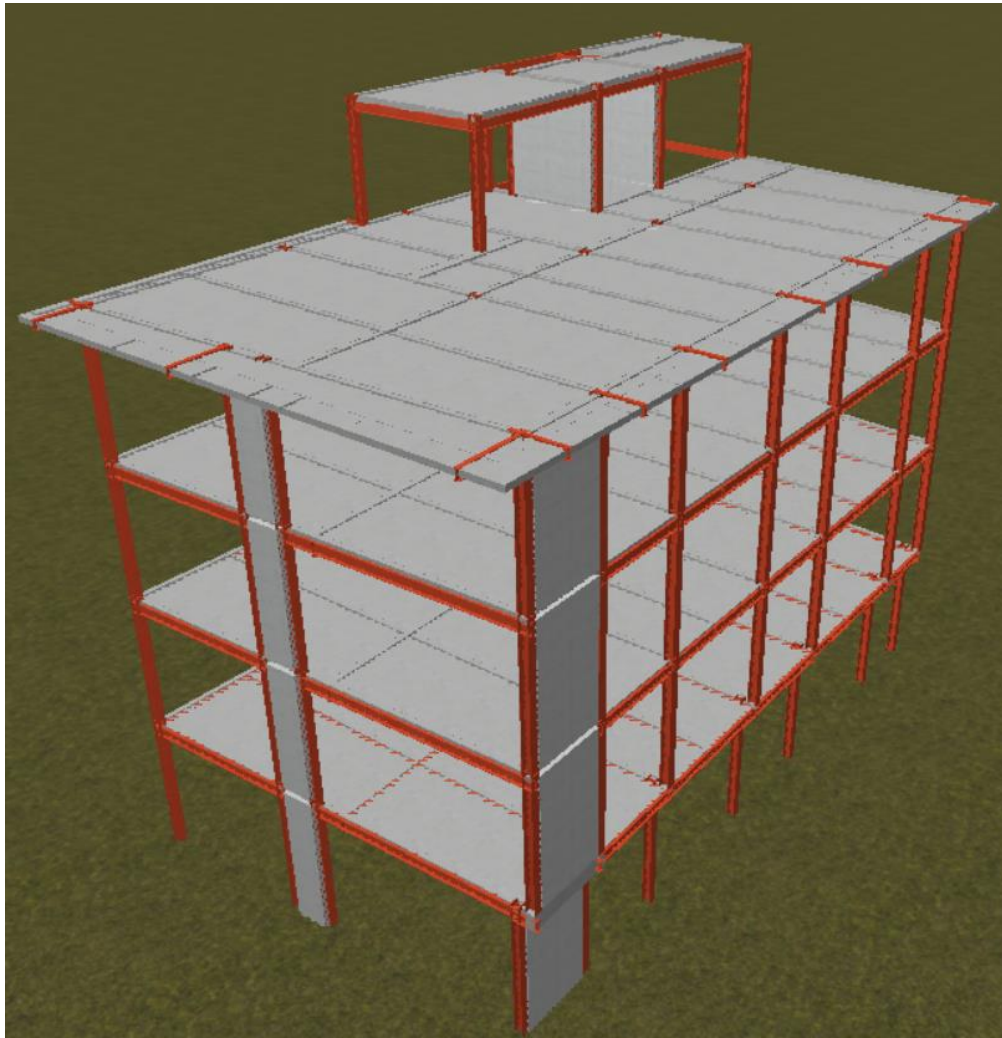


*Figura 3 – Planta traçada em Autocad*

## 2.2. EDIFÍCIO DO CANAL DA RIA DE AVEIRO

Foi solicitado à empresa o projeto de estabilidade de um edifício a ser reabilitado na zona da baixa da cidade Aveiro. Este edifício será utilizado posteriormente para fins hoteleiros.

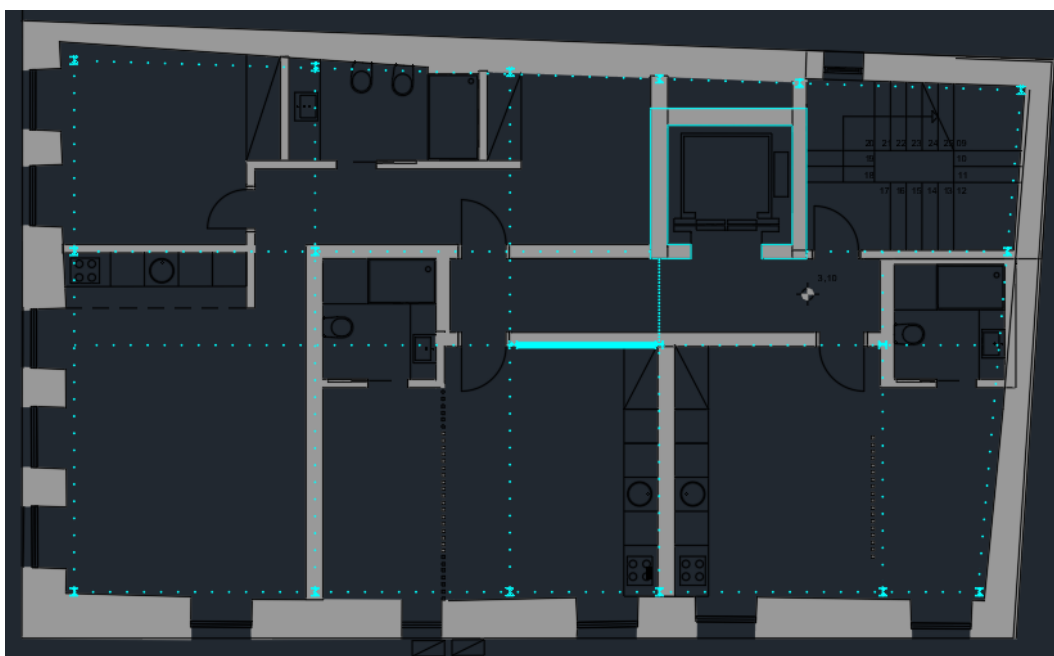
A intervenção visa a demolição total do interior do edificado, mas pretende manter a fachada exterior (fachada em pedra e adobe) para não perder o seu valor patrimonial e arquitetónico. O desafio é modelar e dimensionar uma estrutura que se adapte à fachada existente, e que seja funcional para a finalidade do edifício em questão (Figura 4).



*Figura 4 - Estrutura do edifício do canal modelada em Cypecad*

### 2.2.1. DESENHOS

Tendo em conta a natureza do projeto da obra proposta e todos os diferentes aspetos arquitetónicos foi preciso ter atenção a três fatores muito importantes na definição do traçado da estrutura. O primeiro dos quais é a preocupação de adaptar a nova construção ao edificado antigo, ou seja, definir um traçado que adeque a nova arquitetura ao edificado existente que não será demolido. O que leva ou segundo ponto, conceber uma maneira eficiente e simples de unir o novo e antigo edificado tendo em conta os materiais de construção e as limitações dos mesmos. Por fim, definir uma solução que seja resistente, do ponto de vista da segurança, uma solução que seja funcional para os seus utentes, e uma solução que seja esteticamente agradável de visualizar e que não se sobreponha à arquitetura definida (Figura 5).



*Figura 5 - Implantação da estrutura na arquitetura existente*

### 2.2.2. FERRAMENTA INFORMÁTICA AUXILIAR NO CÁLCULO E MODELAÇÃO DE ESTRUTURAS EM BETÃO ARMADO/MISTAS

Para o dimensionamento de estruturas em betão armado foi necessário um programa que seja fácil de utilizar, fiável, e bastante detalhado no que diz respeito aos diferentes diâmetros de aço, diferentes tipos de secções. Tendo em conta estes diferentes fatores foi escolhido o módulo Cypecad do programa Cype (Figura 4).

Como em maior parte dos módulos de cálculo do Cype, o Cypecad divide-se em duas fases fundamentais: a introdução de dados (definição de regulamentos, materiais, ações, modulação do edifício) e o cálculo e análise de resultados (cálculo automático efetuado pelo programa, e uma análise e correção de possíveis erros de modulação). Para auxiliar a modelação do edifício o programa utiliza ficheiros DWG de plantas arquitetónicas em vários níveis diferentes, onde posteriormente são inseridos os elementos verticais (pilares, paredes resistentes, muros de suporte), elementos horizontais (vigas, lajes), e elementos de fundação (sapatas, estacas, lintéis).

### 2.2.3. AÇÕES

Dependendo do piso considerado e a sua respetiva utilização as ações consideradas no edifício também variam.

No rés-do-chão e nos restantes pisos destinados a aposentos de hóspedes foi considerada uma ação permanente de valor de  $4,0 \text{ kN/m}^2$  que corresponde ao peso dos revestimentos, peso das paredes interiores, e objetos de mobiliário, enquanto que na cobertura não acessível foi considerado um valor de carga permanente de  $0,3 \text{ kN/m}^2$  que corresponde ao peso dos revestimentos, e impermeabilizações. Uma vez que o programa já quantifica o peso próprio da estrutura não é necessário que esta seja introduzida.

No que diz respeito às ações variáveis de sobrecarga estas foram consideradas segundo o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas e Edifícios e Pontes (RSA (1983)). Tal como nas considerações das ações permanentes, as ações variáveis de sobrecarga são diferentes para os pisos e para a cobertura. De acordo com o RSA, em pisos destinados a hotelaria deve-se considerar um valor de sobrecarga de  $3,0 \text{ kN/m}^2$  e em coberturas planas não acessíveis um valor de  $0,3 \text{ kN/m}^2$ .

Na ação variável do vento foram considerados os fatores dados pelo Eurocódigo 1: Ações em Estruturas – Parte 1-4: Ações de vento (NP EN 1991-1-4 (2005)). Para este edifício com 10 metros de largura e 17 metros de comprimento de fachada foram considerados ventos com uma velocidade média máxima de 27 m/s de Zona A (habitações na zona de Aveiro), uma categoria de terreno IV (zona no qual pelo menos 15% da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15m), uma orografia de terreno plana e um período de retorno de 50 anos.

#### 2.2.4. MODELAÇÃO

Com base na geometria previamente definida foi desenvolvida a estrutura do edifício. Para os pilares foram escolhidas secções metálicas HE 200 A, visto que é necessário ancorar a fachada antiga do edifício à nova estrutura, a solução de ancorar a fachada a uma estrutura metálica através de grampos mecânicos é a que mais se adequa, pois é mais simples e económica face à solução contraparte que seria realizar a estrutura em betão armado. Esta solução é menos conveniente devido à compatibilização dos materiais, com esforço e a variação de temperatura o betão armado reage de maneira diferente da pedra e adobe que se encontram na composição da fachada existente. Provocando assim fissuras ao longo da interface dos dois materiais, e originando patologias no edifício a longo prazo.

As vigas do edifício foram executadas com perfis IPE 240 e IPE 270 (no caso das vigas mestras) pois este tipo de perfis são uma solução mais leve e bastante resistente ao momento fletor. Já as lajes tratam-se de lajes mistas em betão armado com chapa colaborante nervurada com espessuras entre os 0,75 e 1,00 milímetros (Figura 6).

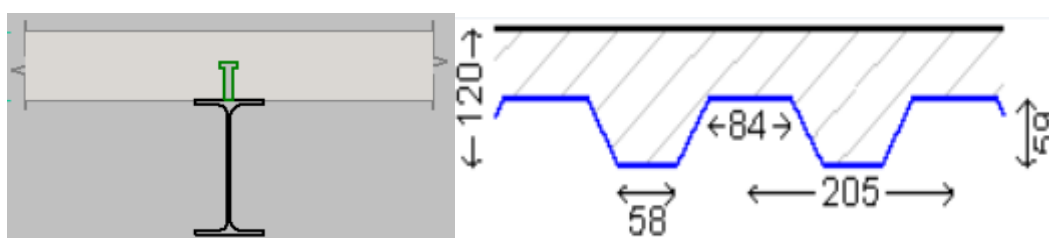
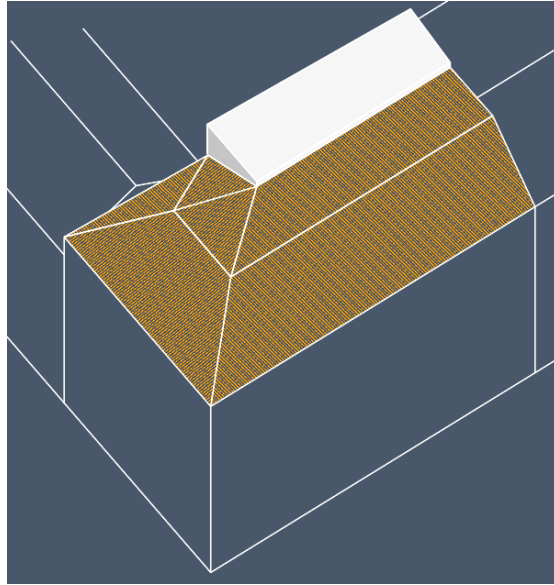


Figura 6 - Esquema ilustrativo do sistema de lajes mistas

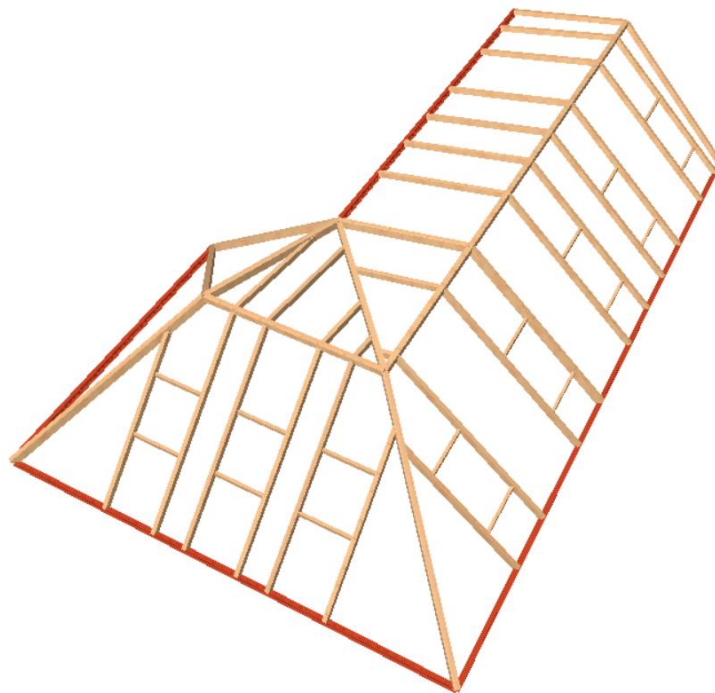
#### 2.2.5. MODELAÇÃO DA COBERTURA

Devido à geometria e complexidade da cobertura (Figura 7), e à capacidade limitada de definir objetos (vigas neste caso) oblíquos sobrepostos ao plano normal do módulo Cypecad do programa Cype decidiu-se então modular e calcular a cobertura do edifício à parte no módulo Cype 3D do programa Cype, de onde posteriormente são retirados os valores das reações nos apoios da cobertura e são exportados para o modelo Cypecad.



*Figura 7 - Ilustração 3D da cobertura a modelar*

A estrutura da cobertura é constituída por vigas de madeira de secção retangular (Figura 8), com secções que variam entre 100x70 mm ate 200x130 mm, que suportam as chapas metálicas de cobertura em painel sandwich com as respectivas impermeabilizações, revestido superiormente com um sistema de telha marselha.



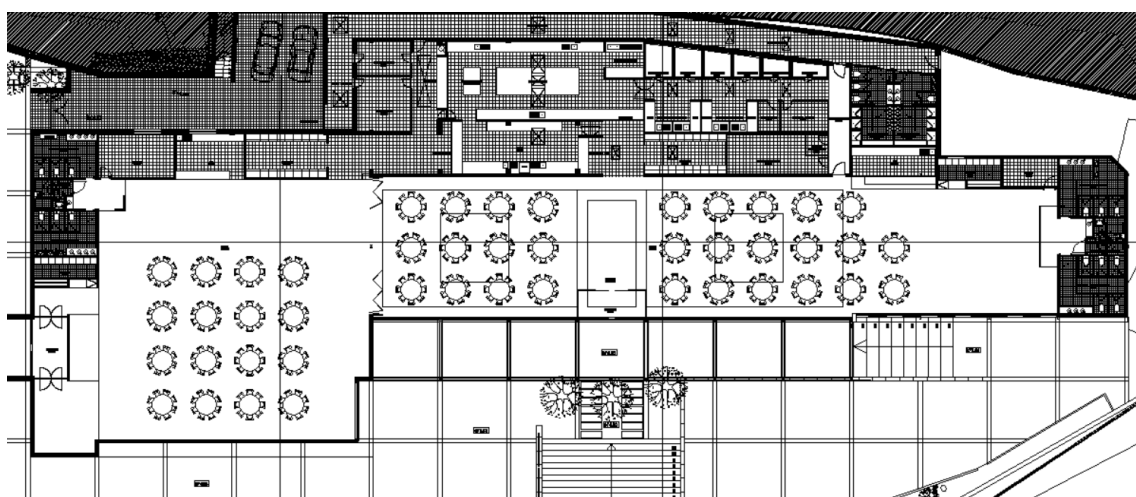
*Figura 8 - Estrutura da cobertura do edifício em madeira*



### 2.3. PAVILHÃO DE SERVIÇOS DA QUINTA NA BEIRA INTERIOR

Foi elaborado também na empresa um projeto de um pavilhão de serviços em estrutura metálica numa quinta situada na Beira Interior (Figura 9).

O edifício foi projetado para ter aproximadamente 1400 m<sup>2</sup> e com zonas distintas destinadas respetivamente a um salão de festas, a uma área de cozinha, e instalações sanitárias.

