



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Pedro Miguel Oliveira da Silva

Projeto e Desenvolvimento de um
Equipamento Automático para
Induzir Stress em Ratos de Laboratório



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Pedro Miguel Oliveira da Silva

Projeto e Desenvolvimento de um
Equipamento Automático para
Induzir Stress em Ratos de Laboratório

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues
de Seabra

DECLARAÇÃO

Nome: Pedro Miguel Oliveira da Silva

Correio Eletrónico: pedro_fgt@hotmail.com

Tel./Tlm.: 917398340

Número do Cartão de Cidadão: 13590267

Título da dissertação: Projeto e desenvolvimento de um equipamento automático para induzir stress em ratos de laboratório

Ano de conclusão: 2015

Orientador: Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues de Seabra

Designação do Mestrado: Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Área de Especialização: Tecnologias de Manufatura

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Guimarães, ___/___/_____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, ao meu orientador, Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues de Seabra, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho, por toda a compreensão, disponibilidade, motivação e apoio prestado ao longo da elaboração da presente dissertação e ainda pelos seus ensinamentos e a sua boa disposição sempre presente ao longo do meu percurso académico.

Ao Vítor Neto, técnico das oficinas do Departamento de Engenharia Mecânica, pela sua disponibilidade, os seus conselhos e opiniões relativos ao fabrico de alguns componentes do projeto.

Aos meus amigos e colegas de curso, Luís Martins, Nuno Pinto, Manuel Silva e Pedro Gomes pelo companheirismo e ajuda prestada ao longo de toda a minha formação profissional.

Um agradecimento especial aos meus pais e à minha irmã, por tudo o que me proporcionaram para que eu pudesse alcançar este objetivo e por todo o apoio prestado não só ao longo desta etapa mas em toda a minha vida.

A todos os mencionados e àqueles que de alguma forma contribuíram para a conclusão do presente projeto e desta fase da minha vida, deixo a minha palavra de apreço e um muito obrigado.

RESUMO

O crescente número de patologias associadas ao stress no ser humano revela uma necessidade urgente definir e compreender os mecanismos responsáveis pela sua incidência, com o intuito de desenvolver estratégias terapêuticas que permitam curar ou prevenir os seus malefícios. A indução de stress em animais é uma das principais estratégias utilizadas na investigação biomédica. São utilizados vários modelos de stress que estabelecem protocolos rigorosos relativos à indução dos estímulos e controlo dos níveis de stress, que permitem reproduzir aspetos de stress conhecidos no ser humano em espécies selecionadas de animais.

No Instituto de Investigação em Ciências da Vida e Saúde da Universidade do Minho, são efetuados com regularidade este tipo ensaios em roedores. Existe um modelo amplamente conhecido como Stress Crónico Moderado que é usualmente utilizado na universidade. Este modelo consiste na exposição contínua, durante um período que pode chegar a 8 semanas a uma grande variedade de estímulos, e a posterior avaliação e medição dos níveis de stress presente nos roedores. É também utilizada uma variante do modelo referido, conhecido como Stress Crónico Imprevisível que é em tudo similar ao anterior mas os estímulos são aplicados apenas durante 1 ou 2 horas diárias e de forma aleatória, prevenindo o efeito de adaptação ao stress.

Atualmente no ICVS estes ensaios envolvem muitos recursos humanos pois são utilizados meios bastante rudimentares e morosos, colocando em questão a fiabilidade, repetibilidade e controlo dos resultados obtidos. Pretende-se assim com este projeto proceder à automação dos mecanismos de indução de stress nos roedores, de forma a padronizar os ensaios e reduzir os erros associados ao fator humano. Para alcançar esse objetivo foi solicitado o desenvolvimento de um sistema ou equipamento onde os animais fiquem alojados e possam ser submetidos aos estímulos de uma forma automatizada.

Palavras-chave: Stress, Protocolos, Modelos de stress, Stress Crónico Moderado, Stress Crónico Imprevisível, Estímulos, Roedores, Automação.

ABSTRACT

The rising number of pathologies associated with stress on human beings, reveals the urgent need to define and understand the mechanisms responsible for its incidence, in order to develop therapeutic strategies that allow the cure or prevention of their misdeeds. The induction of stress in animals it's one of the main strategies used on biomedical investigation. Many stress models are used to establish rigorous protocols that set the stressors and control the levels of stress on the animals. These models allow to reproduce stress patterns on animals that are already known in humans.

At the Research Institute of Life and Health Sciences at University of Minho, these kinds of experiments are commonly used on rodents. There's a protocol widely known as Chronic Mild Stress (CMS) that is primarily used at the university. This model consists on a continuous exposure, for a period of up to 8 weeks, to a variety of stimulus and the subsequent evaluation and measurement of the levels of stress present in the rodents. A variant of this protocol, known as Chronic Unpredictable Stress (CUS) is also used. This protocol is very similar to the former but the stressors are randomly induced only up to 2 hours a day, preventing a phenomenon known as adaptation to stress.

Currently, these experiments involve many human resources as rudimentary and time consuming means are used, questioning the reliability, repeatability and control of the results. The aim of this project is to achieve the automation of the stress induction mechanisms, in order to standardize the experiments and to reduce the errors associated with the human factor. To accomplish this goal, the development of a system where the animals can live and may be subjected to stressors in an automated manner was requested.

Key-words: Stress, Protocols, Stress Models, Chronic Mild Stress, Chronic Unpredictable Stress, Stimulus, Rodents, Automation.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO.....	3
1.1 ENQUADRAMENTO TEÓRICO	3
1.1.1 Definição de Stress.....	3
1.1.2 Tolerância ao Stress	6
1.1.3 Causas do Stress.....	7
1.1.4 Stress no Trabalho	9
1.2 MOTIVAÇÃO.....	10
1.3 OBJETIVOS	12
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	13
2 AVALIAÇÃO E MEDIÇÃO DO STRESS.....	17
2.1 MODELOS DE STRESS ANIMAL.....	17
2.1.1 Chronic Mild Stress e Chronic Unpredictable Stress	18
2.1.2 Validação do Protocolo	19
2.2 CONDIÇÕES E PROCEDIMENTOS DA ECS	21
2.2.1 Biotério e Condições da ECS.....	21
2.2.2 Agentes Stressantes e Problemas Associados.....	24
2.2.3 Protocolos utilizados.....	31
2.3 EQUIPAMENTOS DISPONÍVEIS NO MERCADO	33
3 FASES PRELIMINARES DO PROJETO	41
3.1 PRIMEIRA FASE DE CONCEÇÃO	41

3.2 SEGUNDA FASE DE CONCEÇÃO	43
3.2.1 Estrutura	44
3.2.2 Tilted Cage	48
3.2.3 Shaking	50
3.2.4 Damp Bedding	51
3.2.5 Hot Air	51
3.2.6 Food Deprivation/Inaccessible Food	52
3.2.7 Restraining	53
3.2.8 Outros Agentes Stressantes	53
3.3 EQUIPAMENTO ATUAL E LIMITAÇÕES EXISTENTES	54
4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO MECÂNICO	59
4.1 SISTEMA DE INDUÇÃO DE STRESS – PROBLEMA INICIAL	61
4.1.1 Definição do Problema	62
4.1.2 Árvore de objetivos	63
4.2 AGENTES STRESSANTES – PROBLEMAS SECUNDÁRIOS	66
4.2.1 Análise da Função dos Diferentes Mecanismos	67
4.2.2 Estabelecimento das Especificações do Produto	68
4.3 SELEÇÃO DOS MECANISMOS - PROBLEMAS E SOLUÇÕES INDIVIDUAIS	72
4.3.1 Mecanismo para os Agentes Stressantes - Mapa Morfológico	72
4.3.2 Seleção dos Mecanismos – Objetivos ponderados	90
4.4 PROJETO DE DETALHE DOS MECANISMOS - SOLUÇÕES SECUNDÁRIAS	93
4.4.1 Sistema de Distribuição de Água – Damp Bedding	93

4.4.2 Sistema de distribuição de ar – Hot Air.....	106
4.4.3 Sistema de restrição de espaço – Restraining.....	115
4.4.4 Sistema de privação – Food Deprivation e Inaccessible Food.....	118
4.4.5 Outros Agentes Stressantes	121
4.4.6 Elementos estruturais do protótipo.....	128
4.5 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO FINAL - SOLUÇÃO FINAL	137
4.5.1 Lista de peças do produto final.....	139
5 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	143
5.1 CONCLUSÕES	143
5.2 TRABALHO FUTURO	145
REFERÊNCIAS.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Principais agentes stressantes no ser humano.....	8
Figura 1.2 – Instalações do Instituto de Ciências da Vida e Saúde – ICVS.....	11
Figura 2.1 – Variação dos consumos no decorrer do SPT.....	21
Figura 2.2 – Gaiola Tecniplat 1291H EuroStandard Type III.....	22
Figura 2.3 – Material utilizado nas gaiolas dos roedores.....	22
Figura 2.4 – Grelha para colocação da comida e do biberão dos roedores.....	23
Figura 2.5 – Rato Wistar Han, utilizado no ICVS.....	23
Figura 2.6 – Aplicação do Overcrowding.....	30
Figura 2.7 – Níveis de exaustão ao longo do Forced Swim Test.....	30
Figura 2.8 – Sistema FeedTime – TSE Systems.....	34
Figura 2.9 – Sistema InfraMot – TSE Systems.....	34
Figura 2.10 – Multi Conditioning System – TSE Systems.....	35
Figura 2.11 – Sistema BioDAQ E2 – Research Diets Inc.....	35
Figura 2.12 – Plataforma vibratória de alta frequência.....	36
Figura 2.13 – Dispositivo para a monitorização de atividade locomotora.....	36
Figura 3.1 – Esboço conceptual inicialmente desenvolvido no DEM.....	42
Figura 3.2 – Atravancamento da estrutura.....	44
Figura 3.3 – Suporte para gaiola 1920d Eurostandard Type III.....	45
Figura 3.4 – Prateleira de suporte às gaiolas.....	45
Figura 3.5 – Sistema de suporte da parte superior das gaiolas.....	46
Figura 3.6 – Estrutura inferior do equipamento.....	46
Figura 3.7 – Pormenor do encaixe da gaiola nos suportes.....	47
Figura 3.8 – Solução estabilizadora do protótipo.....	47
Figura 3.9 – Ligação do motor ao sistema porca-parafuso.....	48
Figura 3.10 – Tirante de ligação à prateleira.....	48
Figura 3.11 – Tirante de ligação entre prateleiras.....	49
Figura 3.12 – Pormenor da chumaceira e do veio que possibilita a rotação das prateleiras.....	49
Figura 3.13 – Representação esquemática do sistema de aplicação do Shaking.....	50
Figura 3.14 – Pormenor da mola aplicada no veio.....	51
Figura 3.15 – Solução para o Inaccessible Food – Comedouro rotativo.....	52
Figura 3.16 – Protótipo da solução para o Restraining.....	53
Figura 3.17 – Vista geral do equipamento desenvolvido.....	54
Figura 4.1 – Modelo VDI 2221 de estruturação.....	59
Figura 4.2 – Diferentes fases do modelo utilizado no projeto a desenvolver.....	61
Figura 4.3 – Exemplo de uma árvore de objetivos e a sua interpretação.....	63
Figura 4.4 – Diagrama representativo da árvore de objetivos obtida para o desenvolvimento do presente projeto mecânico.....	64
Figura 4.5 – Continuação do diagrama representativo da árvore de objetivos obtida para o desenvolvimento do presente projeto mecânico.....	65
Figura 4.6 – Representação da função global do projeto.....	67
Figura 4.7 – Divisão da função global em subfunções.....	68
Figura 4.8 – Esboço CAD do reservatório distribuidor.....	74
Figura 4.9 – Modelo CAD inicial do sistema de distribuição de água.....	94
Figura 4.10 – Bomba de água elétrica de diafragma – SHURflo.....	96

Figura 4.11 – Simulação computacional da distribuição de água com todas as electroválvulas abertas.....	99
Figura 4.12 - Representação do perfil de velocidades na primeira intersecção.....	100
Figura 4.13 – Simulação computacional do escoamento do fluido numa prateleira.....	101
Figura 4.14 – Simulação computacional do escoamento utilizando saídas de diâmetro variável.....	102
Figura 4.15 – Comparação da quantidade de água presente em cada gaiola no fim do abastecimento.....	103
Figura 4.16 – Representação esquemática do modelo CAD da solução adotada.....	104
Figura 4.17 – Tê redutor Sharkbite – 1/2 x 1/2 x 3/8 inch – Tubo PEX.....	105
Figura 4.18 – Tipos de motores considerados para o sistema de ar.....	106
Figura 4.19 – Dimensões da parte superior da gaiola.....	107
Figura 4.20 – Ventiladores 80 x 38mm de alta velocidade.....	108
Figura 4.21 – Resultado da simulação CFD para análise da velocidade do fluido no ventilador menos potente.....	109
Figura 4.22 - Resultado da simulação CFD para análise da velocidade do fluido no ventilador mais potente.....	109
Figura 4.23 – Versão preliminar do bocal do ventilador.....	110
Figura 4.24 - Resultado da simulação CFD para avaliação da velocidade do fluido utilizando o bocal.....	111
Figura 4.25 – Distribuição de velocidades num plano perpendicular à gaiola.....	111
Figura 4.26 – Determinação dos ângulos para a saída do bocal.....	112
Figura 4.27 – Diferentes versões dos bocais modelados.....	112
Figura 4.28 - Resultado da simulação CFD com a adaptação dos diferentes bocais.....	113
Figura 4.29 – Exemplos de tipos vórtices gerados consoante o bocal utilizado.....	113
Figura 4.30 – Comparação de velocidades entre os vários bocais ao longo da base da gaiola.....	114
Figura 4.31 – Simulação CFD - Vórtice descendente gerado pelo bocal com inclinação de 10°.....	115
Figura 4.32 – Solução preliminar para o Restraining.....	115
Figura 4.33 – Mecanismo de canadiana considerado para o Restraining.....	116
Figura 4.34 – Dispositivo do Restraining na posição retraída.....	116
Figura 4.35 – Mecanismo do Restraining inserido na gaiola.....	117
Figura 4.36 – Pormenor do ajuste em rosca entre o veio e a pá.....	117
Figura 4.37 – Exemplo do espaço necessário para vários exemplares desmontados.....	117
Figura 4.38 – Modelo CAD da grelha com as dimensões reais.....	118
Figura 4.39 – Corte da grelha para adaptação do comedouro rotativo.....	119
Figura 4.40 – Comedouro rotativo embutido na grelha.....	119
Figura 4.41 – Pormenor das dobradiças e do grampo do comedouro.....	120
Figura 4.42 – Pormenor do encaixe do veio interior do comedouro na chapa.....	120
Figura 4.43 – Parte inferior do comedouro com janela em acrílico.....	121
Figura 4.44 – Tipo de colunas usadas para a aplicação do Noise.....	122
Figura 4.45 – Suporte para as colunas e eixos de rotação.....	123
Figura 4.46 - Suporte para as colunas na posição retraída.....	124
Figura 4.47 – Amplificador da FoneStar com 4 canais.....	124
Figura 4.48 – Disposição dos diferentes componentes para aplicação do Noise.....	125
Figura 4.49 – Luz estroboscópica 20 W da Velleman.....	126
Figura 4.50 – Projetor estroboscópico montado no suporte da estrutura.....	127
Figura 4.51 – Dimensões do modelo de gaiola adotado no ICVS.....	128
Figura 4.52 – Elemento de suporte às tubagens do sistema de distribuição de água.....	129
Figura 4.53 – Resultado da simulação de estática aos suportes de apoio à tubagem de água.....	129
Figura 4.54 – Gráfico de deslocamento obtido pela simulação computacional.....	130
Figura 4.55 – Aplicação da força de 20N na extremidade da barra móvel.....	131

Figura 4.56 – Distribuição do coeficiente de segurança obtido pela simulação estática.....	131
Figura 4.57 – Elementos estruturais de suporte à tampa da gaiola.....	132
Figura 4.58 – Modelo CAD da haste de suporte à tampa da gaiola.....	133
Figura 4.59 - Fator de segurança e deslocamento resultantes da simulação estática.....	133
Figura 4.60 – Resultado da simulação estática na segunda versão do pórtico.....	134
Figura 4.61 – Reforço em triângulo do pórtico desenvolvido.....	134
Figura 4.62 – Diagrama de corpo livre do suporte para a tampa.....	135
Figura 4.63 – Pormenor do comprimento mínimo necessário para a mola de tração.....	136
Figura 4.64 – Modelo da mola obtido através do cálculo no Inventor.....	137
Figura 4.65 – Modelo CAD com os vários elementos do protótipo final.....	138

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Sintomas de stress e as suas diferentes categorias.....	6
Tabela 1.2 – Fatores ou agentes internos e externos que podem influenciar o indivíduo.....	8
Tabela 2.1 – Descrição e método corrente de aplicação dos estímulos.....	24
Tabela 2.2 – Continuação da descrição e método corrente de aplicação dos estímulos.....	25
Tabela 2.3 – Plano de Habituação ao SPT – 1ª Semana.....	32
Tabela 2.4 – Exemplo de um plano CMS utilizado no ICVS – 2ª a 7ª Semana.....	32
Tabela 2.5 – Exemplo de um plano CUS utilizado no ICVS – 2ª a 5ª Semana.....	33
Tabela 4.1 – Enquadramento do modelo VDI 2221 no projeto a desenvolver.....	60
Tabela 4.2 – Especificações relativas a cada elemento do sistema.....	70
Tabela 4.3 – Continuação das especificações relativas a cada elemento do sistema.....	71
Tabela 4.4 – Mapa morfológico com as soluções consideradas para o projeto mecânico.....	73
Tabela 4.5 – Atribuição de coeficientes a cada objetivo.....	90
Tabela 4.6 – Tabela de resultados da aplicação dos objetivos ponderados.....	91
Tabela 4.7 – Continuação da tabela de resultados da aplicação dos objetivos ponderados.....	92
Tabela 4.8 – Especificações técnicas da bomba elétrica SHURflo – Model #2088-343-435.....	96
Tabela 4.9 – Abastecimento das gaiolas em cada prateleira.....	101
Tabela 4.10 – Cálculo do enchimento das gaiolas em relação ao caudal disponível.....	102
Tabela 4.11 – Especificações dos ventiladores Delta de alta velocidade.....	108
Tabela 4.12 – Especificações técnicas das colunas de som adotadas.....	122
Tabela 4.13 - Especificações técnicas do amplificador.....	125
Tabela 4.14 - Especificações técnicas do projetor estroboscópico.....	126
Tabela 4.15 – Lista de peças ou componentes do produto final.....	140

GLOSSÁRIO DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Abreviaturas

OMS	Organização Mundial de Saúde
ICVS	Instituto de Ciências da Vida e Saúde
ECS	Escola de Ciências da Saúde
UM	Universidade do Minho
CMS	<i>Chronic Mild Stress</i>
CUS	<i>Chronic Unpredictable Stress</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
SPT	<i>Sucrose Preference Test</i>
DEM	Departamento de Engenharia Mecânica
GPH	<i>Gallons per Hour</i>

Símbolos	Designação	Unidade
Q	Caudal volumétrico	l/min
A	Área	mm^2
V	Velocidade	m/s
P	Pressão	Pa
m	Massa	Kg
L	Comprimento	mm
M	Binário	N.m
F	Força	N
g	Aceleração da gravidade	m/s

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório pretende-se apresentar ao leitor, de forma sucinta, o âmbito da presente dissertação. Nesse sentido, dividido em subcapítulos, são descritas algumas noções teóricas sobre o stress, as suas causas e efeitos, bem como a motivação e alguns objetivos que levam à realização deste projeto. Foi ainda reservado um subcapítulo com o intuito de explicar a organização e estrutura deste relatório.

1.1 Enquadramento Teórico

Neste subcapítulo são abordados os aspetos teóricos que estão na base e origem da dissertação. Desta forma, é discutida a definição da palavra stress nos vários meios em que é utilizada e o que realmente esta caracteriza quando associada ao ser humano. São ainda enunciados alguns fatores que determinam a tolerância ou intolerância de cada indivíduo ao stress e são apresentadas algumas das causas mais relevantes. Por fim é dedicado um tópico para discutir, com o auxílio de alguns dados estatísticos, um dos principais meios a que o stress está associado atualmente, o stress no trabalho.

1.1.1 Definição de Stress

A era moderna está repleta de situações aborrecidas que são normalmente associadas, de uma forma negativa, à palavra stress. Aspetos da vida difíceis de lidar, como problemas monetários, problemas no trabalho, relacionamentos problemáticos, conflitos no trânsito, cumprimento de prazos, são exemplos de situações que aparentam ser responsáveis pelo acumular de stress. Para algumas pessoas o stress é tão comum que se tornou um modo de vida. Mas o que realmente define o stress?

Hans Selye, um dos mais influentes escritores nesta matéria, associava este conceito a uma grande variedade de problemas dissimilares, como um trauma cirúrgico, excitação emocional, esforço físico ou mental, fadiga, dor, medo, necessidade de concentração, humilhação, situações de responsabilidade, entre outros. Este autor descrevia o stress como sendo a resposta não específica do organismo a uma exigência de mudança [1]. Segundo o dicionário Priberam, o stress é o conjunto das perturbações orgânicas e psíquicas, que podem ser provocadas por vários estímulos ou agentes agressores, como por exemplo o frio, uma doença infecciosa, uma emoção, um choque cirúrgico, condições de vida muito ativa e trepidante, entre outros [2].

Como é então possível, que uma série de problemas totalmente distintos seja descrita por apenas um mesmo conceito? O stress como um conceito científico respeitável surgiu da observação da correlação entre eventos interiores e exteriores ao organismo, a relação entre o estímulo e a resposta. Um certo exemplo de stress produz uma resposta de stress característica. A diversidade de agentes stressantes contrasta com a uniformidade da resposta mas, o que é importante realçar é que se trata um conceito unificador, pode ser discutido em termos de estímulo, resposta e a relação entre eles. Isto é, o stress não é apenas um atributo do agente stressante (componente ambiental) mas também um atributo do stressado (componente biológica) [3].

O stress pode então ser distinguido de três formas diferentes: **i)** stress como um estímulo; **ii)** stress como uma resposta não específica; **iii)** uma combinação dos dois, a resposta a um estímulo. Contudo, alguns autores consideram que quando se analisa pormenorizadamente cada uma destas definições, chega-se à conclusão que nenhuma delas é realmente coerente.

i) Stress como um estímulo;

Quando o stress é considerado um estímulo e a palavra passa a ser aplicada nas diversas situações acima referidas, deixa de ser possível explicar como é que cada uma destas situações individuais provoca diferentes respostas no organismo. Por exemplo, a necessidade do cumprimento de um prazo tem um efeito diferente no organismo do que uma situação de um relacionamento problemático. Além disso, quando uma situação de stress é repetidamente aplicada, o seu efeito tende a diminuir ou até desaparecer, o organismo adapta-se e o stress deixa de existir. Mesmo que este efeito não ocorra, a aplicação de uma situação de stress numa população resultará sempre numa variedade ou até na ausência de respostas, neste último caso pode o estímulo ser considerado stress ou não? Perguntas como está mostram com clarividência que não é possível definir o stress simplesmente como uma função do estímulo [3].

ii) Stress como uma resposta não específica;

Se a definição de stress como um estímulo não representa a realidade com clareza, também se pode verificar que não é prudente defini-lo como uma resposta. Hans Selye que defendia o stress

como uma resposta do organismo a uma exigência, conforme referido anteriormente, afirmava ainda que essa resposta resultava de uma prolongada exposição a diversos agentes nocivos. Logo aqui é possível verificar que afinal o estímulo tem influência na definição de stress e que este não é função simplesmente da resposta. O stress como uma resposta unificada foi aceite como uma vaga definição para um sentimento, uma reação emocional, como a felicidade a irritabilidade ou a raiva [3].

iii) Stress como a resposta a um estímulo;

Apesar de ser possível definir o stress como sendo a resposta característica a um estímulo, a apreciação subjetiva de cada indivíduo passa a ser uma variável crucial entre o estímulo e a resposta. Por outras palavras, não é possível caracterizar a resposta unicamente pelo estímulo e vice-versa, existe uma variável relativa a cada indivíduo que influencia toda a função. Quando não existe uma resposta num determinado indivíduo sujeito a um evento ou estímulo não se pode concluir que esse estímulo não é causador de stress [1].

Conforme descrito anteriormente, a palavra “Stress” é usada por um vasto número de pessoas para descrever uma série de aspetos diferentes. Pode-se concluir que a palavra stress é útil precisamente por poder abranger um grande leque de situações mas, em contrapartida, também pode ser considerada vaga e contraditória por não ser um conceito de natureza totalmente lógica. É portanto, uma palavra muito usada hoje em dia pela sabedoria popular mas, motivo de grande controvérsia, em ambientes de prática clínica [3].

Contrariamente ao que se pensa, o stress nem sempre é um malefício. Quando em doses pequenas pode atuar como um estimulante, motivar a pessoa e ajudar a executar tarefas e adversidades sob pressão. Contudo, quando o stress se torna crónico e se está constantemente em “modo de emergência”, o corpo e a mente podem pagar o preço. Há cada vez mais estudos que correlacionam o stress com alguns problemas sérios de saúde, como a doença coronária, depressão, hipertensão e o ataque cardíaco.

A tabela 1.1 mostra alguns sintomas e sinais de alerta característicos de uma carga de stress notória. Deve-se ter em conta que alguns destes sintomas também podem ser causados por outros problemas clínicos.

Tabela 1.1 – Sintomas de stress e as suas diferentes categorias.

Sintomas cognitivos	Sintomas emocionais	Sintomas físicos	Sintomas Comportamentais
Problemas de memória	Mau humor	Dores	Procrastinar ou negligenciar as responsabilidades
Dificuldade de concentração	Irritabilidade	Diarreia ou constipação	Isolamento dos outros
Preocupação constante	Agitação	Náuseas e tonturas	Abuso de álcool, drogas e tabaco
Ansiedade	Sentimento de solidão	Défice imunitário	Comer pouco ou em excesso
Pensamentos pessimistas	Depressão	Problemas cardíacos	Dormir pouco ou em excesso
Incapacidade de decisão	Esgotamento	Hipertensão	Hábitos nervosos (como roer as unhas, mexer no cabelo, ranger os dentes)

Reconhecendo os sinais e sintomas do stress é aconselhável tomar medidas para reduzir os seus efeitos nocivos. Cada pessoa deve encontrar formas saudáveis e positivas de lidar com o stress. Alguns estudos revelam que o exercício físico, o estabelecimento de laços sociais, uso do humor e desfrutar de passatempos prazerosos são um bom atenuante ao stress.

1.1.2 Tolerância ao Stress

Devido aos grandes danos que o stress pode causar é importante saber qual é o nosso próprio limite. Mas como determinar esse limite? O que pode ser considerado demasiado stress? Como é óbvio a resposta a estas perguntas depende de cada indivíduo. Todos somos diferentes, algumas pessoas são capazes de aguentar grandes pressões e frustrações, tirando até algum prazer disso, enquanto outros cedem quando confrontados com pequenos obstáculos.

A habilidade de cada um para tolerar o stress depende de muitos fatores, como a qualidade das suas relações pessoais, a sua visão geral sobre a vida, a sua inteligência emocional e até a sua genética.

Alguns dos fatores que influenciam a tolerância ao stress são [4]:

- Apoio/Suporte – Ter uma forte rede de amigos ou familiares capazes de oferecer ajuda e suporte pode ser uma grande atenuante contra vários agentes stressantes na vida de um indivíduo.
- Sentido de controlo – Confiança em si mesmo, capacidade de influenciar eventos e perseverança em desafios aumenta a capacidade de enfrentar o stress. O sentimento constante que as coisas estão fora do controlo tem o efeito oposto.
- Atitude e perspetiva – Pessoas otimistas são normalmente mais resistentes ao stress e aos seus efeitos. Elas tendem a aceitar e enfrentar os desafios, têm um forte sentido de humor e aceitam que a mudança faz parte da vida.
- Habilidade para lidar com as emoções – A capacidade de cada indivíduo em manter a calma e balançar as emoções em situações de tristeza, raiva, ou sobrecarga diminui a vulnerabilidade ao stress no indivíduo.
- Conhecimento e preparação – Quanto maior for o conhecimento sobre uma determinada situação stressante, o que esperar, quanto tempo irá durar, mais fácil se torna atenuar o stress.

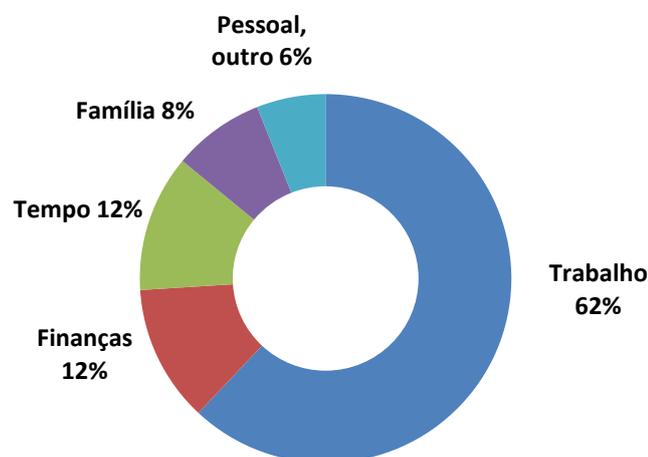
1.1.3 Causas do Stress

As situações ou eventos causadores de stress são conhecidas como stressantes. Normalmente o termo stressante está associado como sendo negativo. Contudo, tudo aquilo que exija mudança ou ajuste do indivíduo a uma determinada situação pode ser considerado um agente stressante. Isto inclui eventos não só negativos mas também positivos, como fechar um negócio, casar, receber uma promoção. O stress pode também não ser proveniente de um fator externo e ser apenas gerado pelo próprio indivíduo. Numa situação em que o sujeito está stressado por algo que pode ou não vir a acontecer, ou quando este tem pensamentos exageradamente pessimistas sobre a vida. Em suma, o que causa stress depende, pelo menos em parte, da perceção de cada um [4]. A tabela 1.2 expõe e diferencia alguns fatores externos e internos causadores de stress.

Tabela 1.2 – Fatores ou agentes internos e externos que podem influenciar o indivíduo.

Fatores Externos	Fatores Internos
Grandes mudanças na vida	Preocupação crónica
Trabalho ou escola	Pessimismo
Problemas financeiros	Atitude “tudo ou nada”
Estar muito ocupado	Pensamento rígido, pouca flexibilidade
Relações difíceis	Perfeccionismo
Crianças e Família	Expectativas irrealistas

Estatisticamente o agente que mais contribui para elevados níveis de stress é o trabalho. Os estudos demonstram, ainda, que a sua influência escalou progressivamente nas últimas décadas. Na figura 1.1 é possível verificar a distribuição dos agentes stressantes apontados por uma população altamente stressada com idades compreendidas entre os 20 e os 64 anos de idade [5].

**Figura 1.1 – Principais agentes stressantes no ser humano. (adaptado de [6])**

Dado que o principal fator causador de stress aparenta ser em questões relacionadas com o trabalho, surge a necessidade de melhor compreender aquilo que este engloba e quais são os seus efeitos no ser humano. Assim, o próximo subcapítulo será essencialmente focado neste agente.

1.1.4 Stress no Trabalho

Devido à globalização e às mudanças na natureza do trabalho, a população dos países em desenvolvimento lidam com um grande aumento do stress relacionado com o trabalho. Nos países industrializados as pessoas estão a ficar mais familiarizadas com o que é o stress no trabalho e como podem combatê-lo, contudo, em países em desenvolvimento ainda não há esta consciência. A vida do trabalhador moderno está sujeita a constantes mudanças devido aos rápidos desenvolvimentos científicos e tecnológicos, o que obriga os trabalhadores a terem que lidar com diversos fatores como:

- A necessidade de obter cada vez mais competências;
- Necessidade de adotar novos métodos de trabalhar;
- Pressão para aumentar a produtividade;
- Exigência de aumento da qualidade do trabalho;
- Maior competição no trabalho;
- Aumento da insegurança e menos benefícios no trabalho;
- Menos tempo para os colegas de trabalho e para socializar.

Estas alterações locais e globais levam a um aumento da exigência num número crescente de trabalhadores. Quando estes não conseguem ou têm dificuldades em satisfazer aquilo que lhes é exigido, o stress no trabalho pode surgir. Quando o stress persiste e ocorre repetidamente, pode ter um efeito muito negativo não só nos próprios trabalhadores mas também nas empresas em que eles trabalham.

- **Efeito nos trabalhadores:** stress no trabalho pode levar a uma variedade de problemas de saúde fisiológicos e psicológicos assim como problemas cognitivos e comportamentais. Doenças mentais, músculo-esqueléticas ou cardiovasculares podem ser o resultado e invalidez ou morte, eventualmente, as consequências.
- **Efeito nas empresas:** a performance das empresas pode ser afetada devido a custos associados ao absentismo dos trabalhadores, produtividade reduzida, aumento de práticas de risco e de acidentes, aumento de queixas por parte dos clientes, substituição dos trabalhadores, formação dos novos trabalhadores, entre outros fatores.

Conforme referido anteriormente, nos países emergentes não existe informação específica para o stress no trabalho, devido a não existirem mecanismos de recolha de dados ou de não haver um conhecimento das consequências que podem daí advir. De seguida são apresentadas algumas estatísticas com alguma relevância e interesse relacionado com o que se discutiu anteriormente [7]:

- Cerca de 75% da força de trabalho mundial vive e trabalha em países em desenvolvimento;
- Entre 20 e 50% dos trabalhadores em países industrializados pode estar exposto a riscos no trabalho e é espectável que esta taxa aumente consideravelmente nos países emergentes;
- Aproximadamente 50% dos trabalhadores em países industrializados afirma que o seu trabalho é “mentalmente exigente”;
- Todos os anos há cerca de 120 milhões acidentes de trabalho com 200 mil fatalidades e 68-157 milhões casos de doença;
- Fraca saúde e capacidade reduzida dos trabalhadores pode ser responsável por uma perda entre 10 e 20% do produto nacional bruto de um país. Estima-se que as mortes, doenças e casos invalidez no trabalho a nível mundial sejam responsáveis por 4% do PIB.

Como se pode comprovar pelos números apresentados, o stress é um problema que afeta uma grande quantidade da população mundial e implica grandes custos, doenças e até pode provocar a morte. Na América Latina, por exemplo, o stress no trabalho é reconhecido como uma das grandes epidemias da era moderna. Por estas razões, e com o objetivo de diminuir os seus efeitos prejudiciais ou combater o seu aparecimento, o estudo e compreensão sobre toda a temática do stress é de extrema importância nos dias que correm [8].

1.2 Motivação

Stress crónico, como aquele causado pela necessidade de ter que cuidar de um parente com Alzheimer ou stress agudo, como ser despedido podem levar a uma depressão em pessoas suscetíveis. Segundo a OMS a depressão afeta cerca de 350 milhões de pessoas de todas as idades, em todo o mundo. Esta doença é a principal causa de inaptidão e no extremo pode levar ao suicídio. Estima-se que a depressão seja responsável por 1 milhão de mortes por ano no

mundo. Shekhar Saxena, diretor do Departamento de Saúde Mental e Abuso de Substâncias Psicoactivas da OMS afirma “Mais de 50% das pessoas que se suicidam sofriam de depressão” [9].

Em Portugal a depressão afeta 1 em cada 5 portugueses e pode ser responsável por mais de 1200 mortes anualmente. Estima-se um custo anual de 118 milhões de euros na Europa relativos a esta doença [10]. Acrescentando ao fator económico, o fator da perda humana e do bem-estar, revela-se de grande interesse o investimento na investigação associada a esta área, na busca de descobertas de terapias clínicas ou de medidas preventivas de forma a diminuir a incidência dos casos graves de stress.

A Universidade do Minho, concretamente o Instituto de Ciências da Vida e da Saúde (ICVS) tem também contribuído para a investigação, investindo muitos recursos nesta área.



Figura 1.2 – Instalações do Instituto de Ciências da Vida e Saúde – ICVS. (retirado de [11])

O ICVS, apresentado na figura 1.2, é uma unidade de investigação e desenvolvimento incorporada na Escola de Ciências da Saúde (ECS-UMinho), que foi criado em 2003, tem uma área total de aproximadamente $6000 m^2$ e está localizada estrategicamente na região Norte de Portugal. Inserida num *Cluster* em rápido crescimento de Ciências Biomédicas, tecnologia e instituições de saúde, trata-se de uma plataforma tecnológica composta por laboratórios de alto padrão e equipamentos científicos de ponta [12].