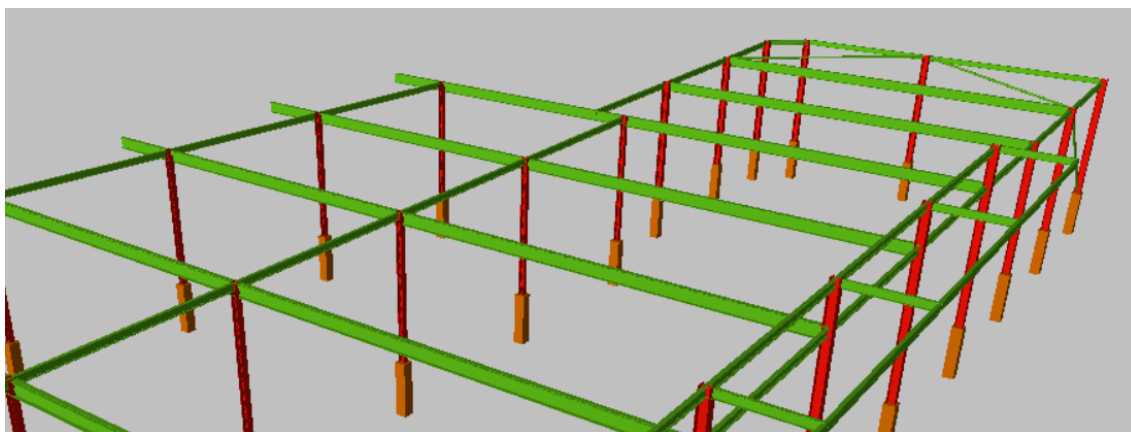


*Figura 9 - Arquitetura proposta do pavilhão de serviços*

#### 2.3.1. FERRAMENTA INFORMÁTICA AUXILIAR NO CÁLCULO E MODELAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

Em semelhança às estruturas em betão armado, para o dimensionamento de estruturas metálicas é necessário um programa que seja fácil de utilizar e fiável, porém para este tipo de estruturas o fator decisivo na escolha do programa de calculo é um que este tenha uma extensa biblioteca de perfis e ligações metálicas, bem como uma boa capacidade de modulação em 3D (devido aos recorrentes elementos oblíquos neste tipo de estruturas), recorreu-se então ao módulo Cype 3D do programa Cype (Figura 10).

O processo de dimensionamento é bastante semelhante ao método utilizado no Cypecad. Porém no Cype 3D a modulação dos elementos horizontais e verticais são executados num ambiente 3D sobre a mesma base arquitetónica, ao invés de ser feita por níveis como no Cypecad. Possibilitando uma modulação mais simples dos recorrentes elementos oblíquos.



*Figura 10 – Estrutura modelada em Cype3D*

### 2.3.2. AÇÕES

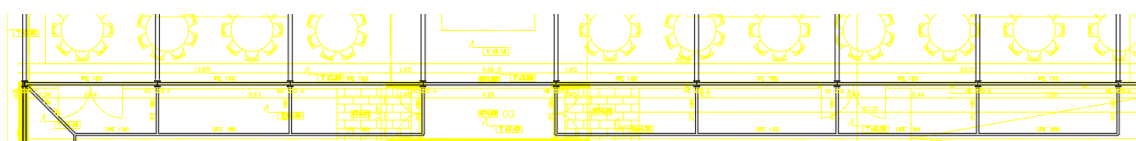
Relativamente às ações permanentes e variáveis de sobrecarga na cobertura acessível foi considerado um valor de carga permanente de  $0,45 \text{ kN/m}^2$  (correspondente ao peso dos revestimentos, e impermeabilizações), já no que diz respeito às ações de sobrecarga estas foram consideradas segundo o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas e Edifícios e Pontes (RSA (1983)) que dita que em terraços não acessíveis a ação de sobrecarga toma um valor de  $1,0 \text{ kN/m}^2$ . Uma vez que o programa já quantifica o peso próprio da estrutura não é necessário que esta seja introduzida.

A ação variável do vento foi também esta considerada segundo o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas e Edifícios e Pontes (RSA (1983)). Como o edifício é para ser implementado na zona da Beira Interior, para os cálculos da ação do vento, foi considerado que este pertence à zona A (zona correspondente à generalidade do território português exceto numa faixa de 5 Km ao longo da costa marítima), uma rugosidade aerodinâmica do solo do tipo II (rugosidade a atribuir a zonas rurais ou periferias de zonas urbanas), e como o edifício tem entre 0 e 10 metros de altura a pressão dinâmica do vento considerada toma o valor de  $0,90 \text{ kN/m}^2$ .

O edifício está localizado na zona da Beira Interior e encontra-se a uma altitude relativa suficiente para ser considerada a ação da neve. Foi então considerado, segundo o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas e Edifícios e Pontes (RSA (1983)), um valor característico ( $S_k$ ), por metro quadrado plano, de  $0,97 \text{ kN/m}^2$  na extensão total da cobertura.

### 2.3.3. DESENHOS

No âmbito da definição da geometria da estrutura do edifício foi necessário ter em atenção a dois aspetos referentes à arquitetura que condicionam a forma de distribuir os elementos verticais ao longo da estrutura. Um dos quais era procurar deixar o espaço designado ao salão de festas o mais desocupado possível, no que diz respeito aos elementos verticais (pilares), tornando-o assim mais amplo e mais funcional. A segunda preocupação era deixar os elementos com face à vista o mais uniformizados possível, afastados de comprimentos equidistantes entre si, principalmente na fachada envidraçada de entrada (Figura 11).

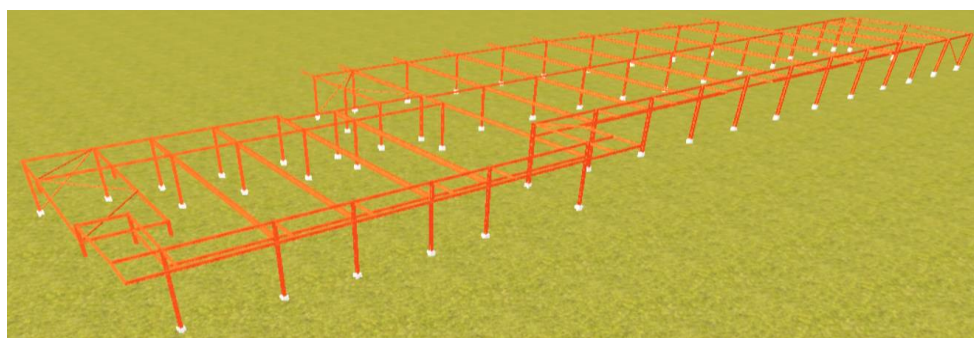


*Figura 11 - Ilustração do sistema estrutural uniformizado e equidistante*

### 2.3.4. MODELAÇÃO

A estrutura do pavilhão foi modelada em no módulo Cype 3D do programa Cype e com base na geometria definida foram escolhidas as diferentes secções para os respetivos elementos construtivos (Figura 12).

Os pilares foram modelados com uma gama secções de HE 160 A até HE 220 A, estas secções são as mais indicadas para elementos verticais, pois são bastante resistentes ao esforço axial e aos momentos fletores nas duas diferentes direções. Para as secções das vigas foram escolhidos perfis IPE 200 a perfis IPE 360, já nos travamentos laterais (metodologia de mitigar os deslocamentos horizontais devido à pressão do vento nas fachadas) foram utilizados perfis circulares ocios CHS 80 com 6 milímetros de espessura.



*Figura 12 - Estrutura metálica do complexo do pavilhão de serviços*

## 2.4. CONTENÇÃO PERIFÉRICA DA AMPLIAÇÃO DE UM ARMAZÉM DE INVENTÁRIO

Durante o estágio curricular foi requerido à empresa um projeto de ampliação de um armazém de inventário de uma empresa de exportações. A ampliação visa a adição de um novo compartimento para acondicionar mais inventário com uma ponte rolante sobre carris para a movimentação do mesmo, uma loja para a revenda do dito inventário, uma zona de escritórios para os funcionários, um datacenter, e um parque de estacionamento de veículos pesados.

### 2.4.1. FERRAMENTA INFORMÁTICA AUXILIAR NO CÁLCULO E MODELAÇÃO DE ESTRUTURAS DE SUPORTE DE TERRAS EM BETÃO ARMADO

Para este tipo de estruturas, muros de suporte como uma estrutura isolada, convém ser utilizado um programa no qual seja possível definir todos os diferentes parâmetros dos solos que interagem com o muro, bem como a liberdade de poder escolher diferentes tipos de muros (muros com uma consola, muros com duas consolas, muros sobre estacas, muros de espessura variável). Tendo em conta todos estes aspetos foi escolhido o módulo Muros Em Consola De Betão Armado do programa Cype (Figura 13).

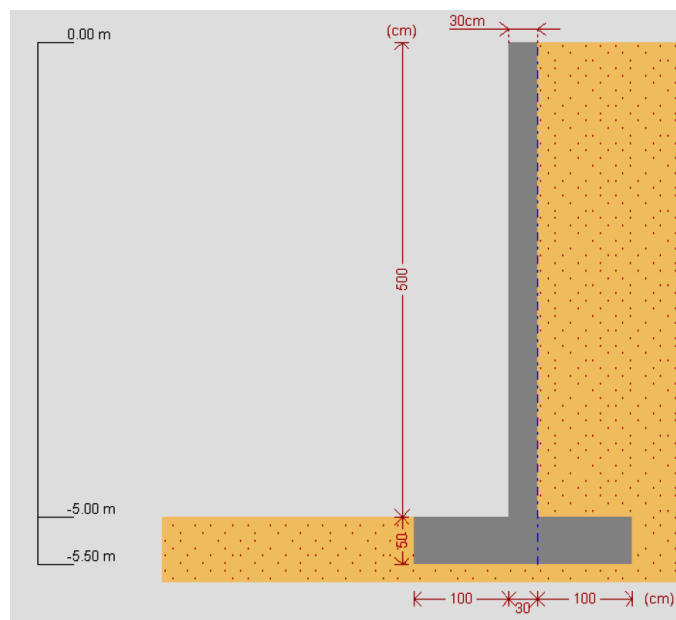
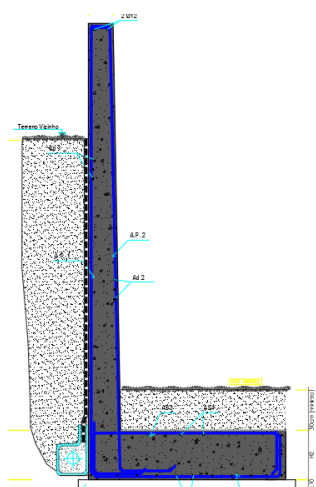


Figura 13 - Estrutura modelada em Muros Em Consola De Betão Armado

2.4.2. CONSIDERAÇÕES E IMPLEMENTAÇÃO DE CONTENÇÕES PERIFÉRICAS EXTERIORES

Devido à morfologia da zona que rodeia o edifício foi necessário realizar uma parede contínua de muros de suporte para realizar uma contenção periférica dos terrenos vizinhos que se encontram a cotas superiores.

Tendo em conta as características dos terrenos e com a ajuda do módulo Muros Em Consola De Betão Armado do programa Cype foram dimensionados diversos muros com dimensões estandardizadas com alturas de tardoz de 2,0 metros até 4,5 metros (Figura 14).



QUADRO DE MUROS DE SUPORTE

REF*	GEOMETRIA (m)				
	esp. (m)	H (máx)	H1 (total)	H2	B
MURO EXT. 1	0.25	4.50	5.10	0.60	2.00
MURO EXT. 2	0.20	4.00	4.60	0.60	1.60
MURO EXT. 3	0.20	3.50	4.00	0.50	1.40
MURO EXT. 4	0.20	3.00	3.40	0.40	1.25
MURO EXT. 5	0.20	2.50	2.90	0.40	1.00
MURO EXT. 6	0.20	2.00	2.40	0.40	1.00

Figura 14 - Ilustração do muro "tipo" estandardizado e respetivas geometrias referenciadas

Com base numa planta topográfica marcada com a cotas dos terrenos vizinhos foi então possível calcular a diferença de cotas dos dois lados da contenção periferia e consequentemente escolher o muro estandardizado que mais se adequa a cada segmento de contenção (Figura 15,(ou a versão completa da planta de muros exteriores no Anexo A)).

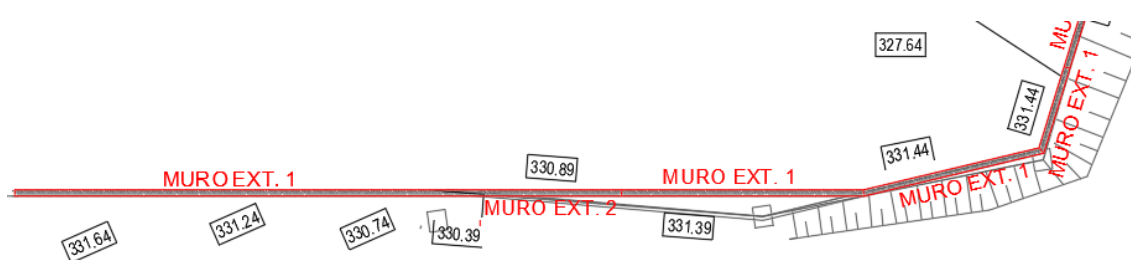


Figura 15 - Muros exteriores estandardizados e correspondentes cotas topográficas

### 2.4.3. MEDIÇÕES DE QUANTIDADES

Após todos os muros exteriores serem estandardizados e devidamente definidos procedeu-se à medição e descrição detalhada dos mesmos (Anexo B). Todos os muros foram devidamente categorizados e medidos conforme a sua tipologia, foi então considerada a quantidade de movimentos de terras, a quantidade betão a ser utilizada para o betão de limpeza necessário, para sua fundação, e para a parede do muro.

Para além das medições dos muros exteriores foram também solicitadas as medições de quantidades da ampliação do edifício no que diz respeito ao betão armado utilizado nas fundações, lintéis de equilíbrio, pilares, vigas, lajes, a quantidade de contenções periféricas pré-fabricadas, bem como a quantidade das suas respectivas movimentações de terras (Anexo C e Anexo D).

## ***Capítulo 3***

---

*Painéis Fotovoltaicos*

### **3. PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

O presente capítulo visa estudar dois problemas das estruturas de suporte de painéis fotovoltaicos, mais particularmente o tipo de apoio da estrutura, as diferentes abordagens às solicitações deste tipo de estruturas, suas principais diferenças.

Também no seguimento das solicitações em estruturas de painéis fotovoltaicos foi estudado o comportamento do vento, como este interage com as estruturas, e as diferenças entre uma abordagem baseada no comportamento real do vento e como este interage com obstruções, e uma abordagem segundo o Eurocódigo 1: Ações em Estruturas – Parte 1-4: Ações de vento (NP EN 1991- 1-4 (2005)).

Por fim foi também desenvolvido um procedimento experimental com a finalidade de testar o coeficiente de atrito para as bases de estruturas de suporte de painéis fotovoltaicos de apoio livre, para diferentes tipos de materiais e diferentes condicionantes de apoio.

#### **3.1. DIFERENTES TIPOS DE ESTRUTURA DE SUPORTE DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

Como foi previamente referido, no decorrer do estágio curricular foi solicitado o estudo de dois tipos diferentes de estruturas de suporte de painéis fotovoltaicos.

A primeira estrutura é a abordagem mais tradicional, estruturas monoposte de estacas cravadas, esta solução é mais utilizada em parques de painéis fotovoltaicos fixos ao solo, e aproveita a resistência de atrito de fuste da própria coluna metálica. Em contrapartida foi também estudado uma nova solução a ser aplicada em coberturas planas de edifícios, que ao contrário da solução anterior, esta solução não é fixa à própria cobertura, através da resistência da força de atrito entre a estrutura e a cobertura, esta permanece em estado de repouso.

##### **3.1.1. ESTRUTURAS DE SUPORTE DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS MONOPOSTE**

Em 2015 foi proposto à FOeng projetar integralmente um parque de painéis fotovoltaicos na zona de Santarém com 5 fileiras de painéis estrutura monoposte, afastadas 9m entre si, numa área de implantação de aproximadamente 2000m<sup>2</sup> (Figura 16). O principal requisito é que estas estruturas resistam às ações do vento, e tenham o melhor aproveitamento solar possível.



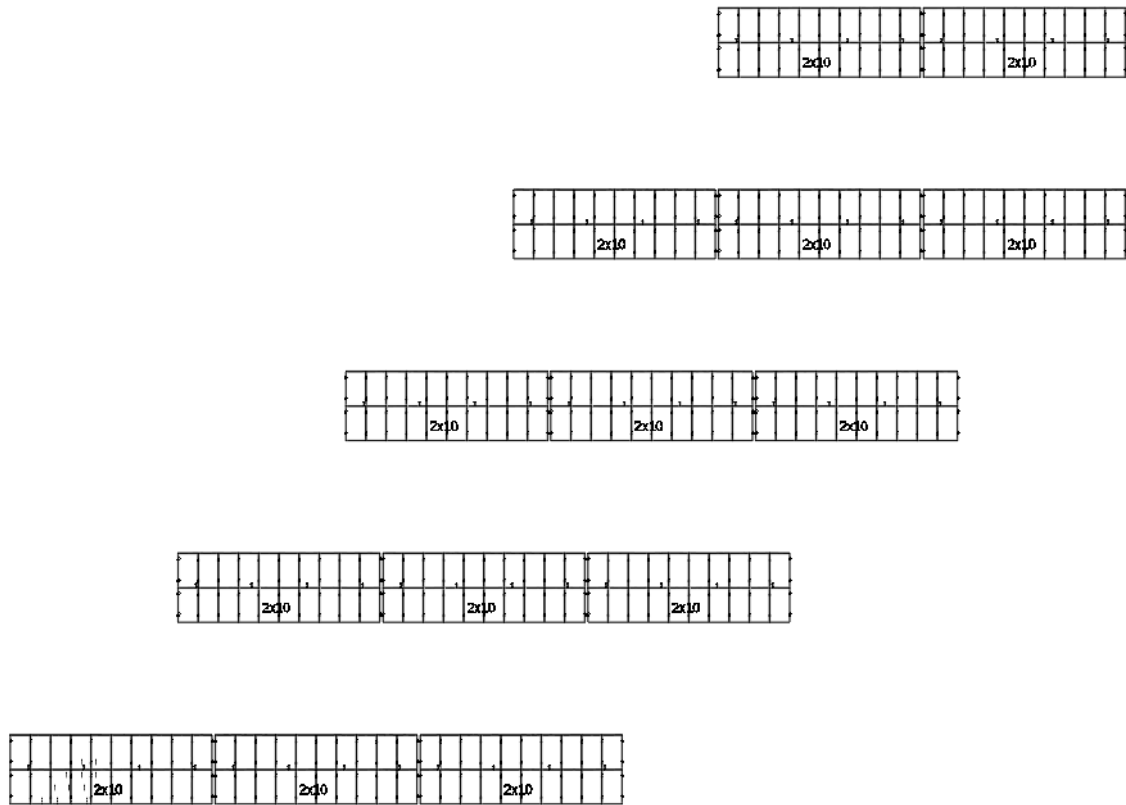


Figura 16 - Planta estrutural do parque de painéis fotovoltaicos

Os painéis possuem uma inclinação de aproximadamente  $30^\circ$  azimutais, ângulo que o plano dos painéis faz com a horizontal, e cada pórtico é constituído por 4 estruturas monoposte (Figura 17) ligadas por madres que suportam 20 painéis fotovoltaicos (cada um deles mede  $1,7 \times 1,0 \text{ m}^2$ ), as fundações dos pórticos são os próprios postes cravados a uma profundidade de aproximadamente 2,0m. Na totalidade cada um destes agrupamentos, em planta, medem 3,4m de largura e 10,0m de comprimento.