O stress não é um fenómeno exclusivo dos seres humanos e alguns animais demonstram comportamentos similares quando sujeitos a estímulos externos capazes de induzir stress. Os modelos de stress aplicados a animais envolvem exposições únicas, intermitentes ou crónicas de animais da mesma espécie a testes laboratoriais. O tipo de interações que se aplica pode variar consoante a espécie, idade, género, assim como as condições na qual a exposição toma lugar. A

maior parte dos laboratórios de investigação dos efeitos do stress utiliza roedores, usualmente os denominados “ratos de laboratório” ou até *hamsters*. Outras espécies como primatas também são por vezes utilizadas neste tipo de investigação, embora a observação dos efeitos e dos comportamentos resultantes seja feita em ambientes seminaturais ou na própria selva [13].

A UM tem disponível no Biotério da ECS boas condições para a prática destas experiências. Contudo, para aplicar os modelos de stress, que serão discutidos nos próximos capítulos, é necessário que existam parâmetros de repetibilidade. Tal significa que o fator humano deve ser reduzido ao máximo pois este implica erros e variações ao longo do processo, o que pode condicionar a aceitação e validação de resultados por parte da comunidade científica. Surge assim, a necessidade de automatizar o processo garantido a fiabilidade e repetibilidade dos resultados obtidos, assim como reduzir custos, tempo e mão-de-obra.

Pela experiência anterior dos investigadores na execução dos testes experimentais realizados no ICVS, a aplicação e cumprimento dos modelos de stress mais frequentemente usados, como é o caso do CMS e do CUS, quando aplicado a 48 animais (24 gaiolas), envolve aproximadamente 140 horas de mão-de-obra por semana. Mediante estas condições estes protocolos tornam-se muito morosos, com custos elevados e os resultados obtidos podem ser influenciados e conter erros devido ao fator humano. Nestas circunstâncias surge o projeto para a automatização de um equipamento capaz de induzir stress em roedores, este foi iniciado há cerca de dois anos e tem vindo a ser desenvolvido e melhorado em colaboração com alunos e professores [14].

1.3 Objetivos

No âmbito desta dissertação pretende-se dar continuidade ao projeto de automatização dos paradigmas indutores de stress, que tem vindo a ser desenvolvido, e que conta já com um protótipo com algumas partes finalizadas, nomeadamente a estrutura e o sistema de elevação das gaiolas.

O projeto tem assim o intuito de conceber, projetar e desenvolver todo o sistema mecânico do equipamento. Devem ser selecionados os diferentes componentes que compõem o sistema, e deve ser concluída a construção do protótipo, validando o mesmo com a realização de alguns testes experimentais.

As características e contornos de todo o projeto foram pensados com vista a aplicar dois modelos de stress aos roedores, envolvendo o menor custo e mão-de-obra possíveis, o *Chronic Mild Stress (CMS)* e o *Chronic Unpredictable Stress (CUS)*. Na impossibilidade de automatizar todo o processo, torna-se indispensável desenvolver métodos que providenciem repetibilidade, fiabilidade e segurança dos resultados obtidos em todos os testes experimentais. Além disso, o projeto tem ainda em conta que o próprio protótipo/equipamento é o alojamento dos animais e portanto requer todas as condições de segurança e higiene para sustentar os animais saudáveis.

Considerando que a estrutura e o sistema de elevação das gaiolas já estão finalizados, o principal foco desta dissertação prende-se com o estudo e desenvolvimento de todos os outros agentes indutores de stress. Alguns destes agentes foram já abordados ao longo do projeto mas contêm erros ou são considerados inviáveis, sendo então necessário fazer alterações ou em alguns casos considerar novas hipóteses.

Depois de estabelecida a relação dos vários sistemas com o estado de arte, devem ser definidas todas as necessidades e especificações técnicas. Deve ser feito o estudo conceptual e a modelação 3D das soluções adotadas assim como o seu dimensionamento e a seleção de componentes. No desenvolvimento dos vários sistemas que compõem os agentes indutores de stress deve ser prevista alguma flexibilidade entre eles de forma a ser possível fazer, com facilidade, pequenas alterações após a realização de testes preliminares. Os sistemas devem portanto estar integrados numa interface homem-máquina que permita o controlo de variáveis como o tempo, a duração e a seleção dos diferentes sistemas stressantes.

1.4 Organização da dissertação

A presente dissertação que tem o propósito de expor e enquadrar todo o trabalho realizado no âmbito do projeto requerido para a atribuição do grau de mestra do autor, encontra-se dividida em cinco capítulos diferentes.

O presente capítulo, **Capítulo 1**, pretende orientar o leitor para a temática abordada e para o projeto a ser desenvolvido. Assim, é iniciado por um breve enquadramento teórico e nos seguintes subcapítulos é descrita a motivação e os objetivos relacionados com a realização deste projeto. Por fim, é apresentada a forma como a dissertação se encontra estruturada.

No **Capítulo 2**, de cariz teórico, é explicado em que consistem os modelos de stress animal, são descritos e apresentados dois dos principais modelos usados em todo o mundo nesta área de investigação e é ainda compreendido como é feita a validação dos mesmos. São também descritas as condições existentes na ECS e no biotério assim como os procedimentos usados pelos investigadores nesta instituição. Por fim são apresentados os equipamentos atualmente existentes no mercado para a prática e execução dos referidos protocolos.

O **Capítulo 3** é essencialmente focado naquilo que já foi realizado nas fases precedentes de desenvolvimento deste projeto. Pretende-se assim, inteirar o leitor do ponto em que o projeto se encontra e expor quais são as limitações e problemas que ainda necessitam de ser avaliados no sentido de se encontrar soluções adequadas.

No **Capítulo 4**, com base na teoria do projeto mecânico, é apresentada a fase de desenvolvimento, onde o problema inicial é dividido em vários problemas de simples resolução. Com base em conceitos e conhecimentos de engenharia são estudadas as várias hipóteses para solucionar os diferentes problemas. Finalmente após a seleção dos vários mecanismos indutores de stress, através de critérios apropriados, são apresentados os vários componentes que se pretende fabricar e que em conjunto compõem o produto final que se deseja obter.

Por último, no **Capítulo 5**, são apresentadas as conclusões relativas a todo o trabalho realizado no âmbito deste projeto, é feita uma avaliação do produto final obtido e são apresentadas algumas sugestões para o trabalho futuro a realizar de modo a obter melhorias no equipamento.

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO E MEDIÇÃO DO STRESS

2 AVALIAÇÃO E MEDIÇÃO DO STRESS

Os eventos de indução de stress são claramente um fenómeno complexo, pois implicam a correlação de um grande leque de agentes, incluindo o fator ambiental que é normalmente difícil de replicar. De forma a criar um modelo da doença é útil que a base etiológica desta possa ser reproduzida em animais. Estes são responsáveis, em parte, por desvendar algumas das noções que existem hoje em dia sobre esta temática. Os ratos de laboratório são normalmente o animal mais desejado neste tipo de ensaios e foram até selecionadas linhas genéticas específicas para este propósito [15].

Isto é possível porque os animais da mesma espécie, sexo e idade, mantidos em condições ambientais controladas, mostram uma resposta suficientemente homogênea a condições stressantes que é proporcional à intensidade do agente stressante e à duração da exposição. Portanto, é possível estabelecer um protocolo calibrado de forma a obter com repetibilidade modificações comportamentais e neuroendócrinas. A resposta do animal ao estímulo não depende unicamente do estado e condição do animal mas também na natureza ou tipo do próprio agente stressante. A duração, forma e a intensidade da aplicação de determinado agente, provoca respostas e comportamentos diferentes. Essas diferenças sugerem que o tipo de eventos usados para o estudo deve caracterizar-se como um agressor para várias espécies de mamíferos, incluindo os humanos [16].

Com base no que foi referido é imperativo que se usem protocolos capazes de induzir stress para posteriormente ser possível medir e compreender os seus mecanismos com o objetivo desenvolver estratégias terapêuticas. Pretende-se assim, com este capítulo, explicar em que consistem estes modelos, descrever o seu processo de aplicação, compreender como é validado o estado depressivo das cobaias, entre outros pormenores relevantes a todo o processo.

2.1 Modelos de Stress Animal

Os modelos de stress animal têm o objetivo de reproduzir alguns dos conhecidos aspetos de depressão em espécies selecionadas de animais. Estes modelos têm a utilidade de servirem como ferramenta para investigação de aspetos ligados à neurobiologia e fisiopatologia da depressão. Além disso podem servir para o estudo da ação de antidepressivos e análise de formas de prevenção.

Há cerca de 30 anos atrás, McKinney e Bunney propuseram os requisitos mínimos necessários para um modelo de stress animal [17]:

- Necessidade de uma analogia razoável há enfermidade presente no humano, tanto nas suas manifestações como nos sintomas;
- Se verifique uma mudança comportamental que possa ser monitorizada objetivamente;
- As mudanças comportamentais observadas devem ser reversíveis através dos mesmos tratamentos que efetivamente funcionam nos humanos;
- O modelo deve ser reproduzível entre investigadores.

O número de modelos ou protocolos de stress em animais atualmente disponíveis é significativamente maior do que quando estes modelos foram primeiramente usados há cerca de 50 anos atrás. Isto significa que a escolha do modelo mais apropriado para uma determinada experiência nem sempre é uma tarefa fácil. Idealmente, esta escolha deve ser feita com base na hipótese a ser testada, na estrutura da experiência, na experiência do investigador e no conhecimento das limitações dos vários modelos [17].

A grande parte dos modelos de stress em animais é baseada na exposição a vários tipos de estímulos, agudos ou crónicos. Dos vários modelos procedimentais existentes, o maior grupo abrange paradigmas em que o stress é usado para induzir anormalidades comportamentais, como são exemplo, o *Learned Helplessness*, o *Chronic Mild Stress*, o *Social Defeat Stress*, entre outros. Neste caso particular, de encontro aos protocolos usados no ICVS, será abordado e descrito um dos principais modelos crónicos, em que o estado depressivo se desenvolve gradualmente ao longo do tempo, anteriormente referido como *CMS*.

2.1.1 Chronic Mild Stress e Chronic Unpredictable Stress

Em 1987, Willner e alguns dos seus colegas de trabalho desenvolveram o protocolo *CMS* ou Stress Crónico Moderado que inclui uma grande variedade de estímulos administrados ao longo de um grande período de tempo. A diversidade dos agentes stressantes é uma característica essencial do modelo, pois a repetição de um único estímulo resulta na adaptação por parte da cobaia e compromete assim os resultados que serão obtidos posteriormente [18]. Neste modelo os animais são expostos desde 2 a 8 semanas a uma grande variedade de agentes, incluindo choques elétricos, restrição de espaço e comida, alteração do ciclo de luz, sons desagradáveis,

alterações ao seu habitáculo, entre outros. Após vários dias de exposição a este regime, os animais exibem um decréscimo gradual na resposta à recompensa, mostram sinais de uma redução na atividade motora e cognitiva e encontram-se normalmente num estado de anedonia [17]. Isto faz com que este regime seja um dos mais válidos modelos de depressão, embora seja um processo exigente em termos de mão-de-obra, espaço, duração e exista alguma dificuldade na repetibilidade dos ensaios.

O modelo *CUS*, ou Stress Crónico Imprevisível, pode ser considerado uma variante do *CMS* na qual os animais são sujeitos aos estímulos durante 1 ou 2 horas diárias, por agentes stressantes aplicados de forma aleatória. Este tipo de protocolo previne o conhecido efeito de adaptação ao stress que acontece em muitos dos outros modelos de stress crónico.

2.1.2 Validação do Protocolo

Um dos grandes problemas da investigação relacionada com o stress nos animais ou com fatores psicológicos no geral é a falta de modelos de validação. Muitos dos sintomas da depressão não são passíveis de serem facilmente medidos, pois são bastante subjetivos. Torna-se então necessário definir critérios claros que permitam declarar a validade do modelo utilizado.

Willner alegou que quando exposto a um severo e crónico estado depressivo, o ser humano evidenciava mudanças de apetite devido ao estado de anedonia. Portanto, uma das formas para medir e avaliar o efeito do *CMS* nos roedores seria através do mesmo princípio. Tal como acontece com a maior parte dos humanos, quando é dada uma escolha, também os ratos preferem beber líquidos açucarados. No modelo *CMS*, está provado que a exposição contínua dos ratos a uma variedade de estímulos stressantes provoca uma diminuição do consumo de líquidos, principalmente na solução aquosa açucarada devido ao estado de anedonia, sendo que esta condição pode ser revertida pela administração de um antidepressivo clássico. Assim, a medição de anedonia a uma recompensa natural para soluções palatáveis é o principal meio de validação do modelo *CMS* [16].

Para controlar os níveis de consumo, torna-se então necessário medir o consumo individual de cada roedor quando se encontram saudáveis, antes de serem sujeitos aos estímulos agressivos. É normalmente cedida uma semana antes da aplicação do protocolo, para os ratos fazerem a habituação à solução açucarada e assim estabelecer os níveis preferenciais base para cada cobaia. Nesta semana, os animais que são previamente privados de comida ou bebida por cerca

de 18h, são depois apresentados com um recipiente com a solução de sacarose e outro com apenas água da torneira por cerca de 1h. O peso dos recipientes é depois medido e comparado com o peso inicial antes do teste.

$$Preferência\ Sol.\ Sacarose = \left(\frac{Consumo\ Sol.\ Sacarose}{Consumo\ Sol.\ Sacarose + Consumo\ Água} \right) \times 100 \quad (1.1)$$

Depois de calculados os níveis preferenciais de acordo com a equação (1.1), ao longo da aplicação do protocolo *CMS* a anedonia ou a alteração da sensibilidade à recompensa pode ser definida como a redução na preferência da solução de sacarose quando confrontada com os níveis inicialmente determinados [19]. De seguida os investigadores submetem os animais a um tratamento antidepressivo durante algumas semanas e voltam a ser calculados os níveis preferenciais da solução de sacarose, verificando que esta apresenta valores próximos daqueles inicialmente determinados. De forma a comprovar que não existe uma relação entre o antidepressivo e o aumento do consumo da solução, alguns dos ratos não são submetidos ao protocolo e portanto não ficam num estado depressivo. Esses mesmos ratos tomam o antidepressivo e posteriormente são submetidos ao *SPT* que confirmará que não houve um aumento no consumo na solução de sacarose. Confirmando assim que o antidepressivo não tem qualquer influência direta no consumo, apenas se manifesta uma preferência pela solução consoante o estado depressivo vai atenuando.

A figura 2.1 ilustra um exemplo de como varia o consumo de líquidos no decorrer das semanas de aplicação do protocolo. Todos os parâmetros expressos nos gráficos são apresentados como uma percentagem dos valores médios do grupo de controlo. Este grupo não foi submetido a qualquer paradigma de stress e serviu apenas para gerar os valores médios de referência. No gráfico A é possível notar que a preferência pela solução de sacarose baixa significativamente logo após os ratos serem submetidos ao protocolo e depois das duas semanas e meia mantém-se aproximadamente constante neste nível.

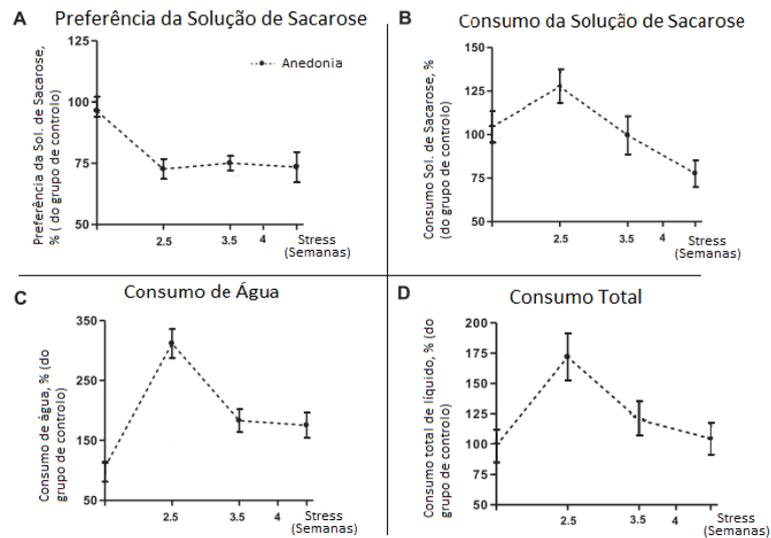


Figura 2.1 – Variação dos consumos no decorrer do SPT (adaptado de [21]).

No gráfico B, apesar da preferência pela solução baixar, o seu consumo aumenta até às duas semanas e meia, o que significa que o consumo de água e consequentemente o consumo total terá forçosamente que apresentar um aumento nesta fase, facto que pode ser comprovado pelos gráficos C e D da figura 2.1. Embora o consumo total seja maior durante toda a duração do protocolo, é possível comprovar pela análise dos restantes gráficos que a preferência pela solução ficou sempre significativamente abaixo dos valores iniciais. O que corrobora a tese da alteração da sensibilidade à recompensa por parte dos animais, quando apresentados num estado severamente depressivo ou de anedonia.

2.2 Condições e Procedimentos da ECS

Conforme referido anteriormente a ECS apresenta boas condições para a realização deste tipo de experiências. Pretende-se no próximo subcapítulo mostrar as condições existentes no biotério do ICVS, como são aplicados os protocolos, quais os agentes indutores de stress utilizados e quais as restrições e limitações existentes.

2.2.1 Biotério e Condições da ECS

O ICVS, unidade de investigação e desenvolvimento integrado na ECS dispõe de um biotério com temperatura controlada (22 ± 1 °C) e um ciclo de luz natural onde os animais vivem [22]. Os ratos encontram-se alojados em gaiolas iguais às apresentadas na figura 2.2, cujas dimensões são 425 x 266 x 292mm. Cada gaiola aloja 2 ratos e estas estão dispostas em várias prateleiras, onde cada uma tem capacidade para 24 gaiolas. Excetuando a necessidade pontual de realizar

alguma atividade com os roedores fora da gaiola, estes passam todo o seu tempo no interior das mesmas, independentemente de estarem ou não sujeitos ao protocolo de indução de stress [14].



Figura 2.2 – Gaiola Tecniplat 1291H EuroStandard Type III H (adaptado de [23]).

Para além de disporem da gaiola apresentada na figura 2.2, são garantidas todas as condições para os ratos viverem de uma forma saudável. É feito o reabastecimento da comida e água, limpeza e esterilização das gaiolas e acessórios e é ainda colocada uma cama, cujo material está representado na figura 2.3, que é trocada ou limpa todas as semanas garantindo o conforto necessário para os ratos habitarem e fazerem as suas necessidades fisiológicas.



Figura 2.3 – Material utilizado nas gaiolas dos roedores

A limpeza ou troca é normalmente feita após o *Damp Bedding*, um agente stressante que será descrito mais à frente neste capítulo. A comida dos ratos é colocada numa grelha que assenta na própria gaiola, conforme pode ser visto na figura 2.4, esta possui ainda uma divisória que permite colocar um biberão com água.



Figura 2.4 – Grelha para colocação da comida e do biberão dos roedores.

Hoje em dia existe bastante conhecimento sobre roedores utilizados em ambiente laboratorial, a sua manipulação genética permite dispor animais muito mais adequados a determinada atividade experimental pois é possível realçar características importantes e assim obter um modelo ideal para cada experiência. Os ratos normalmente utilizados no ICVS são os denominados *Wistar*, trata-se de uma linhagem albina da espécie *Rattus norvegicus*, desenvolvida no Instituto *Wistar* na Filadélfia. Este rato é um dos mais usados na investigação em laboratório, a sua predominância deve-se há existência de uma grande quantidade de dados e estudos relativos a esta linhagem, como curvas de crescimento do próprio animal e dos seus vários órgãos. O *Wistar*, conforme se pode observar pela figura 2.5, é caracterizado por ter orelhas alongadas, cabeça grande e o comprimento da cauda menor que o comprimento do seu corpo [24].



Figura 2.5 – Rato *Wistar Han*, utilizado no ICVS. (adaptado de [25])

Para aceder às instalações laboratoriais e ao biotério garantindo a segurança dos animais e das pessoas, é necessário cumprir certos cuidados e normas sugeridos pela OMS, como a desinfecção das mãos, utilização de touca, máscara, bata, luvas e protetores de calçado. Além

disso, é necessária a desinfecção de qualquer equipamento ou acessório que seja necessário introduzir no biotério. É ainda proibido tirar fotografias, vídeos e fazer ruído exagerado que possa perturbar os ratos [14].

2.2.2 Agentes Stressantes e Problemas Associados

A automatização dos diversos agentes stressantes, que serão aplicados na estrutura do equipamento é o principal foco do projeto. Para isso, torna-se necessário saber em que consistem e como são aplicados atualmente no ICVS todos estes estímulos. Este subcapítulo tem o objetivo de descrever os vários agentes e apontar os problemas a estes associados quando aplicados manualmente. As tabelas 2.1 e 2.2 resumem os vários agentes stressantes e descrevem o seu método de aplicação atual.

Tabela 2.1 – Descrição e método corrente de aplicação dos estímulos. (adaptado de [14])

Agente Stressante	Descrição	Método de aplicação
<i>Food Deprivation</i>	Ausência de alimento durante 18 a 24 horas.	Comida retirada manualmente da gaiola.
<i>Water Deprivation</i>	Ausência de líquidos durante 18 a 24h.	Biberão retirado manualmente da gaiola.
<i>Inaccessible Food</i>	Presença de comida mas sem acesso durante 1h.	Comida colocada manualmente num recipiente transparente.
<i>Empty Bottle</i>	Visualização do biberão mas sem acesso a este.	Biberão vazio colocado manualmente na gaiola.
<i>Damp Bedding</i>	Cama encharcada durante 12 a 18 horas.	Despejo de aproximadamente 750ml de água até a cama dos roedores ser trocada.
<i>Tilted Cage</i>	Inclinação da gaiola entre 30° e 45°.	Gaiolas manualmente colocadas no chão e uso de batente que mantém a gaiola inclinada.
<i>Light-Cycle Change</i>	Alteração do ciclo de luz diário.	Colocação da <i>rack</i> numa sala escura ou luzes ligadas permanentemente.

Tabela 2.2 – Continuação da descrição e método corrente de aplicação dos estímulos. (adaptado de [14])

Agente Stressante	Descrição	Método de aplicação
<i>Noise</i>	Ruído intenso.	Colocação da <i>rack</i> numa sala isolada e uso de colunas para emitir os sons.
<i>Strobe Light</i>	Estímulo visual intenso.	Colocação de uma lâmpada <i>Strobe</i> apontada indiretamente para a <i>rack</i> .
<i>Shaking</i>	Aplicação de vibração nos roedores durante 1 hora.	Colocação dos roedores num saco e agitação do mesmo.
<i>Restraining</i>	Restrição do espaço, limitação do movimento dos animais.	Colocação dos roedores em <i>Tupperwares</i> .
<i>Overcrowding</i>	Sobrelotar as gaiolas com roedores.	Colocação de vários animais na mesma gaiola.
<i>Cold Water / Forced Swim Test</i>	Submeter os roedores à necessidade de esforço contínuo.	Colocação do rato num gobelé parcialmente cheio com água.
<i>Hot Air</i>	Submeter os roedores a um jacto de ar quente.	Utilização de um secador individualmente em cada caixa.
<i>Fox/Cat Scent</i>	Introdução de um odor de um predador.	N/A

Conforme se pode perceber pela análise das tabelas 2.1 e 2.2, embora alguns estímulos não apresentem grandes problemas relativos ao seu método de aplicação, existem outros que ficam extremamente limitados. Para além de serem morosos, muito cansativos, ser difícil garantir a sua repetibilidade e fiabilidade, em alguns processos é até colocada em causa a saúde ou a vida dos animais. As principais características e os problemas associados à aplicação dos vários estímulos são de seguida descritos.

Food Deprivation

Tendo em conta que os roedores então habituados a terem alimento sempre presente na sua gaiola, a sua ausência representa uma alteração à sua rotina e conseqüentemente é considerado um agente stressante. A aplicação deste estímulo implica portanto a remoção de qualquer alimento da gaiola por um período de 18 a 24 horas.

Este processo é atualmente feito de forma manual, onde o investigador ou o tratador remove individualmente a comida de cada gaiola e coloca num local adequado, isolado da sala onde os animais estão alojados. Como a *rack* é composta por 24 gaiolas e em conjunto com os restantes estímulos torna-se um processo que envolve bastante tempo. A solução passaria pela alteração da grelha da gaiola de forma a ser possível retirar o acesso à comida automaticamente, contudo, o odor da comida continuaria presente o que poderá alterar os parâmetros do referido agente.

Water Deprivation

Representando também uma alteração à rotina do animal, este agente consiste na ausência de água ou qualquer líquido por um período de 18 a 24 horas. À semelhança do que acontece no processo referido anteriormente, o biberão é removido manualmente de todas as gaiolas e colocado num local onde o rato não o consiga observar. A automatização deste processo também apresenta sérias dificuldades pois apesar de a água não ter odor, é necessário ocultar o biberão para cumprir todos os requisitos deste estímulo.

Inaccessible Food

Posteriormente ao *Food Deprivation* e ao *Water Deprivation*, durante aproximadamente 1 hora, é recolocada a comida na gaiola com o intuito que os animais consigam ver e cheirar mas não tenham acesso. Os ratos já se encontram num estado de ansiedade depois de cerca de 24 h sem se alimentarem, este agente consegue ampliar ainda esse estado ao fazer com que estes sintam a comida ao seu alcance mas não consigam acesso à mesma.

Este procedimento apresenta o mesmo problema dos anteriores por se tratar de um processo moroso, porém neste caso existe a possibilidade de agregar um mecanismo às gaiolas capaz de vedar o acesso.

Empty Bottle

Também depois do *Food Deprivation* e do *Water Deprivation*, identicamente ao processo anterior, o *Empty Bottle* tem o objetivo de colocar o biberão ao alcance visual dos roedores mas sem a possibilidade de beberem quando estes já se encontram desidratados. Isto é conseguido colocando o biberão vazio no interior da gaiola ou colocando-o cheio mas com o bocal na posição contrária, permitindo assim aos ratos visualizarem a água mas sem qualquer hipótese de a beberem.

Trata-se de um procedimento relativamente simples, todavia quando multiplicado pelo conjunto das gaiolas, torna-se um processo demorado. Uma solução possível passaria por alterar completamente o biberão de forma a permitir negar o acesso ao biberão com facilidade.

Damp Bedding

O *Damp Bedding* é um processo ligeiramente mais complexo que consiste em encharcar a cama dos ratos durante aproximadamente 18 horas. A finalidade deste ensaio é provocar um grande desconforto nos ratos, criando-lhes dificuldades em encontrar um local ideal de repouso.

A aplicação deste agente, especialmente se for feita a sua automação, requer um cuidado especial pois o nível de água não pode variar muito. No caso de ser introduzida pouca água o agente não atuará conforme esperado e caso a água seja em excesso poderá representar perigo de vida para o animal.

Depois de feitas algumas experiências chegou-se à conclusão que a quantidade ideal de água seria de sensivelmente 750 ml. Com o intuito de não desperdiçar recursos desnecessários, este ensaio é realizado de modo a que o seu término coincida com a altura de limpeza da gaiola.

A finalidade da automatização deste procedimento prende-se com a conveniência de uma grande redução do tempo de mão-de-obra e com a necessidade do aumento da repetibilidade e credibilidade dos resultados obtidos.

Tilted Cage

Outro dos princípios que causa grandes problemas aos investigadores é o *Tilted Cage*, este consiste em gerar uma inclinação na gaiola entre 30° e 45°. O propósito deste ensaio é também provocar o desconforto nos ratos pois isto obriga-os a permanecer no fundo da gaiola, onde se acumulam os seus próprios dejetos, criando grandes dificuldades para o rato se mover e alimentar.

No presente momento este teste é feito através da remoção das gaiolas da *rack* e são seguidamente colocadas no chão onde, através de um batente, são colocadas na posição desejada. Naturalmente trata-se de um processo muito rudimentar e existe portanto a urgência de se encontrar uma solução adequada, de preferência fazendo a automação da elevação de todas as gaiolas até à posição desejada e por fim a colocação na posição inicial.

Light-Cicle Change

Este parâmetro do protocolo consiste na alteração do ciclo de luz diário a que os animais estão acostumados, interferindo assim com o seu ciclo biológico. Para executar esta alteração existe a hipótese de trocar o ciclo da noite com o dia, mantendo-os em escuridão durante o dia e manter as luzes ligadas durante a noite, em períodos aproximados de 12 horas. Outra hipótese disponível é manter os ratos numa exposição contínua à luz por um período de 48 horas. À semelhança do que acontece com os humanos quando sujeito ao mesmo tipo de estímulo, esta experiência pretende afetar o horário de descanso dos roedores, desregulando assim a função cerebral e aumentando o stress.

As soluções presentemente existentes no ICVS para este parâmetro, passam pela colocação de toda a estrutura numa sala distinta, de modo a que não haja a possibilidade de afetar os animais sujeitos a outro tipo de protocolos. Este agente não apresenta dificuldades nem defeitos funcionais para os investigadores na sua aplicação, sendo que a melhoria do mesmo passaria apenas pela possibilidade de fazer o controlo e registo das horas de luz a que os ratos foram submetidos.

Noise

Outro dos ensaios capaz de interferir com o descanso dos roedores é o *Noise*. Este consiste na emissão de um forte ruído durante períodos de 1 hora ou de 4 a 6 horas conforme o protocolo a ser utilizado. Este processo é atualmente feito numa sala particular onde são emitidos sons a grandes amplitudes. Concluiu-se que a forma mais simples e cómoda de realizar este procedimento seria com recurso a colunas e através da emissão de sons de predadores ou sons tipo *Spectrum* e *White Noise*. O método de aplicação deste agente não apresenta lacunas funcionais, todavia o controlo de parâmetros como a intensidade e duração seria benéfico.

Strobe Light

Outro estímulo utilizado é o *Sobre Light*, este consiste na projeção de uma luz intensa intermitente, durante aproximadamente 4 a 6 horas. De forma similar a alguns dos estímulos referidos anteriormente, este também é aplicado numa sala particular, isolada dos outros animais, com o intuito de não interferir com os outros protocolos a serem empregues. Este método também não apresenta grandes problemas na sua aplicação e a eventual melhoria que

seria útil era o registo de parâmetros como a duração do estímulo e a intensidade e frequência da lâmpada.

Shaking

O *Shaking* consiste em perturbar as atividades habituais e o descanso dos roedores, com a aplicação de uma determinada vibração na gaiola ou no próprio rato durante sensivelmente 1 hora.

Este agente é um dos que revela maiores dificuldades na sua aplicação pois não existe uma forma simples de, apenas com o esforço humano, aplicar uma vibração constante e prolongada, tanto no rato como na gaiola. O método atualmente adotado baseia-se em colocar vários animais num mesmo saco e agitá-lo. Obviamente que se revela extremamente complicado a repetição desta tarefa durante 60 minutos, além disso a repetibilidade é bastante questionável.

Trata-se portanto de um ensaio que necessita de ser totalmente repensado de forma a ser possível, sem grande esforço e garantindo a segurança dos animais, aplicar uma vibração constante a todos os ratos ou gaiolas.

Restraining

Este parâmetro destina-se a limitar a capacidade dos animais se movimentarem livremente, confinando-os num espaço bastante reduzido. O procedimento atualmente utilizado no ICVS passa por colocar os ratos individualmente em pequenas caixas ou *Tupperwares*, certificando-se que se deixa aberturas suficientes para os ratos respirarem. Este método é relativamente simples mas requer algum tempo para mudar constantemente os ratos de sítio. A solução ideal passaria por confinar os ratos na própria gaiola.

Overcrowding

O *Overcrowding* tem o mesmo princípio do *Restraining* mas adicionando uma componente social. Este agente stressante consiste em colocar na mesma gaiola, durante cerca de 1 hora, um exagerado número de animais, com o objetivo de gerar disputas pelo alimento e território, conforme se pode visualizar na figura 2.6.



Figura 2.6 – Aplicação do *Overcrowding*. (adaptado de [26])

Cold Water/Forced Swim Test

O *Forced Swim Test* é um estímulo consideravelmente agressivo, em que se colocam individualmente os ratos num reservatório com água até um nível onde exija que estes nadem continuamente para garantirem a sua sobrevivência. A vida dos roedores não deve ser posta em causa e portanto a duração deste teste é variável conforme a capacidade de resistência do animal. A figura 2.7 representa os vários estados em que o rato se encontra ao longo do ensaio e como é detetado o seu grau de cansaço.

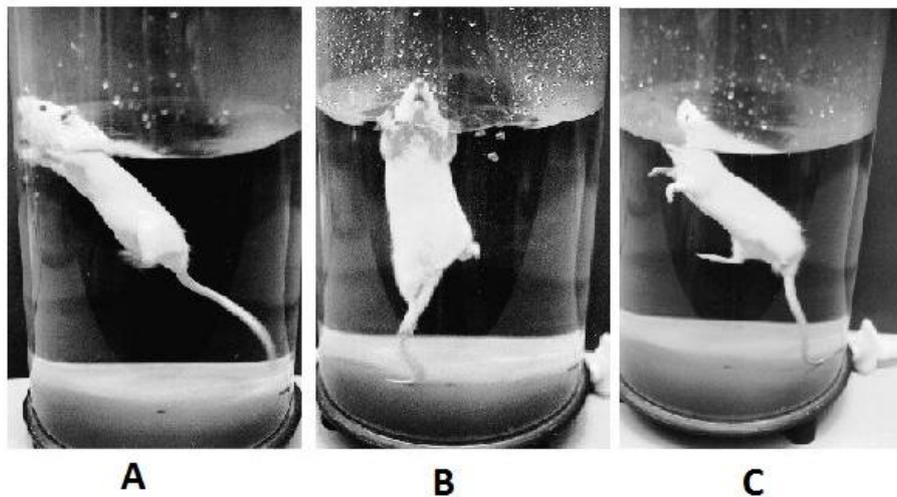


Figura 2.7 – Níveis de exaustão ao longo do *Forced Swim Test*. A) O rato encontra-se a nadar perfeitamente; B) O rato apresenta dificuldade em debater-se pela sobrevivência; C) O rato encontra-se exausto e consequentemente deixa-se flutuar (adaptado de [27]).

No ICVS é utilizado um gobelé, com dimensões consideravelmente superiores ao tamanho dos ratos, este é enchido até um nível previamente definido e os ratos são colocados a nadar até próximo de estarem exaustos, sendo posteriormente retirados pelos tratadores. Este ensaio é amplamente utilizado, da mesma forma, por outras instituições e a sua aplicação não apresenta dificuldades, sendo por isso desconsiderado para este projeto.

Hot Air

A finalidade deste estímulo é direcionar um jacto de ar quente diretamente nos animais de forma a induzir um grande desconforto, tanto pela temperatura como pela própria projeção do ar e das partículas presentes na gaiola. Este ensaio tem uma duração aproximada de 1 hora.

A dificuldade deste parâmetro prende-se com o controlo da temperatura, a repetibilidade do processo, o tempo despendido pelos responsáveis e o facto de atualmente apenas ser permitido aplicar o processo em simultâneo a um número reduzido de gaiolas. No ICVS são utilizados secadores de cabelo, apontados diretamente aos animais pelos tratadores durante 1 hora.

A solução ideal para este caso seria a total automatização do sistema, registando vários parâmetros importantes e possibilitando a aplicação do ensaio em várias gaiolas em simultâneo, sem exigir um grande esforço por parte dos investigadores.

Fox/Cat Scent

Este agente stressante resume-se à intimidação dos animais através de um estímulo olfativo. Normalmente são aplicados odores que despertam os ratos para a presença de um predador, como gatos, raposas, cobras ou até aves de rapina. Existem dificuldades na aplicação desde ensaio pois, mesmo que o este seja feito num local isolado, o odor é passível de se entranhar no conjunto em teste e posteriormente propagar-se no biotério, afetando os outros animais em estudo. Este estímulo ainda não é aplicado no ICVS e conseqüentemente não será considerado para este projeto.

2.2.3 Protocolos utilizados

O ICVS utiliza protocolos anunciados por investigadores conceituados mundialmente, contudo estes são adaptados à realidade e às limitações existentes no Biotério do ICVS. O protocolo que é normalmente utilizado é composto por uma semana em que é feito a habituação ao SPT e de seguida é aplicado um plano para as semanas seguintes, normalmente o *CMS* ou o *CUS*. A habituação ao SPT é feita para estabelecer os valores base de referência, consiste numa semana em que os animais são repetidamente privados de se alimentarem durante 18 a 24h e de seguida é feito o teste de preferência seguindo os parâmetros referidos anteriormente neste capítulo. A tabela 2.3 representa um exemplo do plano utilizado na 1ª semana.

Tabela 2.3 – Plano de Habituação ao SPT – 1ª Semana (adaptado de [13]).

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8h-15h						Light Cycle Change	Light Cycle Change
15h-16h	Sucrose Preference Test	Food and Water Deprivation	Sucrose Preference Test	Food and Water Deprivation	Sucrose Preference Test	Light Cycle Change	Light Cycle Change
17h-08h						Light Cycle Change	Light Cycle Change

Finalizado o plano de habituação ao SPT, é aplicado um plano de stress crónico que tem normalmente uma duração de cerca de 7 semanas para o *CMS* e 5 semanas para o *CUS*.

Tabela 2.4 – Exemplo de um plano CMS utilizado no ICVS – 2ª a 7ª Semana (adaptado de [14]).

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
9h-10h	Strobe Lights (até às 13h00)	Inaccessible Food	Empty Bottle	Tilted Cage	Food and Water Deprivation	Light Cycle Change	Light Cycle Change
10-14h	Restraining (das 13h00 às 14h00)	Tilted Cage	Strobe Lights	Tilted Cage	Food and Water Deprivation	Light Cycle Change	Light Cycle Change
14h-18h	Tilted Cage	Noise	Restraining (até às 15h00)	Noise	SPT	Light Cycle Change	Light Cycle Change
18h-8h	Food Deprivation	Water Deprivation	Damp Bedding	Food and Water Deprivation	Light Cycle Change	Light Cycle Change	Light Cycle Change

A duração destes modelos de stress não é predefinida nem existe um tempo ideal, esta pode variar dependendo dos investigadores, instituições e do propósito. Cada um destes planos possui os seus agentes stressantes, embora existam alguns que são utilizados em ambos os protocolos. As tabelas 2.4 e 2.5 mostram um exemplo de aplicação destes planos, o *CUS* é caracterizado pela aplicação aleatória dos agentes stressantes e pela duração dos mesmo ser sempre igual, neste caso de 1 hora [14].

Tabela 2.5 – Exemplo de um plano CUS utilizado no ICVS – 2ª a 5ª Semana (adaptado de [14]).

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0h-15h					Food and Water Deprivation	Light Cycle Change	Light Cycle Change
15h-16h	Tilted Cage	Noise	Overcrowding	Shaking	Sucrose Preference Test	Light Cycle Change	Light Cycle Change
16h-0h				Food and Water Deprivation		Light Cycle Change	Light Cycle Change

Conforme se pode verificar pela análise das tabelas, a aplicação destes protocolos é um processo bastante complexo e moroso que é multiplicado pelo número de gaiolas em teste. A total ou parcial automatização de cada estímulo seria uma enorme vantagem, pois reduziria o tempo e o custo da mão-de-obra e possibilitava ainda obter resultados mais credíveis.

2.3 Equipamentos Disponíveis no Mercado

A escassez de dispositivos capazes de aplicar grande parte destes estímulos, aliada à necessidade de garantir a repetibilidade e validação dos resultados obtidos, é aquilo que leva à realização deste projeto. Presume-se que a grande parte dos dispositivos ou sistemas existentes neste âmbito não seja amplamente divulgada e em alguns casos é provável até que seja mantido o sigilo.

Os roedores são os animais mais frequentemente usados na investigação em neurociência comportamental. Estes são organismos modelo ideais pois apresentam uma grande variedade de comportamentos que podem ser relevantes no estudo de doenças humanas, além disso, o seu tamanho relativamente reduzido permite aos investigadores fazer procedimentos mais evasivos com maior facilidade [28]. Por essa razão existe alguma demanda para equipamentos laboratoriais relacionados com experimentação em roedores. Embora existam módulos adequados para realizar alguns dos ensaios, não é comum encontrar um dispositivo capaz de englobar grande parte dos referidos agentes stressantes. Ainda assim, fez-se uma pesquisa pelo tipo de mecanismos existentes neste domínio com o objetivo de os analisar para uma possível adaptação ao tipo de sistema que se pretende desenvolver.

Alguns dos exemplos a seguir apresentados não foram projetados de raiz com o objetivo da aplicação dos protocolos de stress. O modelo representado na figura 2.8, criado pela *TSE Systems* que é uma empresa que se dedica à conceção de instrumentos laboratoriais, permite de uma forma simples programar os tempos e a duração de alimentação dos roedores, limitando o acesso à mesma quando desejado.



Figura 2.8 – Sistema *FeedTime* – *TSE Systems* (adaptado de [29]).

Apesar de ser um sistema que não foi inicialmente pensado com o propósito de aplicação de stress, é bastante plausível usá-lo para tal. Nomeadamente no *Food & Water Deprivation*, no *Empty Bottle* e no *Inaccessible Food*, é perfeitamente exequível o uso deste dispositivo ou de um baseado no mesmo princípio, recorrendo à engenharia inversa.

A *TSE Systems* apresenta ainda outros dispositivos como o *InfraMot* (figura 2.9) capaz de detetar qualquer movimento ou atividade dos roedores, independentemente das condições de luminosidade presentes. Seria também um sistema útil na monitorização de alguns protocolos como o *Shaking*, *Overcrowding* e até no *Hot Air*.

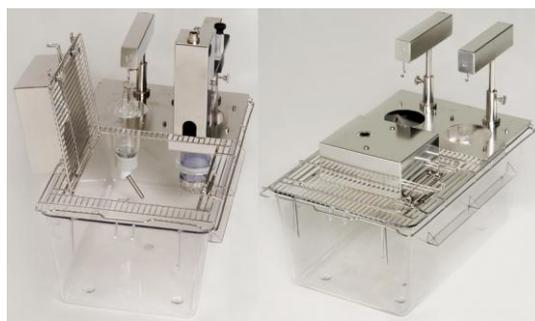


Figura 2.9 – Sistema *InfraMot* – *TSE Systems* (adaptado de [30]).

Outro dispositivo bastante versátil, apresentado pela mesma empresa, é o *Multi Conditioning System* (figura 2.10). Este sistema permite aplicar e monitorizar os protocolos *Noise*, *Light Cycle Change* e o *Strobe Light*, possibilitando ainda a deteção de movimentos e a realização de outros testes que não são presentemente realizados no ICVS.



Figura 2.10 – Multi Conditioning System – TSE Systems (adaptado de [30]).

Este equipamento inclui ainda *software* que integra todos os paradigmas que o sistema permite avaliar. Embora se trate de uma solução totalmente capaz de aplicar os protocolos acima referidos, o mecanismo não pode ser integrado na estrutura que se pretende desenvolver neste projeto, além disso tem um custo muito elevado.

Outras empresas como a *Research Diets* disponibilizam também alguns dispositivos capazes de monitorizar o controlo de comida e bebida, permitindo restringir remotamente o acesso à mesma quando desejado. A figura 2.11 representa o sistema *BioDAQ E2* desta empresa, este pode ser integrado numa estrutura completa onde os dados são recolhidos num terminal e todo o controlo pode ser feito a partir daí.



Figura 2.11 – Sistema BioDAQ E2 – Research Diets Inc. (adaptado de [31]).

Outra das vantagens deste equipamento é permitir quantificar a quantidade exata de alimento e líquido ingerido pelos roedores, facilitando assim a realização do *Sucrose Preference Test*. Como inconvenientes tem o facto de ser um produto caro, ser relativamente complexo e pouco flexível, que dificultaria articular este sistema com os restantes do projeto.

Foi ainda encontrado um protótipo utilizado no tratamento de ratos por uma universidade Chinesa, que consiste numa plataforma vibratória (figura 2.12) e que pode facilmente ser adaptado, ou criado um novo dispositivo baseado neste, que permita aplicar o *Shaking* e até o *Restraining*.

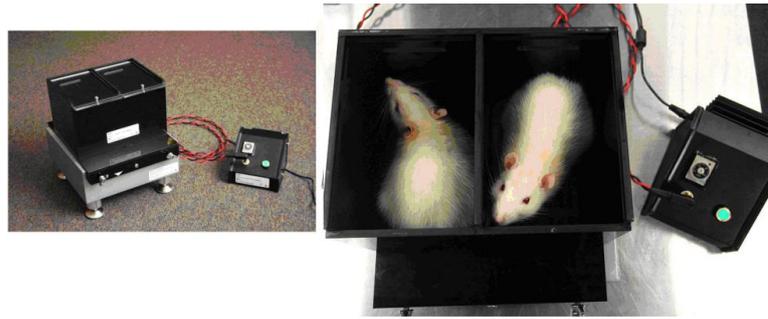


Figura 2.12 – Plataforma vibratória de alta frequência (adaptado de [32]).

Este produto utiliza repulsão magnética para fazer flutuar a plataforma vibratória, com o objetivo de reduzir drasticamente a fricção mecânica, fazendo com que o sistema seja altamente eficiente em termos energéticos, não sofra grande desgaste e seja muito silencioso em funcionamento [33]. No que diz respeito ao *Shaking* ou à aplicação de vibração em animais de laboratório, é mais comum utilizarem-se plataformas sob a qual são colocadas as gaiolas com os animais no seu interior e posteriormente é então aplicada a vibração.

Também em ambiente académico, numa universidade na Pensilvânia, é utilizado o dispositivo representado na figura 2.13 para monitorizar alterações sensoriais e motoras nos roedores após a aplicação de diversos testes. Para isso é utilizada uma matriz de sensores infravermelhos no perímetro da gaiola e o software faz o registo dos movimentos verticais e horizontais durante 24 horas, permitindo assim revelar se há alguma alteração no ritmo circadiano dos roedores [34].



Figura 2.13 – Dispositivo para a monitorização de atividade locomotora (adaptado de [34]).

Além dos equipamentos que aqui foram referidos existe ainda uma grande variedade de equipamento laboratorial para aplicação de diversos testes experimentais em roedores, contudo alguns não são muito relevantes para a indução de stress. Para além das acima referidas, existem empresas como a *Tecniplast*, *Lafayette Instrument*, *Campden Instruments* entre muitas

outras, que possuem um vasto leque de produtos com soluções de engenharia para o tratamento e a investigação em animais.

Apesar dos produtos atualmente existentes no mercado oferecerem individualmente soluções ideais para a aplicação de alguns agentes, dificilmente apresentam os requisitos necessários para a integração no dispositivo que pretende ser desenvolvido neste trabalho. Torna-se no entanto conveniente, aproveitar o conhecimento das organizações que têm o *know-how* e se dedicam a esta área, para basear ou adaptar alguns dos equipamentos a serem desenvolvidos.

CAPÍTULO 3

FASES PRELIMINARES DO PROJETO

3 FASES PRELIMINARES DO PROJETO

O propósito primordial deste projeto passa por uniformizar ou padronizar os diversos agentes stressantes que serão aplicados aos roedores, com o intuito de induzir stress nos mesmos, para que os vários ensaios sejam sempre realizados em condições iguais ou muito similares. Pretende-se também com a automatização total ou parcial dos vários mecanismos, reduzir o consumo de recursos humanos e materiais, diminuir a mão-de-obra necessária e fundamentalmente aumentar a repetibilidade e a credibilidade dos resultados. Isto permite aos investigadores dedicar mais tempo a tarefas de maior relevância, como análises e discussão de resultados obtidos, ou controlo de parâmetros importantes, aumentando assim a sua produtividade.

A realização deste projeto surgiu de uma colaboração entre o DEM e o ICVS. Devido à sua complexidade, são necessárias várias fases de desenvolvimento para chegar à etapa final de fabrico dos vários mecanismos. Finalmente, como se trata do desenvolvimento de um produto que nunca foi previamente testado, o primeiro protótipo poderá revelar erros e limitações que não foram detetadas antes e conseqüentemente levar à necessidade de reconsiderar vários aspetos e possivelmente proceder à sua alteração. Esta dissertação surge com a necessidade de dar continuidade aquilo que foi já desenvolvido, contribuindo com a finalização e/ou melhoramento de alguns dos dispositivos.

Neste capítulo pretende-se assim demonstrar as várias fases que foram necessárias ultrapassar por alunos e professores, até se chegar ao estado atual do projeto, as correções que foram feitas no seu decorrer e ainda quais são os erros e as limitações que existem no estado corrente do projeto para futuro melhoramento.

3.1 Primeira Fase de Conceção

Numa fase muito preliminar do projeto, foi desenvolvido por um aluno um esboço conceptual, modelado em *CAD*, que pode ser visualizado na figura 3.1. Este equipamento previa a solução para alguns dos agentes como o *Shaking*, *Tilted Cage*, *Hot Air*, *Damp Bedding*. Contudo, numa fase posterior, com a realização de uma análise cuidada aos vários mecanismos desenvolvidos, verificou-se alguns problemas e defeitos funcionais o que levou à necessidade de desenvolvimento de uma estrutura feita de raiz.



Figura 3.1 – Esboço conceptual inicialmente desenvolvido no DEM.

A estrutura inicialmente desenvolvida, para além de não contemplar todos os agentes, apresentava ainda inúmeros defeitos como interferências, problemas atravancamento e manifestava diversos problemas de dimensionamento. Estas conclusões foram retiradas utilizando-se o modelo apresentado e recorrendo-se a algumas das ferramentas que o *software* de modelação dispõe.

Assim, para o estudo da viabilidade do esboço apresentado numa fase inicial, e após o estudo e análise do mesmo, foram detetados os seguintes problemas/defeitos [14]:

- O equipamento tinha uma altura que não era compatível com a altura das portas presentes no Biotério da ECS;
- As prateleiras não apresentavam qualquer tipo de fixação para as gaiolas, comprometendo assim a segurança dos roedores e a estabilidade das gaiolas durante a aplicação do *Shaking* e do *Tilted Cage*;
- A estrutura não foi projetada de acordo com as gaiolas que o ICVS dispunha para o alojamento dos ratos, sendo completamente incompatível com as mesmas;
- O sistema de distribuição de ar que se destinava à aplicação do *Hot Air* demonstrava sérias diferenças de caudal e velocidade nas diferentes saídas;
- O sistema era composto por diversas partes móveis o que dificultava seriamente a sua manutenção;

- O sistema de distribuição de água era extremamente complexo e através de uma simulação computacional revelou também elevadas diferenças na distribuição do caudal;
- Os mecanismos do *Shaking* e do *Tilted Cage* apresentam diversas interferências entre eles quando se encontram em funcionamento, inviabilizando assim ambas as soluções;
- O mecanismo do *Tilted Cage* não garantia os 30° de inclinação, pois criava várias interferências com diversos componentes antes de atingir essa amplitude;
- A estrutura encontrava-se subdimensionada, não sendo garantida a estabilidade da mesma em funcionamento;
- Alguns agentes stressantes não foram considerados, como o *Noise*, *Strobe Light*, *Overcrowding*, *Food Deprivation*, *Water Deprivation*, *Inaccessible Food*, *Empty Bottle*, *Restraining* e *Light Cycle Change*;
- A manutenção e limpeza das gaiolas ou da estrutura não foram consideradas, existindo diversos pontos onde é possível fazer melhoramentos nesse aspeto;
- A própria estrutura revelou um grande número de interferências na sua montagem, dificultando muito esta tarefa.

Devido a todos os problemas anteriormente mencionados, concluiu-se que a solução mais vantajosa seria tratar o projeto inicial como um esboço primário e desenvolver a partir deste um novo modelo. Para além de todos os aspetos anteriormente referidos teriam de ser considerados fatores como custos, manutenção, fabrico, resistência mecânica, funcionalidade e simplicidade. Esta solução seria a mais adequada pois devido a todos os defeitos e lacunas do modelo inicial, seria menos trabalhoso iniciar um novo modelo [14].

3.2 Segunda Fase de Conceção

Assim, já numa fase distinta do projeto, após a definição dos requisitos do produto e a apresentação de possíveis soluções para os vários mecanismos, foi desenvolvido por um outro aluno, um novo modelo conceptual que contemplava grande parte dos problemas anteriormente detetados.

Para facilitar a leitura e o enquadramento dos diferentes componentes, apresenta-se neste subcapítulo e dividido por tópicos, os principais constituintes de todo o sistema e o seu progresso no decorrer do projeto.

3.2.1 Estrutura

Após serem analisados os vários materiais e perfis adequados para a conceção da estrutura de todo o sistema e tendo em conta fatores como o custo, foi deliberado que a solução mais vantajosa seria a utilização de um perfil quadrado de tubo de aço inoxidável de 20 x 20 mm. Posteriormente e depois de definida qual seria o número de gaiolas que a estrutura devia acomodar, procedeu-se ao dimensionamento da mesma. Depois de realizar essa tarefa o resultado obtido foi uma estrutura com um atravancamento conforme está representado na figura 3.2 [14].

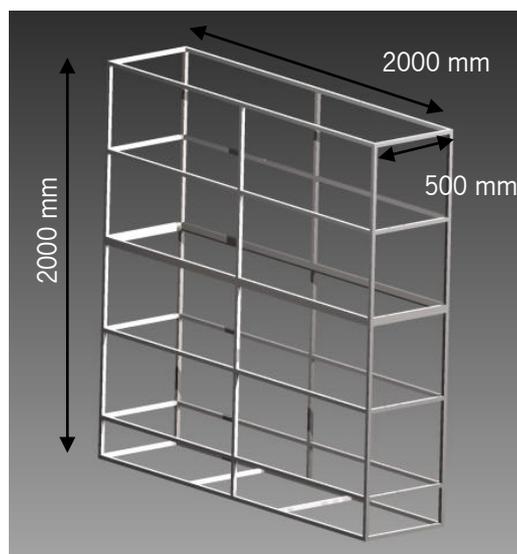


Figura 3.2 – Atravancamento da estrutura.

Esta estrutura é composta por um módulo superior e um inferior para facilitar o processo de fabrico, a sua montagem, bem como a sua manutenção e transporte. Para verificar a resistência da estrutura foi realizada uma simulação computacional que permitiu concluir que a tensão máxima não apresentava valores próximos da tensão de cedência e a estrutura não apresentava deformações consideráveis. Para resolver o problema da fixação das gaiolas quando eram aplicados os protocolos do *Tilted Cage* e o *Shaking*, foi também pensada uma armação para a gaiola onde esta seria fixa evitando assim possíveis danos. Para isso, um dos principais fatores a ter em conta foi a simplicidade, garantindo um acesso à gaiola rápido e uma manutenção fácil.

Assim o resultado obtido foi um pequeno suporte representado na figura 3.3, com as medidas específicas para a gaiola da *Tecniplast* modelo 1290D *Eurostandard Type III*.



Figura 3.3 – Suporte para gaiola 1920d Eurostandard Type III.

Para fazer vibrar ou elevar todas as gaiolas ao mesmo tempo foi necessário conectar de alguma forma os vários suportes das gaiolas num único componente. Desse modo, foi pensada uma prateleira que faria a ligação entre todas as gaiolas por andar. Com o objetivo de reduzir a massa e poupar algum material, como não interfere com a parte funcional, a prateleira é apenas composta pela estrutura em tubo e não apresenta qualquer fundo. Esta dispõe ainda de um eixo de rotação para garantir a flexibilidade necessária para a aplicação do *Shaking* e do *Tilted Cage*. O resultado final, com os suportes das gaiolas acoplados, apresenta uma configuração igual ao da figura 3.4.



Figura 3.4 – Prateleira de suporte às gaiolas

Surgiu posteriormente a necessidade de garantir um acesso rápido ao interior das gaiolas, assim como uma fácil manutenção e limpeza das mesmas. Foi então concebido um suporte para as tampas (figura 3.5), que as sustenta quando é retirada a parte inferior. Este consiste num veio

que atravessa todas as tampas das gaiolas e é suportado por vários tirantes ligados às prateleiras.



Figura 3.5 – Sistema de suporte da parte superior das gaiolas (retirado de [14]).

Depois de concluído o projeto conceptual da estrutura de todo o equipamento, e depois de ser conseguido o financiamento necessário, passou-se à construção do mesmo. A construção do protótipo foi executada pelo técnico das oficinas do DEM, o resultado final pode ser visualizado nas figuras 3.6 e 3.7.



Figura 3.6 – Estrutura inferior do equipamento



Figura 3.7 – Pormenor do encaixe da gaiola nos suportes.

Ainda partes integrantes da estrutura são os rodízios inseridos na base do equipamento, que permitem uma fácil deslocação do mesmo. Para garantir uma maior estabilidade do equipamento quando este se encontra em funcionamento foram incorporados uns “pés” reguláveis. Quando existe a necessidade de deslocar o equipamento apenas é necessário baixar estes apoios até os rodízios assentarem no chão (figura 3.8).



Figura 3.8 – Solução estabilizadora do protótipo

Com a adição deste último componente, a estrutura geral ficou praticamente terminada, restando apenas conceber no desenrolar deste projeto pequenos suportes que servirão de apoio aos tubos, cabos, sensores e diversos mecanismos que ainda se encontram numa fase inicial.

3.2.2 *Tilted Cage*

Para a aplicação do protocolo *Tilted Cage* utilizou-se obviamente a estrutura projetada e desenvolveu-se um sistema elevatório composto por um motor elétrico. De modo a converter o movimento rotativo do motor num movimento linear, foi utilizado um sistema porca-parafuso. As prateleiras foram ligadas através de tirantes, o que permite a inclinação de todas as prateleiras em simultâneo. A figura 3.9 mostra a ligação do motor elétrico ao sistema porca-parafuso já depois de construído.



Figura 3.9 – Ligação do motor ao sistema porca-parafuso

Este sistema é depois conectado à parte frontal da prateleira mais baixa através de um tirante (figura 3.10) e da mesma forma as prateleiras são ligadas entre si (figura 3.11).



Figura 3.10 – Tirante de ligação à prateleira.



Figura 3.11 – Tirante de ligação entre prateleiras.

Finalmente, para concluir este sistema foi necessário garantir pelo menos um grau de liberdade nas prateleiras de modo a que estas possam ser articuladas durante a elevação. Para isso e conforme referido anteriormente, as prateleiras são constituídas por um eixo de rotação onde é posteriormente inserido um veio que por sua vez é ligado a uma chumaceira de cada lado (figura 3.12).

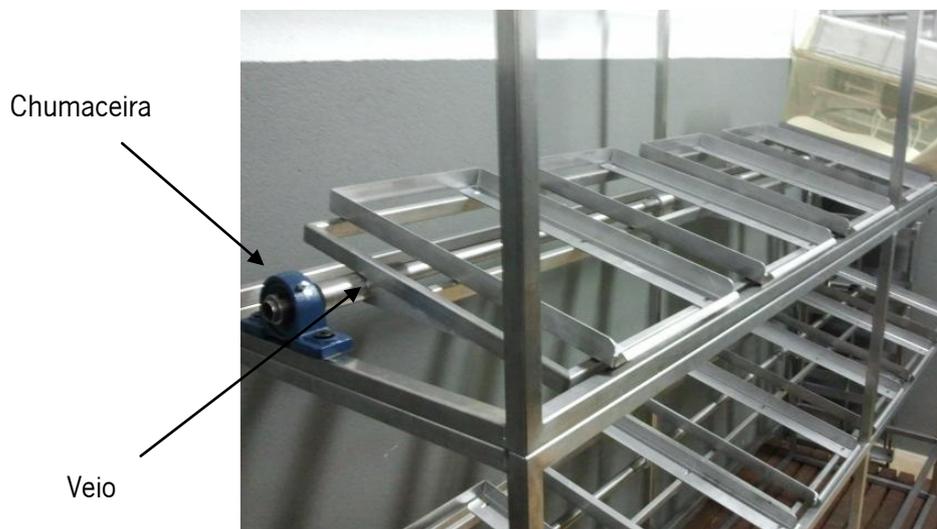


Figura 3.12 – Pormenor da chumaceira e do veio que possibilita a rotação das prateleiras.

Desta forma o sistema para a aplicação do *Tilted Cage* encontra-se concluído e pronto a ser utilizado. Aquilo que resta fazer para a total automatização do processo é a programação do

software de controlo, permitindo posteriormente planear antecipadamente a hora e a duração de aplicação do protocolo.

3.2.3 *Shaking*

Para o mecanismo do *Shaking* foram aproveitados parte dos componentes do *Tilted Cage* uma vez que a vibração será aplicada diretamente nas prateleiras. De modo a abranger a gaiola uniformemente com a vibração, foi decidido que essa seria aplicada na lateral, evitando assim a necessidade de um eixo sobre o qual a vibração seria forçosamente menor [14].

Assim, de maneira a oscilar as prateleiras na horizontal, decidiu-se colocar um veio de excêntricos de um dos lados, que é acionado por um motor elétrico igual ao utilizado no sistema *Tilted Cage*. As prateleiras, que fazem de seguidor, são então impulsionadas numa direção e uma mola colocada do lado oposto faz o retorno das mesmas à posição inicial. Com o objetivo de garantir a estabilidade do equipamento, a vibração é aplicada alternadamente aos pares nas prateleiras. A figura 3.13 mostra parte do sistema referido, já depois de construído e montado no equipamento final.

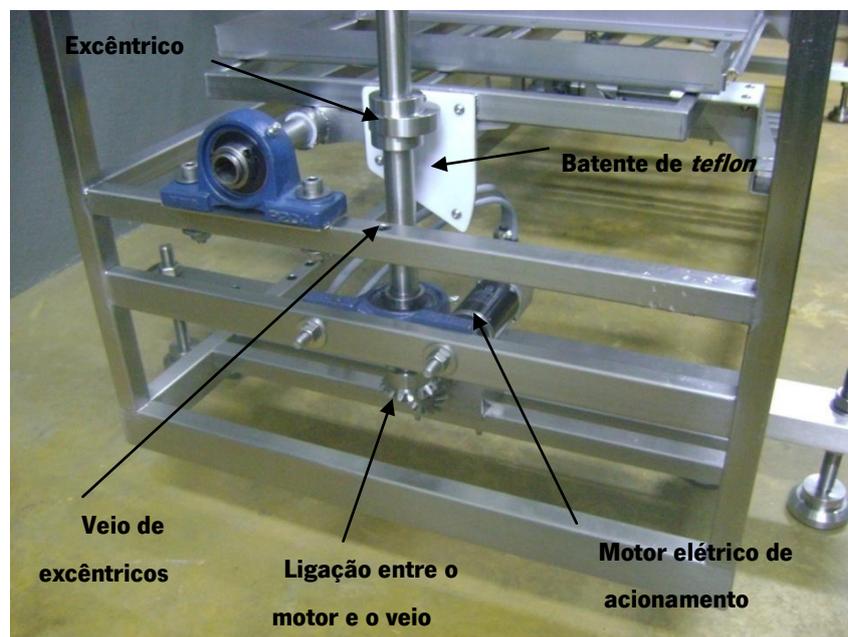


Figura 3.13 – Representação esquemática do sistema de aplicação do *Shaking*.

O batente revestido por *teflon* tem a função de evitar que o came contacte diretamente com a prateleira, reduzindo assim o coeficiente de atrito e funcionando como um componente de desgaste que é facilmente trocado no futuro. Além disso, o seu formato permite ainda que o mecanismo de *Shaking* seja acionado em simultâneo com o *Tilted Cage*, ou seja, quando as

prateleiras se encontram na posição elevada. Do lado oposto ao apresentado na figura 3.13 é então colocada uma mola que faz o retorno da prateleira à posição inicial (figura 3.14).



Figura 3.14 – Pormenor da mola aplicada no veio (retirado de [14]).

Todo o mecanismo do *Shaking*, tendo em conta os requisitos, foi projetado de forma a ser possível aplicar uma frequência de 1 oscilação/segundo e com uma amplitude de 20 mm. Igualmente ao mecanismo do *Tilted Cage*, encontra-se pronto a ser utilizado, restando apenas para a sua completa automatização, programar o *software* e a interface de controlo.

3.2.4 Damp Bedding

Relativamente a este agente stressante, foi pensada uma solução que englobava um depósito/distribuidor acoplado à parte superior da estrutura, onde a água era bombeada para esse depósito e posteriormente distribuído para todas as gaiolas em simultâneo. Para garantir que era inserida no depósito a quantidade exata de água a ser distribuída, era incorporado um caudalímetro que contava a volume de água necessário e quando este fosse atingido um sinal seria enviado a uma electro-válvula que faria imediatamente o corte da água [14].

Devido à complexidade deste sistema e à necessidade de simular ou testar experimentalmente a validade deste, nenhum protótipo foi construído. Existe portanto a necessidade de explorar esta ou outras soluções para a resolução deste problema no âmbito desta dissertação.

3.2.5 Hot Air

Inicialmente com este agente pretendia-se não só perturbar os ratos com o fator do jacto de ar, mas também um fator de temperatura. Devido à dificuldade de controlo de temperatura, tendo

em conta o perigo e risco que representa para os animais, este fator foi descartado e apenas se passou a considerar a velocidade e caudal de ar que é direcionado para os ratos.

Após algumas análises de simulações computacionais e até alguns testes experimentais, chegou-se à conclusão de qual seria o melhor local na gaiola para introduzir o bocal ou o próprio ventilador de onde seria projetado o ar.

De forma similar ao que aconteceu no sistema de *Damp Bedding*, tratando-se também dum sistema bastante complexo, seria necessário indagar de uma forma mais aprofundada vários parâmetros. Definir qual o caudal, a velocidade do ar desejado e validar a solução seriam considerações urgentes antes de passar à fase de fabrico, portanto para este dispositivo, não foi construído qualquer protótipo.

3.2.6 Food Deprivation/Inaccessible Food

Para a aplicação destes agentes stressantes, idealizou-se com base no sistema apresentado pela *TSE Systems*, um mecanismo cilíndrico que permite a rotação em torno de um eixo central. Desta forma, quando for necessário negar o acesso dos roedores à comida basta rodar o mecanismo 180°. A comida ficará presente no comedouro e os ratos poderão sentir o seu odor mas não terão acesso à mesma. Depois de modelado este equipamento e elaborados os desenhos técnicos, procedeu-se ao fabrico de um protótipo, representado na figura 3.15.



Figura 3.15 – Solução para o *Inaccessible Food* – Comedouro rotativo.

3.2.7 Restraining

No caso do *Restraining*, depois de serem equacionadas várias hipóteses, grande parte revelou-se extremamente complexa. A solução que apresentava maior simplicidade era utilizar uma pá, que seria manualmente introduzida nas gaiolas, e que confinava os ratos num espaço reduzido na extremidade da gaiola. Depois de se chegar ao modelo final e se criar os respetivos desenhos técnicos, procedeu-se também ao fabrico de um protótipo (figura 3.16).



Figura 3.16 – Protótipo da solução para o *Restraining* (retirado de [14]).

A pá apresenta diversos furos para não criar quaisquer dificuldades na respiração dos animais. Além disso possui alguns rasgos na parte inferior para evitar arrastar grande parte das partículas que compõem a “cama” dos ratos.

3.2.8 Outros Agentes Stressantes

Relativamente a outros agentes, como é o caso do *Noise*, *Light Cycle Change* e do *Strobe Light* não foram apresentadas soluções específicas. Ficou estabelecido que não havia necessidade de incorporar estes dispositivos no equipamento final. Assim, para contornar esta necessidade, os equipamentos responsáveis por estes estímulos seriam inseridos na própria sala onde a estrutura estaria presente.

Para o *Water Deprivation* e o *Empty Bottle*, as soluções apresentadas envolviam custos elevados e tornariam o equipamento muito complexo. Ficou então estabelecido que estes procedimentos seriam executados da mesma forma até então. Apesar de não ser especificamente pensada para estes estímulos, a estrutura que foi desenvolvida auxilia também todo o processo de manutenção das gaiolas pois permite aceder à gaiola com maior facilidade.

3.3 Equipamento Atual e Limitações Existentes

Depois de analisado o progresso que foi efetuado nas fases transatas, torna-se importante esclarecer qual é o seu estado atual de desenvolvimento, de modo a que seja possível numa fase posterior, apresentar aquilo que é necessário explorar ou aprofundar. Este subcapítulo tem assim o objetivo de expor em que circunstâncias se encontra o equipamento, quais são as suas limitações e aquilo que é necessário melhorar para ir de encontro aos requisitos apontados pelo ICVS.

O equipamento até agora desenvolvido encontra-se conforme está representado na figura 3.17. O resultado final de toda a estrutura e os componentes associados foi bastante positivo não só devido à sua funcionalidade, mas também ao seu *design* apelativo e o facto de ser facilmente transportável. Apesar de se tratar de um protótipo, o que consequentemente resulta num custo mais elevado, ficou dentro do orçamento previsto e pode ficar consideravelmente mais barato numa segunda versão.



Figura 3.17 – Vista geral do equipamento desenvolvido.

Este sistema necessita atualmente da colocação, em posições estratégicas, de sensores de proximidade de modo a serem detetados os fins de curso e assim atuar os motores elétricos corretamente, permitindo a total automatização do dispositivo. Considera-se após isso concluídos

os sistemas do *Tilted Cage* e o *Shaking*, sendo que estes não serão objeto de estudo no âmbito desta dissertação. A solução de acesso rápido às gaiolas não prevê a queda da parte frontal das tampas e será por isso analisada e ponderada, devendo em caso de necessidade ser adaptada ou alterada.

Para outros agentes indutores de stress, como é o caso do *Damp Bedding* e o *Hot Air*, as soluções apresentadas serão tomadas em consideração, mas será imprescindível fazer uma nova análise e retirar segundas conclusões antes de proceder à fase do fabrico dos respetivos protótipos.

O *Food Deprivation*, *Inaccessible Food* e o *Restraining* apresentam lacunas no que respeita à sua construção e por essa razão não desempenham a função desejada corretamente. Será dada a devida atenção a estes mecanismos e será feita a sua otimização de acordo com os parâmetros desejados. Relativamente aos restantes agentes, aos quais foi deliberada a sua aplicação externa a toda a estrutura desenvolvida, será ponderada mais uma vez a sua incorporação no conjunto, pois seria uma mais-valia e acrescentaria valor ao produto final.

Em suma, pretende-se, no próximo capítulo, seguir a metodologia do projeto mecânico, fazendo o reconhecimento do problema e a sua definição, através do estabelecimento dos requisitos. De seguida será feita a síntese do problema onde serão apresentadas possíveis soluções e esboços conceptuais. Numa fase mais avançada será executada a análise e otimização das soluções adotadas, onde será feita a descrição em detalhe dos diversos equipamentos. Finalmente será apresentado e avaliado todo o projeto desenvolvido.

CAPÍTULO 4

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO MECÂNICO

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO MECÂNICO

No presente capítulo pretende-se abordar as diferentes fases do projeto mecânico, desde a definição do problema até à apresentação do produto final. O processo de resolução de problemas representa uma constante relação entre objetivos, planeamento, execução e controlo, ligados através de decisões. Para dar continuidade ao trabalho e proceder com o desenvolvimento do projeto, surge assim a necessidade de estabelecer um procedimento ou etapas que servirão de base para a sequência a utilizar.

Existe uma grande quantidade de modelos que tentam prescrever uma melhor abordagem ao desenvolvimento do projeto, descrevendo sequências de atividades que devem ser realizadas pelos projetistas na conceção de um produto. Embora estes modelos ajudem a estruturar e a dividir o problema em partes mais simples, é importante ter em consideração que estes modelos podem ser adaptados, devem ser vistos como uma orientação e não como uma listagem rígida de etapas a realizar.

Com base naquilo que foi referido anteriormente, para o desenvolvimento deste projeto, optou-se por seguir o modelo *VDI 2221* de desenvolvimento desde o problema à solução. Este modelo, representado na figura 4.1, segue uma estrutura sistemática em que inicialmente é analisado e percebido o problema, posteriormente é dividido em problemas secundários, depois são encontradas soluções para os problemas individuais e finalmente são encontradas subsoluções que são combinadas numa solução final geral [35].

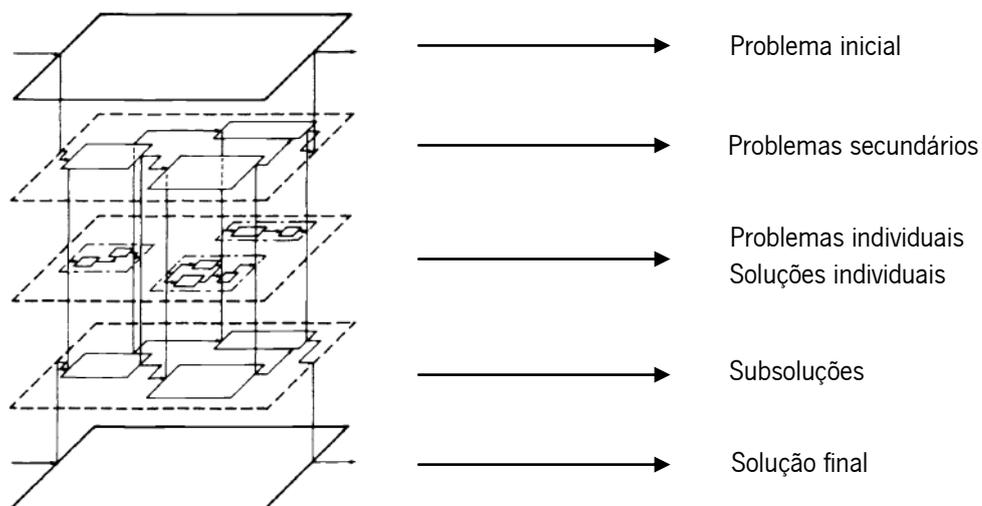


Figura 4.1 – Modelo *VDI 2221* de estruturação (adaptado de [36]).