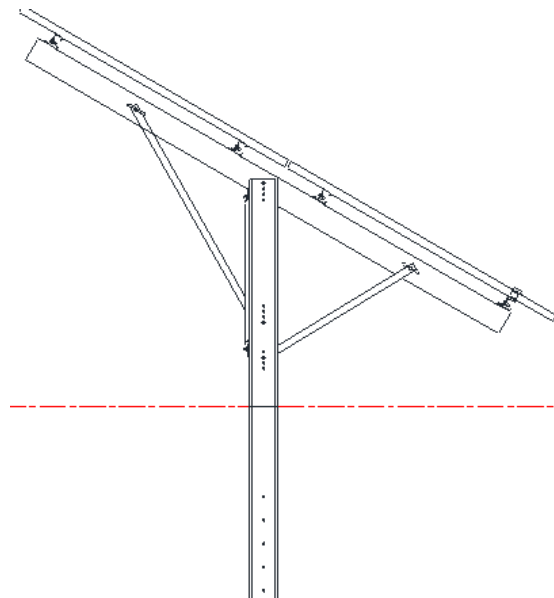


Figura 17 - Ilustração do pórtico tipo

### 3.1.1.1. MATERIAIS E SECÇÕES

Na estrutura de cada um dos postes pode ser identificado quatro diferentes elementos estruturais distintos, dos quais são identificáveis, a coluna/estaca, as escoras, a viga principal, e as madres (Figura 18).

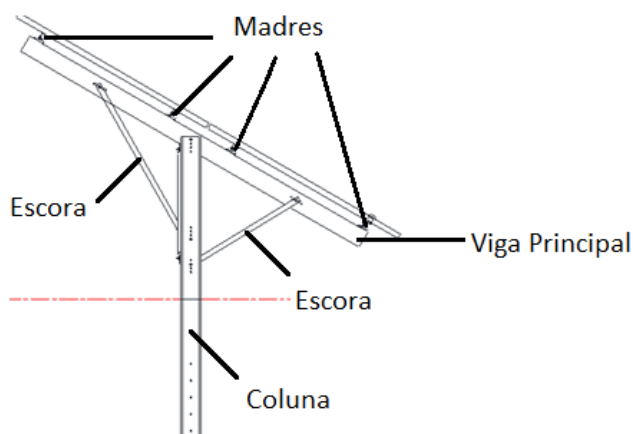


Figura 18 - Sistema estrutural do pórtico tipo do parque de painéis fotovoltaicos

A tabela seguinte referencia os diferentes perfis e as diferentes classes de aço utilizados na construção de cada um dos postes do parque de painéis fotovoltaicos (Tabela 5 - Elementos estruturais do pórtico tipo):

Tabela 5 - Elementos estruturais do pórtico tipo

	Elementos Estruturais			
	Coluna/Estaca	Escoras	Viga Principal	Madres
Perfil	C200x65x3,0	O-38x2	C170x65x1,5	Madremax 50x1,5
Classe de Aço	S275JR	S235JR	S235JR	S320GD+Z

### 3.1.1.2. AÇÕES EM ESTRUTURAS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Durante o seu período de utilização estes tipos de estruturas só são solicitadas com dois tipos de ações.

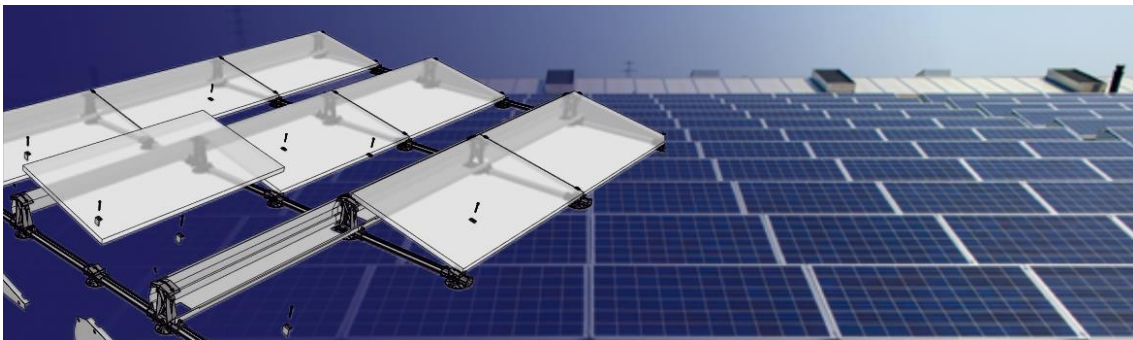
O primeiro sendo o peso dos painéis fotovoltaicos apoiados sobre a estrutura, e o peso próprio da mesma estrutura. A segunda solicitação, e a mais importante, é a ação variável do vento, esta é a única ação que efetivamente provoca esforços e deformações variáveis

na estrutura devido às suas velocidades, e consequentes pressões, e ao seu ângulo de incidência com a área de contato dos próprios painéis fotovoltaicos.

Como vai ser possível verificar nos posteriores capítulos (no capítulo sobre o estudo da ação do vento) este tipo de solicitação é considerado como uma ação favorável e que ajuda a manter os painéis fotovoltaicos estáveis.

### 3.1.2. ESTRUTURAS DE SUPORTE DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS DE APOIO LIVRE

Foram executados testes de atrito para um novo tipo de solução de painéis fotovoltaicos denominados “Flatfix”, esta nova solução trata-se de um novo tipo de painéis fotovoltaicos de coberturas planas que foram concebidos com a finalidade de ser uma solução extremamente leve e com uma rápida e simples instalação, que em vez de serem ancorados são fixos pelo próprio peso e por uma carga distribuída na parte inferior do painel imobilizando-o, tornando então esta solução mais económica e simples de executar (Figura 19).



*Figura 19 - Sistema de suporte de painéis fotovoltaicos Flatfix*

### 3.1.3. MATERIAIS E SECÇÕES

Neste tipo de estrutura de suporte de painéis fotovoltaicos podem ser identificados três elementos estruturais distintos (Figura 20). A “base alta”, onde apoiam os topos dos painéis fotovoltaicos, a “base baixa”, onde apoiam as bases inferiores dos painéis fotovoltaicos, e os perfis de conexão que ligam ambas as bases.

As bases são tipicamente peças plásticas pré-fabricadas, e os perfis de conexão são secções em alumínio com forma retangular ocas.

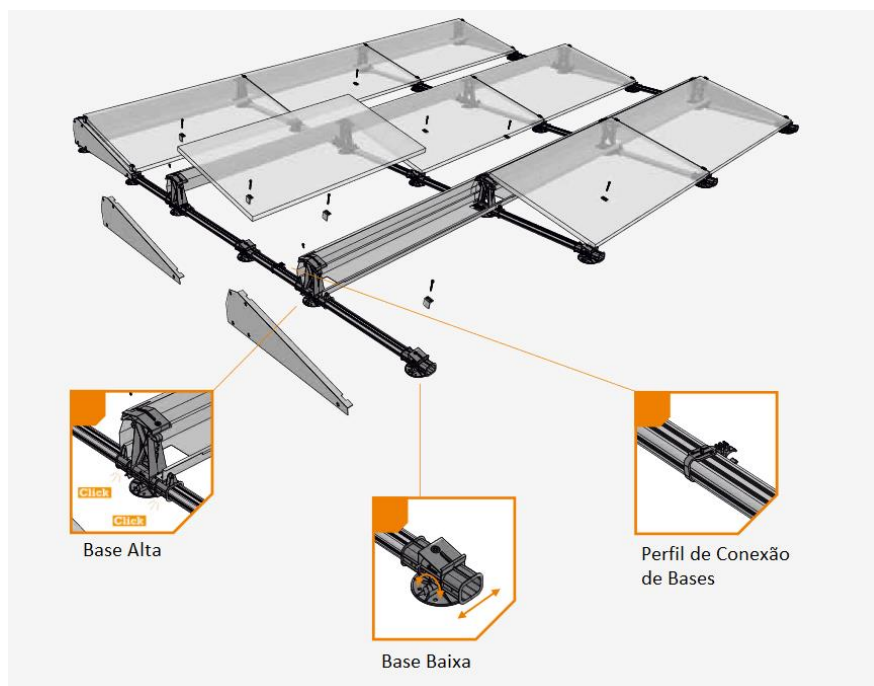


Figura 20 - Sistema estrutural de painéis fotovoltaicos Flatfix

## 3.2. AÇÃO DO VENTO

O seguinte capítulo visa explicar o comportamento do vento de uma forma mais aprofundada, e demonstrar duas diferentes abordagens à quantificação e consideração da ação do vento em estruturas de suporte de painéis fotovoltaicos monoposte.

### 3.2.1. COMPORTAMENTO DO VENTO

Quando originalmente as estruturas foram dimensionadas a partir do Eurocódigo 1: Ações em Estruturas – Parte 1-4: Ações de vento (NP EN 1991- 1-4 (2005)) estas tiveram em conta que se trata de uma estrutura de “cobertura isolada” sem qualquer tipo de obstrução ao vento, mesmo para painéis interiores (painéis que no seu redor estão obstruídos por outras estruturas de painéis, que influenciam a ação do vento no mesmo).

O que não traduz a realidade, pois o vento toma diferentes comportamentos quando interage com os primeiros painéis que encontra. No caso de existirem filas sucessivas deste tipo de estruturas, a ação do vento gera zonas de vento com grandes velocidades acima das subsequentes fileiras de painéis, fenómeno denominado de “efeito de esteira”, e zonas de depressão e de turbulência, o que por sua vez cria pressões menores nos subsequentes painéis, denominado este fenómeno por “sombra de vento”. Desta forma é possível otimizar o dimensionamento do parque de painéis pois os esforços em determinados pórticos serão reduzidos substancialmente.

### 3.2.2. RECURSO INFORMÁTICO PARA O ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO VENTO

Para o estudo aprofundado e fidedigno do comportamento do vento foi utilizado o programa de modelação Autodesk Flow Design.

Autodesk Flow Design é um programa de modelação que simula um túnel de vento virtual com a finalidade de visualizar o fluxo de vento em torno de edifícios, veículos, ou quaisquer outros tipos de objetos (Figura 21). O software é compatível com outros programas da Autodesk (AutoCad) para realizar a preparação geométrica necessária.

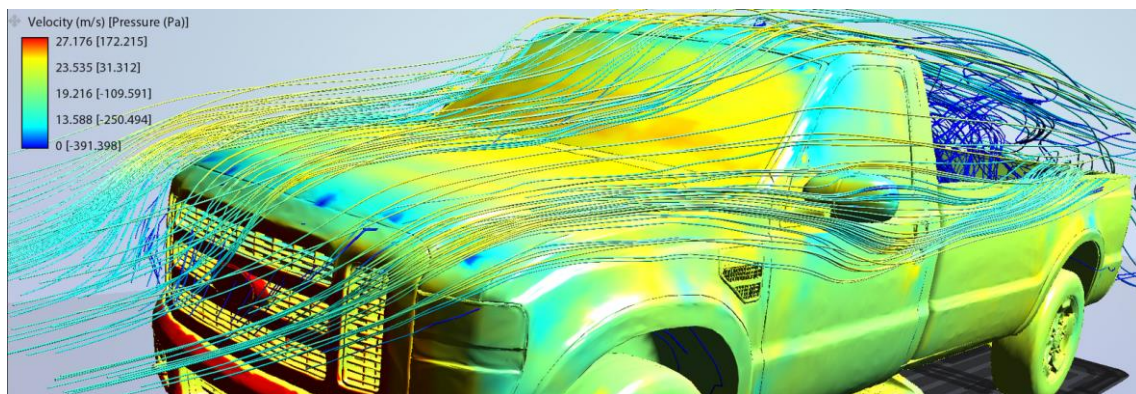


Figura 21 - Exemplo da capacidade gráfica do programa Autodesk Flow Design

### 3.2.3. COMPORTAMENTO DO FLUXO DE CORRENTE DO VENTO

Como se pode constatar na Figura 22, no modelo criado com recurso informático ao software Autodesk Flow Design, as linhas de fluxo do vento (linhas coloridas) após chocarem com qualquer tipo de objeto (neste caso a primeira fila de painéis) são obrigadas a mudar a sua trajetória, criando assim zonas de pressão negativa (sucção) e zonas de turbulência.

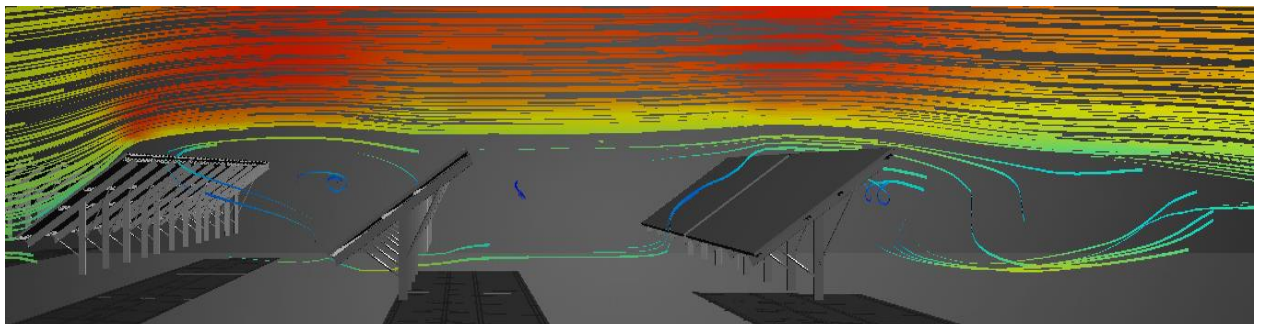
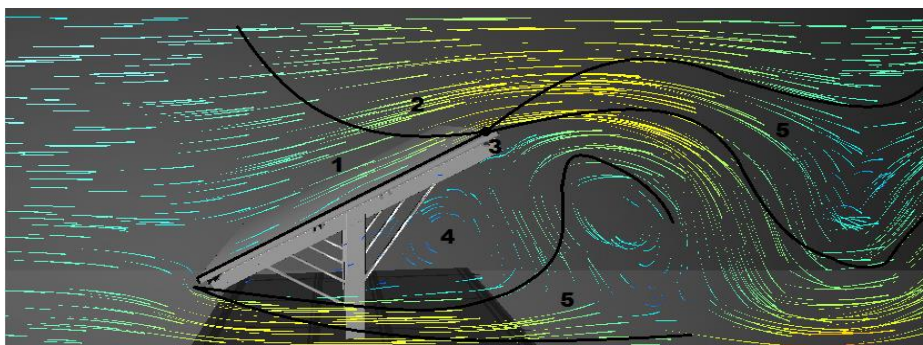


Figura 22 - Modelação 3D do parque de painéis fotovoltaicos no programa Autodesk Flow Design

No dimensionamento de estruturas deste tipo é necessário ter uma especial atenção ao sentido do escoamento do vento incidente, principalmente com vento a  $0^\circ$  (vento incidente na superfície superior do painel fotovoltaico) e a  $180^\circ$  (vento incidente na superfície inferior do painel fotovoltaico). Estes casos são os que oferecem maior resistência (obstáculo) ao escoamento do vento devido à sua área de superfície exposta diretamente ao fluxo de vento incidente.

Neste tipo de escoamentos de fluxo de vento podem ser reconhecidas diferentes zonas distintas com comportamentos de fluxo diferentes, identificadas na Figura 23. Dado o escoamento representado na Figura 23 com sentido original da esquerda para a direita é identificável, a Zona 1 que é uma zona de escoamento de regime linear proporcionada pelas baixas velocidades, a Zona 2 de transição entre o regime linear e um regime turbulento, o Ponto 3 é um ponto de separação, onde a lamina de regime linear acaba, e onde a velocidade toma valores nulos, ou muito próximos de  $0.00 \text{ m/s}$ , estes valores são dados pelos escoamentos de sentido contrário, que tendem a se equilibrar neste ponto. A partir deste ponto é criada a Zona 4 com um fluxo denominado “fluxo secundário” devido ao sentido do movimento das partículas contrário ao original, e a Zona 5 que é uma zona fundamentalmente turbulenta onde as velocidades são muito inconstantes e a direção e sentido do movimento não é bem definido.



*Figura 23 - Esquema representativo do comportamento do vento*

#### 3.2.4. AÇÕES EM ESTRUTURAS MONOPOSTE SEGUNDO O EUROCÓDIGO

As ações permanentes correspondem aos painéis fotovoltaicos acrescidas das barras longitudinais de suporte dos mesmos. Foi considerada uma carga uniformemente distribuída de  $0.20 \text{ kN/m}^2$ .

A ação do vento foi calculada com base no Eurocódigo 1: Ações em Estruturas – Parte 1-4: Ações de vento (NP EN 1991- 1-4 (2005)). De acordo com o Eurocódigo 1 e com a

localização do local onde serão instalados os painéis fotovoltaicos, obteve-se uma pressão dinâmica ( $W_k$ ) de pico do vento de  $0.80 \text{ kN/m}^2$ .

Também de acordo com o Eurocódigo 1: Ações em Estruturas – Parte 1-4: Ações de vento (NP EN 1991- 1-4 (2005)) os valores dos coeficientes de pressão resultantes  $C_{p,net}$  são (Figura 24):

			Coeficientes de pressão resultante $C_{p,net}$		
			Key plan		
Inclinação da cobertura $\alpha$	Obstrução $\phi$	Coeficientes de força global $c_f$	Zona A	Zona B	Zona C
0°	Máximo, qualquer $\phi$	+0,2	+0,5	+1,8	+1,1
	Mínimo, $\phi=0$	-0,5	-0,6	-1,3	-1,4
	Mínimo, $\phi=1$	-1,3	-1,5	-1,8	-2,2
5°	Máximo, qualquer $\phi$	+0,4	+0,8	+2,1	+1,3
	Mínimo, $\phi=0$	-0,7	-1,1	-1,7	-1,8
	Mínimo, $\phi=1$	-1,4	-1,6	-2,2	-2,5
10°	Máximo, qualquer $\phi$	+0,5	+1,2	+2,4	+1,6
	Mínimo, $\phi=0$	-0,9	-1,5	-2,0	-2,1
	Mínimo, $\phi=1$	-1,4	-1,6	-2,6	-2,7
15°	Máximo, qualquer $\phi$	+0,7	+1,4	+2,7	+1,8
	Mínimo, $\phi=0$	-1,1	-1,8	-2,4	-2,5
	Mínimo, $\phi=1$	-1,4	-1,6	-2,9	-3,0
20°	Máximo, qualquer $\phi$	+0,8	+1,7	+2,9	+2,1
	Mínimo, $\phi=0$	-1,3	-2,2	-2,8	-2,9
	Mínimo, $\phi=1$	-1,4	-1,6	-2,9	-3,0
25°	Máximo, qualquer $\phi$	+1,0	+2,0	+3,1	+2,3
	Mínimo, $\phi=0$	-1,6	-2,6	-3,2	-3,2
	Mínimo, $\phi=1$	-1,4	-1,5	-2,5	-2,8
30°	Máximo, qualquer $\phi$	+1,2	+2,2	+3,2	+2,4
	Mínimo, $\phi=0$	-1,8	-3,0	-3,8	-3,6
	Mínimo, $\phi=1$	-1,4	-1,5	-2,2	-2,7

NOTA: O sinal + indica uma ação resultante do vento com sentido descendente.  
O sinal - indica uma ação resultante do vento com sentido ascendente.

Figura 24 - Valores de  $C_{p,net}$  e de  $c_f$  para coberturas isoladas de uma só vertente

Considerando a inclinação dos painéis de aproximadamente  $30^\circ$  e que a passagem de vento é livre e sem obstáculos ( $\phi=0$ ) aplicou-se o coeficiente de -1.8 e que provoca ações de sucção na estrutura. Deste modo originam pressões de aproximadamente,  $1,50 \text{ kN/m}^2$ .

### 3.2.4.1. MODELO DE CÁLCULO

Com recurso a um programa de cálculo estrutural, efetuou-se uma análise linear elástica ao pórtico com o novo perfil. Na análise do pórtico, considerou-se uma largura de influência de 2,80m que corresponde ao afastamento entre estes (Figura 25).

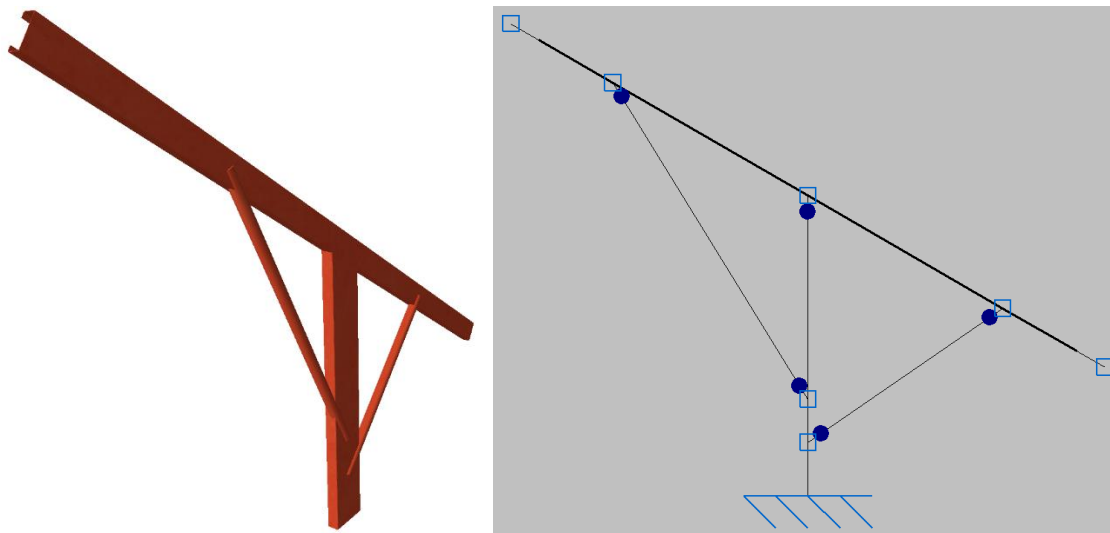


Figura 25 – Modelo e representação 3D de cálculo (pórtico tipo)

### 3.2.4.2. ESFORÇOS E REAÇÕES

Com a modelação anteriormente proposta foi possível quantificar os esforços axiais, e momento fletor, bem como um diagrama da capacidade de tensão admissível em estados de limite últimos (ELU) (Figura 26), e os deslocamentos da viga principal face à ação de sucção do vento em estados limite de serviço (ELS) (Figura 27).

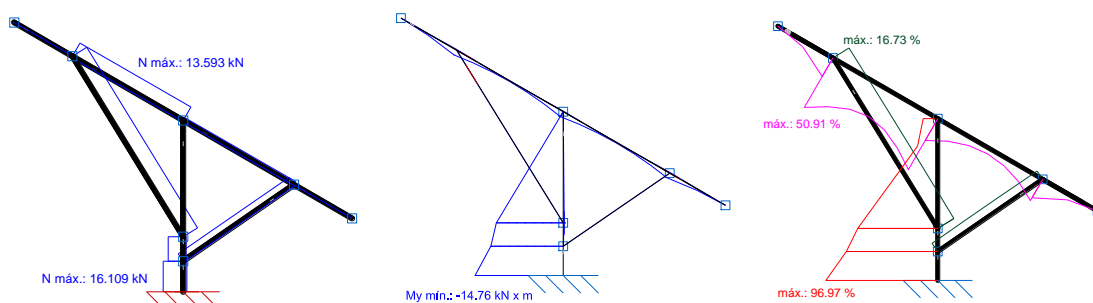


Figura 26 - Diagramas de esforço axial, momento fletor, e tensão admissível do pórtico tipo

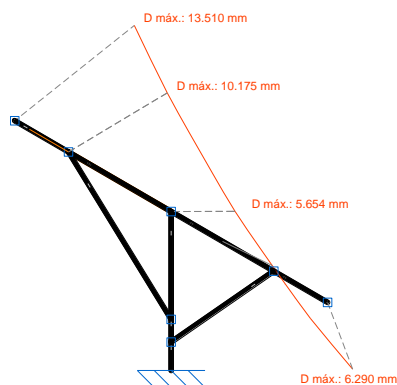


Figura 27 - Diagrama de deslocamentos da viga principal



A tabela seguinte referencia os valores máximos dos esforços axiais, e momento fletor na base da coluna (Tabela 6):

Tabela 6 - Valores máximos de esforço axial e momento fletor

<b>Esforço</b>		<b>Tensão Admissível (%)</b>
<b>Axial (kN)</b>	<b>Momento (kN.m)</b>	
16,109	14,760	95,97

A tabela seguinte referencia os valores máximos de deslocamentos da viga principal (Quadro 7 Tabela 6):

Quadro 7 - Valores máximos de deformação

<b>Deformação</b>	<b>Dmáx (mm)</b>
<b>Extremo Superior</b>	13,51
<b>Extremo Inferior</b>	6,29

### 3.2.5. SOLUÇÃO ALTERNATIVA AO DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA MONOPOSTE

Face ao problema previamente apresentado no capítulo anterior foram dimensionadas e modeladas fileiras pórticos de painéis fotovoltaicos sucessivas representativas do projeto do parque de painéis fotovoltaicos de estrutura monoposte num programa com a capacidade de simular o comportamento real do vento.

#### 3.2.5.1. QUANTIFICAÇÃO DE AÇÕES

Para conseguir replicar uma simulação o mais real possível, e o mais próxima possível da proposta de projeto original as ações permanentes consideradas foram exatamente as mesmas que as previamente propostas, foi então considerada uma carga uniformemente distribuída de  $0.20 \text{ kN/m}^2$  que corresponde ao peso painéis fotovoltaicos acrescidos das madres longitudinais.

No que toca à ação do vento, contrariando o que foi originalmente proposto, não se teve por base nenhum tipo de legislação, apenas foram fornecidas ao programa as informações de velocidade, e direção do vento. A velocidade considerada foi de cerca de  $27 \text{ m/s}$  (a mesma velocidade de vento consideradas na proposta original), e foi também considerado

que o vento pode provir de qualquer direção, pois a área que rodeia o parque de painéis fotovoltaicos é um terreno plano e aberto sem qualquer tipo obstrução significativa (exceto pela eventual vegetação rasteira).

### 3.2.5.2. AUTODESK ROBOT STRUTURAL ANALYSIS

Para a dita simulação do comportamento e obtenção dos valores da carga do vento foi utilizado o programa Autodesk Robot Structural Analysis que oferece uma vasta gama de opções geométricas de perfis, diferentes tipos de materiais, e uma interface 3D simples de utilizar, tornando-o assim um programa recomendado para a modelação de estruturas metálicas.

A opção “gerar cargas de vento” permite simular a corrente de vento que envolve a estrutura, e gerar as cargas de vento correspondentes automaticamente.

O programa Autodesk Robot Structural Analysis utiliza uma tecnologia CFD (computational fluid Dynamics) que permite simular a corrente de vento à volta da estrutura, esta tecnologia de simulação age como um túnel de vento, e permite visualizar a pressão exercida na estrutura através de um mapa de pressões colorido (Figura 28).

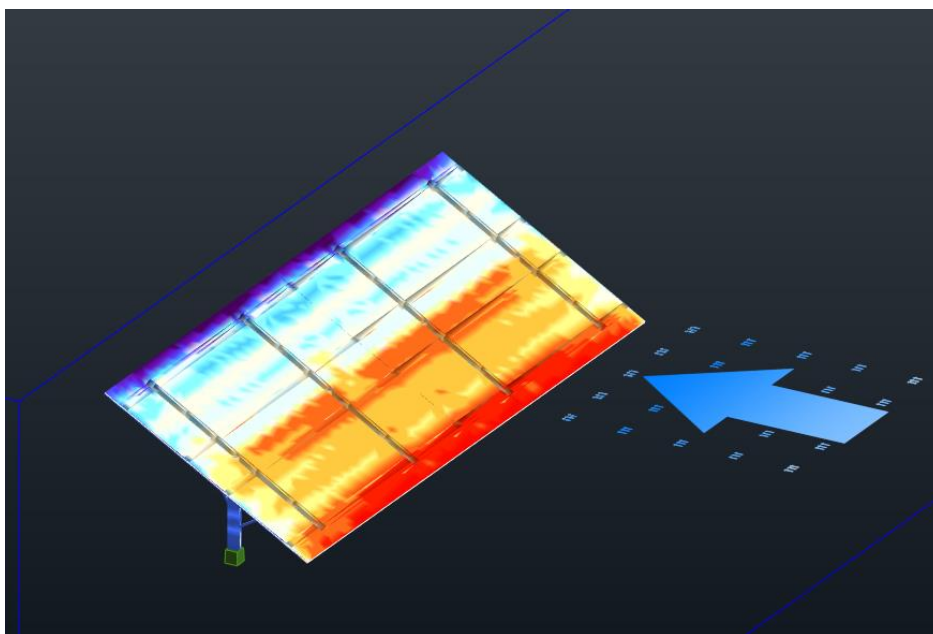


Figura 28 - Simulação de cargas de vento no programa Autodesk Robot Structural Analysis

### 3.2.5.3. MODELAÇÃO DE UM PORTICO ISOLADO

Como teste de controlo foi dimensionado e modelado apenas um pórtico de painéis isolado para verificar a veracidade do programa e as suas capacidades. Foi então testado um pórtico de painéis isolado com uma velocidade de vento de 27,0 m/s e vento em todas as direções (Figura 29).

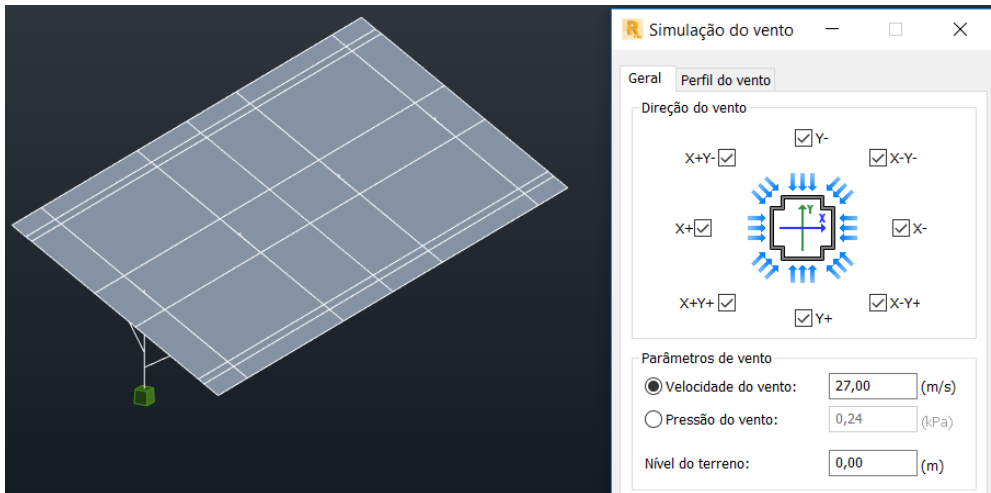


Figura 29 - Definição dos parâmetros da simulação do vento

Por defeito o pórtico de painéis encontra-se orientado na direção X+, ou seja, a face superior do pórtico de painéis está na mesma direção do sentido positivo do eixo X (Figura 30).

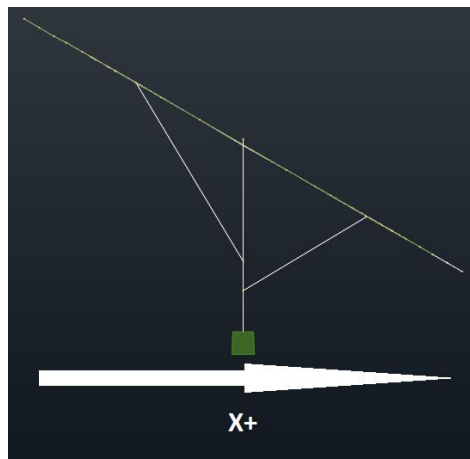


Figura 30 - Orientação do pórtico de painéis fotovoltaicos

Após a ação do vento ter sido simulada em todas as direções possíveis foi possível retirar os valores de esforço axial e momento na base da coluna/estaca principal em estados limites últimos (ELU) (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores de esforço Axial e momento fletor do pórtico de painéis fotovoltaicos simulado

Esforços	Direção							
	X+	X+Y+	Y+	X-Y+	X-	X-Y-	Y-	X+Y-
<b>Esforço Axial (kN)</b>	14,46	8,15	0,69	3,35	3,75	3,21	0,39	7,9
<b>Momento fletor (kN.m)</b>	11,37	9,44	0,19	3,14	1,79	2,98	0,1	9,26

E tal como era esperado, os maiores esforços são dados quando o vento incidente é perpendicular ao pórtico de painéis fotovoltaicos, e quando este incide na face inferior dos mesmos, este fenómeno acontece, pois, quando os painéis estão dispostos numa direção perpendicular à do vento incidente estes oferecem mais área de superfície, e, portanto, mais resistência à corrente do vento (Figura 31).

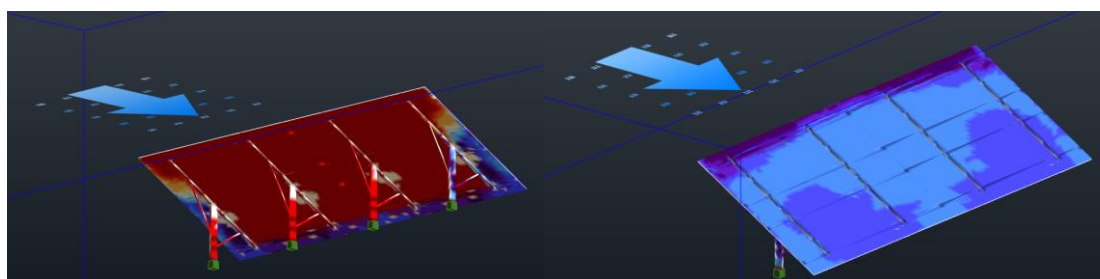


Figura 31 - Mapa de pressão do vento incidente na direção perpendicular aos painéis X+

Também foi possível verificar a deformação da viga principal (Figura 32) na direção que oferece maior esforço (direção X+) em estados limites de serviço (SLS) (Tabela 9).

Tabela 9 - Deformação dos pórtico de paineis fotovoltaicos simulado segundo a direção X+

Deformação	D <sub>máx</sub> (mm)
<b>Extremo Superior</b>	6,00
<b>Extremo Inferior</b>	3,00



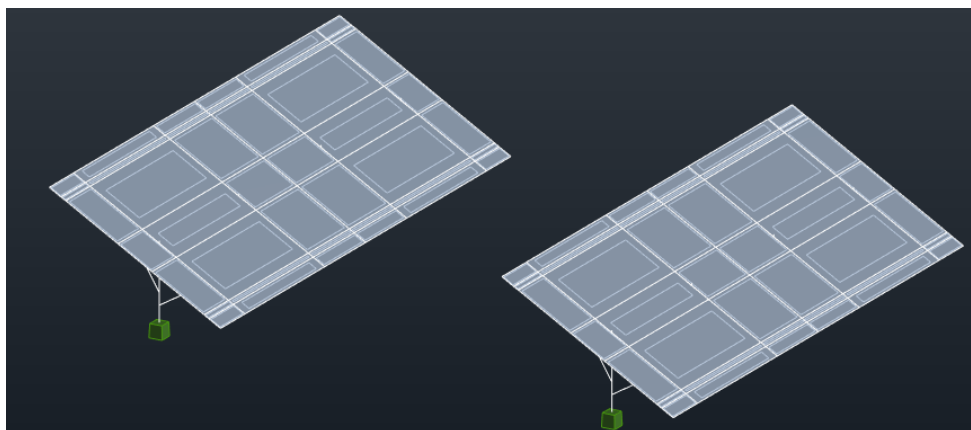


Figura 33 - Modelação de duas fileiras de pórticos de painéis fotovoltaicos

### 3.2.5.6. ESFORÇOS E DEFORMAÇÕES

Tendo em conta que a direção mais desfavorável para o dimensionamento dos painéis, que oferece maiores esforços, é a direção X+, foram retirados os valores dos esforços axiais e de momento fletor na base da coluna/estaca principal em estados limites últimos (ELU) (Figura 34) de ambos os pórticos de painéis fotovoltaicos (Tabela 11), e as suas conseqüentes deformadas (Figura 35) em estados limite de serviço (SLS) (Tabela 12).