Para se chegar às várias etapas representadas na figura 4.1, podem ser utilizados métodos racionais que facilitam a obtenção de soluções. A tabela 4.1 estabelece a ligação entre o modelo anteriormente mencionado e o tema abordado no âmbito desta dissertação. Esta ligação é obtida através do enquadramento dos métodos racionais utilizados nas diferentes fases de desenvolvimento do projeto conceptual acompanhado pela descrição do objetivo em cada etapa.

Tabela 4.1 – Enquadramento do modelo VDI/2221 no projeto a desenvolver.

Fase	Objetivo	Procedimento/Método Utilizado
Problema Inicial	É definido o problema ou a necessidade como um todo. Neste caso particular trata-se da necessidade de conceber um sistema capaz de induzir stress em ratos de laboratório. São também determinados os objetivos que se pretende alcançar.	Definição do problema ↓ Árvore de objetivos
Problemas Secundários	O sistema principal é dividido em problemas mais pequenos. É estabelecida a função e os requisitos de cada um dos diferentes agentes indutores de stress.	Análise de funções ↓ Especificação de desempenho
Problemas e Soluções Individuais	Os diferentes sistemas são tratados individualmente com o objetivo de determinar as soluções ideais para cada agente.	Mapa morfológico ↓ Objetivos Ponderados
Soluções Secundárias	É realizado o projeto de detalhe das soluções deliberadas anteriormente. Os diferentes sistemas são incorporados no equipamento total.	Projeto de detalhe
Solução Final	É realizada a avaliação do sistema final obtido e a sua apresentação.	Apresentação do produto final

Para uma melhor perceção de como será estruturado o desenvolvimento do projeto mecânico, encontram-se representadas figura 4.2 as diferentes fases tratadas. Numa primeira etapa é abordado o sistema indução de stress como um todo, é identificada a necessidade e definido o problema, são também traçados os objetivos que se pretende que o produto final seja capaz de satisfizer. Na fase seguinte, representada a azul na figura 4.2, uma vez se tratam de sistemas totalmente distintos, o problema inicial diverge nos vários mecanismos indutores de stress que o equipamento deverá possuir. Nesta fase é analisada a função que cada agente deve

desempenhar e quais são os requisitos de cada elemento, de forma a garantir o seu correto desempenho.

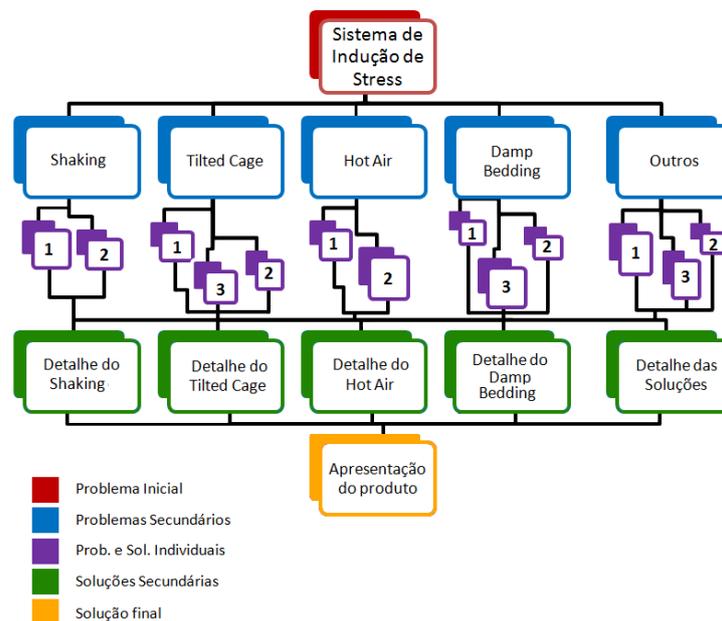


Figura 4.2 – Diferentes fases do modelo utilizado no projeto a desenvolver.

Na fase posterior, representada com números no centro da figura 4.2, a título de exemplo, são apresentadas e selecionadas, através de métodos racionais, as diferentes soluções para cada agente stressante. Depois de escolhida a solução adequada para cada componente, é então realizado o projeto de detalhe para cada uma destas soluções. Esta etapa, representada a verde, consiste no dimensionamento e na seleção de componentes e materiais através princípios de engenharia que fundamentam as várias decisões. Finalmente, na última fase, o projeto volta a convergir para o sistema total, este é apresentado e é feita uma avaliação ao seu desempenho.

Baseado nesta divisão, com o objetivo de facilitar a leitura, o presente capítulo é também segmentado nas mesmas etapas. Cada subcapítulo corresponde assim a uma das diferentes fases do modelo adotado.

4.1 Sistema de Indução de Stress – Problema Inicial

Neste subcapítulo pretende-se introduzir aquilo que é considerado o equipamento base ou a raiz do produto a ser desenvolvido. Não se trata da tentativa imediata de geração de soluções mas sim de definir a natureza do problema de uma forma clara e estabelecer os objetivos que se pretende alcançar no produto final. Para este último ponto, decidiu-se utilizar um método racional conhecido como “Árvore de objetivos”.

4.1.1 Definição do Problema

O primeiro passo na definição do problema passa por saber qual é a sua natureza e qual é a necessidade que leva à sua resolução. Numa primeira fase, depois de uma reunião com os responsáveis pelo projeto, foram abordados vários aspetos do tema e constatou-se que o problema do cliente podia ser expresso da seguinte forma: “Automatização do processo de indução de stress em ratos de laboratório”. A resolução deste problema seria essencialmente benéfica nos seguintes aspetos:

- Reduzir os tempos de manutenção e de aplicação dos protocolos;
- Economizar os recursos humanos disponíveis;
- Aumentar da repetibilidade e credibilidade dos resultados obtidos.

Depois de claramente identificada a natureza do problema, e após várias reuniões com os responsáveis pelo projeto, foram apresentadas as dificuldades atualmente existentes no ICVS e expostas as necessidades para o projeto. Assim, após uma análise detalhada aos protocolos utilizados, chegou-se à conclusão que o produto final deveria ser capaz de satisfazer as seguintes necessidades:

- Distribuição de uma quantidade de água em todas as gaiolas;
- Realizar automaticamente ou facilitar o processo manual de restrição de comida e bebida aos roedores;
- Realizar a inclinação das gaiolas automaticamente;
- Alterar o ciclo de luz diário dos roedores;
- Fazer uma estimulação auditiva e visual em todas as gaiolas;
- Aplicar automaticamente ou facilitar o processo manual de restrição de espaço nas gaiolas;
- Induzir uma vibração constante e similar em todos os roedores;
- Aplicar um jacto de ar diretamente nas gaiolas;
- Garantir o simples acesso e manutenção das gaiolas;
- Integrar os vários sistemas numa interface.

Nesta fase de desenvolvimento as necessidades são apresentadas sem especificações ou requisitos técnicos. Trata-se essencialmente de perceber em que consiste o projeto, de forma a facilitar o processo de estruturação do problema e de perceber qual a melhor aproximação à sua resolução.

4.1.2 Árvore de objetivos

Normalmente quando o projetista é abordado com uma necessidade, dificilmente esta é expressa de uma forma clara. O cliente na maioria das vezes não tem noções ou ideias sobre os detalhes ou variantes que poderão existir. Depois de identificado o problema e devidamente esclarecidas as necessidades do produto, é de grande importância ficar com uma ideia clara dos objetivos, estes podem ser alterados no decorrer do projeto mas estabelecem assim um ponto de partida importante.

O método da árvore de objetivos permite realçar os objetivos e os meios para os atingir através de uma representação esquemática de simples leitura, onde é possível entender a relação e a hierarquia entre os diversos objetivos, facilitando assim o diálogo ou o acordo entre o cliente e o projetista [37].

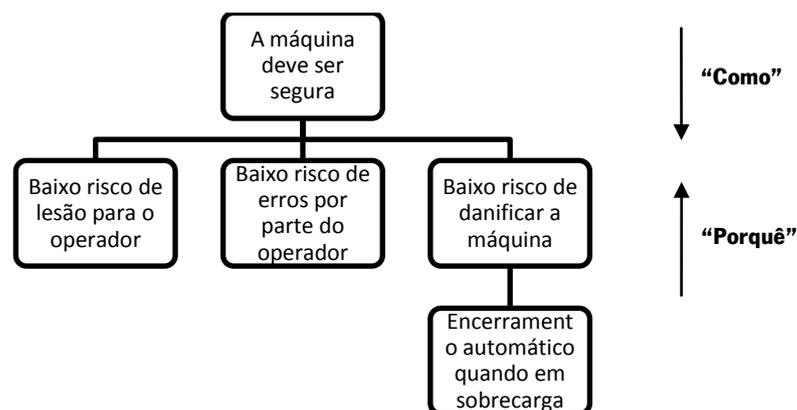


Figura 4.3 – Exemplo de uma árvore de objetivos e a sua interpretação (adaptado de [35]).

Conforme se pode observar pela figura 4.3, o diagrama representa uma estrutura hierárquica onde cada ligação indica que um objetivo de mais baixo nível é um meio para alcançar o objetivo de mais alto nível ao qual está ligado. Assim, no sentido descendente a ligação indica como o objetivo de mais alto nível pode ser alcançado e no sentido ascendente, uma ligação indica o porquê da inclusão de um objetivo de mais baixo nível.

Com base naquilo que foi referido anteriormente, com o objetivo de refinar e clarificar a perceção do problema, assim como facilitar a discussão entre os responsáveis pelo projeto, foi construída a árvore de objetivos representada nas figuras 4.4 e 4.5.

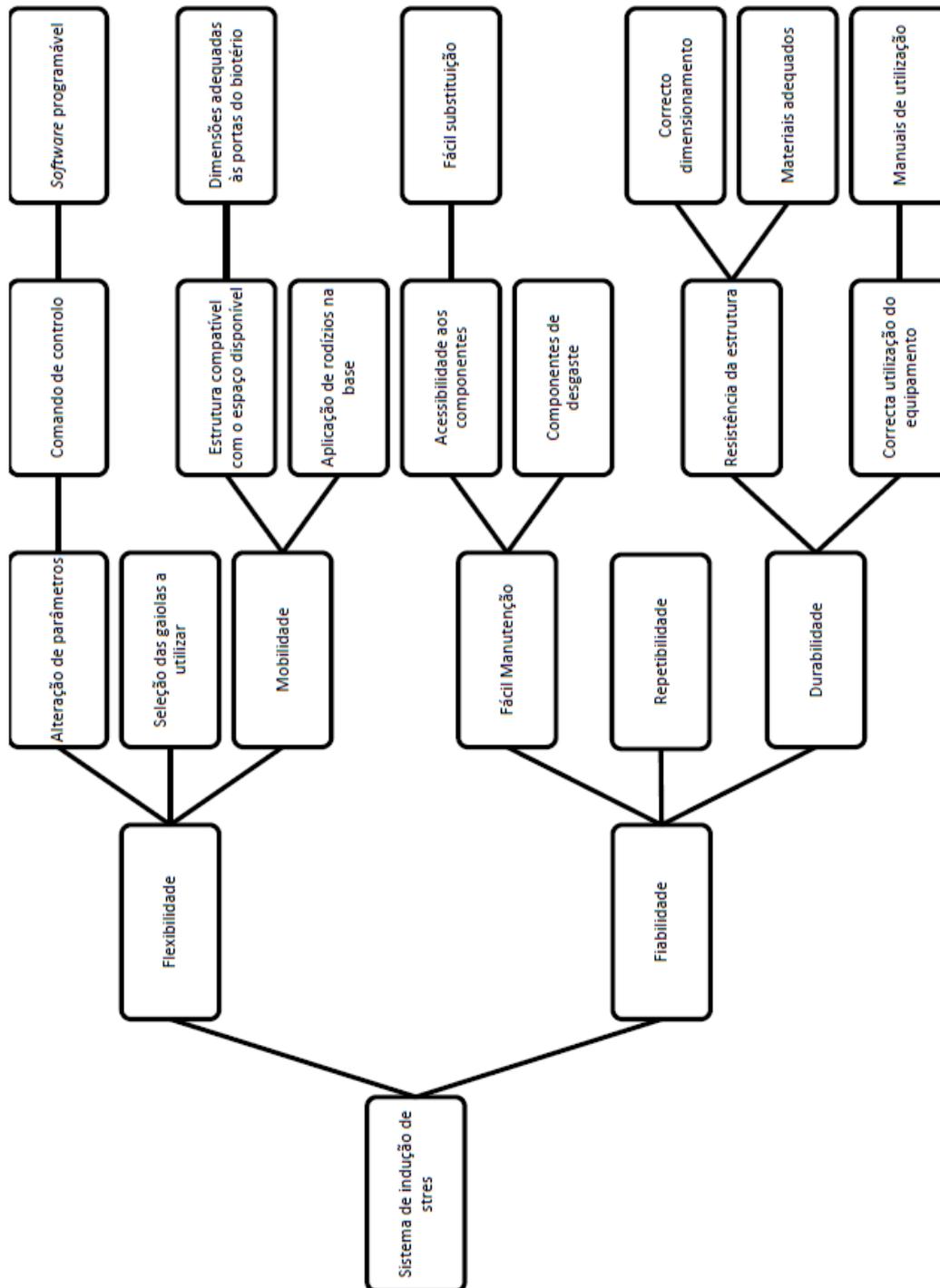


Figura 4.4 – Diagrama representativo da árvore de objetivos obtida para o desenvolvimento do presente projeto mecânico

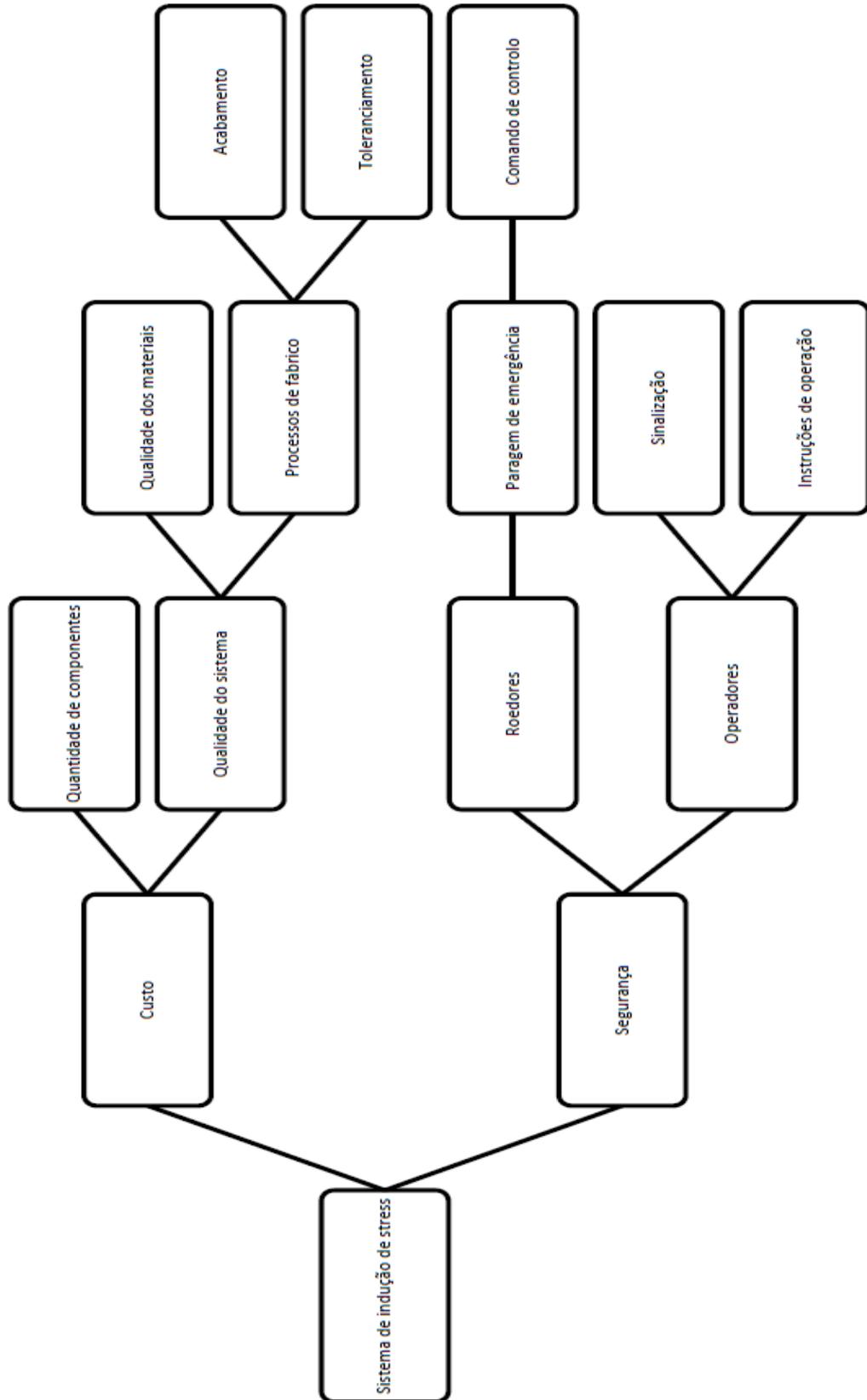


Figura 4.5 – Continuação do diagrama representativo da árvore de objetivos obtida para o desenvolvimento do presente projeto mecânico

O diagrama foi dividido em duas partes por uma questão espaço mas representa uma única árvore de objetivos. Pela sua análise é possível perceber que existem quatro objetivos principais, ou de baixo nível, são estes a flexibilidade, fiabilidade, custo e a segurança do sistema.

Existe então preocupação com que o equipamento e os componentes que o compõem sejam flexíveis entre si, isto é, a máquina não deve ter apenas um modo de funcionamento. Os vários agentes stressantes devem funcionar independentemente e deve ainda ser possível alterar parâmetros, como, duração de aplicação, número de gaiolas a utilizar, horário de funcionamento, entre outros. Para além disto o sistema deve ser facilmente transportável nas instalações a que se destina.

Há também a preocupação com a fiabilidade do equipamento. Assim, conforme se pode analisar no diagrama, esta pode ser obtida se for garantida uma fácil manutenção do equipamento, o que permite que este se encontre sempre em condições ideais de funcionamento. Também na fase de conceção deve ser tomada atenção no seu dimensionamento, de forma a garantir a durabilidade do equipamento, quando operado em boas condições. Por último, mas não menos importante, um dos pontos que se enquadra também na fiabilidade é a repetibilidade do equipamento.

O custo é também um fator central no desenvolvimento deste sistema. Deve ser sempre considerado para assegurar que o orçamento disponível não é ultrapassado. Para cumprir este objetivo, os componentes devem ser projetados de forma a poderem ser construídos com processos de fabrico mais baratos e com materiais acessíveis.

Embora o equipamento não envolva grandes forças, pressões ou velocidades, a segurança dos operadores e dos roedores deve ser sempre garantida. Outros cuidados como sinalização e instruções de funcionamento devem ser também adotados.

4.2 Agentes Stressantes – Problemas Secundários

No presente subcapítulo serão especificadas, com base na árvore de objetivos representada anteriormente, quais as funções e os requisitos dos diferentes agentes stressantes. Desta forma, o problema inicial é dividido nos problemas secundários, avançando-se assim uma etapa do modelo de projeto mecânico eleito. Nesta fase, embora o problema original esteja sempre presente, o estudo é focado nos agentes stressantes individualmente.

4.2.1 Análise da Função dos Diferentes Mecanismos

A utilidade do método de análise de funções passa por representar aquilo que deverá ser alcançado e não como deverá ser alcançado. Assim, são consideradas as funções essenciais que o dispositivo deve satisfazer e é possível estabelecer os níveis de generalidade de cada problema.

Uma forma simples de utilizar o referido método é através da representação de uma “caixa negra” onde são especificadas as entradas e saídas desse procedimento e é expressa a função global do sistema. Esta função deve ser abrangente a todo o projeto e por isso é normalmente uma tarefa com um elevado grau de complexidade. Para simplificar todo o processo, a função global, deve ser dividida em subfunções quando necessário. Assim, o esquema representado na figura 4.6 revela a função global estabelecida para este projeto. Conforme se pode analisar, trata-se de uma função muito ampla de modo a não restringir possíveis soluções para o problema inicial.



Figura 4.6 – Representação da função global do projeto.

Posteriormente, com o intuito de facilitar a resolução da função global, esta é dividida num conjunto de tarefas mais simples, representado assim um nível diferente de generalidade do problema. No caso do presente problema, aquilo que pode ser considerado como subfunções são os diversos agentes stressantes. Como estes não possuem uma ligação específica entre eles, pois são sistemas independentes, o método da análise de funções foi adaptado para este caso concreto.

A figura 4.7 representa assim as diferentes subfunções que podem ser interpretadas na “caixa transparente”. Este esquema representa o “interior” da função global, que por sua vez é composta por várias “caixas negras” mas num nível superior.

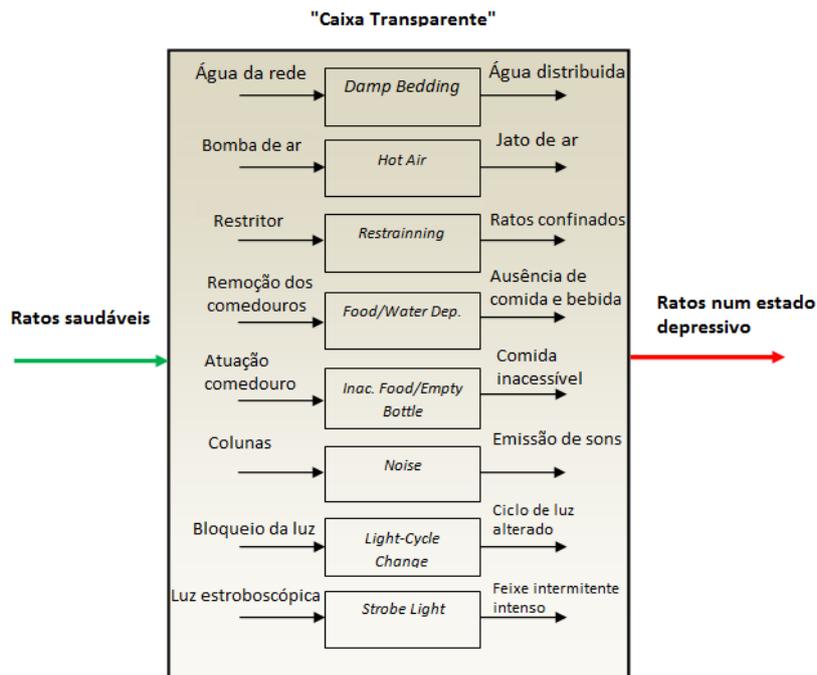


Figura 4.7 – Divisão da função global em subfunções.

Usualmente as subfunções são dispostas em série pois estas apresentam uma ordem sequencial. Neste caso, como não existe uma relação entre os vários agentes stressantes, optou-se por dispor as subfunções em paralelo. Depois da análise do esquema representado na figura 4.7, é notória a distinção entre os vários sistemas. Desta forma, é mais simples estabelecer, com base nesta informação, os requisitos para cada um dos componentes. É importante referir que alguns agentes stressantes, como o *Tilted Cage* e o *Shaking*, não estão apresentados nas subfunções pois já foram desenvolvidos e construídos na fase anterior de conceção, considera-se que desempenham corretamente a função desejada e portanto encontram-se finalizados.

4.2.2 Estabelecimento das Especificações do Produto

Nesta fase do projeto mecânico pretende-se estabelecer um conjunto de requisitos, isto é, as especificações do produto. Os objetivos e as funções determinados anteriormente são indicações daquilo que deverá alcançado ou realizado, o estabelecimento dos requisitos pretende expor limites precisos, limitando assim a gama de soluções possíveis. Isto é realizado com o intuito de numa fase seguinte, com a noção destas especificações ou limites, gerar um conjunto de soluções que satisfazem a necessidade do cliente.

Para estabelecer os requisitos optou-se por seguir uma lógica conhecida como o método da especificação de desempenho. Respeitando o seu procedimento, numa etapa inicial devem ser

contemplados os diferentes níveis de generalidade que se podem aplicar. Quanto maior o nível de generalidade, mais liberdade é concedida ao projetista para gerar soluções. Desta forma, no maior grau de generalidade podem ser consideradas alternativas ao produto ou equipamento. Num nível intermédio a liberdade já é mais condicionada e portanto apenas se deve considerar alternativas de componentes do produto. No nível mais baixo de generalidade apenas devem ser ponderadas as diferentes características dos componentes que compõem o equipamento [37].

Com base nesta informação, tendo em conta que parte do produto que se pretende desenvolver já está construído (estrutura), já estão concretamente definidos os parâmetros principais, ou seja, já não é possível atuar no nível de generalidade mais alto. Contudo, muitos dos agentes indutores de stress ainda estão numa fase muito preliminar de desenvolvimento, e pode-se para estes considerar vários tipos de soluções ou componentes. Por essa razão, o nível de generalidade determinado nesta fase do projeto é o intermédio.

Definido o grau de generalidade a utilizar, surge a necessidade de identificar os atributos de desempenho necessários. Nesta etapa, a árvore de objetivos e a análise de funções são uma mais-valia e devem ser o ponto de partida para a composição da lista de atributos. Assim, com informação recolhida em diálogo com os responsáveis do projeto, a lista de atributos desenvolvida foi a seguinte:

- Estrutura estável e transportável entre salas;
- Controlo de várias variáveis de funcionamento:
 - Velocidades;
 - Ângulos;
 - Frequências;
 - Número de gaiolas em funcionamento;
 - Volumes;
 - Horário de funcionamento;
 - Duração.
- Facilidade de troca de gaiolas;
- Manutenção do equipamento reduzida;
- Soluções de simples utilização;
- Ensaios com boa repetibilidade;

- Equipamento resistente e durável;
- Equipamento seguro para o utilizador e os roedores;
- Distribuição de uma quantidade de água similar por todas as gaiolas;
- Jato de ar uniforme em todas as gaiolas;
- Restrição de um espaço variável dentro das gaiolas;
- Bloqueio automático de acesso ao alimento;
- Emissão de som controlável;
- Emissão de um feixe de luz intenso;
- Bloqueio total de luz.

Utilizando a informação apresentada na lista de objetivos e após diversas reuniões com os responsáveis, foi possível representar nas tabelas 4.2 e 4.3 algumas especificações do produto para os diferentes elementos que compõem todo o sistema.

Tabela 4.2 – Especificações relativas a cada elemento do sistema.

Elemento	Atributos	Especificações	Necessário (N) ou Desejado (D)
Equipamento geral	Fácil Manutenção	-	N
	Simple utilização		N
	Resistente		N
	Durável		N
	Interface de controlo		N
	Boa repetibilidade		N
	Segurança		Botão de emergência
Cobaias	Tamanho		D
	Peso	≈500g	D
	Número por gaiola	2	N
Gaiolas	Dimensões	425x266x292mm	N
	Peso total	3.5kg	D
	Material	H-temp Polysulfone	D

Tabela 4.3 – Continuação da tabela 4.2

Estrutura	Atravancamento	2000x500x2000mm	N
	Peso	≈500kg	D
	Transporte	Força manual	N
Damp Bedding	Volume/gaiola	≈750 ml	N
	Caudal	25ml/s	D
	Sequência de enchimento	Sem requisitos	D
	Fluido	Água	N
Hot Air	Caudal	40l/s	D
	Velocidade	12m/s	D
	Sequência de aplicação	Sem requisitos	D
Restraining	Área	50-70mm	N
	Volume variável	Sim	D
Inac. Food Empty Bottle	Duração	Programável	D
Noise	Intensidade sonora	50-100dB	N
	Duração	Programável	D
	Tipo de som	<i>Spectrum/White Noise</i>	D
Strobe Light	Intensidade do feixe	-	-
	Frequência	-	-
	Duração	4-6 horas	N
Light Cycle-Change	Duração	12 horas	N

Depois de definidas e apresentadas as especificações para os vários elementos do sistema e de ultrapassadas as fases de recolha de informação anteriormente mencionadas, pode-se finalmente, na fase seguinte, começar a desenvolver as soluções.

4.3 Seleção dos Mecanismos - Problemas e Soluções Individuais

No presente subcapítulo, usando a informação até aqui recolhida, serão utilizados métodos para a geração e seleção de soluções. Para isso, optou-se por utilizar o método do mapa morfológico que permite criar e apresentar possíveis soluções, tendo em conta a análise de funções anteriormente realizada. Posteriormente através do método dos objetivos ponderados procedeu-se à seleção das soluções mais adequadas de acordo com a lista de objetivos pré-definida.

4.3.1 Mecanismo para os Agentes Stressantes - Mapa Morfológico

A geração de soluções é uma dos passos mais importantes no processo de conceção. O método dos mapas morfológicos permite ao projetista criar e identificar um vasto número de combinações de elementos que resultam, após a sua seleção, na solução final do produto.

O procedimento deste método pode ser explicado em quatro passos distintos. Numa primeira fase são estabelecidas as funções essenciais do produto é feita uma listagem das mesmas. O segundo passo prende-se com a geração de subsoluções para satisfazer cada uma das funções mencionadas. Posteriormente é representado um mapa contendo todas as possíveis subsoluções e por fim são identificadas as combinações exequíveis entre os vários elementos [37].

Assim, para o presente caso de estudo, com base nesta informação, e uma vez que as funções desejadas já foram anteriormente estabelecidas, passou-se diretamente ao segundo passo. Foram então apresentadas várias hipóteses, expostas na tabela 4.4, capazes de satisfazer as várias funções num mapa morfológico e posteriormente é apresentada uma pequena análise para cada uma das soluções consideradas. Foram atribuídas cotações a alguns parâmetros como a repetibilidade, custo, manutenção necessária, entre outros, com o objetivo de no próximo subcapítulo proceder-se à seleção das soluções através do método dos objetivos ponderados.

Tabela 4.4 – Mapa morfológico com as soluções consideradas para o projeto mecânico.

Funções/Soluções	Solução 1	Solução 2	Solução 3
Damp Bedding	Distribuição por ação da gravidade através de um reservatório	Distribuição por ação da gravidade através de um reservatório exterior à estrutura.	Água distribuída por prateleira com auxílio de uma bomba
Hot Air	Ventiladores individuais em cada gaiola	Ventilador industrial por prateleira	Ventilador central que distribui para todas as gaiolas, auxiliado por válvulas
Restraining	Restritor removível e ajustável	Grelha integrada na gaiola	-
Food/Water Dep. Inac. Food/Empty Bottle	Mecanismo rotativo automático.	Mecanismo rotativo manual	-
Noise	Colunas exteriores ao dispositivo	Colunas integradas no dispositivo com interface gráfica	-
Light-Cycle Change	Colocação da <i>rack</i> numa sala diferente com ausência de luz	Cobertura individual bloqueando a luz em cada gaiola	Cobertura envolvendo toda a estrutura.
Strobe Light	Projetores exteriores ao dispositivo	Projetores integrados no dispositivo	-

Damp Bedding

- **Solução 1** - Distribuição por ação da gravidade através de um reservatório.

Numa primeira fase esta solução consistia em utilizar a água disponível na rede e fazer a sua distribuição através de um reservatório colocado na parte mais elevada do sistema. Assim, o objetivo passava por projetar o distribuidor para que cada gaiola recebesse aproximadamente a mesma quantidade de água no mesmo intervalo de tempo. Após algumas iterações chegou-se ao esboço representado na figura 4.8.

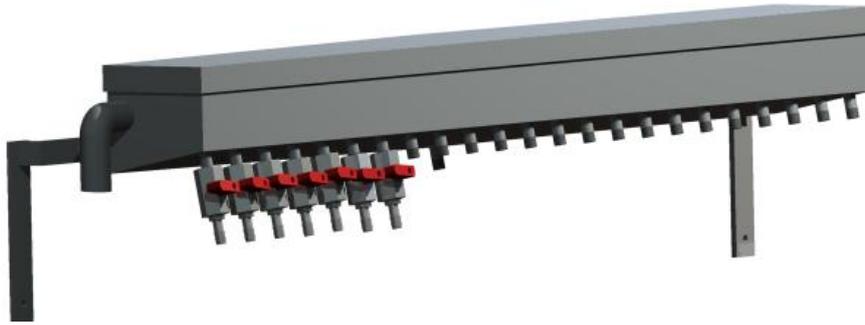


Figura 4.8 – Esboço CAD do reservatório distribuidor.

Em termos de repetibilidade considera-se que esta solução desempenha um bom resultado pois, programando o temporizador para um determinado tempo, a quantidade de água distribuída em cada gaiola será sempre a mesma. Os outros pontos positivos deste sistema são o facto de ser de simples utilização pois não necessita de configuração e o custo de construção do sistema ser baixo pois a água é conduzida por ação da gravidade e portanto não requer qualquer bomba. Como fatores negativos tem o facto de o depósito necessitar de ser colocado num ponto mais alto do que as gaiolas mais elevadas e por isso altera consideravelmente o atravancamento do sistema. O sistema não é muito flexível no que diz respeito à seleção de gaiolas para efetuar o ensaio. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 0,8

Apresenta boa repetibilidade, capaz de reproduzir os ensaios repetidamente sem grandes variações.

Custo – 0,7

Os custos associados à construção deste sistema prendem-se com o fabrico/aquisição dos seguintes componentes:

- Distribuidor/depósito com 24 saídas \approx 100€
- 24 Válvulas de esfera \approx 300€
- Ligações em tubagem flexível a cada gaiola \approx 50€
- Suportes depósito \approx 20€
- Duas eletroválvulas \approx 60€

Assim o custo total aproximado para este sistema ronda os 500€. Considera-se que se trata de um preço razoável tendo em conta que se trata de um agente stressante em que a sua aplicação a todas as gaiolas é relativamente complexa.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0,5

A automação deste sistema pode ser quase total visto que pode ser utilizada uma electroválvula na tubagem da água da rede e um temporizador para controlar o tempo de abertura. Existe no entanto a necessidade de reprogramar o temporizador consoante o número de gaiolas em utilização.

Manutenção – 0,5

A manutenção do sistema prende-se com a limpeza do depósito e das tubagens.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0.2

O sistema requer bastante espaço pois para além de aumentar o atravancamento da estrutura em largura, o depósito tem necessariamente que ficar num nível elevado que pode depois influenciar a mobilidade do equipamento, nomeadamente na passagem das portas do biotério.

- **Solução 2** – Distribuição por ação da gravidade através de um reservatório exterior à estrutura.

O objetivo desta solução é utilizar um reservatório numa posição elevada garantindo uma queda de água constante e conseqüentemente um caudal constante. Desta forma seria mais simples distribuir uniformemente a água pelas diferentes gaiolas. Ao invés da tubagem que liga às gaiolas ser diretamente ligada ao reservatório, pensou-se em utilizar uma estrutura de tubos rígidos que fica fixa na retaguarda da estrutura e a ligação ao reservatório é feita apenas através de uma tubulação.

Igualmente ao sistema anterior, com esta solução espera-se obter uma repetibilidade bastante razoável pois como é garantido um caudal constante a água irá adquirir sempre a mesma velocidade o que resulta num fluxo similar sempre que é utilizado. Outra vantagem deste sistema é o facto de não afetar diretamente o atravancamento pois o depósito não está necessariamente fixo à estrutura. Este aspeto também pode ser considerado uma desvantagem pois o sistema de distribuição de água tem que ser utilizado sempre no mesmo local. Uma vez que a tubagem rígida será dividida por prateleiras, será necessário utilizar uma eletroválvula à saída do reservatório, quatro para conduzir a água para cada prateleira e será também inevitável a utilização de algum tipo de regulador em cada saída pois são esperadas algumas diferenças de caudal em cada prateleira. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 0,8

Apresenta boa repetibilidade, capaz de reproduzir os ensaios repetidamente sem grandes variações.