Tabela 11 - Valores de esforço Axial e momento fletor em pórticos de painéis fotovoltaicos sucessivos

Direção	X+	
Esforços	Painel Exposto	Painel Protegido
Esforço Axial (kN)	13,52	2,99
Momento fletor (kN.m)	10,86	2,65

Tabela 12 - Deformação dos pórtico de paineis fotovoltaicos sucessivos

Direção	X+	
Deformação	Painel Exposto	Painel Protegido
Extremo Superior (mm)	1,3	0,3
Extremo Inferior (mm)	0,7	0,2

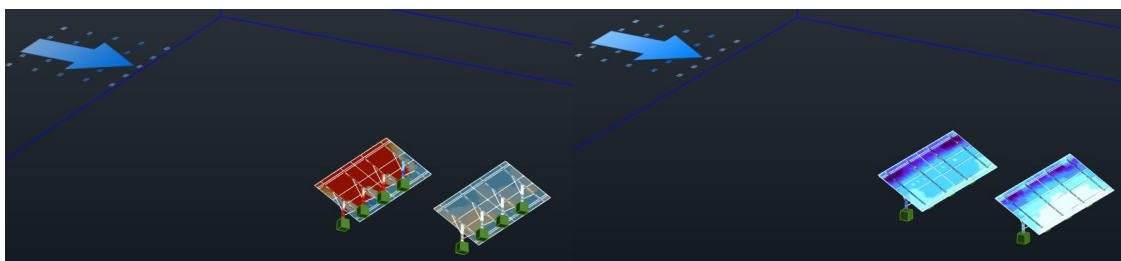


Figura 34 - Mapa de pressão do vento nos pórticos sucessivos de painéis

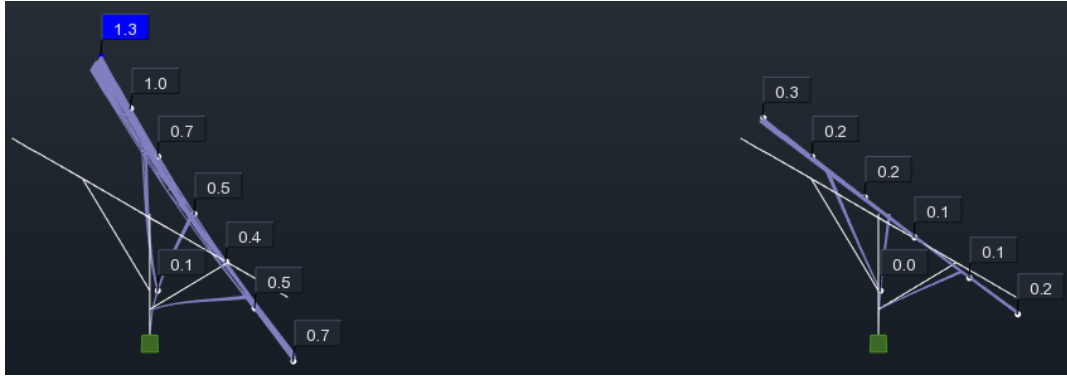


Figura 35 - Diagrama da deformada dos pórticos de painéis fotovoltaicos sucessivos

### 3.2.6. RESULTADOS

Comparando os resultados de esforços obtidos do segundo painel com os resultados de esforços do primeiro painel pode-se comprovar que o “efeito de esteira” e a “sombra do vento” dada pela obstrução do painel exposto influenciam o comportamento do vento, os valores de pressão nos painéis subsequentes (Tabela 13), e as suas respectivas deformações (Tabela 14).

Tabela 13 - Comparação de esforços entre fileiras de painéis fotovoltaicos consecutivas

<b>Esforços</b>	<b>Fração de esforço resultante da coluna do Painel Protegido (%)</b>
<b>Esforço Axial (kN)</b>	22,12
<b>Momento fletor (kN.m)</b>	24,40

Tabela 14 - Comparação de deformações entre fileiras de painéis fotovoltaicos consecutivas

<b>Deformação</b>	<b>Fração de deformação resultante da viga principal do Painel Protegido (%)</b>
<b>Extremo Superior (mm)</b>	23,08
<b>Extremo Inferior (mm)</b>	28,57

Com base nos resultados de esforço axial e momento fletor obtidos na Tabela 11 dos pórticos de painéis fotovoltaicos, e com base nas informações tabeladas das características das secções tipo “C” formadas a frio foi possível dimensionar e

desenvolver uma solução ótima mais adequada e com um melhor aproveitamento em termos de tensão admissível (Tabela 15).

*Tabela 15 - Dimensionamento de secção ótima do painel protegido*

	<b>Esforço Axial (kN)</b>	<b>Momento Fletor (kN.m)</b>	<b>Secção Ótima</b>	<b>Classe de Resistência Aço</b>	<b>Aproveitamento de Capacidade Tensão Admissível (%)</b>
<b>Painel Original</b>	16,11	14,76	C200x65x3	S275JR	96,97
<b>Painel Protegido</b>	2,99	2,65	C100x50x1,5		91,93

Com base em valores tabelados de preços atuais de peças simples de perfis metálicos foi possível determinar e comparar o preço das duas soluções (Tabela 16).

*Tabela 16 - Preço da secção das soluções adotadas*

	<b>Peso da Secção Aço (Kg/m)</b>	<b>Quantidade de Aço por Pórtico (Kg)</b>	<b>Custo de Aço por Pórtico (€)</b>
<b>Painel Original</b>	8,16	114,24	231.91
<b>Painel Protegido</b>	2,66	37,24	75.60



### 3.3. RELATÓRIO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DA ESTRUTURA DE SUPORTE DE APOIO LIVRE

O seguinte capítulo visa explicar o sistema estrutural de estruturas de suporte de painéis fotovoltaicos apoio livre, bem como o procedimento experimental realizado para descobrir o coeficiente de atrito entre os apoios da estrutura de suporte com a base, onde os painéis serão instalados.

#### 3.3.1. CONFIGURAÇÃO E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os testes de atrito realizados consistem em determinar o coeficiente de atrito estático e dinâmico entre a camada de impermeabilização betuminosa existente na cobertura onde a solução vai ser instalada, e a membrana aderente na base dos apoios dos painéis fotovoltaicos através de um aparelho representativo de um dos apoios dos painéis que é puxado a uma velocidade constante por uma célula de tensão com 5kN de força (Figura 36).

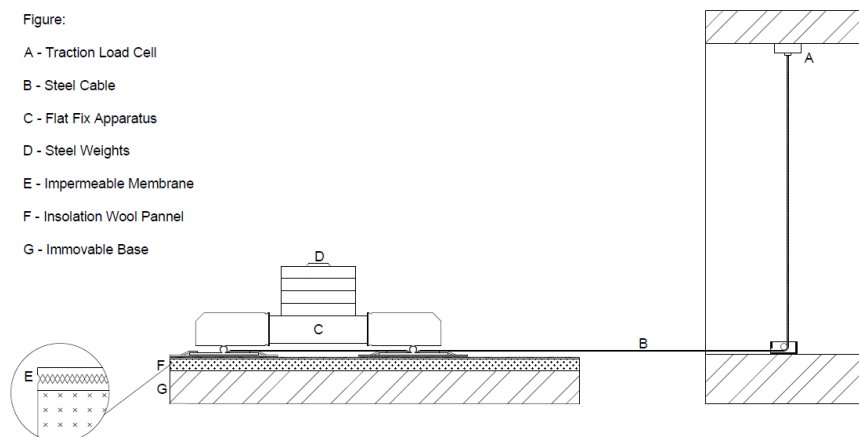


Figura 36 - Esquema pormenorizado do procedimento experimental

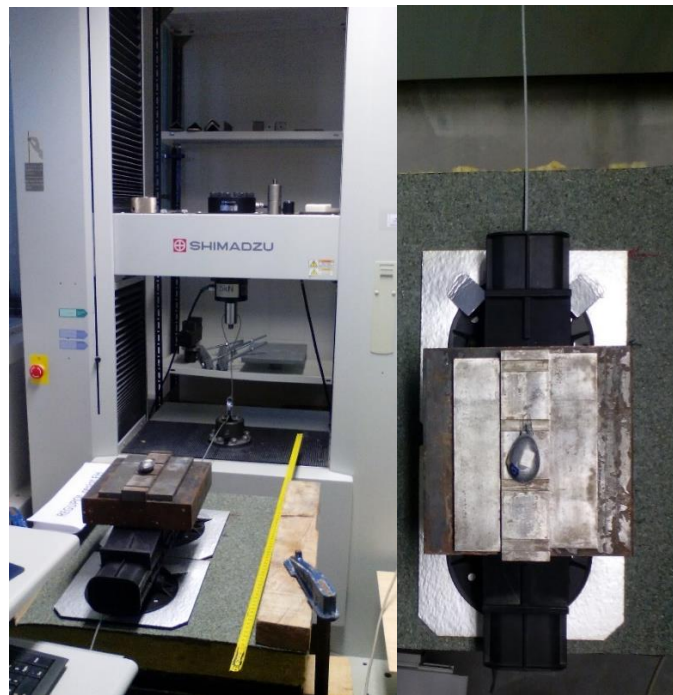
No topo da base fixa {G} foi colocada uma camada de isolamento térmico {F} seguida de uma membrana impermeável {E} (de maneira a recrear a configuração das coberturas onde a solução vai ser aplicada) fixas por grampos mecânicos para tornar todo este sistema imóvel.

Na base do aparelho Flatfix {C} foram colocadas as varias membranas que irão interagir com a membrana impermeável sendo estas o alvo do ensaio a realizar, no topo do aparelho foram colocados peso de aço para simular a carga distribuída ao longo do sistema da solução Flatfix. O aparelho em si consiste num dos apoios isolado que vai ser utilizado

para a solução, este é colocado na zona mais afastada da base imóvel para quando o ensaio começar este tenha espaço suficiente para ser puxado pela célula de tração.

A célula de tração {A} está conectada ao aparelho através de um segmento de um cabo de aço tensionado {B} horizontal puxando assim a parte móvel da experiência e fazendo com que esta interaja com a sua contraparte imóvel.

*\*Todas as notas {#} fazem referencia ao elemento correspondente identificado com a letra análoga na Figura 36.*



*Figura 37 – Aparelho experimental Flatfix*

O objetivo deste procedimento experimental é fazer com que a célula mecânica puxe o aparelho sobre a superfície rugosa determinando assim a quantidade de força necessária para o retirar do seu estado de repouso e a quantidade de força necessária para manter um movimento constante e contínuo ao longo da plataforma, obtendo assim respetivamente o valor do coeficiente de atrito estático e dinâmico (Figura 37).

### 3.3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO APARELHO

Para recriar uma representação realística da configuração existente a carga distribuída ao longo do suporte do painel fotovoltaico foi dividida como uma força pontual num dos apoios.

Dependendo da posição relativa á cobertura onde este vai ser instalado e dependendo da sua exposição ao vento o valor da carga distribuída a ser adicionada ao suporte dos painéis fotovoltaicos também varia (Tabela 17).

*Tabela 17 - Posição e correspondente carga dos painéis fotovoltaicos*

<b>Posição do Painel</b>	Painel Interior	Painel de Bordo	Painel de Canto
<b>Carga Distribuída (Kg)</b>	26,0	39,0	47,6
<b>Carga Pontual(Kg)</b>	13,0	19,5	23,8

### 3.3.3. CARATERISTICAS DOS MATERIAIS

A pedido do cliente foram testadas diferentes membranas (Tabela 18) para que se pudesse escolher a mais eficiente e que atingissem melhores resultados nos que diz respeito a forças de arrasto.

*Tabela 18 - Características geométricas das membranas de interface*

<b>Membrana</b>	REGUPOL resist FH	REGUPOL resist solar AK	SIPLAST PARAFOR SOLO GFM	
<b>Características da Interface</b>	Interface Sem Alumínio	Interface com Alumínio	Interface Betuminosa	Interface de Xisto
<b>Comprimento (mm)</b>	200	200	200	200
<b>Largura (mm)</b>	200	200	200	200
<b>Espessura (mm)</b>	4	4	4	4

### 3.3.4. TESTE DE APOIOS LIVRES

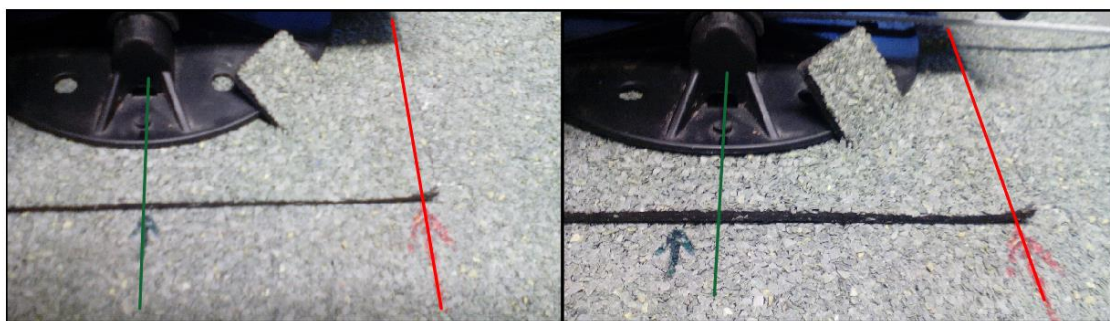
Nos primeiros testes realizados o apoio do aparelho não estava fisicamente conectado com a membrana de interface, estava apenas em estado de repouso sobre ela. Neste ensaio pode-se observar que apos ser aplicada a força os apoios deslizavam sobre a membrana (Figura 38), contradizendo o comportamento esperado, onde o aparelho e a membrana eram supostos de funcionar como um só corpo e moverem sobre a membrana da base.



*Figura 38 - Teste de apoio livre*

### 3.3.5. TESTE DE APOIOS SEGUROS POR PATILHAS

Numa segunda tentativa, onde o apoio estava fisicamente ligado à membrana através de umas patilhas recortadas a partir da própria membrana, os resultados mantiveram-se os mesmos (Figura 39). No momento em que o apoio do aparelho entrava em contacto com a patilha esta cedia e acabava por rasgar, continuando assim a contradizer o resultado esperado.



*Figura 39 - Teste de apoios seguros por patilhas*

### 3.3.6. TESTE DE APOIOS FIXOS

De maneira a fazer o ensaio possível, as membranas foram coladas aos apoios com uma resina epóxi de alta resistência possibilitando que o apoio e a membrana trabalhassem como um só corpo. Desta maneira foi possível mover o aparelho (Figura 40), as membranas e os respetivos pesos em relação à membrana da cobertura, obtendo assim os valores de coeficiente de atrito.



Figura 40 - Teste de apoios fixos

### 3.3.7. COEFICIENTE DE ATRITO ESTÁTICO

O coeficiente de atrito estático ( $\mu_s$ ) pode ser determinado pela relação entre a força de atrito estático e a força normal ao plano de arrasto:

$$\mu_s = \frac{F_s}{F_n}$$

Onde a força de atrito ( $F_s$ ) é a maior força necessária para mover o objeto e retirá-lo do seu estado de repouso, enquanto que a força normal ( $F_n$ ) é a força produzida pelo peso do aparelho:

$$F_n = m \times g \times \cos \alpha \text{ [N]}$$

A aceleração gravítica ( $g$ ) considerada foi de  $9,807 \text{ m/s}^2$ , como é geralmente considerado, a massa ( $m$ ) considerada depende do caso de estudo como já foi referido anteriormente. Para replicar o caso das coberturas planas, o ensaio foi feito também numa base plana considerando então o valor de  $\cos \alpha$  aproximadamente 1,00 (Figura 41).

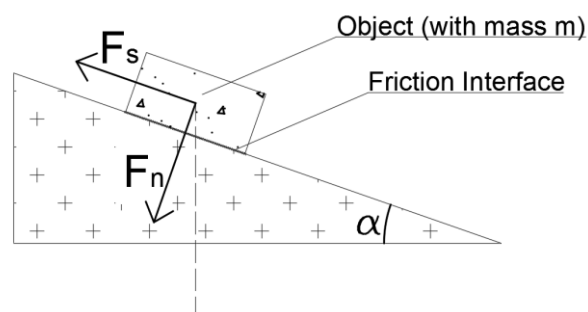


Figura 41 - Esquema exemplificativo de um sistema de força de atrito estática

As seguintes tabelas (Tabela 19) resumem a informação recolhida nos testes de com os apoios fixos (Anexo G)

Tabela 19 - Força de atrito estática média

	REGUPOL RESIST FH	REGUPOL RESIST SOLAR AK	SIPLAST PARAFOR SOLO GFM (BITUMINOUS INTERFACE)	SIPLAST PARAFOR SOLO GFM (SCHIST INTERFACE)
<b>FORÇA MÉDIA NO CASO DE 13 KG [N]</b>	181,9	177,2	192,8	189,7
<b>FORÇA MÉDIA NO CASO DE 23,8 KG [N]</b>	311,6	307,7	305,2	338,0

A partir dos valores de força de atrito estática ( $F_s$ ) o coeficiente de atrito estático resultante dos diferentes materiais testados são os seguintes (Tabela 20):

Tabela 20 - Coeficiente de atrito estático médio

	REGUPOL RESIST FH	REGUPOL RESIST SOLAR AK	SIPLAST PARAFOR SOLO GFM (BITUMINOUS INTERFACE)	SIPLAST PARAFOR SOLO GFM (SCHIST INTERFACE)
COEFICIENTE DE ATRITO NO CASO DE 13 KG	1,36	1,32	1,44	1,42
COEFICIENTE DE ATRITO NO CASO DE 23,8 KG	1,30	1,28	1,27	1,41
<b>COEFICIENTE DE ATRITO MÉDIO</b>	<b>1,33</b>	<b>1,30</b>	<b>1,36</b>	<b>1,41</b>

### 3.3.8. COEFICIENTE DE ATRITO DINÂMICO

A força de atrito dinâmica ( $\mu_k$ ) pode ser determinado pela relação entre a força de atrito dinâmica e a força normal produzida pelo aparelho:

$$\mu_k = \frac{F_k}{F_n}$$

Onde a força de atrito dinâmica ( $F_k$ ) é a media de quantidade de força necessária para mover o aparelho a uma velocidade continua e constante apos este perder o seu estado de repouso (Figura 42).