Custo – 0,6

Os custos associados à construção deste sistema prendem-se com o fabrico/aquisição dos seguintes componentes:

- Depósito ≈ 50€
- Suporte para o depósito ≈ 20€
- 24 Válvulas reguladoras ≈ 300€
- Estrutura de Tubagem rígida ≈ 150€
- Ligações flexíveis entre a tubagem rígida e as gaiolas ≈ 30€
- Cinco eletroválvulas ≈ 150€

O custo previsto para esta solução, embora seja ligeiramente mais cara, encontra-se na mesma ordem de grandeza da solução que prevê a utilização do depósito acoplado à estrutura, rondando os 700€.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0,8

Igualmente este sistema pode ser totalmente automatizado sendo apenas necessário alterar/programar o tempo de abertura da eletroválvula principal consoante o número gaiolas em utilização.

Manutenção – 0,5

A manutenção do sistema prende-se com a limpeza do depósito e das tubagens.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0,4

Garante a flexibilidade e mobilidade da estrutura, contudo, condiciona a utilização do *Damp Bedding* noutros locais.

- **Solução 3** – Água distribuída por prateleira com auxílio de uma bomba.

Esta solução aproveita a estrutura de tubagem rígida prevista para a solução anterior mas, altera a forma como é induzida a velocidade na água. Abandona-se assim a ideia de aproveitar a gravidade e utiliza-se uma bomba elétrica de diafragma capaz de garantir também um caudal constante. A adoção desta solução tem o intuito de não alterar significativamente o atravancamento da estrutura e não prejudicar a repetibilidade dos ensaios. Desta forma, a

bomba e um pequeno reservatório para a alimentar constantemente seriam montados em suportes fixos na lateral da estrutura, não prejudicando assim a mobilidade do sistema. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 0,9

Apresenta boa repetibilidade, capaz de reproduzir os ensaios repetidamente sem grandes variações.

Custo – 0,5

Os custos associados à construção deste sistema prendem-se com o fabrico/aquisição dos seguintes componentes:

- Bomba elétrica ≈ 80€
- Reservatório e válvula de boia ≈ 30€
- Estrutura de Tubagem rígida ≈ 200€
- 24 Válvulas reguladoras ≈ 300€
- Ligações flexíveis entre a tubagem rígida e as gaiolas ≈ 30€
- 6 Eletroválvulas ≈ 180€

Embora seja a solução mais cara, tem a grande vantagem de apenas alterar apenas ligeiramente o atravancamento da estrutura, permitido que este agente stressante seja aplicado em qualquer local.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0,8

Igualmente este sistema pode ser totalmente automatizado sendo apenas necessário alterar/programar o temporizador que controla a bomba de água, consoante o número de gaiolas em utilização.

Manutenção – 0,5

A manutenção do sistema prende-se com a limpeza do depósito e das tubagens.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0,9

Esta solução destaca-se de uma forma bastante positiva neste aspeto em relação às outras. O sistema de distribuição de água fica associado à estrutura, valorizando o produto final, sem prejuízo da sua mobilidade.

Hot Air

- **Solução 1** – Ventiladores individuais em cada gaiola

Esta solução prevê a utilização de um mini-ventilador em cada gaiola. Simplificando a condução do ar, que seria de outra forma feita através de condutas. Apresenta ainda a vantagem de ser

muito mais simples selecionar as gaiolas que serão submetidas ao ensaio sem que haja perdas, garantindo assim a repetibilidade máxima do sistema. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 1

Apresenta uma excelente repetibilidade, os ensaios em cada gaiola são realizados sempre sobre as mesmas condições pois todos os ventiladores têm a mesma potência e estão localizados na mesma posição.

Custo – 0,5

Os custos associados à construção deste sistema prendem-se com o fabrico/aquisição dos seguintes componentes:

- Ventiladores $\approx 24 \times 20\text{€} = 480\text{€}$
- Bocais dos ventiladores $\approx 24 \times 5\text{€} = 120\text{€}$
- Controlador / *Hub* dos ventiladores $\approx 100\text{€}$

Com um custo aproximado de 700€, revela-se uma solução interessante tendo em conta a complexidade do sistema e a repetibilidade que esta apresenta.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0,9

Controlo manual de cada ventilador ou possibilidade de automação total do sistema através de *software* e uma *interface* gráfica, se o orçamento disponível o justificar.

Manutenção – 0,6

A manutenção do sistema prende-se com a limpeza ocasional dos ventiladores.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0,8

Esta solução não causa nenhuns problemas de atravancamento uma vez que os ventiladores ficam encastrados nas tampas. Os fios condutores podem percorrer a estrutura internamente pois a tubulação é oca, servindo também de proteção e garantindo um *design* do produto final mais apelativo. Em termos de flexibilidade, o sistema permite apenas atuar os ventiladores nas gaiolas desejadas, fator muito importante neste sistema. A mobilidade de toda a estrutura também não é condicionada com a adoção desta solução.

- **Solução 2** – Ventilador industrial por prateleira

Com esta solução pretende-se utilizar um ventilador de maior dimensão, capaz de abastecer todas as gaiolas numa prateleira. Este sistema apresenta a vantagem de ser mais simples

encontrar um ventilador de grandes dimensões que possa ser fixado na parte lateral da estrutura e que debite um caudal de ar elevado. Contudo, será um desafio maior distribuir o ar uniformemente, com a velocidade e o caudal desejado por todas as gaiolas. Apresenta ainda a desvantagem de ser impossível, ou muito complexo, de se facultar a possibilidade de seleção das gaiolas em teste. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 0.5

Devido à configuração do sistema torna-se muito complicado garantir as mesmas condições de teste em todas as gaiolas. Visto que seria utilizada uma tubagem ao longo da prateleira, as gaiolas mais próximas do ventilador obterão um caudal e velocidade de ar superiores às restantes, comprometendo assim a repetibilidade do sistema.

Custo – 0.5

Os custos associados à construção deste sistema prendem-se com o fabrico/aquisição dos seguintes componentes:

- Ventiladores $\approx 4 \times 150\text{€} = 600\text{€}$
- Suportes $\approx 50\text{€}$
- Tubagens rígidas e flexíveis $\approx 100\text{€}$

Em termos de custo este sistema aproxima-se bastante da primeira solução sendo que a decisão recairá sobre os outros fatores.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0.7

Os ventiladores terão que ser ligados manualmente ou, se o modelo adquirido for programável, poderão ser configurados para ligarem automaticamente em determinada altura durante um tempo predefinido.

Manutenção – 0.6

A manutenção deste sistema estará relacionada com a manutenção normal de um ventilador destas dimensões e ainda da limpeza pontual das tubagens.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0.6

O atravancamento da estrutura será aumentado tanto na parte lateral como na parte traseira, de forma a acomodar os ventiladores e as tubagens necessárias ao sistema. A mobilidade do sistema não será muito afetada pois todos os componentes serão suportados na estrutura e portanto a sua mobilidade está garantida pelos rodízios colocados na base. O sistema não é tão

flexível como a primeira solução pois apenas permite selecionar que as prateleiras em teste, não sendo possível escolher individualmente cada gaiola.

- **Solução 3** – Ventilador central que distribui para todas as gaiolas

Esta solução contempla a utilização de um ventilador industrial de grandes dimensões que seria acomodado na própria sala e por isso não faria parte da estrutura móvel. Para distribuir o ar pelas diferentes gaiolas utiliza-se uma rede de tubos suportada na retaguarda da estrutura. Para facilitar a distribuição do ar, o ventilador seria centrado em relação às tubagens. Através da utilização de eletroválvulas são selecionadas as prateleiras ou secções destinadas a realizar o ensaio. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 0.3

Pelo mesmo motivo da solução anteriormente apresentada, existe a dificuldade de garantir o rigor dos principais parâmetros deste teste pois é extremamente complicado garantir a uniformidade na distribuição do ar. Principalmente quando é solicitada a opção de selecionar as gaiolas sujeitas ao ensaio.

Custo – 0.5

Os custos associados à construção deste sistema prendem-se com o fabrico/aquisição dos seguintes componentes:

- Ventilador industrial $\approx 400\text{€}$
- Eletroválvulas $\approx 8 \times 30\text{€} = 240\text{€}$
- Tubagens rígidas e flexíveis $\approx 100\text{€}$

Em termos de custo este sistema aproxima-se bastante das outras opções sendo que a decisão recaíra sobre os outros fatores.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0.7

O ventilador terá que ser ligado manualmente ou, se o modelo adquirido for programável, poderá ser configurado para ligar automaticamente em determinada altura durante um tempo predefinido.

Manutenção – 0.6

A manutenção deste sistema estará relacionada com a manutenção normal de um ventilador destas dimensões e ainda da limpeza pontual das tubagens.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0.5

Uma vez que o ventilador não será diretamente associado ao sistema, a influência desta solução no atravancamento do sistema prende-se apenas com o acoplamento da tubagem na retaguarda da estrutura. Existe no entanto a desvantagem deste ensaio ter que ser realizado sempre no local inicialmente predefinido pois o ventilador não será móvel.

Restraining

- **Solução 1** – Restritor removível e ajustável

Pretende-se com esta solução criar um componente que possa ser introduzido manualmente no interior das gaiolas dos roedores com o intuito de restringir o espaço habitável. Numa primeira fase efetuou-se um esboço deste elemento, considerando fatores como o facto de ser ajustável e ainda que pudesse facilmente ser arrumado quando não se encontra em utilização. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 1

A repetibilidade deste mecanismo será total pois os ensaios serão todos realizados rigorosamente nas mesmas condições.

Custo – 0.8

Trata-se essencialmente de um mecanismo composto por duas peças, sendo que o processo de fabrico de uma consiste simplesmente no corte de chapa e a outra requer a furação e corte de tubo. Existem ainda outros pormenores de custo pouco significativo. No geral trata-se de um sistema razoavelmente barato em que se prevê um custo aproximado por unidade entre 15 e 20 euros.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0.5

Não existe qualquer automação possível deste mecanismo e portanto a colocação e remoção do restritor será manual. Contudo, os recursos humanos exigidos para preparar este ensaio são mínimos.

Manutenção – 0.9

Trata-se de um sistema bastante simples em que a sua manutenção é quase nula. Apenas necessita dos cuidados básicos com o seu manuseamento e acomodação.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0.8

O atravancamento deste mecanismo não influencia toda a estrutura uma vez que será utilizado dentro das gaiolas. O único espaço requerido que pode ser considerado é o da sua arrumação. De igual forma a mobilidade do equipamento não é influenciada e o sistema é flexível no sentido em que é ajustável ao tamanho ou quantidade de roedores presentes na gaiola. Possui ainda a vantagem de poder ser utilizado em cada gaiola individualmente conforme as necessidades dos investigadores.

- **Solução 2** – Grelha integrada na gaiola

Contrariamente à primeira solução, neste caso pretende-se desenvolver um mecanismo que fique sempre no interior da gaiola. Assim, considerou-se utilizar uma grelha elevatória que seria fixa à grelha já existente, recolhendo totalmente quando não é necessário aplicar este agente. Apresenta no entanto a desvantagem deste mecanismo não ser ajustável. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 1

A repetibilidade deste mecanismo será total pois os ensaios serão todos realizados rigorosamente nas mesmas condições.

Custo – 0.9

A grelha pode ser fabricada através do corte de chapa ou em arame. Existe também a necessidade de aplicar um grampo na gaiola que prenderá a grelha na posição aberta. O custo estimado por unidade deste sistema ronda os 10 euros.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0.5

Não está prevista qualquer automação deste mecanismo, este pode ser facilmente atuado manualmente.

Manutenção – 0.9

Trata-se de um sistema bastante simples em que a sua manutenção é quase nula. Apenas necessita dos cuidados básicos com o seu manuseamento e acomodação.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0.5

Igualmente à solução anterior, o atravancamento e mobilidade são desconsiderados pois o mecanismo funcionará sempre no interior da gaiola. A flexibilidade é também um ponto positivo desta solução pois permite usar o restritor somente nas gaiolas desejadas.

Food/Water Deprivation e Inaccessible Food/Empty Bottle

- **Solução 1** – Mecanismo rotativo automático.

Para estes agentes indutores de stress pensou-se em incorporar na grelha da gaiola já existente um mecanismo rotativo que fosse automatizado. Assim, este dispositivo poderia ser programado para privar os roedores de alimento durante o tempo desejado. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 1

Uma vez que o parâmetro principal a considerar é o tempo de privação este poderia ser facilmente repetido nos vários ensaios.

Custo – 0.2

Para construir/desenvolver este dispositivo seria necessário um controlador associado a um pequeno motor elétrico capaz de exercer a rotação no comedouro. Trata-se de uma solução complexa que envolveria um estudo aprofundado e possivelmente a alteração de algumas características da gaiola. Devido a estes fatores, embora não tenham sido rigorosamente quantificados, prevê-se custos relativamente elevados para a adaptação deste mecanismo nas 24 gaiolas existentes.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 1

O grau de automação deste agente seria a grande vantagem desta solução. Seria possível controlar precisamente os horários de alimentação dos roedores sem a necessidade da presença constante de um tratador.

Manutenção – 0.4

A manutenção do sistema prende-se com a necessidade de reabastecer a comida e a água conforme necessário. A verificação pontual dos vários componentes do mecanismo também será aconselhável.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0.5

Esta solução apresenta a desvantagem de condicionar ligeiramente a mobilidade das próprias gaiolas e a facilidade de limpeza das mesmas, uma vez que o mecanismo envolve vários elementos que terão que ser acomodados no interior das gaiolas.

- **Solução 2** – Mecanismo rotativo manual

Uma alternativa à solução anterior seria adotar um mecanismo rotativo similar mas acionado manualmente, simplificando todo o sistema e reduzindo significativamente os custos. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 0.9

Embora o mecanismo necessite de ser atuado por alguém, o tempo de privação do alimento pode ser facilmente controlado e repetido ao longo dos ensaios.

Custo – 0.8

Os custos para a produção desta solução serão drasticamente inferiores à solução anterior pois será excluída toda a parte eletrônica, sendo que apenas será necessário o fabrico de alguns elementos mecânicos.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0.5

Embora a automação do sistema seja excluída, os recursos humanos necessários para aplicar com sucesso estes agentes indutores de stress são mínimos.

Manutenção – 0.8

A manutenção do sistema prende-se com a necessidade de reabastecer a comida e a água conforme necessário. Os vários elementos serão facilmente removidos para limpeza.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0.8

Todo o sistema poderá ser incorporado na grelha sem que condicione a mobilidade e facilidade de limpeza das gaiolas.

Noise

- **Solução 1** – Colunas exteriores ao dispositivo

A primeira solução considerada para a aplicação do *Noise* tratava-se de utilizar um conjunto de colunas ou um sistema de som exterior à estrutura. Esta opção seria vantajosa pela sua simplicidade, contudo o foco deste projeto é obter um único produto final que satisfaça as condições inicialmente definidas. Deste modo, a solução apresentada não acrescenta muito valor ao produto pois não pode ser considerada parte integrante deste. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 0.9

Os parâmetros considerados nos vários ensaios será a duração do estímulo, a intensidade e o tipo de som.

Estes fatores serão facilmente controlados e por isso a repetibilidade não será um problema neste agente.

Custo – 0.6

O custo da concretização desta solução dependerá muito do sistema de som a adotar. Para a intensidade necessária, efetuou-se uma estimativa entre os 150 e os 250 euros.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0.5

Embora não seja possível automatizar todo o processo, apenas será necessário dar a ordem de início e fim do ensaio.

Manutenção – 0.8

Não existe muita manutenção envolvida pois trata-se apenas de um aparelho eletrónico.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0.5

Possui a desvantagem de não estar integrado no equipamento o que limita a flexibilidade e mobilidade do mesmo, quando for necessário mover a estrutura todo o processo será dificultado.

- **Solução 2** – Colunas integradas no dispositivo com interface gráfica

Contrariamente à solução anterior optou-se por considerar uma em que o sistema ficaria integrado na própria estrutura, acrescentando valor ao produto final. Isto implica desenvolver uma estrutura de suporte às colunas/amplificador e integra-lo numa interface gráfica comum a outros dispositivos. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 1

Conforme foi referido, os parâmetros deste agente são facilmente controláveis logo a repetibilidade não será posta em causa.

Custo – 0.8

O desenvolvimento desta solução implica a aquisição/construção dos seguintes elementos:

- 4 colunas de som $\approx 160\text{€}$
- 4 suportes para colunas (comum aos suportes do strobe light) $\approx 40\text{€}$
- *Interface gráfica – Tablet* (comum a vários mecanismos) $\approx 200-600\text{€}$
- Amplificador $\approx 150\text{€}$
- Suportes para os dispositivos eletrónicos $\approx 50\text{€}$

O custo para esta solução pode variar entre os 500 € e os 1000 € dependendo da qualidade do dispositivo computacional a adotar. Deve ter-se em conta que alguns dos custos associados a esta solução, serão também aproveitados em grande parte na aplicação de outros agentes.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0.5

Será possível através do desenvolvimento de *software* específico, programar e controlar os parâmetros desejados, garantindo a total automação deste sistema.

Manutenção – 0.8

Não existe muita manutenção envolvida pois tratam-se essencialmente de aparelhos eletrónicos.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0.8

Os dispositivos eletrónicos como o amplificador e o *tablet* serão apoiados em suportes montados na lateral da estrutura, não condicionado de forma alguma a mobilidade do equipamento. Os suportes das colunas serão dispostos na parte frontal da estrutura mas com a possibilidade de retraírem totalmente, garantindo maior flexibilidade a toda a estrutura.

Light Cycle Change

- **Solução 1** – Colocação da estrutura numa sala diferente com ausência de luz

A primeira opção equacionada para este indutor de stress, trata-se de uma solução bastante rudimentar que consiste simplesmente em transportar toda a estrutura ou as gaiolas individualmente para uma sala diferente onde seja possível bloquear toda a claridade. Obviamente que se trata de uma solução barata mas tem o grande inconveniente de inutilizar o espaço onde está a ser efetuado o ensaio. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 1

O ensaio seria facilmente repetido nas mesmas condições.

Custo – 1

Não envolve qualquer tipo de custo, excetuando a inutilização do espaço.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0.3

Não é possível automatizar o processo e é necessário alguma mão-de-obra para transportar e controlar as gaiolas durante o ensaio.

Manutenção – 1

Não existe qualquer manutenção envolvida.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0.2

Trata-se do ponto fraco desta solução pois não é prática. Envolve a inutilização de um espaço que poderia ser utilizado para outros fins. No caso de toda a estrutura ser deslocada impossibilita a realização de outros ensaios nas gaiolas.

- **Solução 2** – Cobertura individual, bloqueando a luz em cada gaiola.

Esta solução passa por fabricar uma cobertura para cada gaiola, num material têxtil capaz de bloquear a claridade. Esta solução apresenta a vantagem de poder ser aplicada apenas nas gaiolas submetidas a este ensaio, sem necessidade de retirar as gaiolas da estrutura. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 1

O ensaio seria facilmente repetido nas mesmas condições.

Custo – 0.8

Os custos desta solução prendem-se essencialmente com o preço do têxtil utilizado. Considerando as dimensões das gaiolas, o custo do material será pouco significante.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0.7

Não é possível automatizar o processo, contudo, pretende-se desenvolver uma peça facilmente aplicável às gaiolas.

Manutenção – 0.9

A manutenção prende-se com os cuidados básicos de utilização e arrumação do material têxtil selecionado.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 1

Não condiciona de qualquer forma o atravancamento e a mobilidade da estrutura. Possibilidade de realizar o ensaio apenas nas gaiolas desejadas, garantindo a uma maior flexibilidade do equipamento.

- **Solução 3** – Cobertura envolvendo toda a estrutura.

A última solução pensada para este agente stressante consiste em, à semelhança da anterior, fabricar uma cobertura num material têxtil mas que cubra toda a estrutura. A vantagem é uma maior facilidade na aplicação da cobertura, contudo, não permite a sua aplicação individual.

Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 1

O ensaio seria facilmente repetido nas mesmas condições.

Custo – 0.8

Igualmente à solução anterior, os custos prendem-se essencialmente com o preço do têxtil utilizado. Tratando-se de uma peça única os custos seriam pouco significantes.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0.7

Não é possível automatizar o processo, contudo, o processo de aplicação é bastante simples e envolve muito pouco esforço.

Manutenção – 0.9

A manutenção prende-se com os cuidados básicos de utilização e arrumação do material têxtil selecionado.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0.4

Não condiciona de qualquer forma o atravancamento e a mobilidade da estrutura. Apresenta a desvantagem de não ser possível aplicar o agente individualmente, comprometendo todas as cobaias a ficarem submetidas a este ensaio.

Strobe Light

- **Solução 1** – Projetores exteriores ao dispositivo

Igualmente à primeira solução pensada para o *Noise*, esta solução consiste em utilizar projetores do tipo *Strobe*, exteriores à estrutura. Conforme referido anteriormente, trata-se de uma opção simples, contudo, não acrescenta muito valor ao produto final. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 1

O ensaio seria facilmente repetido nas mesmas condições.

Custo – 0.8

Os custos prendem-se com a aquisição dos projetores, controladores e os seus devidos suportes. Após uma pesquisa ao mercado, prevê-se que a concretização desta solução ronde aproximadamente os 50€.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0.5

Não será possível automatizar o processo. Necessidade de dispor os projetores no local adequado e proceder ao seu acionamento.

Manutenção – 1

Cuidados básicos no manuseio e arrumação dos dispositivos.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0.2

Possui a desvantagem de não estar integrado no equipamento o que limita a flexibilidade e mobilidade do mesmo, quando for necessário mover a estrutura todo o processo será dificultado.

- **Solução 2** – Projetores integrados no dispositivo

De modo a valorizar o produto final, a segunda solução proposta consiste em integrar também os projetores na estrutura já existente. Seria vantajoso dimensionar os suportes das colunas de modo a poderem também acomodar os projetores de luz, tornando ambos os sistemas eficientes e reduzindo custos. Depois de analisar esta solução foram atribuídos os coeficientes relativos aos principais parâmetros:

Repetibilidade – 1

Os parâmetros considerados nos ensaios deste indutor de stress serão a duração e a frequência do *flash*. Estes fatores serão facilmente controlados e por isso a repetibilidade não será um problema neste agente.

Custo – 0.8

Os custos prendem-se com a aquisição dos projetores do controlador e o desenvolvimento em conjunto com o *Noise*, dos suportes articuláveis. O total será assim aproximado ao custo estimado para a primeira solução.

Grau de automação/Recursos humanos necessários – 0.9

Será possível através do desenvolvimento de *software* específico, programar e controlar os parâmetros desejados, garantindo a total automação deste sistema.

Manutenção – 1

Não existe muita manutenção envolvida pois tratam-se essencialmente de dispositivos eletrónicos.

Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade – 0.8

Os suportes dos projetores serão dispostos na parte frontal da estrutura mas com a possibilidade de retraírem totalmente, garantindo maior flexibilidade a toda a estrutura e não interferindo com a mobilidade e o atravancamento da estrutura.

Depois da análise do mapa morfológico é possível prever o resultado da combinação das várias subsoluções apresentadas, contudo, como cada mecanismo desempenha funções distintas e independentes é necessário recorrer a um método que permita selecionar cada subsolução de acordo com a importância dos vários critérios.

4.3.2 Seleção dos Mecanismos – Objetivos ponderados

O método dos objetivos ponderados permite avaliar e fazer a comparação entre as várias soluções obtidas. Este faz a relação entre os objetivos do projeto e o desempenho das soluções através da atribuição do peso e da pontuação respetivamente.

No desenvolvimento de um projeto comum este método seria aplicado às várias soluções do produto final. Neste caso específico, cada função é praticamente independente, torna-se então mais útil aplicar o método dos objetivos ponderados a cada função, com o objetivo de determinar a melhor subsolução para cada um dos objetivos pretendidos.

Conforme se pode analisar pela tabela 4.5, foram selecionados os principais objetivos que todos os agentes stressantes devem satisfazer e foi atribuído o seu peso relativo. Este fator será depois multiplicado pelo coeficiente anteriormente atribuído para cada solução, decidindo-se assim através de um procedimento lógico e racional quais as melhores soluções.

Tabela 4.5 – Atribuição de coeficientes a cada objetivo.

Objetivos	Peso Relativo
Repetibilidade	10
Custo	9
Grau de automação	8
Manutenção	7
Atravancamento/Mobilidade/Flexibilidade	6

Desta forma, depois de atribuído o peso relativo a cada objetivo, revela-se necessário analisar os estudos referentes a cada mecanismo com o propósito de fazer uma avaliação criteriosa que será posteriormente utilizada para fazer a seleção das soluções. A tabela 4.6 demonstra os resultados obtidos depois da aplicação do método dos objetivos ponderados, destacando a verde as soluções que obtiveram melhores pontuações.

Tabela 4.6 – Tabela de resultados da aplicação dos objetivos ponderados.

Função	Solução 1		Solução 2		Solução 3	
<i>Damp Bedding</i>	10x	0.8	10x	0.8	10x	0.9
	9x	0.7	9x	0.6	9x	0.5
	8x	0.5	8x	0.8	8x	0.8
	7x	0.5	7x	0.5	7x	0.5
	6x	0.2	6x	0.4	6x	0.9
	Total = 23		Total = 25.7		Total =28.8	
<i>Hot Air</i>	10x	1	10x	0.5	10x	0.3
	9x	0.5	9x	0.5	9x	0.5
	8x	0.9	8x	0.7	8x	0.7
	7x	0.6	7x	0.6	7x	0.6
	6x	0.8	6x	0.6	6x	0.5
	Total = 30.7		Total =22.9		Total = 20.3	
<i>Restraining</i>	10x	1	10x	1		
	9x	0.8	9x	0.9		
	8x	0.5	8x	0.5		
	7x	0.9	7x	0.9		
	6x	0.8	6x	0.5		
	Total = 32.3		Total =31.4			

Tabela 4.7 – Continuação da tabela de resultados da aplicação dos objetivos ponderados.

<i>Food/Water Dep. Inac. Food/Empty Bottle</i>	10x	1	10x	0.9		
	9x	0.2	9x	0.8		
	8x	1	8x	0.5		
	7x	0.4	7x	0.8		
	6x	0.5	6x	0.8		
	Total =25.6		Total =30.6			
<i>Noise</i>	10x	0.9	10x	1		
	9x	0.6	9x	0.8		
	8x	0.5	8x	0.5		
	7x	0.8	7x	0.8		
	6x	0.5	6x	0.8		
	Total =27		Total =31.6			
<i>Light-Cycle Change</i>	10x	1	10x	1	10x	1
	9x	1	9x	0.8	9x	0.8
	8x	0.3	8x	0.7	8x	0.7
	7x	1	7x	0.9	7x	0.9
	6x	0.2	6x	1	6x	0.4
	Total = 29.6		Total = 35.1		Total = 31.5	
<i>Strobe Light</i>	10x	1	10x	1		
	9x	0.8	9x	0.8		
	8x	0.5	8x	0.9		
	7x	1	7x	1		
	6x	0.2	6x	0.8		
	Total =29.4		Total =36.2			

Assim, resumindo as tabelas 4.6 e 4.7, segue-se a lista das soluções escolhidas para cada agente stressante:

Damp Bedding

Solução 3 - Água distribuída para todas as gaiolas com auxílio de uma bomba.

Hot Air

Solução 1 - Ventiladores individuais em cada gaiola.

Restraining

Solução 1 - Restritor removível e ajustável.

Food/Water Deprivation

Solução 1 - Mecanismo rotativo manual.

Inaccessible Food/Empty Bottle

Solução 1 - Mecanismo rotativo manual.

Noise

Solução 2 - Colunas integradas no dispositivo com controlo através de interface gráfica.

Light-Cycle Change

Solução 2 - Cobertura individual bloqueando a luz em cada gaiola

Strobe Light

Solução 2 - Projetores integradas no dispositivo.

4.4 Projeto de Detalhe dos Mecanismos - Soluções Secundárias

Depois de escolhidas as soluções para os diferentes mecanismos dos agentes indutores de stress, surge a necessidade de estudar detalhadamente cada uma. Assim, este subcapítulo tem como objetivo apresentar o estudo de dimensionamento dos vários mecanismos, tendo em conta o seu princípio de funcionamento, os materiais a utilizar, o seu processo de fabrico e os esforços envolvidos. Para um melhor enquadramento e com o propósito de facilitar a leitura, o presente subcapítulo foi dividido nos vários mecanismos que foram desenvolvidos ao longo do projeto, incluindo também um tópico para apresentar o estudo relativo a aspetos estruturais que foram considerados.

4.4.1 Sistema de Distribuição de Água – Damp Bedding

No desenvolvimento deste sistema, foram inicialmente tomados em consideração alguns aspetos relevantes que influenciariam o funcionamento do dispositivo final. Depois de efetuados alguns testes, de acordo com os requisitos do cliente, ficou estabelecido que a quantidade de água ideal

para cada gaiola seria de 750 ml com uma variação aceitável de 100 ml. Ficou também esclarecido, em reuniões com os responsáveis do projeto, que não havia qualquer restrição relativa ao tempo e ordem de enchimento das gaiolas, contudo, seria importante considerar uma solução capaz de permitir selecionar quais as gaiolas em que se deseja efetuar o ensaio. Outros requisitos apontados e considerados no desenvolvimento do sistema de distribuição de água foram, a facilidade de utilização por parte de utilizadores que não estejam inteiramente familiarizados com o sistema, custo reduzido na aquisição de equipamentos *off-the-shelf* ou nos processos de fabrico utilizados, garantia que o sistema não acumula água no fim dos ensaios que resultaria na necessidade de limpeza e manutenção frequente.

Princípio de funcionamento

Assim, com estes critérios em mente, pretende-se utilizar uma estrutura em tubo que consiste numa tubagem principal que é posteriormente ramificada em quatro para fornecer a água a cada uma das diferentes prateleiras conforme representado na figura 4.9.

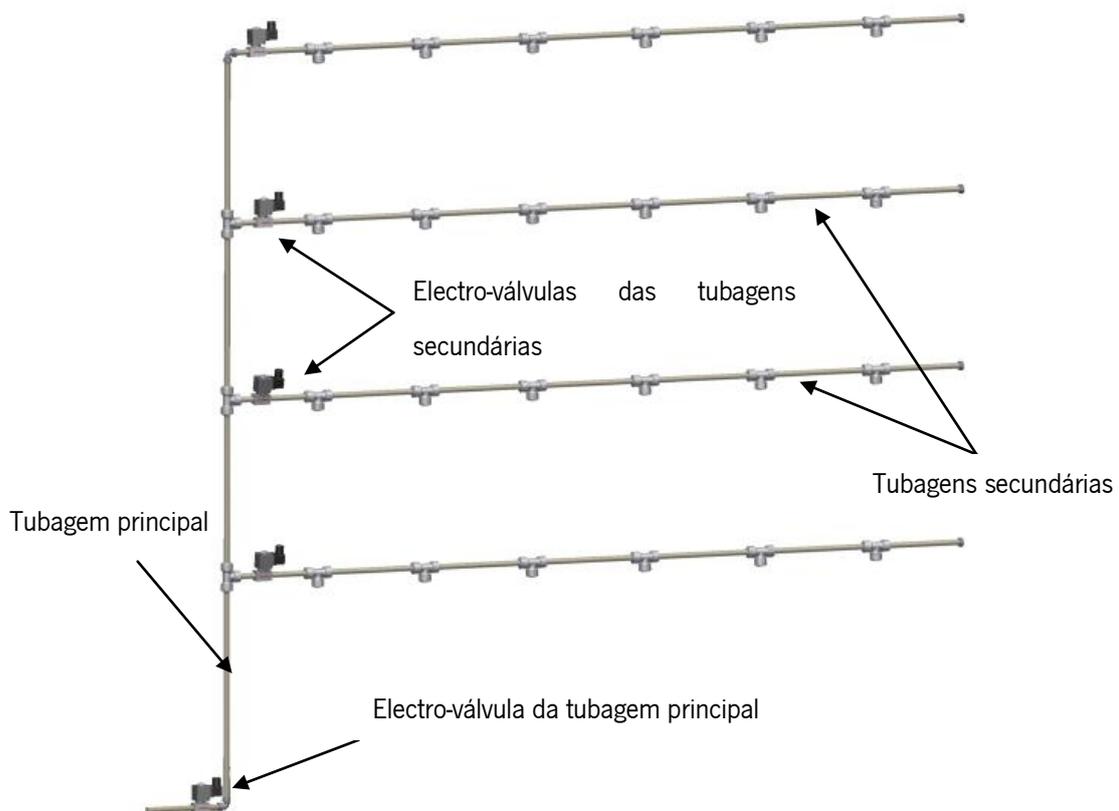


Figura 4.9 – Modelo CAD inicial do sistema de distribuição de água.

Esta tubagem é fixa nos suportes que devem ser acrescentados à estrutura já existente. Para bombear a água pensou-se inicialmente em utilizar apenas a pressão da rede ao qual seria

acrescentado um redutor de pressão para garantir a estabilidade e o correto funcionamento do sistema.

No sistema que se pretende construir, seria útil garantir um caudal volumétrico constante, dessa forma, o volume correto de água a distribuir pelas gaiolas seria facilmente controlado através da temporização da electro-válvula principal. Contudo, mesmo através da utilização de um redutor de pressão, é difícil garantir uma velocidade do fluido constante e consequentemente um caudal constante. De acordo com a equação de continuidade, o caudal volumétrico (Q) ao longo de uma tubagem com uma secção transversal (A) por unidade de tempo é sempre constante. Isto pode ser concluído devido aos líquidos serem incompressíveis, assim, o caudal do escoamento depende apenas da queda de pressão. Independentemente da pressão no sistema ser alta ou baixa, desde que a diferença entre o ponto inicial ($P1$) e o ponto final ($P2$) seja igual o caudal volumétrico será também igual.

Assim, como velocidade do fluido depende do diferencial de pressão e embora o redutor de pressão garanta a saída de uma pressão constante, a pressão da rede não é controlável e portanto também o diferencial de pressão será incontrolável. Desta forma, as variações de pressão na rede, causadas por exemplo pela abertura de múltiplas torneiras em simultâneo, serão também sentidas no sistema através do caudal disponível.

Para resolver este problema, pensou-se em alternativas que permitissem obter um caudal constante, ou alterar a forma como a quantidade de água a distribuir fosse controlada. Após gerar algumas soluções, como utilizar um caudalímetro a controlar o temporizador da electro-válvula principal ou utilizar um depósito fixo numa posição elevada da sala para garantir uma queda de água constante e consequentemente um caudal constante chegou-se à conclusão que a melhor alternativa seria utilizar uma pequena bomba elétrica de água.

Uma bomba de diafragma, devido ao seu princípio de funcionamento, garante um caudal constante. Para alimentar a bomba, considerou-se a utilização de um pequeno reservatório que é enchido automaticamente até um nível pré-determinado, auxiliado por uma válvula de boia. Desta forma, é possível obter o caudal constante e manter a flexibilidade do sistema, pois o reservatório não necessita de ter grandes dimensões, apenas deve ter o volume necessário para alimentar a bomba continuamente.

Na seleção da bomba adequada para o sistema pretendido, teve-se inicialmente em consideração alguns parâmetros, como o diâmetro de entrada e saída da bomba, o caudal da bomba em funcionamento, a pressão máxima de funcionamento e a sua voltagem. Após a pesquisa de várias bombas, foi encontrado um exemplar que cumpre os requisitos apresentados. Anunciando um caudal de funcionamento de 180GPH (*gallons per hour*) ou cerca de 11.36 l/min (litros por minuto), tendo em conta o dimensionamento do sistema e das tubagens, este valor aparenta ser adequado, contudo, uma melhor apreciação deverá ser feita posteriormente. Pretende-se então utilizar uma bomba igual, ou com características semelhantes, à representada na figura 4.10.



Figura 4.10 – Bomba de água elétrica de diafragma – SHURflo (retirado de[38]).

Pela tabela 4.8 é possível verificar algumas das especificações técnicas relevantes para o sistema em questão. De salientar ainda que a bomba pode funcionar a seco sem sofrer qualquer tipo de dano.

Tabela 4.8 – Especificações técnicas da bomba elétrica SHURflo – Model #2088-343-435 (adaptado de [38]).

Especificações Técnicas	
Caudal	≈11.36 l/min ou 180 GPH
Voltagem	12 V
Pressão Máxima	3.1 Bar ou 45 PSI
Diâmetro entrada/saída	12.7 mm
Dimensões (C x L x A)	222 x 127 x 114 mm
Auto sucção	Sim – 3.7 metros na vertical
Preço	≈ 80€

O termo “Auto sucção”, em Inglês “*self-priming*”, refere-se ao facto de a bomba ser capaz de puxar o fluido de um nível abaixo da entrada da bomba (até aproximadamente 3.7 metros na

vertical), ao contrário de certos modelos que para fazer a aspiração requerem que o fluido esteja acima da entrada da bomba.