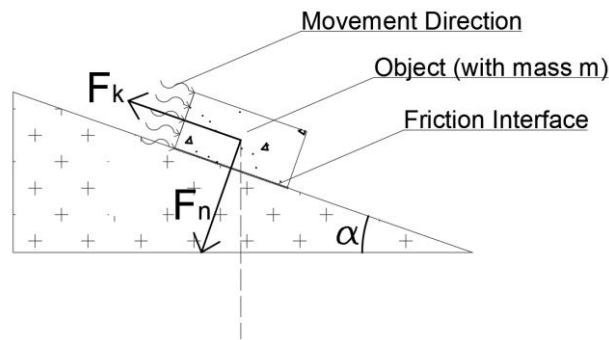


Figura 42 - Esquema exemplificativo de um sistema de força de atrito dinâmica

As seguintes tabelas (Tabela 21) resumem a informação recolhida nos testes de com os apoios fixos (Anexo G)

Tabela 21 - Força de atrito dinâmico média

	REGUPOL RESIST FH	REGUPOL RESIST SOLAR AK	SIPLAST PARAFOR SOLO GFM (BITUMINOUS INTERFACE)	SIPLAST PARAFOR SOLO GFM (SCHIST INTERFACE)
<b>FORÇA MÉDIA NO CASO DE 13 KG [N]</b>	171,5	162,3	151,0	169,7
<b>FORÇA MÉDIA NO CASO DE 23,8 KG [N]</b>	293,8	288,7	255,5	288,2

A partir dos valores de força de atrito dinâmica ( $F_k$ ) o coeficiente de atrito resultante dos diferentes materiais testados são os seguintes (Tabela 22):

*Tabela 22 - Coeficiente de atrito dinâmico médio*

	<b>REGUPOL RESIST FH</b>	<b>REGUPOL RESIST SOLAR AK</b>	<b>SIPLAST PARAFOR SOLO GFM (BITUMINOUS INTERFACE)</b>	<b>SIPLAST PARAFOR SOLO GFM (SCHIST INTERFACE)</b>
COEFICIENTE DE ATRITO NO CASO DE 13 KG	1,28	1,21	1,13	1,27
COEFICIENTE DE ATRITO NO CASO DE 23,8 KG	1,22	1,20	1,07	1,20
<b>COEFICIENTE DE ATRITO MÉDIO</b>	<b>1,25</b>	<b>1,21</b>	<b>1,10</b>	<b>1,23</b>



## 3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- No que diz respeito ao estudo do comportamento do vento aplicado ao parque de painéis fotovoltaicos, e com base nos resultados apresentados na Tabela 13 pode-se verificar que nos painéis “protegidos” existe uma enorme diminuição de esforços, de deformações e de solicitações, o que leva a um melhor aproveitamento no dimensionamento das secções metálicas, e conseqüentemente um melhor rendimento económico face ao dimensionamento segundo a legislação aplicável. Aplicando o estudo ao problema proposto inicialmente pode-se observar (Figura 43) que existe uma grande porção de pórticos de painéis fotovoltaicos protegidos o que leva a uma redução de custos em estruturas metálicas de suporte dos painéis na ordem dos 26,48% do seu custo original.

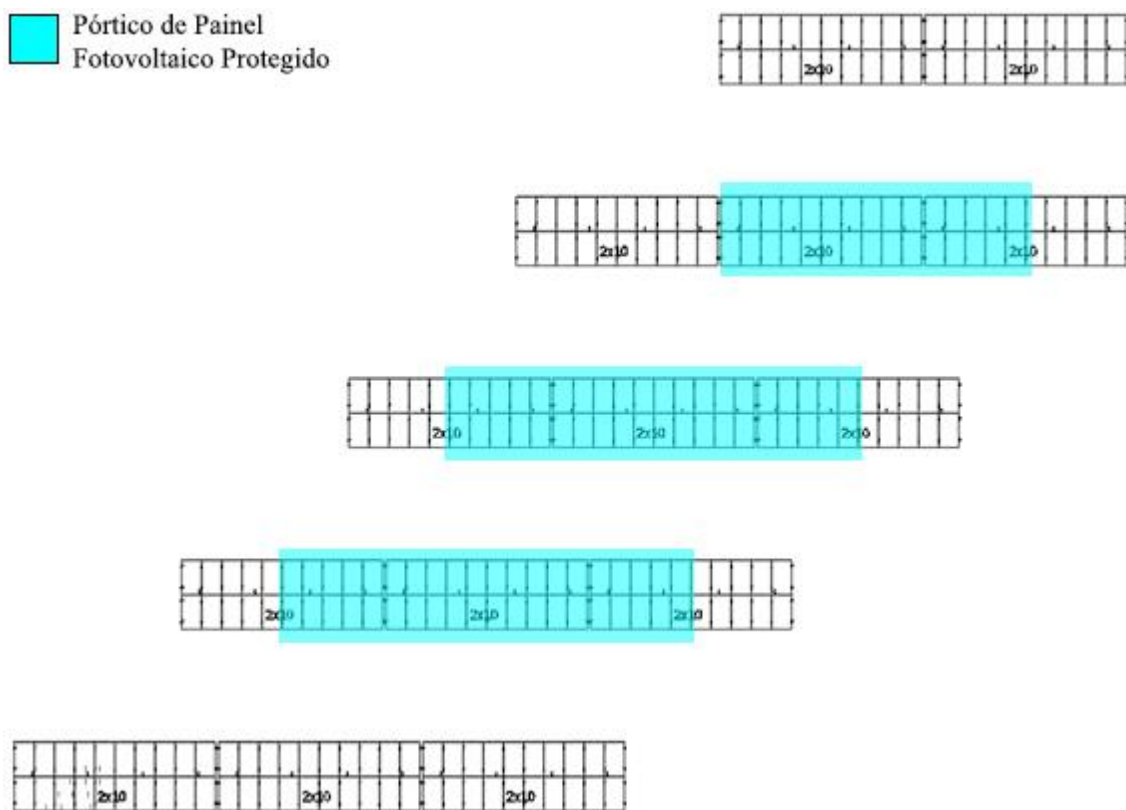


Figura 43 - Pórticos de painéis fotovoltaicos protegidos

Porém esta é uma solução que é mais difícil de executar, é necessário utilizar as ferramentas informáticas específicas e adequadas, leva mais tempo a dimensionar, bem como de momento ainda não existem nenhum tipo de legislações que suportem este tipo de abordagem, nem regras que especifiquem pormenores, tais como proceder em caso de manutenções dos painéis fotovoltaicos, onde os painéis protegidos podem potencialmente ficar desprotegidos na duração da manutenção, entre outros.

• Quanto aos testes de atrito nas bases dos apoios das estruturas de suporte de painéis fotovoltaicos, pode-se verificar que a solução, como foi apresentada, sem qualquer tipo de agente que mantenha o aparelho fixo à membrana de interface, como algum tipo de cola resinosa, rebites ou parafusos, o coeficiente de atrito entre as duas membranas (membrana de interface no apoio do aparelho e a camada impermeável da cobertura) não pode ser determinado pois o coeficiente de atrito entre o próprio apoio e sua membrana de interface é menor que o coeficiente de atrito entre as membranas, fazendo com que o aparelho deslize.

Tal como esperado, independentemente da carga adicionada ao aparelho, o coeficiente de atrito não varia significativamente em cada caso específico, o que significa que a deformação da camada de isolamento de la de rocha não proporciona um fator limitante que altere os resultados dos valores de coeficiente de atrito (Tabela 23).

*Tabela 23 - Coeficientes de atritos estáticos e dinâmicos finais*

	<b>COEFICIENTE DE ATRITO ESTÁTICO, <math>\mu_s</math></b>	<b>COEFICIENTE DE ATRITO DINÂMICO, <math>\mu_k</math></b>
<b>REGUPOL RESIST FH</b>	1,33	1,25
<b>REGUPOL RESIST SOLAR AK</b>	1,30	1,21
<b>SIPLAST PARAFOR SOLO GFM (BITUMINOUS INTERFACE)</b>	1,36	1,10
<b>SIPLAST PARAFOR SOLO GFM (SCHIST INTERFACE)</b>	1,41	1,23

No caso de, por alguma razão, o agente que mantém o aparelho fixo à membrana quebrar (libertando o apoio e fazendo com que este deslize sobre a membrana), com a informação retirada do “Anexo E” e com os processos de cálculo demonstrados anteriormente pôde ser determinado respetivamente os coeficientes de atrito estáticos e dinâmicos (Tabela 24):

*Tabela 24 - Coeficientes de atrito estáticos e dinâmicos da interface entre os apoios e as membranas*

	<b>COEFICIENTE DE ATRITO ESTÁTICO, <math>\mu_s</math></b>	<b>COEFICIENTE DE ATRITO DINÂMICO, <math>\mu_k</math></b>
<b>REGUPOL RESIST FH</b>	0,90	0,90
<b>REGUPOL RESIST SOLAR AK</b>	0,38	0,38
<b>SIPLAST PARAFOR SOLO GFM (BITUMINOUS INTERFACE)</b>	0,67	0,69
<b>SIPLAST PARAFOR SOLO GFM (SCHIST INTERFACE)</b>	0,83	0,76

## ***Capítulo 4***

---

*Conclusões Finais e Trabalhos Futuros*

#### **4. CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS**

Durante os nove meses de estágio curricular foram desenvolvidos diversos trabalhos de engenharia, com o apoio dos colaboradores da empresa FOeng, nas diferentes especialidades de projeto existentes. O que permitiu confrontar as capacidades académicas adquiridas ao longo do mestrado em engenharia civil com problemas de engenharia civil, e poder aplicar todas os métodos de resolução possíveis e todas as diferentes abordagens que se podem tomar.

Para além da vantagem de poder debater as soluções e receber a orientação de um grupo coordenado de engenheiros com uma vasta experiência no ramo da engenharia civil, um estágio curricular num gabinete de projeto possibilita uma melhor perspetiva sobre o mercado de trabalho, bem como uma melhor perceção do trabalho realizado por um projetista através da simples vivencia da dinâmica do dia-a-dia dos engenheiros da empresa FOeng.

Hoje em dia os requisitos exigidos de um projetista de engenharia civil são cada vez mais elevados e complexos devido à fastigiosa concorrência do mercado de trabalho e da sofisticação dos projetos de engenharia, exigências estas que são adquiridas com experiência de trabalho, que torna um estágio curricular numa importante mais valia.

No que diz respeito ao estudo realizado da ação do vento segundo um modelo de calculo que replica o seu comportamento real, para que esta solução se torne viável no futuro é necessário estudar diversos casos reais, em campo, onde são medidos os valores de tensão e deformação da estrutura de suporte de painéis fotovoltaicos para comprovar os valores obtidos no modelos informáticos, bem como desenvolver toda a legislação necessária que atenta nos diversos pormenores (o ângulo dos painéis fotovoltaicos, o sistema de apoio das estruturas de suporte de painéis, o afastamento entre as fileiras de painéis, a velocidade do vento, entre outros).

## ***Referências Bibliográficas***

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ArcelorMittal. (2013). *Lajes Mistas*.

ArcelorMittal. (2014). *Sections and Merchands Bars*.

Cachim, P. (2005). *Lajes de betão armado*. Universidade de Aveiro.

Cachim, P. (2010). *Pré-dimensionamento de lajes vigas e pilares*. Universidade de Aveiro.

Cachim, P., & Morais, M. (2013). *Estruturas de betão BASES DE CÁLCULO*. Porto: Publindústria, Edições Técnicas.

Correia dos Reis, A., Brazão Farinha, M., & Brazão Farinha, J. P. (2012). *Tabelas Técnicas*. Edições Técnicas E.T.L., Lda.

Cype Ingenieros, S.A. (2010). *Cypecad-Manual do Utilizador*.

Cype Ingenieros, S.A. (2010). *Novo metal 3D-Manual do Utilizador*.

ESDEC INNOVATIVE MOUNTING SYSTEMS. *The Innovative and Quick System for Flat Roofs – Flatfix Fusion*.

NP EN 1990 (2009). *Eurocódigo – Bases para o projecto de estruturas*. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 1991 (2009). *Eurocódigo 1 – Acções em estruturas*. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 1992 (2010). *Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão*. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 1993 (2010). *Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço*. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 1997 (2010). *Eurocódigo 7 – Projecto geotécnico*. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 1998 (2010). *Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos*. Instituto Português da Qualidade.

NP EN ISO 9001 (2008). *Manual de Gestão da Qualidade*.

Oliveira, Leandro C.N.S., (2013). *Estudo das Acções do Vento em Painéis Fotovoltaicos. Relatório de Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, Porto.

Portaria n.º 113/2015 de 22 de Abril.

Portaria n.º 701-H/2008 de 29 de Julho.

REBAP (1983). Decreto-Lei n.º 349-C/83 de 30 de Julho. *Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado*.

RSA (1983). Decreto-Lei n.º 235/83 de 31 de Maio. *Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes*.

Utilperfil. *PERFIL C – Perfis enformados a frio a partir de aço com pré-galvanização Z275 segundo a Euronorma EN10142*.

**Websites consultados:**

<http://www.fo-engenheiros.com/foeng/pt>

<http://www.autodesk.pt/>

<http://www.pgdlisboa.pt/>

<http://www.geradordeprecos.info/>

<https://www.microsoft.com>

<http://www.cype.pt/>

<http://www.topinformatica.pt/>

<http://www.utilperfil.pt/>

<https://www.esdec.com/>

**Softwares Utilizados:**

[AutoCad: 2017]: <http://www.autodesk.pt/>

[Flow Design]: <http://www.autodesk.pt/>

[Cype]: <http://www.topinformatica.pt/>

[Robot Structural Analysis Professional]: <http://www.autodesk.pt/>

[Microsoft Office: 2016]: <https://www.microsoft.com>





## ***Anexos***

---







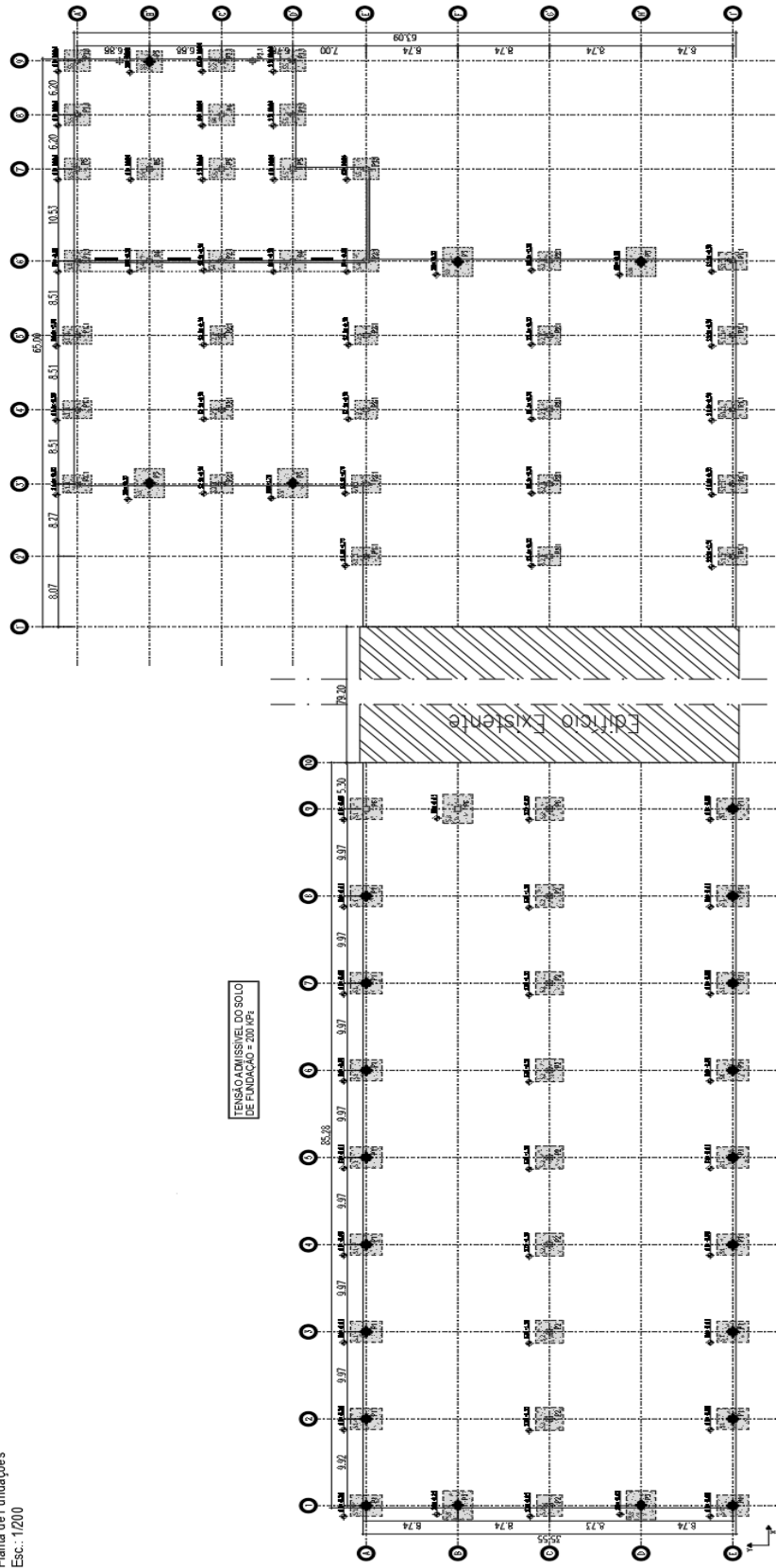
## ANEXO B

Referencia do Muro	Quantidade	Comprimento Total (m)	Volume Betão Muro (m <sup>3</sup> )	Volume Betão Fundação (m <sup>3</sup> )	Volume Betão Total (m <sup>3</sup> )	Volume Betão Limpeza (m <sup>3</sup> )
Muro Ext. 1	5	34,65	54,57	41,58	96,15	6,93
Muro Ext. 2	3	18,41	20,25	17,67	37,92	2,95
Muro Ext. 3	7	47,03	45,27	32,92	78,19	6,58
Muro Ext. 4	3	34,19	23,08	17,10	40,17	4,27
Muro Ext. 5	3	33,69	18,95	13,48	32,43	3,37
Muro Ext. 6	4	60,29	27,13	24,12	51,25	6,03
<b>TOTAL</b>	25	228,26	189,25	146,86	336,11	30,13