Depois da bomba selecionada, é necessário escolher o material do tubo, bem como dimensionar a tubagem de acordo com os parâmetros que já são conhecidos. Após efetuar uma pesquisa dos vários tipos de tubos usados em sistemas de água, foi possível destacar os mais usados em aplicações residenciais para abastecimento de água [39]:

CPVC

Chlorinated Polyvinyl Chloride (CPVC) é um termoplástico derivado do *Polyvinyl Chloride* (PVC) modificado através de uma reação que aumenta efetivamente o teor de cloro do material. Esta alteração produz uma mudança nas propriedades físicas e químicas do material, permitindo ao CPVC tolerar uma maior gama de temperaturas. Por esta razão, as tubagens criadas neste material são ideais para aplicações de água quente ou fria, substituindo frequentemente os tubos de cobre em aplicações usadas no interior. Este tipo de tubo está disponível em diâmetros desde os 13 aos 50 mm e existe uma grande variedade de acessórios para a montagem das tubagens.

PEX

Os tubos de *Crosslinked polyethylene* ou *PEX*, são um produto relativamente novo no mercado. O seu baixo custo e facilidade de instalação são algumas razões para a popularidade deste material nos últimos anos. O *PEX* é mais barato que o cobre e o seu preço é equiparável ao do *CPVC*, apresenta ainda outras vantagens relativamente ao cobre devido a ter uma melhor resistência à corrosão e ser flexível. Quando comparado com o *CPVC*, o *PEX* destaca-se por ter uma menor probabilidade de quebrar quando submetido a temperaturas muito baixas, além disso, o último não necessita de cola o que significa que funciona perfeitamente em espaços não ventilados.

PVC

O *PVC* ou *Polyvinyl Chloride*, é normalmente utilizado apenas para aplicações de água fria, pode ser usado tanto em sistemas de abastecimento de água como de águas residuais. Os acessórios de montagem são normalmente de rosca e são projetados para ser apertados manualmente. Algumas das vantagens deste tipo de tubo são o facto de serem leves, resistentes quimicamente e o seu preço é competitivo, principalmente quando considerado o fator de durabilidade. Como

principais inconvenientes, são o facto de não ser resistente ao fogo, e a baixa gama de tamanhos disponíveis no mercado, além disso, os acessórios para este tipo de tubo são normalmente volumosos o que restringe o seu uso em lugares apertados.

Cobre

O cobre tem um grande historial de fiabilidade, este tem sido o material de preferência para tubos de abastecimento de água ao longo de 70 anos, desde que a canalização no interior das habitações passou a ser padronizada. Embora o seu preço seja um pouco mais elevado do que algumas alternativas modernas, a sua durabilidade e a baixa necessidade de manutenção conferem-lhe um preço final a par dos outros materiais. As tubagens em cobre podem ser utilizadas para aplicações em água fria mas são também ideais para sistemas de água quente devido à sua alta condutividade térmica. No caso de existir um incêndio este material é capaz de resistir ao fogo e não liberta gases tóxicos, pode também ser reciclado o que o torna uma solução amiga do ambiente.

Depois de consideradas as várias opções existentes no mercado, o material escolhido para a tubagem do sistema que se pretende desenvolver foi o *PEX*. As principais características que levaram a eleger este material foi o facto de ser relativamente barato, ser facilmente cortado e instalado, e principalmente por apresentar um peso inferior quando comparado com os tubos em metal, o que é de extrema importância, tendo em conta que se pretende que a estrutura seja móvel e flexível.

Posto isto, fez-se uma pesquisa na procura das dimensões e acessórios indicados para instalação no dispositivo de indução de stress. Os primeiros resultados obtidos através da pesquisa permitiram verificar o preço bastante acessível deste tipo de tubagem e uma grande variedade de dimensões, tanto em diâmetro como em comprimento, foram também encontrados um grande leque de acessórios adequados para aplicar no sistema em questão.

Analisando a estrutura já desenvolvida, o caudal e as dimensões das portas da bomba elétrica já selecionada, concluiu-se que um diâmetro de meia polegada ou aproximadamente 12,7 mm seria suficiente. O próximo passo foi escolher o comprimento de tubo necessário a aplicar no sistema. Utilizou-se para isso a ferramenta "*Distance*" no *Autodesk Inventor*, uma vez que o

sistema se encontra modelado com as suas dimensões reais neste *software*. Assim, obteve-se, uma distância de aproximadamente 2 m para cada prateleira e cerca de 2,5 m para a tubagem principal. Visto que o sistema é composto por quatro prateleiras, seriam necessários aproximadamente 11 m de tubo. Tendo em conta alguns desperdícios devido ao corte da tubagem em vários pontos e ao facto de este tubo ser normalmente vendido em rolos, considera-se que um rolo com 15 metros será adequado.

Após a seleção da bomba de água e do diâmetro do tubo a utilizar, era importante recorrer a um *software* de simulação de dinâmica de fluidos para verificar o comportamento do escoamento em toda a estrutura. Utilizou-se então o *software Autodesk Simulation CFD*, exportando a estrutura com as dimensões reais do *Autodesk Inventor*.

Numa primeira fase, pretendeu-se verificar que quantidade de água chegava a cada prateleira, considerado que todas as electroválvulas se encontravam abertas. Para isso, utilizou-se como condições de fronteira o valor de 11,36 l/min, correspondente ao caudal debitado pela bomba na entrada, uma pressão relativa de 0 Pa nas saídas representando o diferencial de pressões.

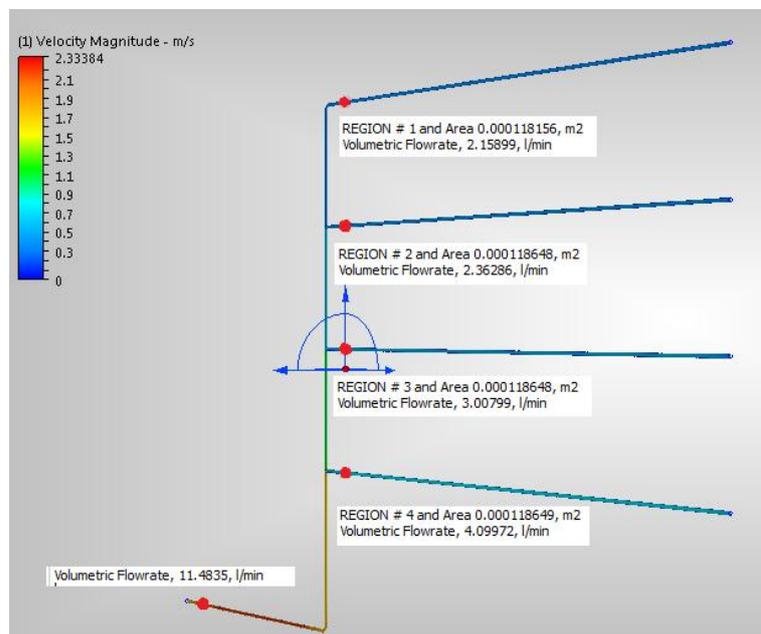


Figura 4.11 – Simulação computacional da distribuição de água com todas as electroválvulas abertas.

Pela análise da figura 4.11 é possível perceber que, conforme esperado devido à diferença de cotas, o caudal em cada prateleira varia demasiado, comprovando uma diferença de quase 100% entre a mais elevada e a que se encontra mais próxima do chão. Através de uma aproximação na imagem, representada na figura 4.12, é possível verificar que o perfil de

velocidades quebra fortemente a partir da prateleira mais baixa, o mesmo acontece nas várias intersecções que vão acontecendo ao longo da tubagem principal, o que resulta consequentemente na diferença de caudais exibidos na figura 4.11.

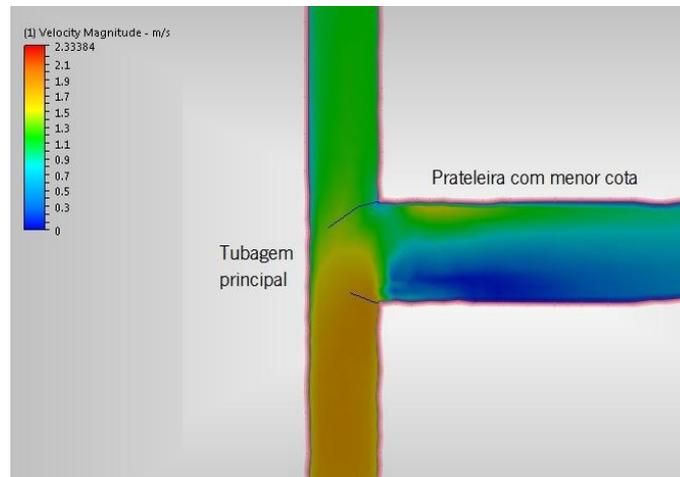


Figura 4.12 - Representação do perfil de velocidades na primeira intersecção.

Para contornar este problema, uma vez que não existem restrições relativamente à ordem e duração de enchimento, a solução passa por fazer o enchimento por prateleira, fechando as restantes electroválvulas quando se pretende direccionar a água para uma prateleira. Uma vez resolvido este problema, surge também a necessidade de fazer uma simulação mais realista e verificar que volume de água por unidade de tempo se obtém em cada saída das respetivas gaiolas. Assim, efetuou-se uma nova simulação nas mesmas condições da anterior, mas desta vez contemplando apenas uma prateleira e considerando as várias saídas de água.

Através da interpretação da simulação representada na figura 4.13, pode-se verificar uma discrepância significativa nos valores de caudal obtido em cada uma das saídas. Isto acontece pois, por uma questão de simplicidade e facilidade de construção, as saídas apresentam todas o mesmo diâmetro. Consequentemente, e como todas as saídas estão abertas quando a água começa a ser bombeada, as que se encontram mais próximas da tubagem principal debitam um caudal muito superior.

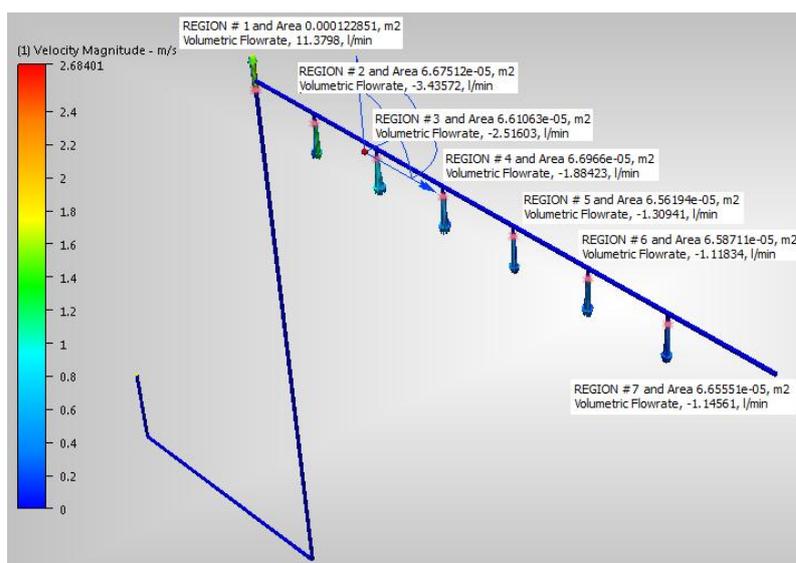


Figura 4.13 – Simulação computacional do escoamento do fluido numa prateleira.

A tabela 4.9 mostra a diferença obtida no caudal disponível em cada gaiola, se não fosse feita alguma alteração ao sistema.

Tabela 3.9 – Abastecimento das gaiolas em cada prateleira.

	Gaiola 1	Gaiola 2	Gaiola 3	Gaiola 4	Gaiola 5	Gaiola 6
Caudal disponível (l/min)	3,44	2,52	1,88	1,31	1,12	1,15
Tempo enchimento (s)	13,1	17,9	23,9	34,4	40,2	39,1
Abastecimento no tempo máx. (ml)	751	550	410	286	245	251

Consequentemente, os tempos de enchimento, isto é, o tempo necessário para abastecer cada gaiola com 750 ml de água, são também muito díspares. Também pela interpretação da tabela 4.9, é possível verificar a quantidade de água presente em cada gaiola depois da primeira atingir o nível desejado.

Na tentativa de solucionar ou amenizar este problema, foi efetuada uma nova simulação, em que foi adotado um diâmetro variável ao longo das saídas da tubagem. Foi utilizado um diâmetro mais reduzido nas saídas mais próximas da bomba e progressivamente, com incrementos de

0,5 mm, foi aumentado nas saídas mais exteriores. O resultado da simulação pode ser visualizado na figura 4.14.

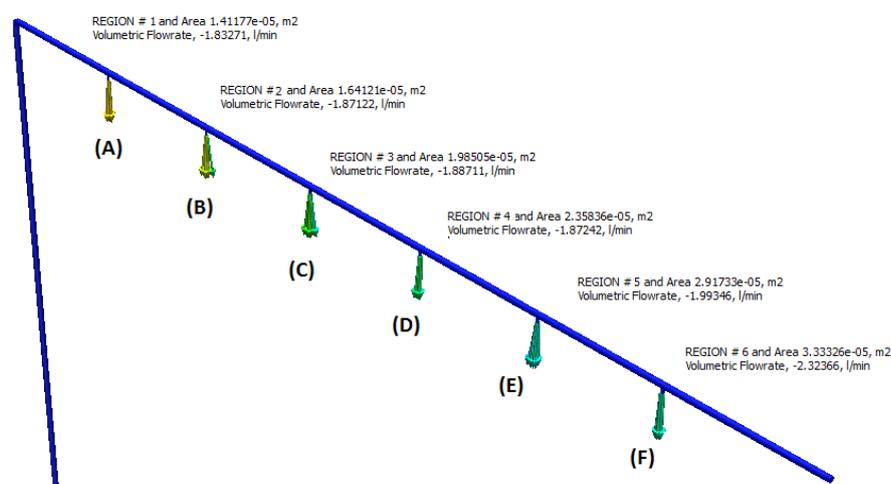


Figura 4.14 – Simulação computacional do escoamento utilizando saídas de diâmetro variável. (A) Saída 1 – Caudal volúmico de 1,83l/min; **(B)** Saída 2 – Caudal volúmico de 1,87l/min; **(C)** Saída 3 – Caudal volúmico de 1,89l/min; **(D)** Saída 4 – Caudal volúmico de 1,87l/min; **(E)** Saída 5 – Caudal volúmico de 1,99l/min; **(F)** Saída 6 – Caudal volúmico de 2,32l/min.

O resultado obtido revelou um equilíbrio bastante aceitável entre as saídas, registando caudais muito aproximados. Com os dados obtidos da simulação efetuaram-se os cálculos de enchimento relativos às diferentes gaiolas. Através da análise da tabela 4.10 é possível verificar que ao fim de 22 segundos chega-se ao ponto em que todas as gaiolas se encontram dentro da tolerância de 100 ml em relação aos 700 ml estabelecidos nos requisitos, validando assim o funcionamento do sistema.

Tabela 4.10 – Cálculo do enchimento das gaiolas em relação ao caudal disponível.

Tempo enchimento (segundos)	Quantidade de água em cada gaiola (ml)					
	Gaiola 1	Gaiola 2	Gaiola 3	Gaiola 4	Gaiola 5	Gaiola 6
5	153	156	158	156	166	193
10	305	312	315	312	332	387
15	458	468	473	468	498	580
20	610	623	630	623	663	773
22	671	686	693	686	730	851
Caudais disponíveis	1,83	1,87	1,89	1,87	1,99	2,32

De uma forma mais visual, o gráfico representado na figura 4.15, demonstra a discrepância do volume de água nas diferentes gaiolas de cada prateleira. É possível verificar que, possivelmente devido ao retorno de água que ocorre na ponta da tubagem, a última gaiola manifesta uma disparidade maior em relação às outras. Isto pode ser minorado reduzindo o diâmetro da última saída e efetuando sucessivas simulações a fim de encontrar a configuração ideal.

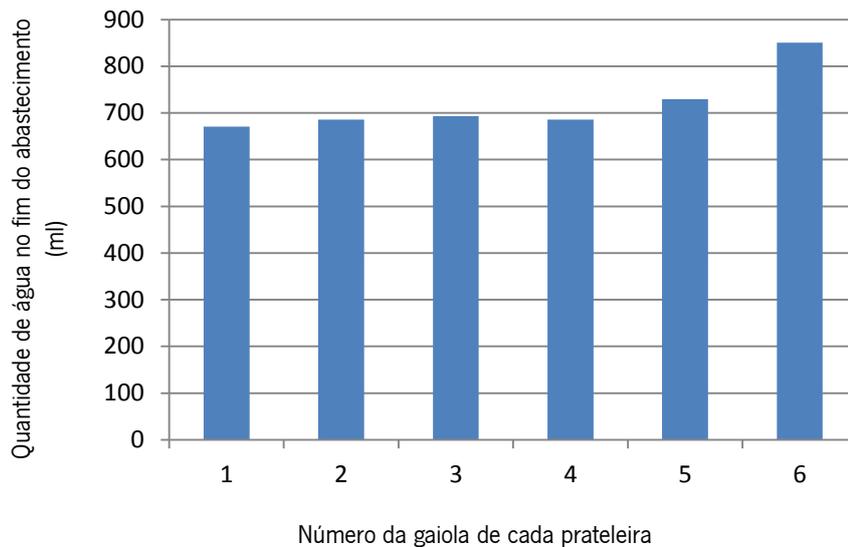


Figura 4.15 – Comparação da quantidade de água presente em cada gaiola no fim do abastecimento.

Infelizmente trata-se de uma solução facilmente aplicável conceptualmente mas na prática revela-se bastante complicado implementar os diferentes diâmetros pois nem todos estão normalizados. Este problema poderia ser resolvido de várias formas. A aplicação de uma electroválvula em cada saída foi uma solução considerada mas rapidamente se chegou à conclusão que iria encarecer demasiado todo o sistema. Fazer o enchimento de três gaiolas de cada vez, em que cada prateleira teria duas tubagens separadas também foi uma solução abordada mas, da mesma forma, encarecia todo o dispositivo e tornava-o muito complexo sem resolver o problema de uma forma eficaz. Assim a solução que se revelou mais simples e que acarreta custos menores, foi a colocação de um regulador manual de caudal em cada uma das saídas. Desta forma, após uma regulação inicial o sistema ficará a funcionar corretamente e quando forem perceptíveis discrepâncias, o sistema poderá facilmente voltar a ser regulado.

Após todas alterações acima referidas, para uma melhor perceção e visualização de todo o sistema, o desenho *CAD* foi atualizado e obteve-se o resultado representado na figura 4.16.

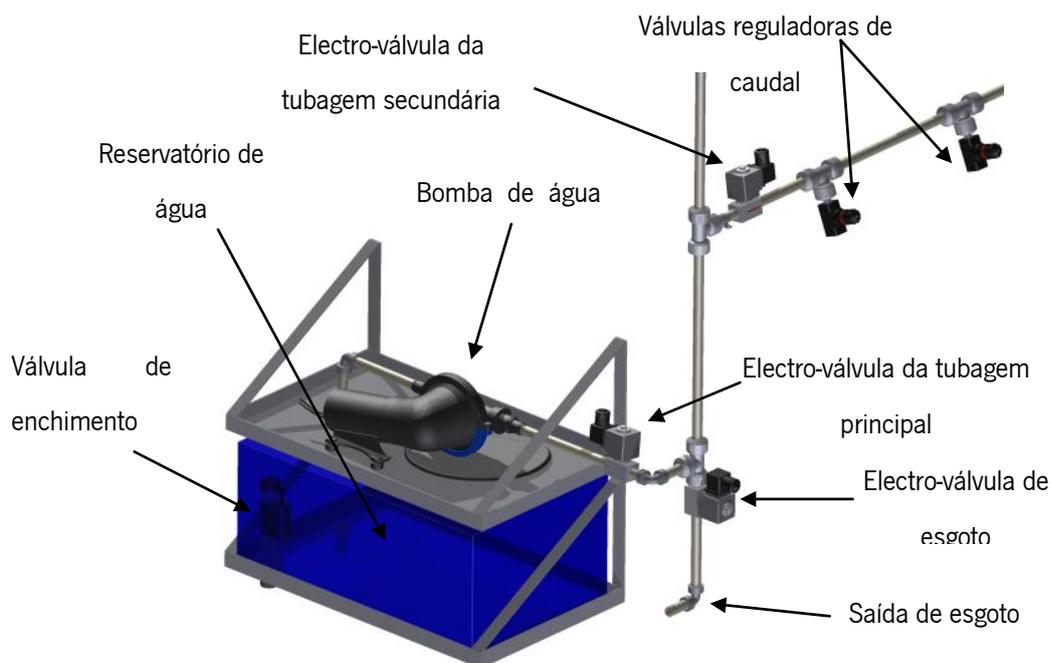


Figura 4.16 – Representação esquemática do modelo CAD da solução adotada.

É possível ver os principais componentes integrantes do sistema de distribuição de água. As dimensões do depósito são 458 x 288 x 200mm e possui uma capacidade de aproximadamente 25 litros, valor suficiente para garantir o contínuo funcionamento da bomba. O sistema de abastecimento do depósito é muito semelhante aos mecanismos mais utilizados em autoclismos de uma comum instalação sanitária. Este é composto pela válvula de enchimento que funciona com uma boia, o nível da água faz a mesma subir até ao nível pretendido que conseqüentemente fará o fecho completo do bocal de entrada, não permitindo que mais água seja adicionada ao tanque. A bomba elétrica é montada num suporte que se encontra acima do reservatório, um filtro deve ser utilizado no segmento que liga a bomba ao reservatório para evitar que quaisquer impurezas que possam danificar a bomba sejam aspiradas.

Com o objetivo de escoar a água presente nas tubagens no fim da sua utilização, foi ainda projetada uma saída de esgoto. Para acionar o escoamento é necessário programar a abertura da electro-válvula de esgoto no fim dos ciclos de enchimento das gaiolas. Como a quantidade de água presente nas tubagens nunca será muito significativa, o seu despejo pode ser feito diretamente no reservatório. Em qualquer outra altura esta válvula deve permanecer totalmente fechada. Na figura 4.16 é ainda possível observar as válvulas reguladoras de caudal presentes em cada uma das saídas.

Outro aspecto importante a considerar era a escolha do tubo que leva a água individualmente a cada gaiola. Este tubo deve ser bastante flexível pois deverá comportar sem problemas as vibrações que ocorrem aquando da aplicação do *Shaking*, bem como a elevação da prateleira quando é aplicado o *Tilted Cage*. Após alguns testes com vários tubos em *Vinyl* e *PVC* flexível, com vários diâmetros e espessuras, verificou-se que a solução ideal era o tubo de silicone de 8 mm interno com cerca de 1 mm de parede. Este mostrou uma maior capacidade de dobrar sem se deformar, contrariamente ao que aconteceu com outros tubos, que bloqueavam parcialmente a entrada da água.

A escolha deste tubo implicava também a pesquisa pela disponibilidade de um acessório, conhecido como “Tê redutor”, que permite fazer a ligação entre três tubos em que um deles (saída para a gaiola) possui um diâmetro inferior. Também com facilidade, devido à vasta gama de acessórios disponíveis para este tipo de tubagens, se encontrou o elemento exposto na figura 4.17.



Figura 4.17 – Tê redutor *Sharkbite* – 1/2 x 1/2 x 3/8 inch – Tubo *PEX* (retirado de [40]).

Apesar de a saída com o diâmetro mais reduzido ser, ainda assim, maior que o diâmetro interno do tubo flexível, facilmente se consegue ajustar, através da provocação de uma pequena deformação com calor.

Após este estudo, considerou-se que os principais fatores que influenciariam o funcionamento do sistema foram abordados. Contudo, pequenos ajustes poderiam ser considerados com a construção do protótipo. No que à estrutura deste sistema diz respeito, não foi aqui exposto qualquer estudo pois está contido no subcapítulo mais à frente que engloba todos os elementos estruturais.

4.4.2 Sistema de distribuição de ar – *Hot Air*

Considerando a experiência adquirida no desenvolvimento do distribuidor de água, para este sistema decidiu-se adotar um sistema de ventilação individual. Isto deveu-se ao facto das dificuldades encontradas para obter uma distribuição uniforme quando utilizada uma só bomba no sistema de água. Uma vez que o ar possui uma densidade muito inferior à água, este problema seria ainda maior, o que faria com que a repetibilidade fosse posta em causa.

Assim, pensou-se numa solução que tornasse possível incorporar na própria gaiola o ventilador. Conforme foi abordado numa fase preliminar deste projeto, depois de descartado o fator de temperatura, aquilo que se pretendia com o sistema era garantir um jacto de ar que perturbasse o bem-estar do animal. Para isto, depois de realizadas algumas experiências práticas, concluiu-se que um secador de cabelo vulgar com 2000 Watts de potência fazia o efeito desejado. Depois de efetuar algumas medições, foi estabelecido que um caudal mínimo de aproximadamente 40 litros/segundo e uma velocidade do jacto de 12 metros/segundo à saída do ventilador eram um requisito do sistema.

Com estas especificações, o desafio passava por encontrar um motor suficientemente compacto para ser fixo às gaiolas, sem prejuízo da sua mobilidade e que ainda assim cumprisse os requisitos. Após uma pesquisa por vários tipos de motores elétricos de dimensões reduzidas, foram consideradas algumas opções, representadas na figura 4.18.

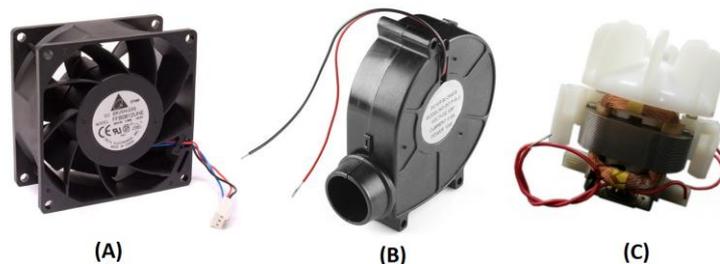


Figura 4.18 – Tipos de motores considerados para o sistema de ar. (A) Ventoinha de computador; (B) Mini ventilador; (C) Rotor de secador de cabelo. (retirado de [41][42][43])

Numa primeira apreciação todos estes motores parecem capazes de produzir o efeito desejado no interior da gaiola, no entanto, era necessário verificar se estes cumpriam os requisitos. Rapidamente se concluiu que a solução mais cara seria o motor do secador, além disso, era o que apresentava dimensões maiores, o que seria um entrave para a mobilidade das gaiolas. Sendo as outras opções mais baratas e melhores em termos de atravancamento, era

fundamental saber se estas eram capazes de debitar o caudal e a velocidade do jacto definidos nos requisitos. Elaborou-se uma pesquisa mais aprofundada a vários modelos destes tipos de motores elétricos e efetuou-se a análise das suas especificações técnicas. Com este estudo foi possível perceber que para dimensões equiparáveis, embora o mini ventilador (representado em B na figura 4.18) consiga velocidades superiores, o seu caudal é bastante limitado. Assim, para obter o caudal necessário, o ventilador teria que ter dimensões que dificultavam muito o seu acoplamento às gaiolas disponíveis. Contrariamente ao mini ventilador, a ventoinha de computador (representado em A na figura 4.18), devido à sua larga saída de ar, debita caudais elevados mas a velocidade do fluido é mais reduzida. No entanto, o custo reduzido e o formato deste motor tornavam-no ideal para ser fixo nas gaiolas, seria apenas necessário encontrar uma solução para a velocidade do jacto de ar.

Antes de procurar um destes ventiladores, era necessário saber qual seria o atravancamento máximo de maneira a que o mesmo fosse facilmente encastrado na gaiola. Para facilitar o processo de limpeza das gaiolas e não interferir de forma nenhuma com a mobilidade das mesmas, concluiu-se que a melhor opção seria colocar os ventiladores na parte superior da gaiola. Esta parte, conforme se poderá visualizar no subcapítulo referente aos elementos estruturais, raramente será removida da estrutura, conseqüentemente, quando se desejar proceder à limpeza apenas a parte inferior é retirada e não são necessários cuidados adicionais com os ventiladores. Além disso, com o ventilador direcionado para baixo, o ar descendente cria um efeito turbilhão que preenche toda a gaiola e não proporciona locais onde o rato se possa resguardar. Após a decisão do local onde o ventilador será fixado, uma vez que a grande parte dos ventiladores deste tipo têm a forma de um quadrado e que a altura da parte superior da gaiola é de 80 mm (figura 4.19), o modelo a utilizar teria que apresentar também um diâmetro de 80 mm.

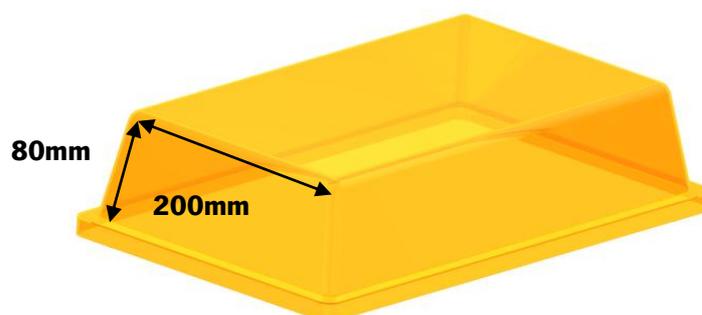


Figura 19 – Dimensões da parte superior da gaiola.

Efetuuou-se uma nova pesquisa na procura de um ventilador com as referidas dimensões. Durante a pesquisa foi possível perceber que para esta medida os que debitavam caudais superiores apresentavam uma espessura maior, o que não representava qualquer problema pois existia espaço suficiente em profundidade para os encastrar na tampa das gaiolas. Assim, para posterior estudo e simulação com auxílio de *software CFD*, foram considerados os dois modelos representados na figura 4.20.



Figura 4.20 – Ventiladores 80 x 38mm de alta velocidade.

Apesar de estes modelos serem bastante similares, existem algumas especificações que os distinguem. Conforme se pode comprovar pela interpretação da tabela 4.11, um dos modelos apresenta uma potência ligeiramente superior, o que resulta numa velocidade da ventoinha superior e conseqüentemente num caudal mais elevado. Esta diferença também é notória no preço de cada unidade e portanto será necessário verificar se o modelo menos potente consegue satisfazer os requisitos impostos.

Tabela 4.11 – Especificações dos ventiladores Delta de alta velocidade. (adaptado de [41])

Especificações Técnicas		
Marca	Delta	Delta
Modelo	FFB0812UHE	PFB0812DHE
Dimensões (C x L x A)	80mm x 80mm x 38mm	80mm x 80mm x 38mm
Tensão nominal	12 VDC	12 VDC
Corrente nominal	1.80 Amp	2.75 Amp
Potência de entrada nominal	18.0 Watt	33.0 Watt
Velocidade ventoinha	7500 R.P.M.	9000 R.P.M.
Caudal máximo	42l/s	63l/s
Preço/unidade	≈20€	≈30€

Numa primeira fase, com o objetivo de verificar qual seria a velocidade do fluido à saída do modelo mais barato, foi desenhada a saída do ventilador no modelo *CAD* da gaiola e através do *software CFD* da *Autodesk*, foi simulado o seu funcionamento na máxima potência.

O resultado obtido, que pode ser visualizado na figura 4.21, onde foi utilizado como condição de fronteira no bocal de entrada o caudal de 42 l/s, demonstra claramente qual a velocidade do fluido à saída do ventilador. É ainda possível verificar como se desenvolve o fluxo no interior da gaiola.

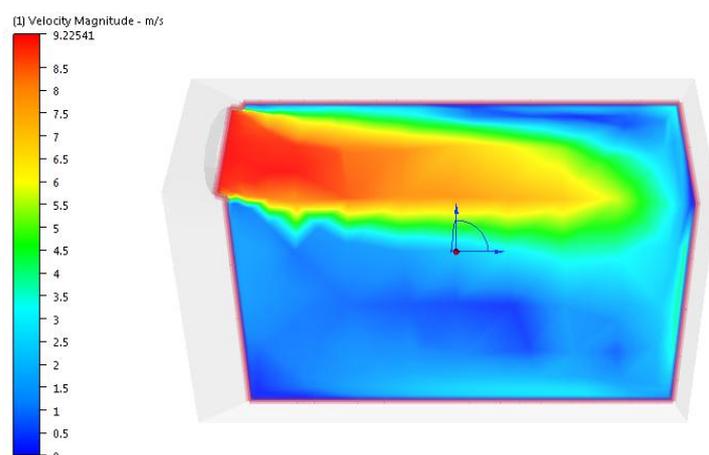


Figura 4.21 – Resultado da simulação CFD para análise da velocidade do fluido no ventilador menos potente.

Pela análise da figura 4.21 verifica-se que o ventilador é capaz de debitar o fluxo de ar a uma velocidade de aproximadamente 9,2 m/s. Este valor fica ligeiramente abaixo do requisito de velocidade média 12 m/s no interior da gaiola. Efetuou-se então uma nova simulação utilizando as condições de fronteira relativas ao ventilador mais potente.

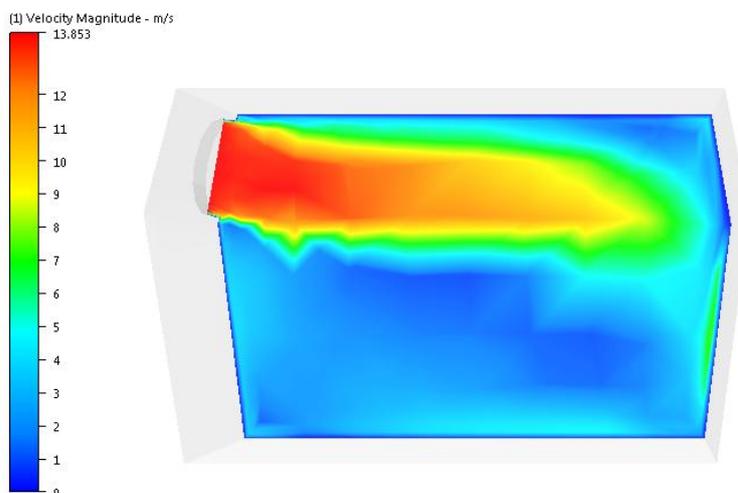


Figura 4.22 - Resultado da simulação CFD para análise da velocidade do fluido no ventilador mais potente.

A figura 4.22 demonstra que a velocidade atingida à saída deste ventilador ronda já os 13,4 m/s. É ainda notório o aumento significativo das velocidades do fluxo na zona inferior da gaiola. As velocidades conseguidas nesta zona têm muita relevância pois é onde os roedores irão permanecer, o seu aumento resultará portanto num incómodo maior para os mesmos.

Posto isto, seria importante verificar se é possível aumentar a velocidade da corrente de ar para que o ventilador mais barato pudesse ser utilizado. Considerando a equação (4.1) do caudal, que tem como definição o volume de determinado fluido que passa por uma determinada secção por unidade de tempo [20]. Se o objetivo é aumentar a velocidade do fluido mantendo o caudal constante, a solução passa por reduzir a área da secção por onde este passa.

$$Q = V \cdot A \quad (4.1)$$

Depois desta conclusão procedeu-se então à modelação de um bocal que reduzisse a área por onde o ar é forçado e que fosse possível aplicá-lo ao ventilador. No desenvolvimento deste componente teve-se em consideração a facilidade de construção e os processos de fabrico posteriormente utilizados. Por essa razão, o bocal foi modelado em chapa e portanto pode ser inteiramente construído através da sua quinagem. A configuração de uma versão preliminar pode ser visualizada na figura 4.23.

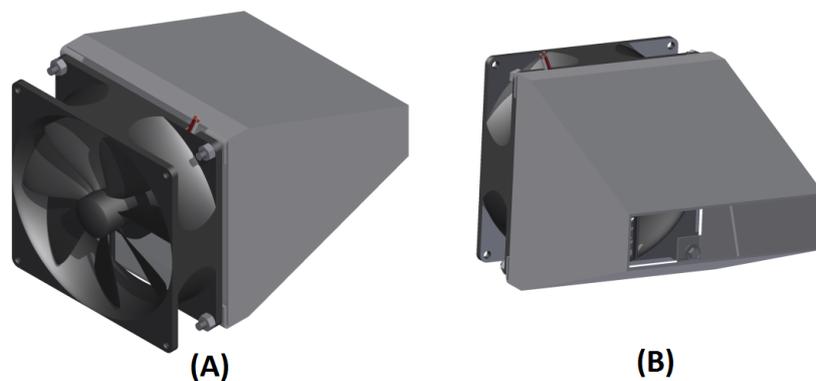


Figura 4.23 – Versão preliminar do bocal do ventilador. (A) Pormenor da ligação do bocal ao ventilador; **(B)** Saída do bocal reduzida.

O próximo passo era proceder a uma nova simulação com esta alteração e verificar que velocidade se obtinha à saída do bocal e como se desenvolvia o fluxo dentro da gaiola. Nos mesmos moldes das simulações anteriores, modelou-se o negativo da gaiola com o bocal inserido e posteriormente foram introduzidas as condições de fronteira e atribuída a malha.