Referencia do Muro	Quantidade	Comprimento Total (m)	Escavação de Talude (m <sup>3</sup> )	Escavação de Fundação (m <sup>3</sup> )	Escavação de Muro (m <sup>3</sup> )	Escavação de Cunhas de Terras (m <sup>3</sup> )	Escavação Total (m <sup>3</sup> )
Muro Ext. 1	5	34,65	450,62	41,58	54,57	35,09	581,87
Muro Ext. 2	3	18,41	194,78	17,67	20,25	14,98	247,68
Muro Ext. 3	7	47,03	376,24	32,92	45,27	34,97	489,39
Muro Ext. 4	3	34,19	197,62	17,10	23,08	23,18	260,97
Muro Ext. 5	3	33,69	141,67	13,48	18,95	17,00	191,09
Muro Ext. 6	4	60,29	173,64	24,12	27,13	33,45	258,33
<b>TOTAL</b>	25	228,26	1534,56	146,86	189,25	158,66	2029,33



# ANEXO C



Planta de Fundações  
Esc.: 1/200





## ANEXO D

Referencia do Muro	Quantidade	Comprimento Total (m)	Volume Betão Muro (m <sup>3</sup> )	Volume Betão Fundação (m <sup>3</sup> )	Volume Betão Total (m <sup>3</sup> )	Volume Betão Limpeza (m <sup>3</sup> )
Muro Int. 1	11	94,09	115,26	207,00	322,26	25,87
Muro Int. 2	5	43,22	32,42	42,14	74,55	8,43
Muro Int. 3	10	75,36	37,68	56,52	94,20	11,30
Muro Int. 4	17	147,78	44,33	82,76	127,09	20,69
Muro Int. 5	3	79,51	15,90	25,44	41,35	6,36
Muro Res.	5	20,24	16,18	44,53	60,71	5,57
<b>TOTAL</b>	<b>51</b>	<b>439,96</b>	<b>245,59</b>	<b>413,86</b>	<b>659,45</b>	<b>78,22</b>

Referencia do Muro	Quantidade	Comprimento Total (m)	Escavação de Talude (m <sup>3</sup> )	Escavação de Fundação (m <sup>3</sup> )	Escavação de Muro (m <sup>3</sup> )	Escavação de Cunhas de Terras (m <sup>3</sup> )	Escavação Total (m <sup>3</sup> )
Muro Int. 1	11	94,09	869,86	207,00	115,26	757,42	1949,54
Muro Int. 2	5	43,22	194,49	42,14	32,42	172,88	441,92
Muro Int. 3	10	75,36	235,50	56,52	37,68	263,76	593,46
Muro Int. 4	17	147,78	266,74	82,76	44,33	266,00	659,84
Muro Int. 5	3	79,51	77,92	25,44	15,90	47,71	166,97
Muro Res.	5	20,24	0,00	44,53	16,18	23,78	84,49
<b>TOTAL</b>	<b>51</b>	<b>439,96</b>	<b>1644,51</b>	<b>413,86</b>	<b>245,59</b>	<b>1507,77</b>	<b>3811,74</b>

Referencia da Fundação	Quantidade	Volume Betão Fundação (m <sup>3</sup> )	Volume Betão Limpeza (m <sup>3</sup> )
S1	18	134,50	12,96
S1.1	10	55,56	5,40
S2	9	62,89	6,08
S2.1	11	49,14	4,85
S3	8	78,24	7,39
S4	6	36,00	3,46
S5	9	52,99	5,18
<b>TOTAL</b>	<b>71</b>	<b>469,32</b>	<b>45,33</b>

## ANEXO D

Referencia da Fundação	Quantidade	Profundidade (m)	Área Planta Fundação (m <sup>2</sup> )	Volume de Escavação (m <sup>3</sup> )
S1	17	3,75	7,20	459,00
S1	1	4,31	7,20	31,03
S1.1	8	1,60	5,40	69,12
S1.1	2	2,80	5,40	30,24
S2	7	1,60	6,76	75,71
S2	2	3,75	6,76	50,70
S2.1	10	1,60	4,41	70,56
S2.1	1	2,76	4,41	12,17
S3	1	4,31	9,24	39,82
S3	2	3,75	9,24	69,30
S3	3	1,60	9,24	44,35
S3	1	2,80	9,24	25,87
S3	1	2,76	9,24	25,50
S4	5	1,60	5,76	46,08
S4	1	2,76	5,76	15,90
S5	9	2,76	5,76	143,08
<b>TOTAL</b>	<b>71</b>			<b>1208,44</b>

Referencia da Fundação	Quantidade	Volume Betão Fundação (m <sup>3</sup> )	Volume Betão Limpeza (m <sup>3</sup> )
S1-120x120x50	3	2,16	0,43
S2-150x150x50	4	4,50	0,90
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>6,66</b>	<b>1,33</b>

Referencia da Fundação	Quantidade	Profundidade (m)	Área Planta Fundação (m <sup>2</sup> )	Volume de Escavação (m <sup>3</sup> )
S1-120x120x50	3	2,00	1,44	8,64
S2-150x150x50	4	2,00	2,25	18,00
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>			<b>26,64</b>

	Referencia do Pilar	Quantidade	Altura Total (m)	Volume Betão (m <sup>3</sup> )
Fundação	P 20x20	9	1,5	0,54
	P 30x20	5	1,5	0,45
Piso	P 20x20	14	3,2	1,792
	<b>TOTAL</b>	<b>28</b>		<b>2,78</b>

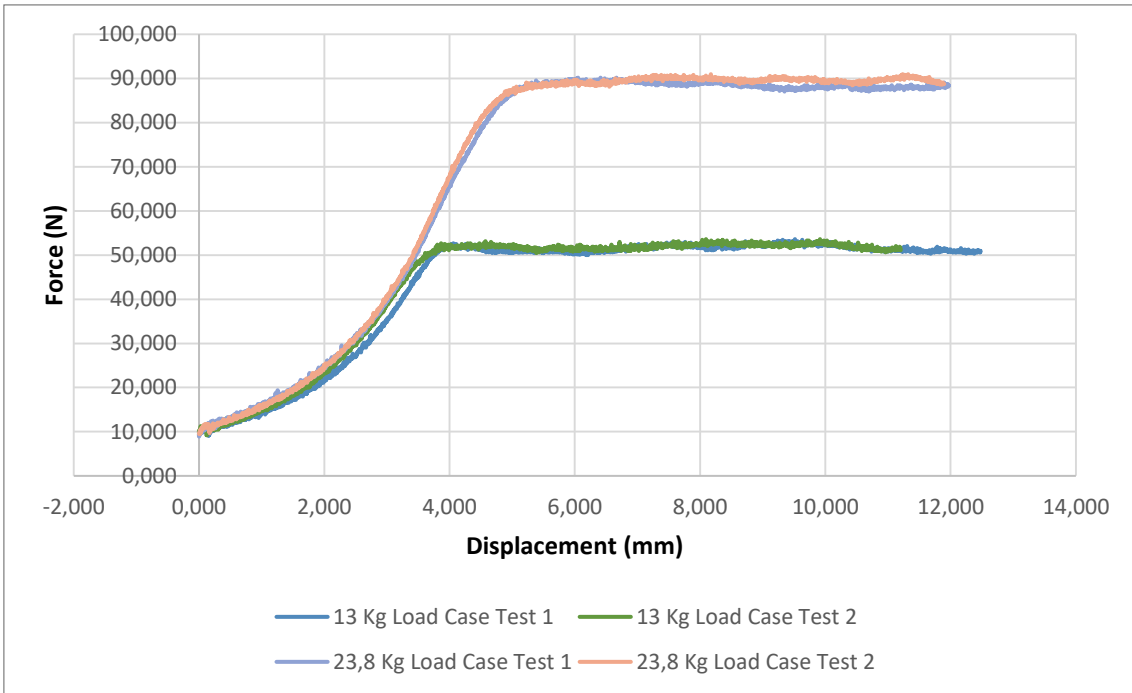
## ANEXO D

	Referencia da Viga	Quantidade	Comprimento Total (m)	Volume Betão (m <sup>3</sup> )	Volume Betão Limpeza (m <sup>3</sup> )
Fund.	VE 40x50	6	18,66	3,73	0,75
	V 30x30	6	19,39	1,75	0,58
Piso	V 20x40	11	42,64	3,41	0,00
	V 20x50	4	14,34	1,43	0,00
Cobert.	V 20x40	15	56,98	4,56	0,00
	<b>TOTAL</b>	42		14,88	1,33

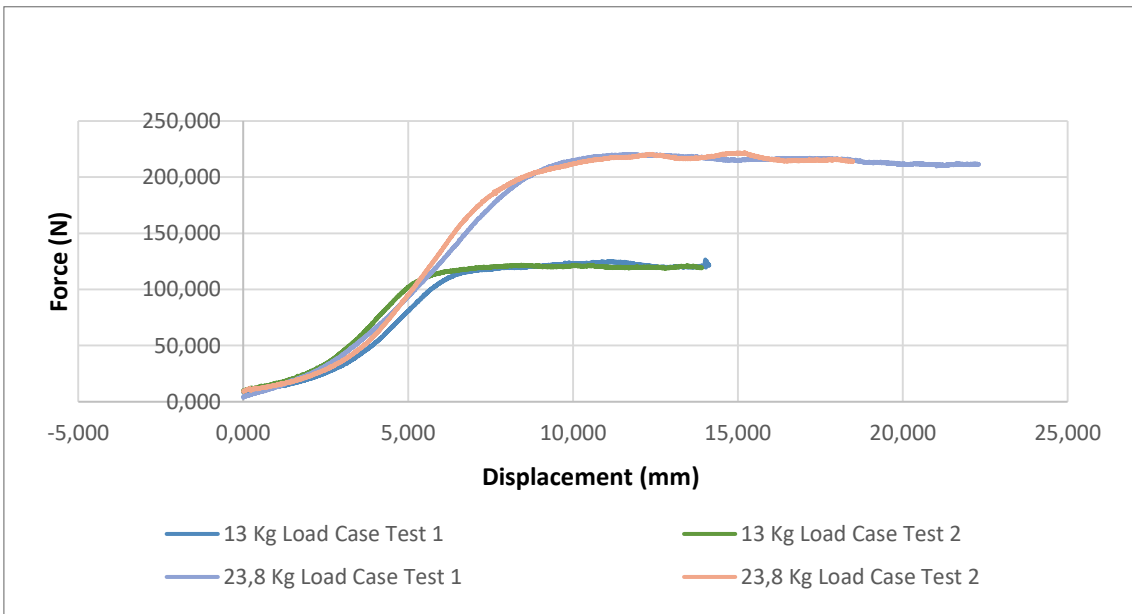
	Referencia da Laje	Área (m <sup>2</sup> )
Piso	LJ1	60,66
	LJ2	50,28
Cobert.	LJ3	60,66
	LJ3.1	50,28