Conforme esperado e como pode ser comprovado pela análise da figura 4.24, a velocidade à saída do bocal é claramente superior.

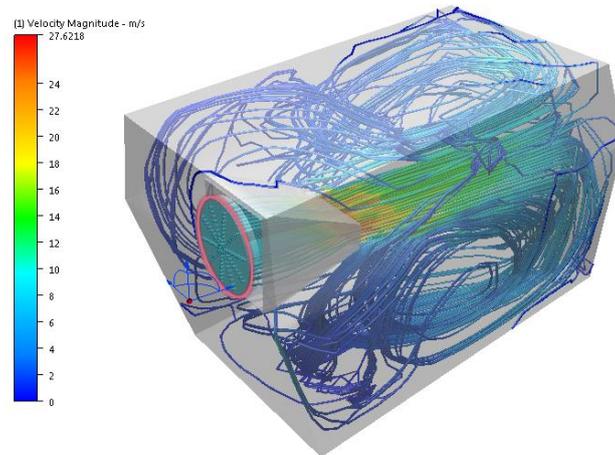


Figura 4.24 - Resultado da simulação CFD para avaliação da velocidade do fluido utilizando o bocal.

Com a utilização do bocal a velocidade de saída do fluido praticamente triplicou em relação à simulação inicial, chegando a atingir perto dos 28 m/s. Também relevante é o facto de na parte inferior da gaiola o fluxo atingir também velocidades superiores, o que irá incomodar mais os roedores. A figura 4.25 demonstra como se distribuem as velocidades no interior da gaiola. É possível verificar que na parte superior o ar tem maior velocidade e com esta configuração gera-se um vórtice descendente que se estende a grande parte da zona inferior.

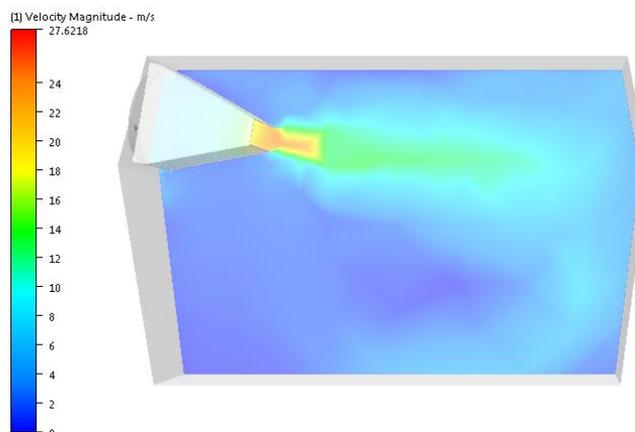


Figura 4.25 – Distribuição de velocidades num plano perpendicular à gaiola.

Com a análise das diferentes simulações, revelou-se interessante e de grande importância verificar como o posicionamento e inclinação do ventilador ou do bocal alteram a velocidade e a trajetória do ar na zona inferior das gaiolas, pois trata-se da zona mais crítica para o sucesso da aplicação do agente. Assim, o objetivo consistia em obter uma velocidade do fluxo o mais

elevada e uniforme possível em toda esta zona. Foram determinados diferentes ângulos de saída do ar, representados na figura 4.26.

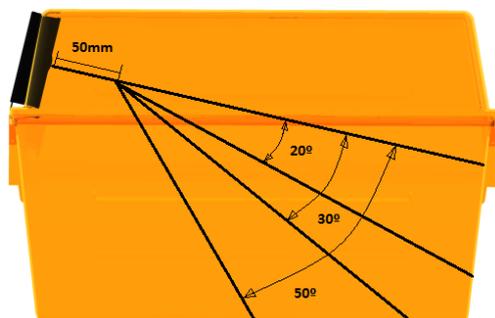


Figura 4.26 – Determinação dos ângulos para a saída do bocal.

De seguida, com base nestas dimensões foram modelados os vários bocais com o propósito de posteriormente recorrer novamente ao *software* de simulação de fluidos e analisar os resultados obtidos. Estes modelos foram projetados de forma a garantir sempre a mesma área de saída, alterando apenas a sua inclinação. Pela observação da figura 4.27, é possível verificar que nos bocais em que a saída se apresenta com um determinado ângulo, foram adicionadas na parede superior do bocal algumas dobras garantindo um perfil mais arredondando. Isto foi concebido com o objetivo de conduzir melhor o ar, permitindo que o ar seja direcionado perpendicularmente em relação à saída de forma a criar o efeito turbilhão desejado.

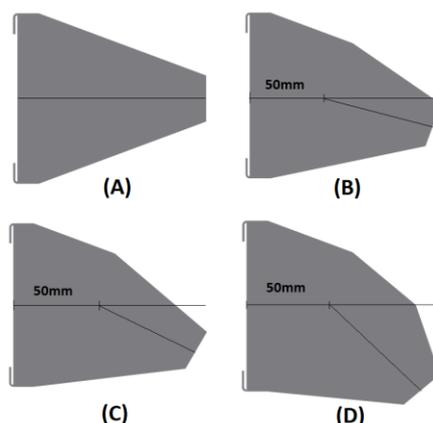


Figura 4.27 – Diferentes versões dos bocais modelados. (A) Saída do ar a 0 graus do eixo predefinido; **(B)** Saída do ar a 20 graus do eixo predefinido; **(C)** Saída do ar a 30 graus do eixo predefinido; **(D)** Saída do ar a 50 graus do eixo predefinido.

Depois deste passo, restava apenas efetuar as simulações e analisar os resultados com o intuito de perceber qual seria a melhor solução a adotar. Utilizando o mesmo processo para a simulação do escoamento na gaiola obteve-se, conforme esperado, diferentes resultados no que diz respeito à forma como o ar se distribui no seu interior.

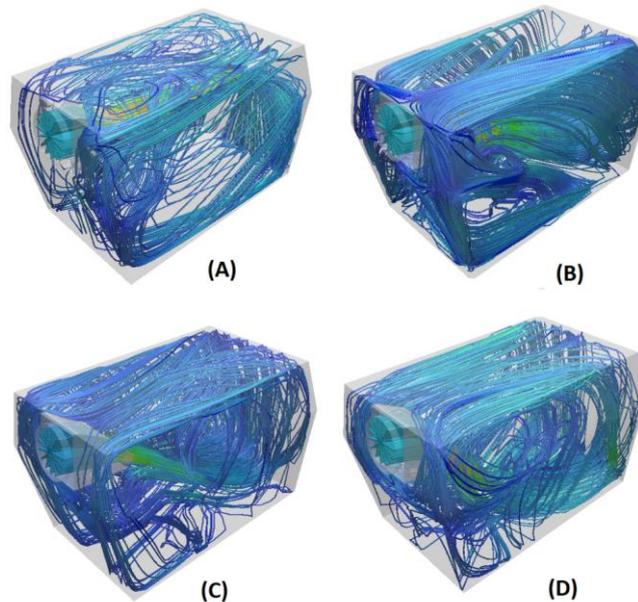


Figura 4.28 - Resultado da simulação CFD com a adaptação dos diferentes bocais. (A) Saída do ar a 0 graus do eixo predefinido; **(B)** Saída do ar a 20 graus do eixo predefinido; **(C)** Saída do ar a 30 graus do eixo predefinido; **(D)** Saída do ar a 50 graus do eixo predefinido.

Embora seja facilmente visível, através da figura 4.28, que o escoamento manifesta diferenças consideráveis no seu comportamento, torna-se complicado avaliar com clareza qual a solução que melhor cumpre os objetivos pretendidos. Em todas as soluções é notório que existe uma zona, situada imediatamente abaixo onde está instalado o ventilador, que apresenta uma velocidade composta do fluido consideravelmente inferior. Este facto é mais evidente nas soluções em que o jacto de ar incide diretamente na parede inferior da gaiola, criando um vórtice ascendente que depois tem dificuldades em alcançar a referida zona.

Com o intuito de ilustrar este fenómeno, a figura 4.29 demonstra com clareza aquilo que acontece quando o ângulo do bocal é muito acentuado.

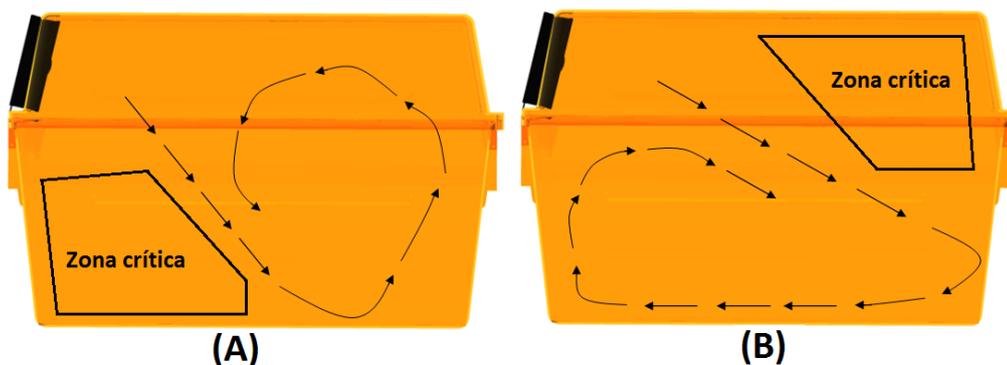


Figura 4.29 – Exemplos de tipos vórtices gerados consoante o bocal utilizado. (A) Vórtice ascendente gerado quando o bocal projeta o ar diretamente na parede inferior da gaiola. Uma zona crítica é gerada onde o ar tem dificuldades em circular com a velocidade desejada; **(B)** Vórtice descendente gerado quando o bocal projeta o ar diretamente na parede lateral da gaiola. A zona crítica não é relevante pois situa-se na parte superior da gaiola.

Seguindo este raciocínio, concluiu-se que de forma a obter o efeito desejado, era recomendável que o jacto de ar incidisse na parede lateral da gaiola. Uma vez que quando é utilizado o bocal com o ângulo de 20° o jacto de ar incide praticamente na interseção das duas paredes, decidiu-se que era necessário realizar novos ensaios com ângulos inferiores. Procedeu-se à modelação de duas novas versões do bocal com saída a 10° e 15° , posteriormente efetuaram-se as respetivas simulações.

Para avaliar criteriosamente qual das versões apresentava melhores resultados, foram retirados dados da magnitude de velocidade ao longo vinte pontos em linha reta num plano inferior da gaiola em todas as versões. De seguida, com a informação recolhida conforme representado na figura 4.30, traçou-se um gráfico onde é possível comparar as velocidades de cada versão na zona de interesse.

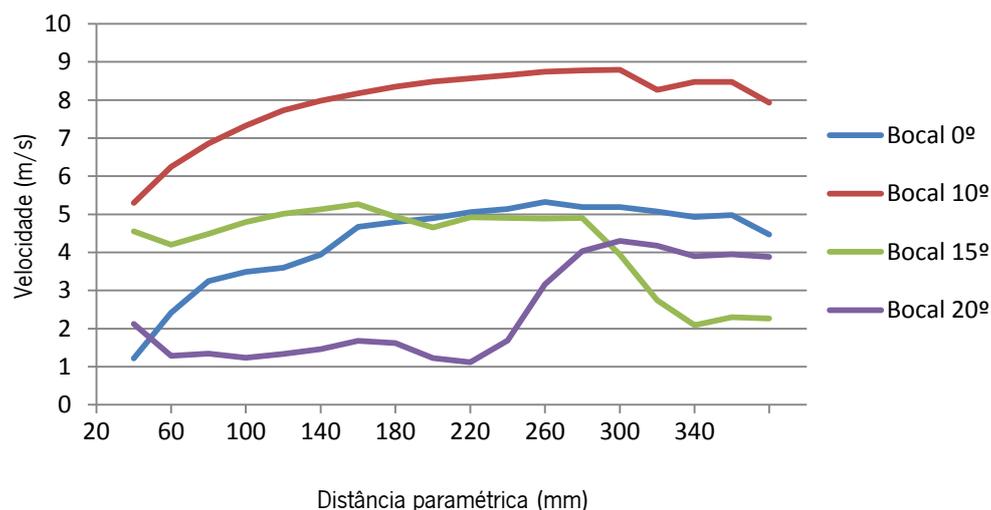


Figura 4.30 – Comparação de velocidades entre os vários bocais ao longo da base da gaiola.

Pela interpretação desse mesmo gráfico, é possível perceber que a solução que apresenta o bocal com uma inclinação de 10° apresenta velocidades superiores em toda a base. É ainda interessante observar que a solução a 20° demonstra o comportamento claro de um vórtice ascendente, pois apresenta velocidades baixas na zona crítica e um aumento repentino na zona onde o jacto de ar incide. Contrariamente, as outras soluções evidenciam características claras do vórtice descendente, onde as velocidades são mais equilibradas em toda a base da gaiola, com tendência a uma ligeira diminuição na proximidade das paredes.

O resultado expresso no gráfico da figura 4.30 é comprovado, de uma forma mais visual, pela observação do vórtice quase perfeito representado na figura 4.31, sendo evidente um fluxo de ar muito mais elevado em toda a zona inferior da gaiola. Assim, tornou-se claro que a solução a adotar seria o bocal de 10° acoplado ao ventilador mais barato e fixo no centro da tampa das gaiolas.

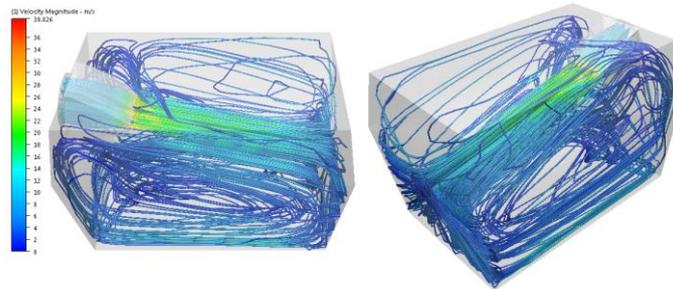


Figura 4.31 – Simulação CFD- Vórtice descendente gerado pelo bocal com inclinação de 10°.

4.4.3 Sistema de restrição de espaço – *Restraining*

Para o sistema de restrição de espaço, o protótipo desenvolvido numa fase preliminar deste projeto teve um desempenho satisfatório. Contudo, este apresenta alguns problemas não só na sua utilização mas também no espaço exigido para arrumar todos os exemplares quando não se encontram em utilização. Conforme é possível comprovar pela figura 4.32, o sistema não apresenta qualquer tipo de regulação, o que torna impossível alterar o espaço disponível. Isto poderá condicionar a aplicação do agente pois os ratos podem diferir no seu tamanho ou ser até necessário efetuar o ensaio com mais ou menos cobaias. Também perceptível pela observação da figura 4.32 é o facto de este dispositivo não ter qualquer parte móvel ou desmontável. Devido a este facto, quando o ensaio não está a ser efetuado, por causa do seu atravancamento e do número de gaiolas presentes na estrutura, uma grande quantidade de espaço é necessária para guardar todos os equipamentos.

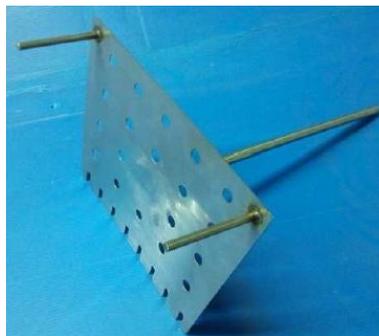


Figura 4.32 – Solução preliminar para o *Restraining* (retirado de [14]).

Por essa razão decidiu-se que era necessário efetuar alguns melhoramentos antes de se partir para a produção de todos os componentes. O primeiro aspeto que era necessário resolver era o facto de não ser possível fazer qualquer ajuste na pá de forma a alterar o espaço disponível. Assim, pensou-se num mecanismo, similar ao que se encontra presente numa canadiana convencional, de maneira a que fosse possível aplicá-lo neste dispositivo.



Figura 4.33 – Mecanismo de canadiana considerado para o *Restraining*.

Utilizando este tipo de mecanismo, representado na figura 4.33, tornava possível retrain ou avançar a pá do dispositivo alterando assim, conforme desejado, o espaço disponível para os roedores ocuparem. Contudo, pela observação da figura 4.34 é possível perceber que não há nada que segure a pá. Esta situação pode tornar-se especialmente perigosa caso as gaiolas estejam sujeitas a outros agentes como o *Shaking* ou o *Tilted Cage*, podendo representar um risco pois o mecanismo pode escorregar e apertar os roedores.

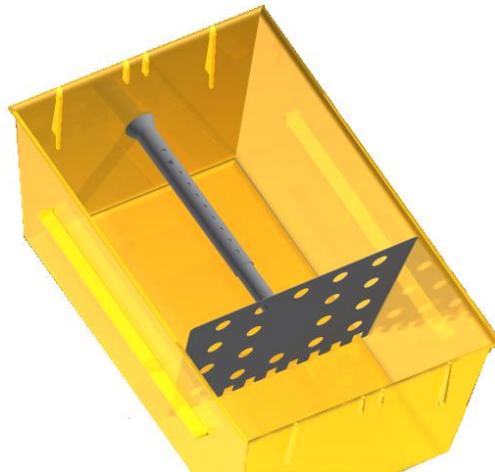


Figura 4.34 – Dispositivo do *Restraining* na posição retraída.

Por esta razão revelou-se necessário encontrar uma solução que prevenisse que tal ocorresse. Em simultâneo, era desejável que a solução facultasse a possibilidade de desmontar ou articular o veio, reduzindo o atravancamento do sistema quando este não se encontra em funcionamento. A solução encontrada passava por considerar outro tipo de ajuste e permitindo que o veio atravessasse a própria pá. Assim, esta ponta encostaria na parede de gaiola e o mecanismo

ficaria completamente ajustado, não permitindo que o mesmo se mova em qualquer circunstância (figura 4.35).

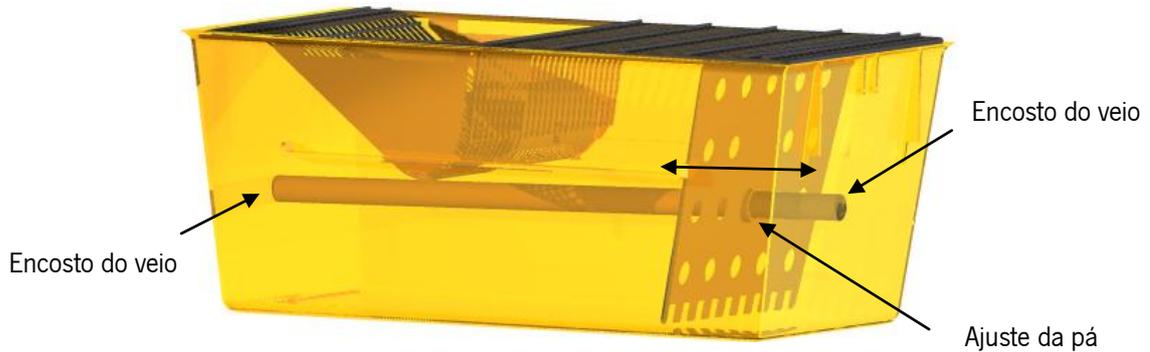


Figura 4.35 – Mecanismo do *Restraining* inserido na gaiola.

Este ajuste é conseguido através de uma rosca presente no veio e na própria pá, como representado na figura 4.36.

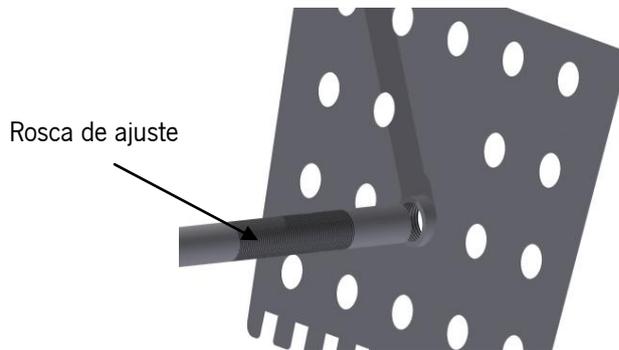


Figura 4.36 – Pormenor do ajuste em rosca entre o veio e a pá.

Para além de permitir que todo o mecanismo fique seguro e evitando qualquer risco para os roedores, esta solução permite ainda que o veio seja removido quando o sistema não está em utilização e assim ocupe consideravelmente menos espaço. A figura 4.37 demonstra como com esta solução facilmente se podem acomodar vários exemplares num espaço compacto.

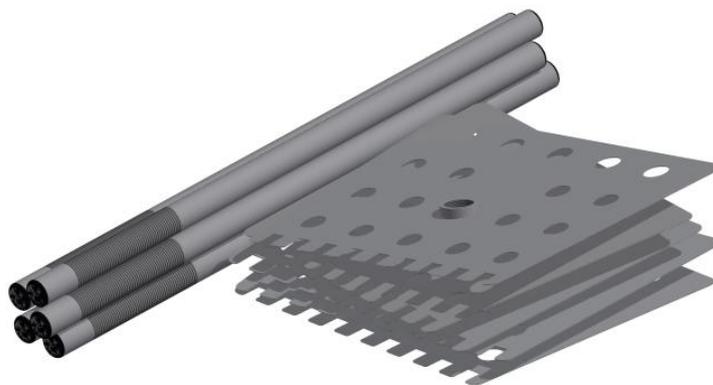


Figura 4.37 – Exemplo do espaço necessário para vários exemplares desmontados.

4.4.4 Sistema de privação – *Food Deprivation e Inaccessible Food*

Para o sistema de privação, que contempla os agentes indutores de stress *Food Deprivation* e *Inaccessible Food*, também foram encontrados alguns problemas no protótipo desenvolvido na fase antecedente. Designadamente, no que diz respeito à adaptação do mecanismo à gaiola e à facilidade com que se bloqueia o mecanismo nas posições desejadas, sem que haja possibilidades dos roedores interferirem na sua rotação.

Procedeu-se então à modelação de uma nova versão do protótipo já existente tendo em conta os problemas encontrados. Para obter uma melhor precisão no desenvolvimento mecanismo que será posteriormente adaptado à gaiola, foi desenhado um modelo *CAD* da grelha com as medidas reais, conforme representado na figura 4.38.

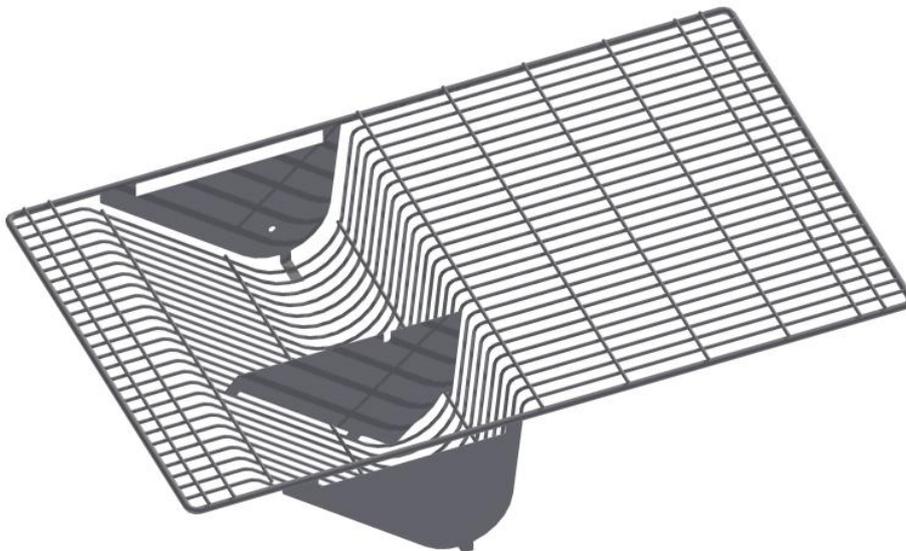


Figura 4.38 – Modelo *CAD* da grelha com as dimensões reais.

Este modelo tornou possível o desenvolvimento do protótipo diretamente a partir de onde seria depois adaptado, sendo possível verificar simultaneamente o resultado obtido, recorrendo a rápidas alterações quando necessário. Numa primeira análise, pela observação da grelha, com o intuito de manter a estrutura firme e resistente, concluiu-se que o espaço apropriado para encastrar o protótipo seria entre os dois arames transversais à grelha na zona de menor cota. Assim, era necessário cortar a grelha nesta zona, garantindo a abertura suficiente para adaptação do comedouro rotativo, como é mostrado na figura 4.39.

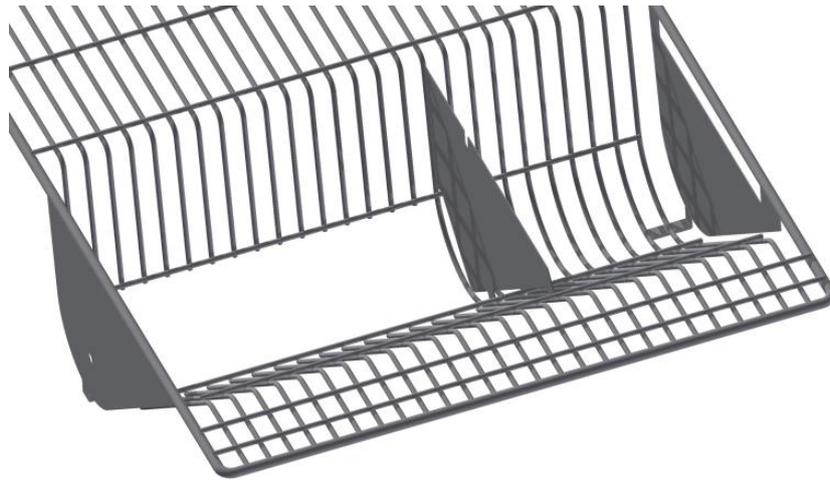


Figura 4.39 – Corte da grelha para adaptação do comedouro rotativo.

Depois deste passo, de acordo com as dimensões da abertura, procedeu-se ao dimensionamento do comedouro com a preocupação em não deixar fendas grandes o suficiente que os roedores possam transpor. Para possibilitar um encaixe fácil e rápido do comedouro (figura 4.40) foram também efetuados uns rasgos nas chapas laterais, facultando a rotação manual do comedouro.

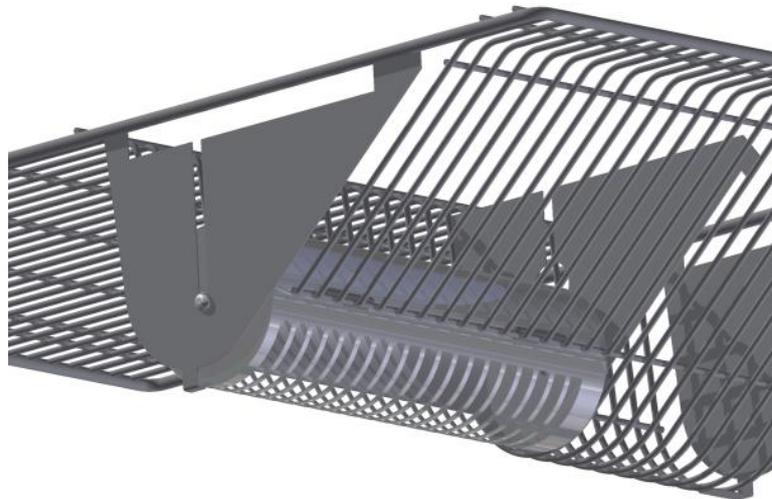


Figura 4.40 – Comedouro rotativo embutido na grelha.

O *design* do comedouro é em tudo similar ao protótipo anterior sendo que as principais diferenças consistem nas dobradiças que permitem a abertura da tampa e na inclusão de um grampo que assegura que o comedouro se mantém fechado e que os roedores não o conseguem abrir.

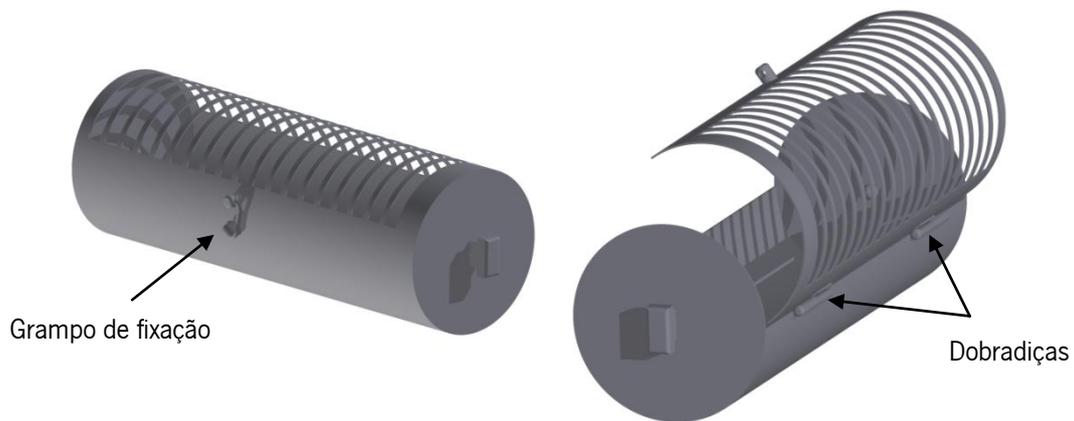


Figura 4.41 – Pormenor das dobradiças e do grampo do comedouro.

O comedouro foi desenvolvido para que o seu fabrico seja quase integralmente através do corte, dobragem e quinagem de chapa. Na figura 4.41 estão representadas os pormenores acima referidos sendo que estes podem ser alterados, na eventualidade de ser encontrada uma solução de fabrico mais simples, desde o produto final que cumpra as funções desejadas.

Outro aspeto que era necessário considerar, prendia-se com o facto de garantir que o comedouro apenas efetuava a rotação quando o tratador ou o investigador desejar, garantindo que este permanece fixo em qualquer outra circunstância. Foi então alterada a forma do veio interior do comedouro para um paralelepípedo, não permitindo que este rode quando se encontra na sua posição normal de encaixe (figura 4.42).

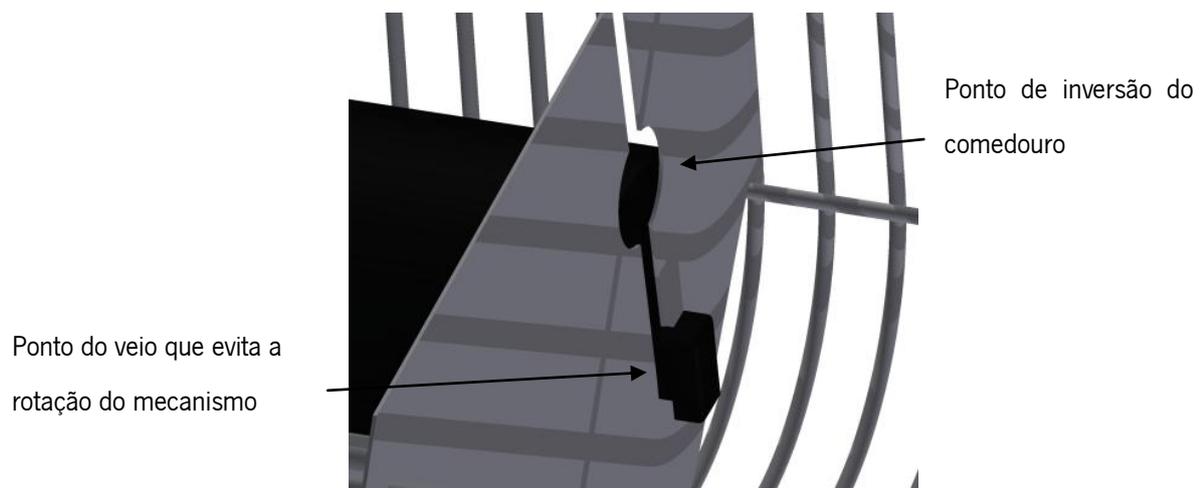


Figura 4.42 – Pormenor do encaixe do veio interior do comedouro na chapa.

Para realizar a rotação do mecanismo, é assim necessário levantar o mesmo até uma posição onde a chapa se encontra com um rasgo mais alargado e torna possível inverter a direção do comedouro. Deste modo, de uma forma rápida é possível negar o acesso da comida aos

roedores mas estes continuam a sentir o seu odor. Para aumentar o efeito deste agente, é ainda possível abrir uma janela no comedouro (figura 4.43), de forma que quando este se encontra invertido garanta também a visibilidade da comida, que resultará teoricamente num stress acrescido para os roedores.

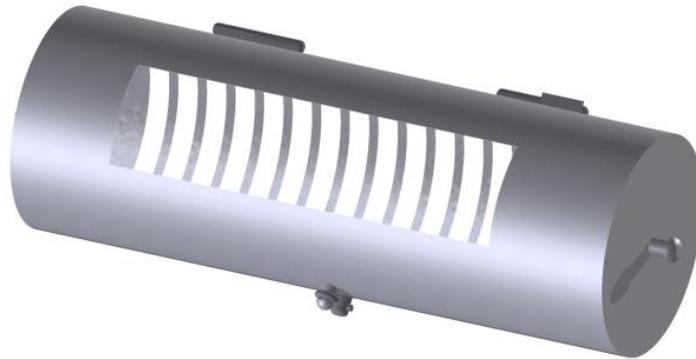


Figura 4.43 – Parte inferior do comedouro com janela em acrílico.

4.4.5 Outros Agentes Stressantes

Neste subcapítulo estão associados os agentes stressantes que se consideram menos complexos e que a adoção ou adaptação das alternativas aqui apresentadas ficam ao critério dos responsáveis do projeto. Assim, são abordadas e apresentadas soluções para os mecanismos dos agentes indutores de stress do *Noise*, *Light Cycle Change* e o *Strobe Light*.

Noise

Os requisitos deste agente são bastante latos, sendo que a única verdadeira necessidade é a emissão de ondas sonoras com uma intensidade considerável, especificada entre os 50 e os 100 dB. Outros fatores que acrescentariam valor a este agente stressante e ao próprio sistema de indução de stress, seria a possibilidade de escolher o tipo de som ou ruído a aplicar e a programação de parâmetros como a intensidade e a duração da aplicação deste agente. A decisão de incorporar este agente diretamente no sistema ou considerá-lo como um sistema separado também influenciará diretamente o valor do equipamento final.

Visto que um dos objetivos do projeto passa por acrescentar valor ao produto final, decidiu-se que seria uma vantagem agregar o máximo de agentes no próprio sistema, sem prejudicar a mobilidade do mesmo. Assim, uma solução que se concluiu ser mais vantajosa é a utilização de colunas de som com potência suficiente para emitir ondas sonoras com a intensidade

especificada nos requisitos e ligadas, se necessário por intermédio de um amplificador, a um dispositivo eletrônico com software apropriado que permita selecionar o tipo de som a emitir e alterar outro tipo de variáveis. Este dispositivo eletrônico será a interface de todo o sistema e deve contemplar, no futuro, a agregação e unificação dos vários agentes indutores de stress.

Antes de se proceder à modelação dos suportes para adaptar as colunas ao sistema, foi efetuada uma pesquisa com o objetivo de encontrar o modelo das colunas a utilizar. Dos vários encontrados o que mais se destacou pode ser visualizado na figura 4.44.



Figura 4.44 – Tipo de colunas usadas para a aplicação do *Noise* (retirado de [44]).

Este modelo foi escolhido por cumprir os requisitos relativamente às dimensões e à sua sensibilidade a um preço razoável, as suas características se encontram descritas na tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Especificações técnicas das colunas de som adotadas (retirado de [44]).

Especificações técnicas	
Referência	VDSMB15BK
Alimentação	100V/80hm: 6W
Frequência	150Hz ~ 15000Hz
Sensibilidade	91dB @ 1W / 1m
Impedância	8 ohms
Dimensões	190 x 102 x 175 mm
Peso	0,8kg
Preço (2 vias)	78,70€

Depois de escolhido o modelo a utilizar, considerando que este serve como orientação não significando que não possa ser alterado por um outro similar, passou-se à modelação do suporte onde as colunas seriam fixadas. Para projetar este suporte, teve-se em conta que a coluna de som devia ficar posicionada diretamente para as gaiolas, garantindo que todas ficam submetidas aproximadamente à mesma intensidade. Além disso, era importante garantir que o acesso às gaiolas não era dificultado e portanto seria aconselhável que fosse possível retraindo o suporte de alguma maneira. Era também desejável que o atravancamento de todo o sistema não fosse muito alterado, principalmente na parte superior.

Considerando as referidas condições a primeira versão do suporte foi modelada e o resultado pode ser visualizado na figura 4.45.