## ANEXO E

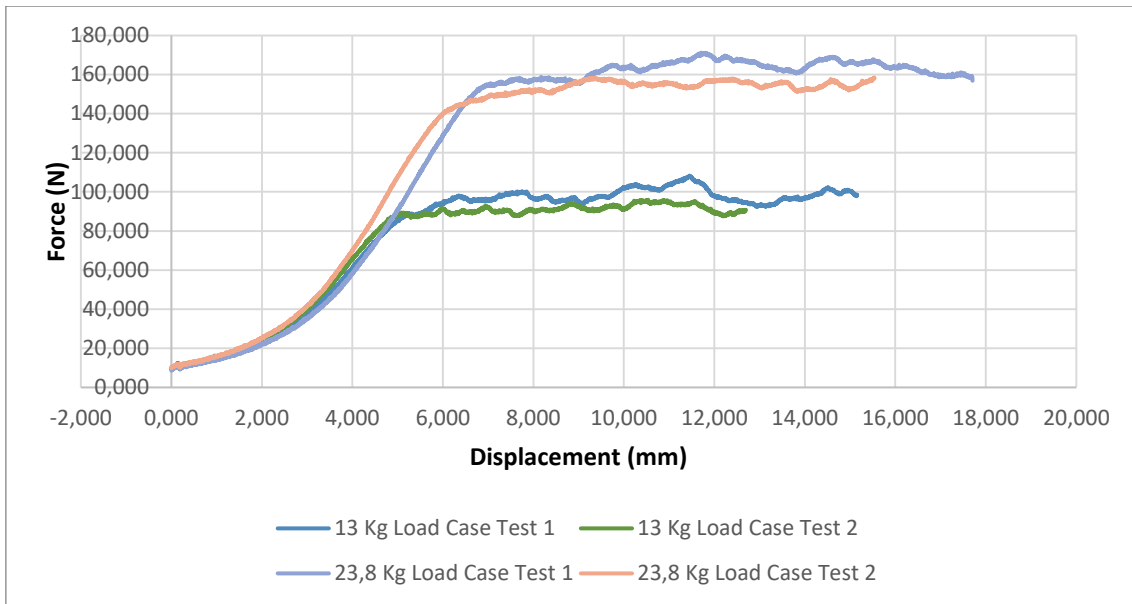


*Teste de base livre REGUPOL resist solar AK*

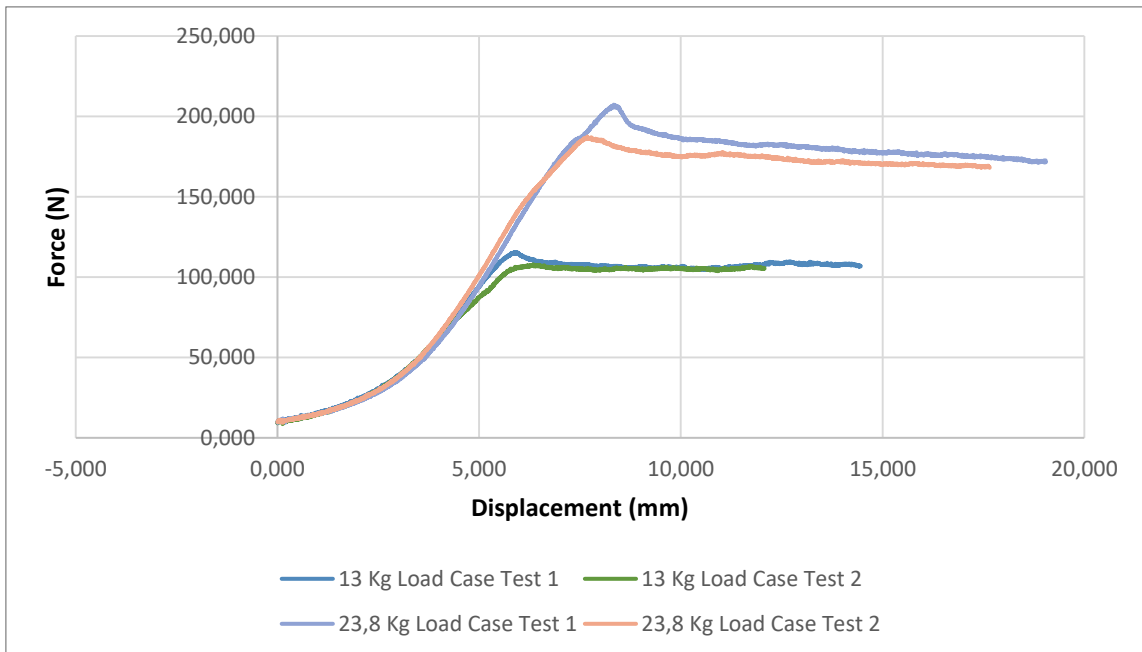


*Teste de base livre REGUPOL resist FH*

## ANEXO E

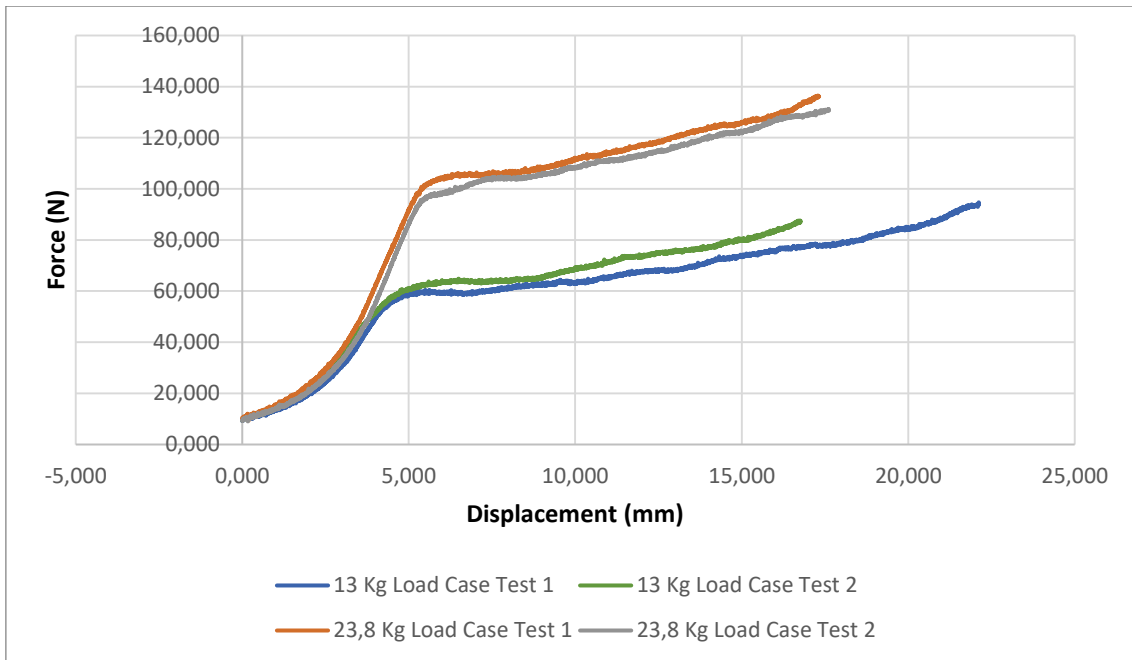


*Teste de base livre Siplast PARAFOR SOLO GFM (Interface betuminosa)*

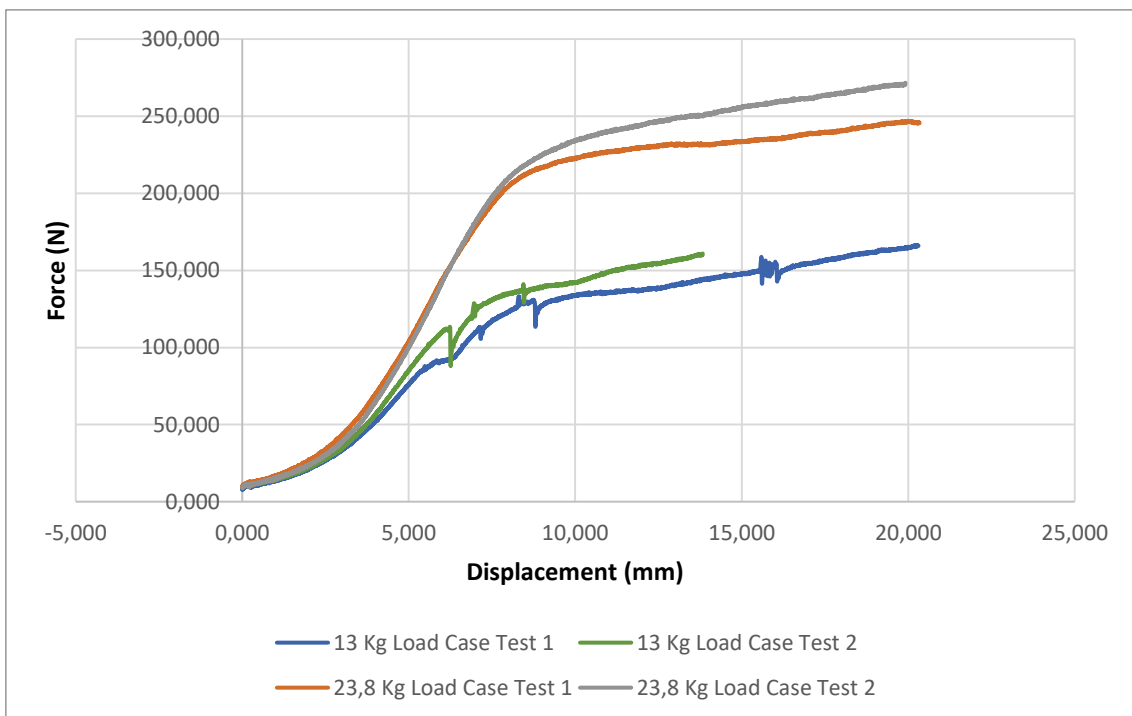


*Teste de base livre Siplast PARAFOR SOLO GFM (Interface xistosa)*

## ANEXO F

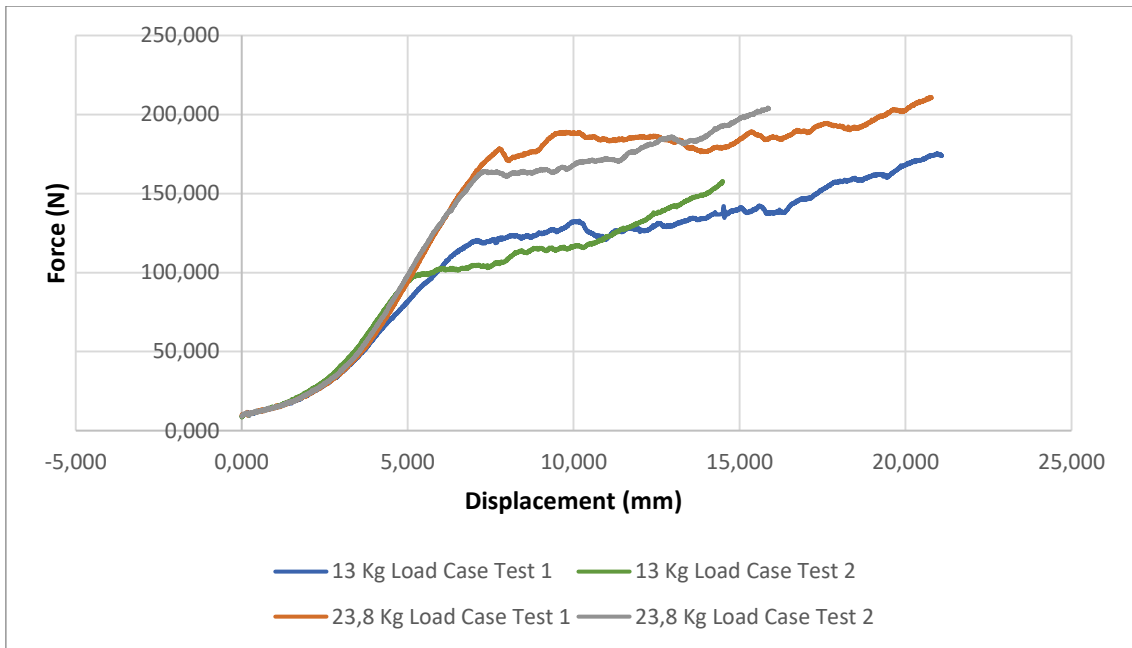


*Teste de base segura REGUPOL resist solar AK*

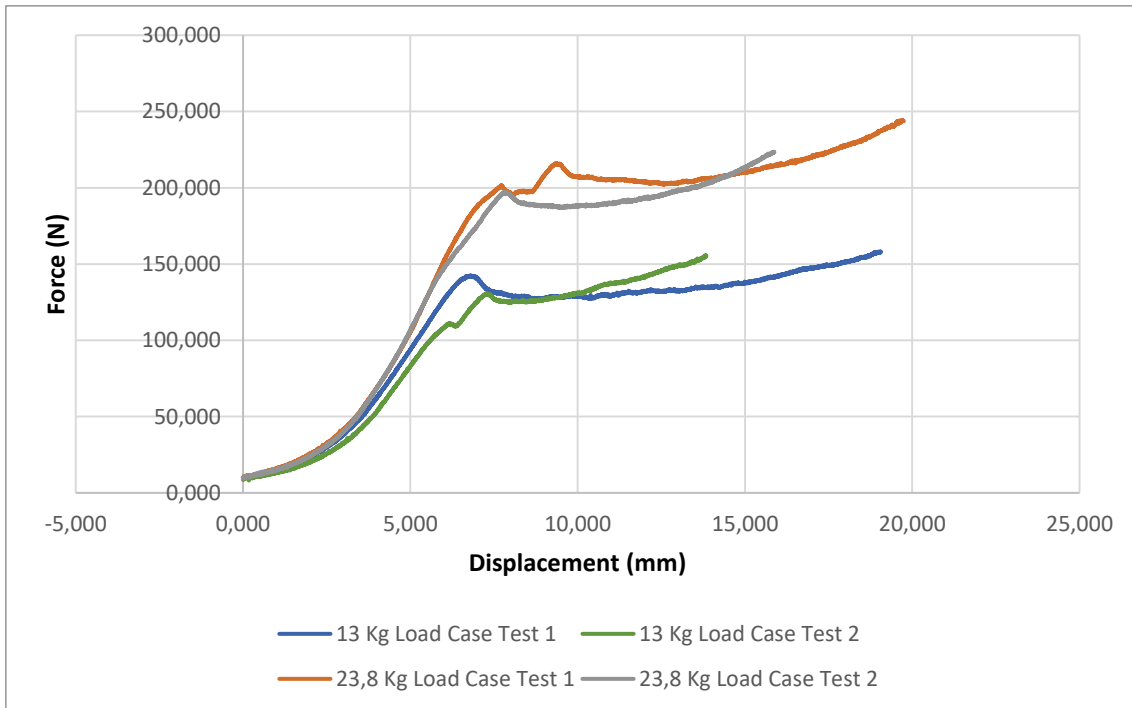


*Teste de base segura REGUPOL resist FH*

## ANEXO F



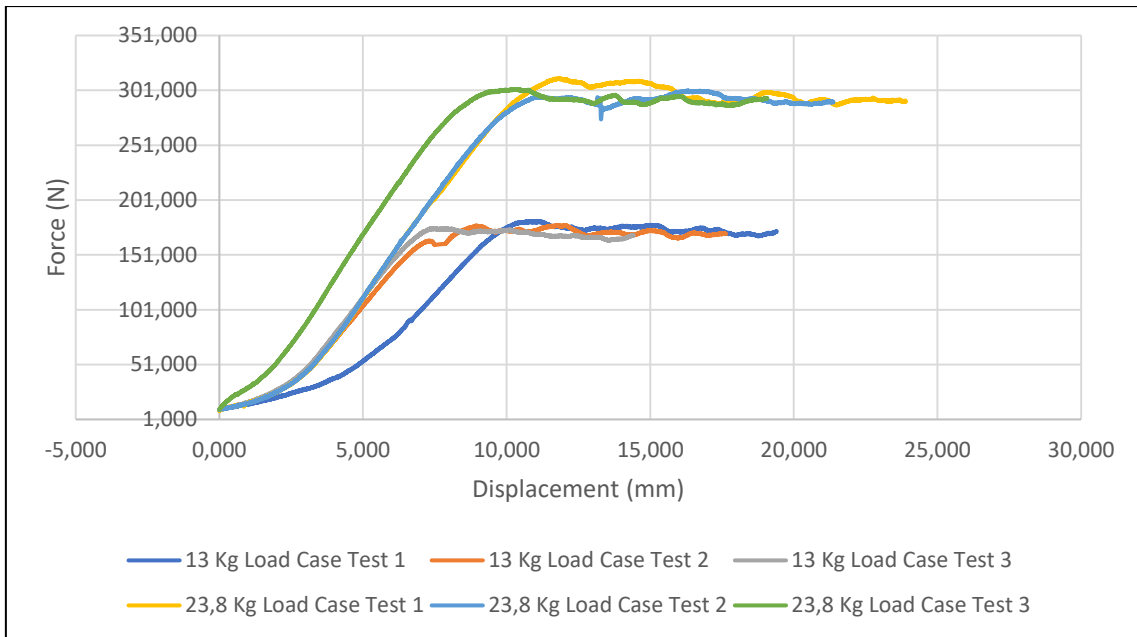
*Teste de base segura Siplast PARAFOR SOLO GFM (Interface Betuminosa)*



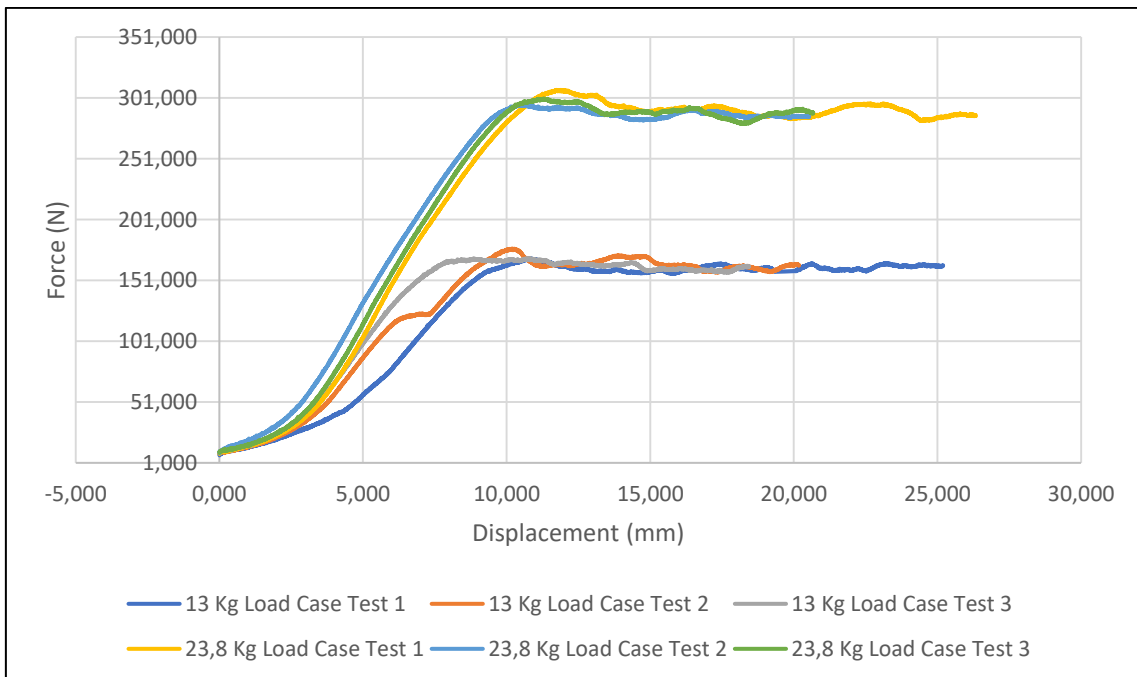
*Teste de base segura Siplast PARAFOR SOLO GFM (Interface xistosa)*



## ANEXO G

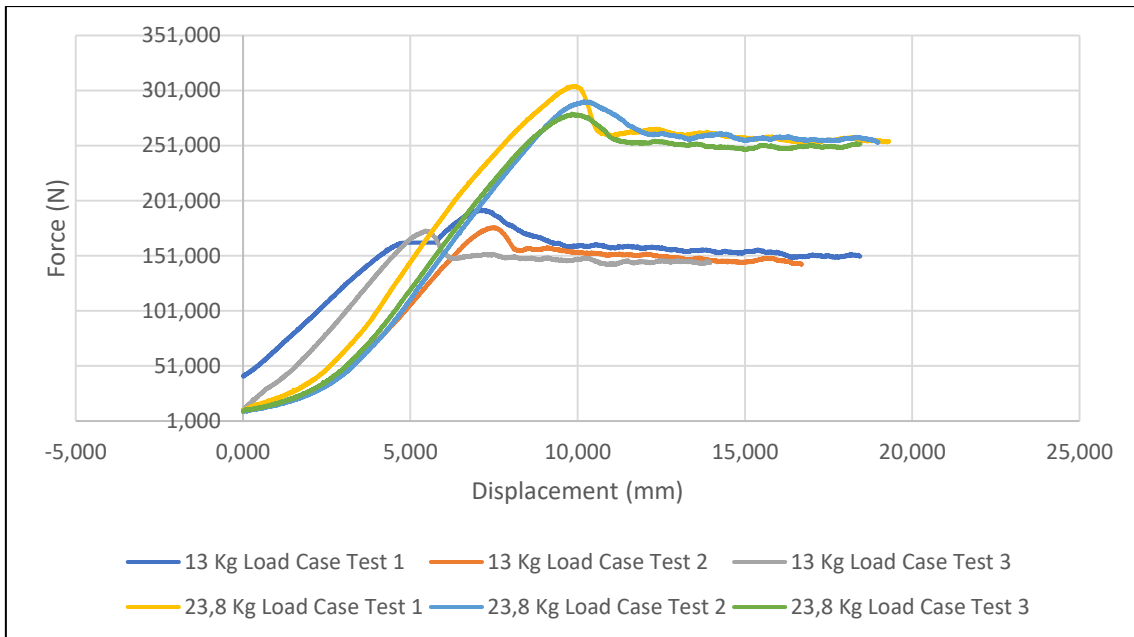


*Teste de base fixa REGUPOL resist FH*

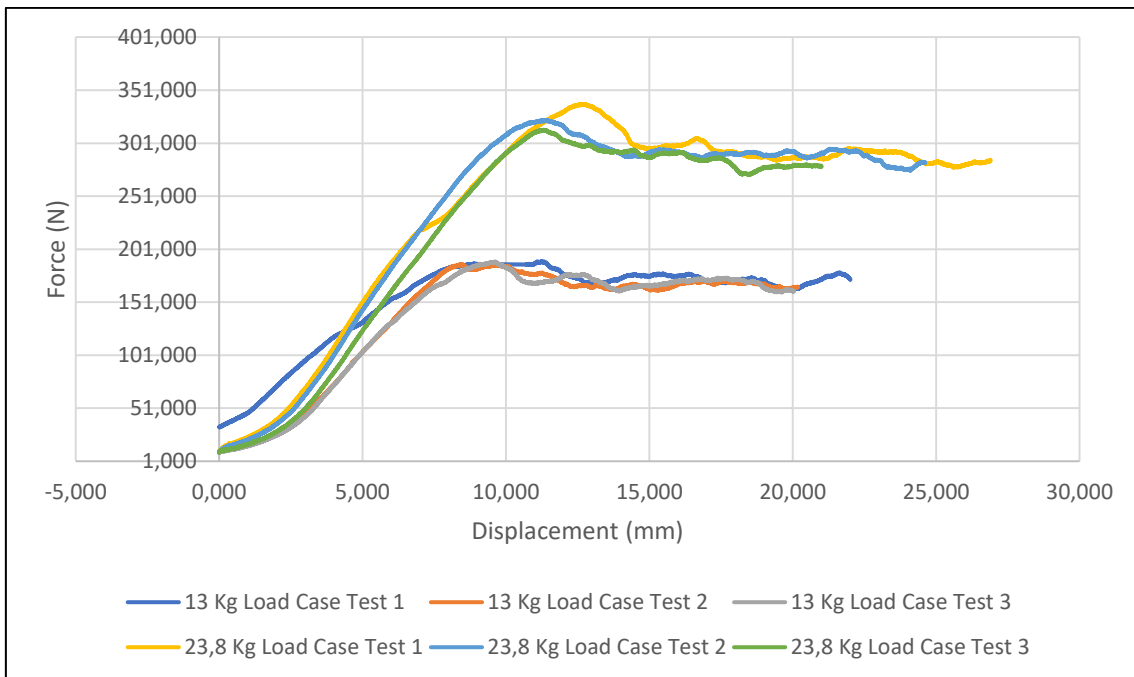


*Teste de base fixa REGUPOL resist solar AK*

## ANEXO G



*Teste de base fixa Siplast PARAFOR SOLO GFM (Interface Betuminosa)*



*Teste de base fixa Siplast PARAFOR SOLO GFM (Interface xistosa)*