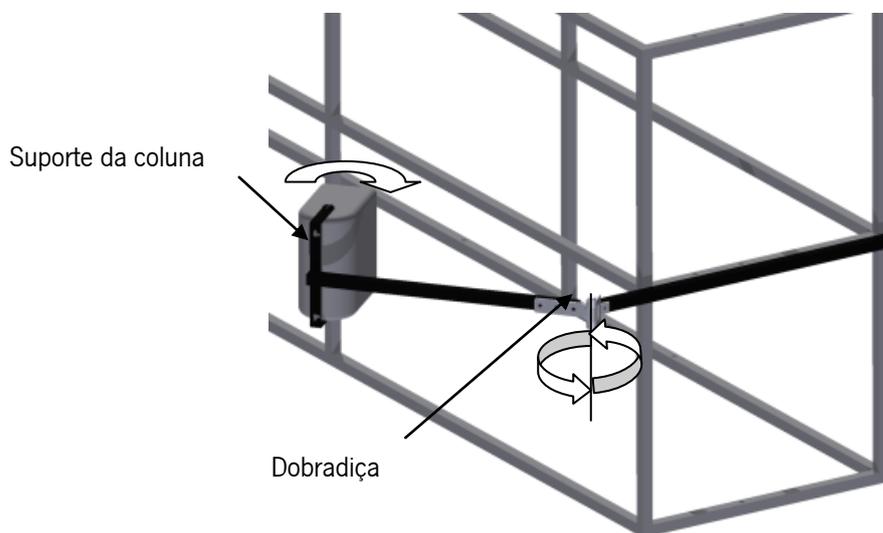


Figura 4.45 – Suporte para as colunas e eixos de rotação.

É perceptível pela imagem que o suporte consiste em duas hastes ligadas com uma dobradiça, que faculta um grau de liberdade. A dobradiça permite a rotação da haste que suporta a coluna em 270°. É também importante mencionar que o suporte de origem da própria coluna faculta também um grau de liberdade o que permite direcionar a coluna na direção desejada.

Esta configuração possibilita que, quando este agente não estiver a ser utilizado ou se deseje aceder mais facilmente às gaiolas, se coloque a coluna numa posição que não interfere com o manuseio das gaiolas, como se pode observar na figura 4.46.

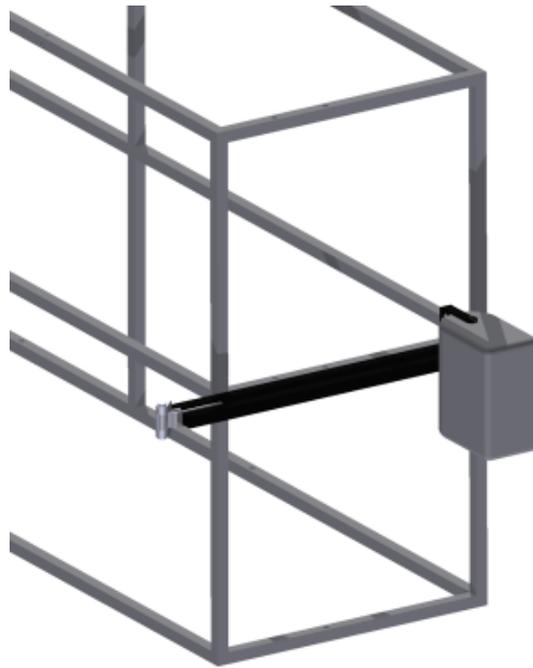


Figura 4.46 - Suporte para as colunas na posição retraída

Os suportes foram estrategicamente colocados entre duas prateleiras com o intuito da coluna abranger as três gaiolas mais próximas de cada prateleira de forma praticamente simétrica, sendo que a coluna fica aproximadamente à mesma distância de todas as gaiolas. Esta solução prevê assim a utilização de uma coluna para cada 6 gaiolas, o que totaliza 4 colunas e os respectivos suportes para todo o sistema.

Visto que as colunas escolhidas não são amplificadas, será necessário utilizar um amplificador para as conectar ao dispositivo eletrônico utilizado. Por essa razão, fez-se também uma pesquisa para encontrar um amplificador que permitisse tirar o máximo partido das mesmas. Dos vários encontrados o que mais se adequa às colunas seleccionadas e que apresenta um preço razoável foi o modelo representado na figura 4.47, cujas características são apresentadas na tabela 4.13.

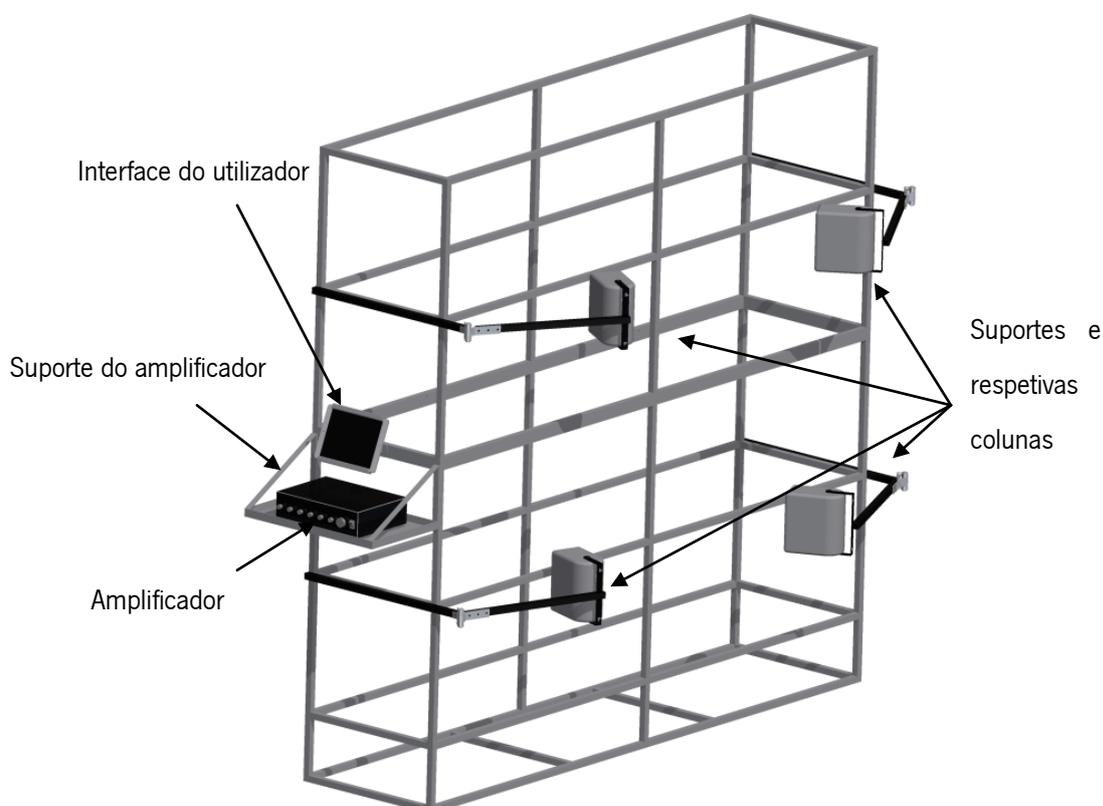


Figura 4.47 – Amplificador da FoneStar com 4 canais (retirado de [44]):

Tabela 4.13 - Especificações técnicas do amplificador (retirado de [44]).

Especificações técnicas	
Referência	FS-2035
Canais	4
Potência	40 W máximo, 30 W RMS
Alimentação	230 V AC, 60W
Dimensões	320 x 84 x 230 mm
Peso	4,4kg
Preço	146,90€

Depois de selecionados todos os componentes para o correto funcionamento deste sistema, procedeu-se à modelação e colocação dos suportes necessários para incorporar o *tablet* e o amplificador à estrutura. A ergonomia foi um fator considerado na escolha da posição, com o intuito de permitir ao utilizador interagir com facilidade na unidade que servirá de controlo a vários agentes. A disposição dos vários componentes deste sistema pode ser visualizada na figura 4.48.

**Figura 4.48 – Disposição dos diferentes componentes para aplicação do *Noise*.**

Strobe Light

A solução escolhida para o agente indutor de stress que contempla a utilização de luzes estroboscópicas passa também por adaptar uns suportes à estrutura. Depois de desenvolvido o mecanismo para o sistema do *Noise*, verificou-se que seria mais simples e eficaz adaptar os projetores aos suportes já desenvolvidos. Assim, era necessário encontrar um modelo com dimensões adequadas para serem facilmente aplicadas aos suportes. Através de ensaios experimentais e depois de visualizar vários modelos em funcionamento, concluiu-se que as luzes de 20 W a funcionar no escuro provocavam o efeito desejado. Após efetuar uma pesquisa encontrou-se um modelo que satisfazia os requisitos, não só nas dimensões mas também na potência da lâmpada.



Figura 4.49 – Luz estroboscópica 20 W da Velleman (retirado de [45]).

O modelo sugerido pode ser visualizado na figura 4.49 e as suas características estão apresentadas na tabela 4.14, contudo, outro dispositivo similar poderá ser utilizado.

Tabela 4.14 - Especificações técnicas do projetor estroboscópico (retirado de [45]).

Especificações técnicas	
Referência	VDL20ST
Potência	20W
Frequência	Variável até 12 flashes/segundo
Vida da lâmpada	10 Milhões de ciclos
Alimentação	AC 120V/60Hz
Dimensões	55 x 100 x 150 mm
Peso	0.3kg
Preço (2 vias)	10.90€

Depois de selecionado o modelo a utilizar, procedeu-se à sua modelação para posteriormente o adaptar ao suporte. Assim como as colunas, também os projetores possuem um suporte próprio que permite apontar as luzes na direção desejada. A figura 4.50 representa as luzes acopladas aos suportes já existentes.

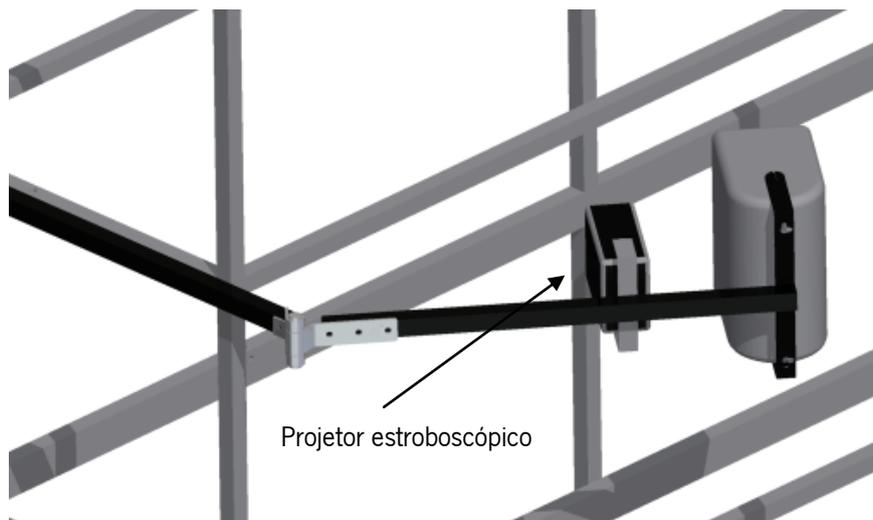


Figura 4.50 – Projektor estroboscópico montado no suporte da estrutura.

De salientar que, tanto no *Strobe Light* como no *Noise*, o facto das barras que compõem o suporte serem ocas, pode servir para acondicionar toda a cablagem necessária ao funcionamento destes sistemas.

Light Cycle Change

Relativamente a este agente stressante também não há requisitos específicos, sendo que a única necessidade é de bloquear a claridade aos roedores durante o dia de forma a alterar o seu ciclo de luz diário. Das varias soluções equacionadas, aquela que segundo os critérios definidos obteu melhor pontuação, foi a que consiste em isolar com um material têxtil individualmente cada gaiola. Esta solução apresenta várias vantagens relativamente às outras soluções pois permite, de uma forma simples, aplicar o agente apenas nas gaiolas desejadas e sem condicionar a utilização do espaço onde o sistema está localizado.

O conceito adotado consiste em utilizar um tecido corta luz para confeccionar duas peças, adequadas às dimensões da gaiola (figura 4.51), para que cada uma cubra metade da gaiola. Para facilitar a aplicação e fixação do conjunto, devem ser acrescentadas bandas elásticas na extremidade do tecido de forma a ajusta-lo à gaiola. Deve ainda ser considerada a perfuração das peças na zona que revestirá a parte superior da tampa de forma a permitir alguma circulação de ar.

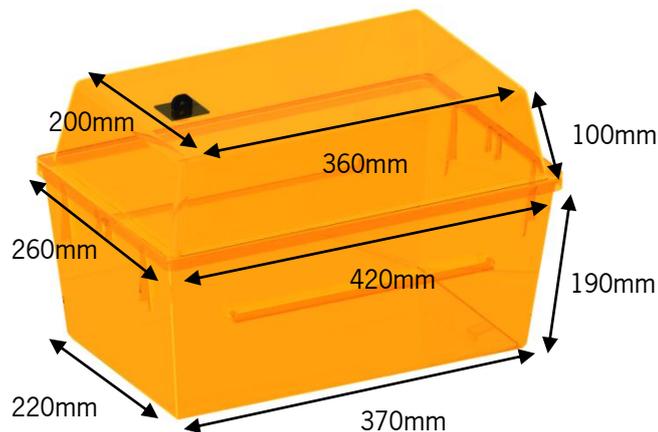


Figura 4.51 – Dimensões do modelo de gaiola adotado no ICVS.

4.4.6 Elementos estruturais do protótipo

Neste subcapítulo pretende-se abordar os elementos estruturais que compõem os mecanismos dos vários agentes indutores de stress. Será efetuada a análise estática a diversos componentes e será concluído ou alterado o seu dimensionamento com base nos resultados obtidos. Deseja-se assim reduzir ao máximo os custos associados à produção dos vários elementos, garantindo a segurança e o bom funcionamento de todo o equipamento.

Primeiramente, foram dimensionados os suportes da tubagem rígida do sistema de água, assegurando que o sistema se mantém estável em funcionamento e que a estrutura pode ser movida facilmente. Visto que a força exercida será perpendicular ao suporte, é importante usar triangulações para suportar de forma estável toda a estrutura. Assim, como existem tubagens em todas as prateleiras, pensou-se em utilizar três suportes equidistantes em cada uma. A figura 4.52 demonstra a primeira versão concebida para este propósito.



Figura 4.52 – Elemento de suporte às tubagens do sistema de distribuição de água.

De seguida a necessidade passava por se efetuar a análise estática, simulando a força a que cada um destes elementos estaria sujeita. Para isso fez-se o cálculo mais aproximado possível da massa dos vários elementos que serão suportados, incluindo a massa da água. Este cálculo foi efetuado experimentalmente, em alguns elementos, e noutros foi utilizada a ferramenta *iproperties* do *Inventor*. O resultado da massa obtida para cada componente foi:

- Elementos de ligação \approx 2500 g
- Tubagens \approx 500 g
- Água \approx 700 g
- Reguladores de caudal \approx 1500 g

O valor que os suportes terão que suportar estará entre 5 e 6 Kg. Visto que existem três suportes em cada prateleira e a massa encontra-se bem distribuída, será uma aproximação razoável dividi-la pelos três suportes. Assim, a massa que cada elemento terá que suportar rondará os 2 Kg. Com este valor é possível determinar a força exercida nos suportes.

Sendo que a aceleração neste caso é a da gravidade e a massa considerada são 2 Kg. Então, a força exercida nos suportes será aproximadamente 20 N. Introduzindo esta força perpendicularmente na extremidade do suporte (situação mais extrema) no *software* de simulação do *Inventor* e considerando o material como sendo aço, obteve-se o resultado ilustrado na figura 4.53.

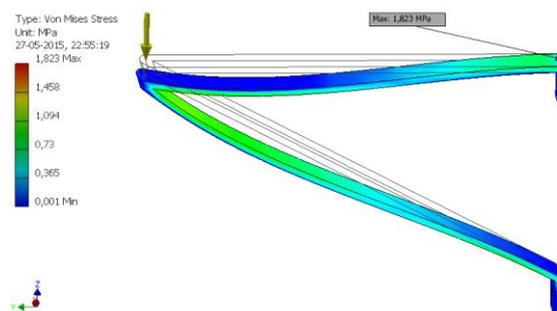


Figura 4.53 – Resultado da simulação de estática aos suportes de apoio à tubagem de água.

Conforme se pode verificar, a tensão máxima segundo o critério de *Von Mises* ocorre junto do ponto fixo superior e é cerca de 1,82 MPa o que está bastante longe da tensão de cedência do aço, que foi o material escolhido. É possível comprovar que o suporte está bastante sobredimensionado, com um fator de segurança muito elevado para os esforços considerados. Contudo, visto que se trata de um equipamento bastante flexível, ao qual futuramente poderão ser adicionados outros sistemas e pelo facto do fabrico deste suporte ser relativamente simples, considera-se que o dimensionamento atual é adequado.

Também associado ao sistema de água, outro elemento que se considerou importante fazer uma análise estática para verificação da sua resistência mecânica, foi o suporte que serve de apoio ao reservatório de água. Nos mesmos moldes da simulação anterior, verificou-se qual seria a massa que teria que ser suportada. Através da densidade da água e do volume do depósito, calculou-se que a massa total seria aproximadamente 27 Kg. Depois de introduzidos todos os parâmetros necessários para efetuar a simulação computacional, o resultado obtido está ilustrado na figura 4.54.

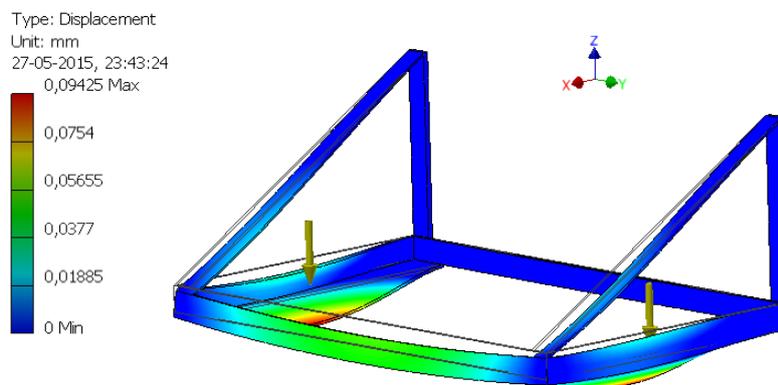


Figura 4.54 – Gráfico de deslocamento obtido pela simulação computacional.

É possível confirmar que o deslocamento máximo ocorre diretamente na zona onde o depósito assenta, contudo, o valor máximo não chega a 0,1 mm. Depois de verificado o gráfico relativo à tensão máxima, este revelou que o material resistia plenamente ao esforço, sendo que o coeficiente de segurança na zona mais crítica situava-se próximo de 5.

Relativo a outros indutores de stress, nomeadamente o *Noise* e o *Strobe Light*, revela-se também necessário analisar estaticamente os suportes das colunas e dos projetores, verificando a robustez deste componente. Calculou-se a massa que terá que ser suportada, sendo que no mesmo braço será fixado uma coluna e um projetor. Deste modo, como a coluna selecionada

pesa aproximadamente 800 g e o projetor cerca de 300 g perfazendo um total de 1100 g. Contudo, como se trata de um mecanismo com um eixo de rotação destinado a ser movido manualmente, considerou-se aceitável adotar o valor de 2 Kg, que corresponde aproximadamente a uma força de 20 N aplicada perpendicularmente no extremo da barra (figura 4.55).



Figura 4.55 – Aplicação da força de 20N na extremidade da barra móvel.

Posto isto, depois de aplicada a malha ao modelo, procedeu-se à simulação e foram analisados os resultados obtidos. Pela análise da figura 4.56, é possível verificar que a zona crítica do suporte se encontra na própria dobradiça, sendo que o coeficiente de segurança mínimo é aproximadamente de 4,4. Considerado a segurança necessária para o tipo de instalação a que o suporte é destinado o coeficiente obtido satisfaz os requisitos e revela que este resiste com facilidade aos esforços que será sujeito.

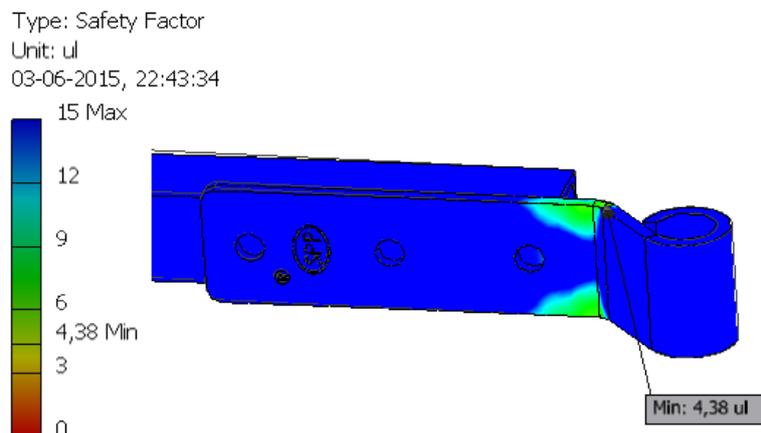


Figura 4.56 – Distribuição do coeficiente de segurança obtido pela simulação estática.

É importante referir que na eventualidade de ser utilizado outro modelo de dobradiça, deve ser efetuada uma nova simulação com o intuito de apurar a concentração de tensões na mesma.

Por último, resta analisar os elementos estruturais que se relacionam com o acomodamento e manutenção das gaiolas. Devido à necessidade de fazer a limpeza das gaiolas frequentemente, era necessário arranjar uma solução que permitisse facilmente troca-las sem a imposição de

remover todos os componentes dos diversos agentes indutores de stress. Assim, visto que grande parte destes elementos se situam na tampa da caixa, considerou-se que seria ideal encontrar uma forma de apenas remover a parte inferior da gaiola. Deste modo, foi necessário desenvolver um suporte para que quando a parte inferior for retirada, a tampa fique devidamente fixa à estrutura. Deve ainda ser considerada a simplicidade com que a gaiola é retirada pois será uma operação realizada manualmente pelos tratadores. Com estes pontos em mente, foi desenvolvida uma haste com uma reentrância destinada a encaixar uma ponta da tampa, sendo que a outra extremidade é sustentada por uma mola de tração, conforme demonstra a figura 4.57.



Figura 4.57 – Elementos estruturais de suporte à tampa da gaiola.

Com esta configuração, o tratador utiliza as duas mãos para inicialmente prender a tampa da gaiola na haste e posteriormente, da mesma forma, levantar a parte inferior permitindo que esta seja retirada com facilidade. Depois de retirada a gaiola, a tampa descairá ligeiramente até a extensão de trabalho da mola, calculada previamente.

Primeiramente era necessário dimensionar os componentes de suporte à tampa. Começou-se por desenvolver a haste colocada na retaguarda das gaiolas e que será fixa na estrutura base das mesmas. A haste apresenta uma inclinação que permite um afastamento ligeiro da tampa em relação à gaiola e apresenta também uma reentrância que permite encaixar a tampa com facilidade. No *design* deste componente foi considerado o processo de fabrico sendo que a peça pode ser construída apenas através de corte e quinagem. Após algumas versões preliminares, chegou-se à versão final, representada na figura 4.58.



Figura 4.58 – Modelo CAD da haste de suporte à tampa da gaiola.

Posteriormente, era necessário dimensionar os suportes superiores. Começou-se por desenvolver um simples pórtico em chapa de 2 mm que abrange três gaiolas e que é fixo através de soldadura ou de parafusos.

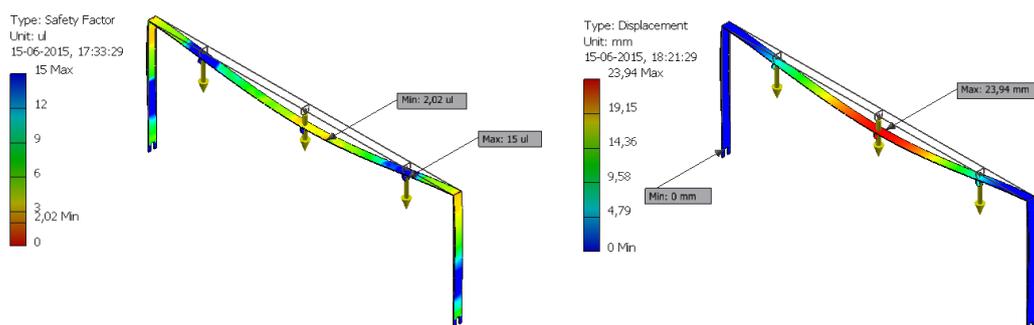


Figura 4.59 - Fator de segurança e deslocamento resultantes da simulação estática.

Através da simulação estática, introduzindo uma força vertical de 8N nos respetivos olhais relativas ao peso da tampa, obteve-se os gráficos representados na figura 4.59. Pela sua análise, é possível verificar que o dimensionamento não está correto e os resultados estão longe daquilo que é desejado. O deslocamento máximo, no centro do pórtico, atinge o valor máximo de aproximadamente 24mm, sendo que o coeficiente de segurança do material nessa zona é apenas de 2. Assim, tornou-se claro que o *design* deste componente teria forçosamente que ser alterado. Algumas mudanças evidentes prendiam-se com a espessura da chapa e com a distância entre apoios, devendo o pórtico ser reduzido a duas ou uma gaiola. Deste modo, aumentou-se a espessura da chapa para 5 mm e reduziu-se a distância entre os apoios de 900 para 600 mm, abrangendo assim duas gaiolas. De seguida procedeu-se a uma nova simulação e os resultados obtidos podem ser observados na figura 4.60. Pode-se então comprovar que para

a nova versão do pórtico o valor do deslocamento máximo, que também ocorre no centro, é de uma ordem de magnitude inferior, atingindo apenas cerca de 0,4 mm. A tensão máxima obtida de acordo com o critério de *Von Mises* também é muito inferior, o que resulta num coeficiente de segurança muito mais elevado em toda a estrutura.

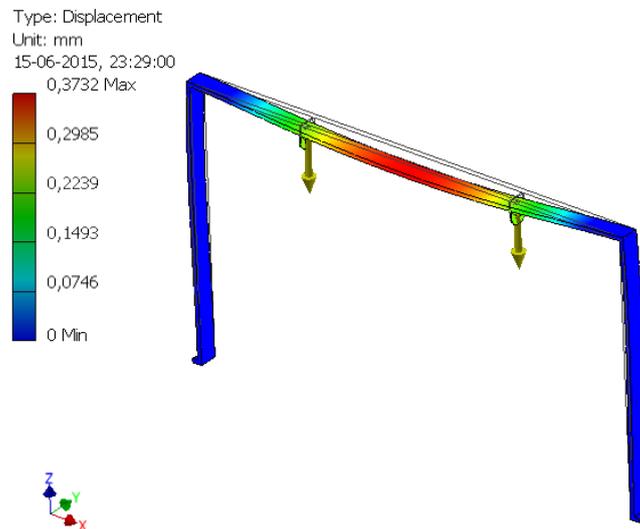


Figura 4.60 – Resultado da simulação estática na segunda versão do pórtico.

Outra preocupação que surgiu, relativa a este componente, prende-se com a sua estabilidade quando sujeita a forças horizontais, nomeadamente aquando da aplicação do *Shaking* ou a cargas laterais pontuais. Para garantir uma estabilidade maior de toda a estrutura, foram aplicadas umas barras entre o braço horizontal e vertical, de forma a criar triangulações, que são muito eficazes a distribuir as forças, permitindo que toda a estrutura fique mais firme (figura 4.61).



Figura 4.61 – Reforço em triângulo do pórtico desenvolvido.

Depois de executado o *design* inicial, era essencial efetuar os cálculos com o intuito de desvendar os parâmetros necessários para a seleção da mola. O primeiro passo era determinar

a carga que a mola teria que suportar. Para isso foi desenhado o diagrama de corpo livre do sistema, representado na figura 4.62, e aplicadas as respectivas forças.

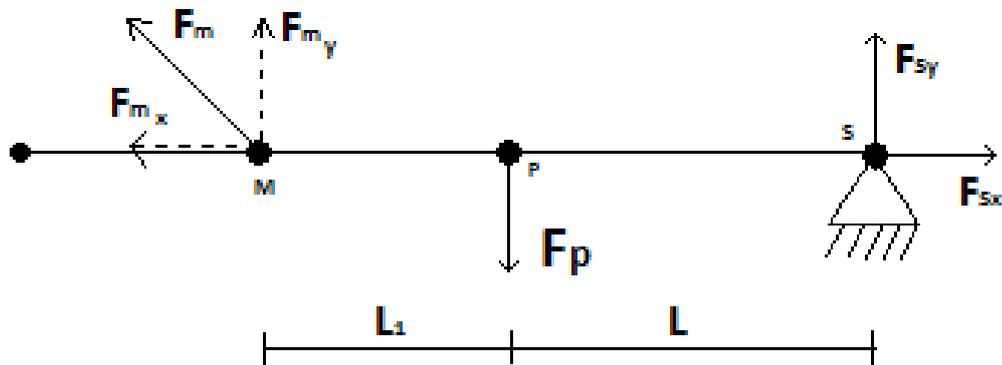


Figura 4.62 – Diagrama de corpo livre do suporte para a tampa.

Para simplificar o raciocínio considerou-se a extremidade da tampa que assenta no suporte como sendo um ponto fixo. Deste modo, a força aplicada no centro de massa da tampa relativa ao peso gera um momento no ponto S. O componente responsável por anular este momento será a mola. Assim, para determinar a carga de trabalho da mola de tração considerou-se a equação (4.2).

$$M_s = F_p \times L - [(L_1 + L) \times F_{m_y}] \quad (4.2)$$

Como o momento no ponto S será 0, vem:

$$F_p \times L = (L_1 + L) \times F_{m_y}$$

Depois de efetuadas medições na tampa da gaiola verificou-se:

$$L_1 = 120\text{mm}$$

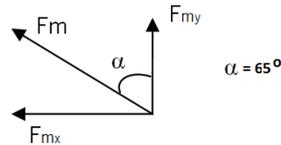
$$L = 200\text{mm}$$

$$F_p = g \times m \Leftrightarrow F_p = 7,84\text{N}$$

Substituindo na equação anterior obtém-se:

$$F_{m_y} = \frac{F_p \times L}{L_1 + L} \Leftrightarrow F_{m_y} = 4,9\text{N}$$

Depois de conhecida a componente em y necessária, era preciso determinar a força resultante na mola.



$$\cos \alpha = \frac{F_{my}}{F_m} \Leftrightarrow F_m = \frac{F_{my}}{\cos \alpha} \Leftrightarrow F_m = 11,6N$$

Ficou-se então a conhecer a carga de trabalho da mola. Por fim, restava saber qual seria o comprimento necessário da mola nas diferentes posições. Conforme é visível na figura 4.63, o comprimento mínimo da mola quando não está a ser aplicada qualquer carga é de 40 mm. Também é possível verificar que quando a tampa se encontra apoiada no suporte, a mola terá que ter um comprimento de 55 mm, significando que o comprimento de trabalho é de aproximadamente 15 mm.

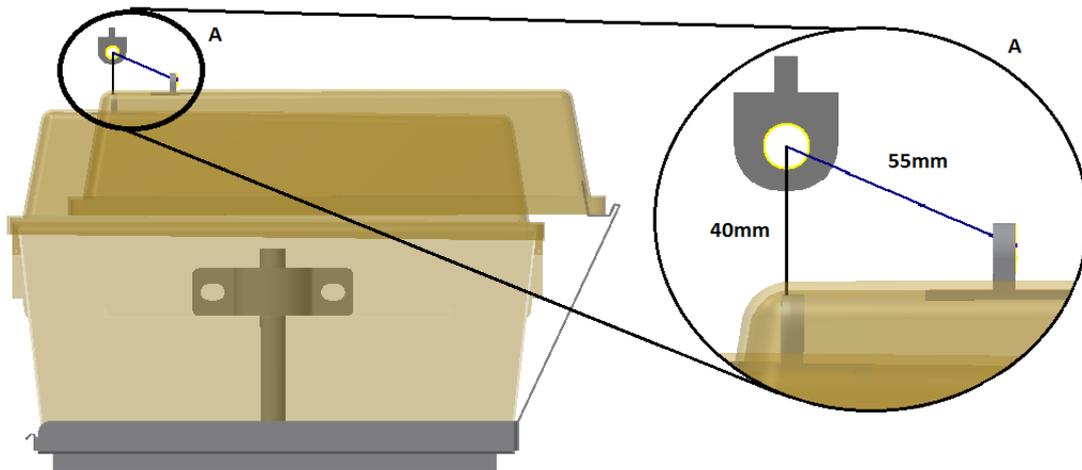


Figura 4.63 – Pormenor do comprimento mínimo necessário para a mola de tração.

Com os dados obtidos através desta análise foi possível utilizar a ferramenta de cálculo de molas do *Inventor*, introduzindo como parâmetros de entrada os seguintes valores:

- Comprimento com carga mínima: 40mm
- Comprimento de trabalho: 15mm
- Carga mínima: 0N
- Carga de trabalho: 11,6N
- Carga máxima: 20N

Depois de introduzidos os valores procedeu-se ao cálculo e o *software* verificou a conformidade do *design*. Assim, obteu-se a mola representada na figura 4.64, que possui as seguintes características:

- Diâmetro exterior (D): 8,75mm
- Diâmetro do arame (d): 0,8mm
- Comprimento Livre (L): 40mm
- Número de espiras ativas (n): 6
- Constante de mola (k): 1,33 N/mm
- Factor de Wahl (K_w): 1,15
- Material: Arame em aço temperado
- Olhais: Gancho estendido



Figura 4.64 – Modelo da mola obtido através do cálculo no *Inventor*.

Posto isto, considerou-se concluído o estudo dos elementos estruturais mais críticos sendo que existem pequenos ajustes ou pormenores que não necessitam de uma análise detalhada. Alguns elementos requerem alguma experiência ou uma sensibilidade mais próxima da realidade, sendo que deverá ser cedida alguma liberdade aos intervenientes no processo de construção dos vários componentes, desde que não interfira com os princípios de funcionamento dos diferentes sistemas.

4.5 Apresentação do produto final - Solução Final

Após a conclusão do projeto de detalhe dos vários sistemas, chega a altura de apresentar todo o trabalho realizado como um produto único. Assim, de acordo com as conclusões obtidas e tentando ser fiel ao que será o protótipo real, modelou-se e integrou-se os vários sistemas em *CAD*, obtendo-se o resultado apresentado na figura 4.65.



Figura 4.65 – Modelo CAD com os vários elementos do protótipo final.

Este modelo virtual é extremamente importante para se poder ter uma percepção de como os sistemas se interligam e se existem incompatibilidades em termos de atravancamentos ou interferências que não foram detetadas quando os mecanismos foram desenvolvidos individualmente. Depois de corrigidos alguns pormenores, principalmente relativos à montagem de alguns elementos, validou-se o produto final obtido. Embora o funcionamento do modelo virtual tenha sido verificado, é importante a consciência que poderá haver necessidade de efetuar pequenas alterações no momento de construir o modelo real.

Depois de obtida a configuração final do dispositivo procedeu-se à enumeração dos atributos e funcionalidades conseguidos pelo produto desenvolvido.

Atributos:

- Soluções integradas num produto único;
- Estrutura estável e transportável;
- Facilidade na troca e limpeza das gaiolas;
- Manutenção do equipamento reduzida;
- Soluções de simples utilização;

- Ensaio com boa repetibilidade;
- Equipamento resistente e durável;
- Equipamento seguro para o utilizador e os roedores.

Funcionalidades:

- Capacidade de distribuir uma quantidade de água uniforme nas gaiolas previamente selecionadas;
- Aplicação de um jato de ar corretamente direcionado em todas as gaiolas selecionadas;
- Elevação das prateleiras em simultâneo até 30 graus;
- Oscilação das prateleiras em simultâneo com frequência controlável;
- Restrição com auxílio de um mecanismo de um espaço variável dentro das gaiolas;
- Simples bloqueio de acesso ao alimento através de comedouro rotativo;
- Emissão de som direcionado para os roedores com intensidade controlável;
- Emissão de um feixe de luz intenso direcionado para os roedores;
- Bloqueio de luz nas gaiolas desejadas com auxílio de coberturas facilmente aplicáveis;
- Fixação das tampas das gaiolas para permitir a sua troca rápida;
- Controlo de vários parâmetros de funcionamento através da interface gráfica.

Como se trata de um protótipo único é provável que alguns dos sistemas ou funcionalidades necessitem de melhoramentos futuros. Nesta fase do projeto é difícil prever algumas falhas ou o mau funcionamento de alguns dos elementos do sistema. A sua futura utilização contínua dará uma maior sensibilidade para definir quais são os pontos que requerem melhoramentos.

4.5.1 Lista de peças do produto final

Com o intuito de condensar alguma da informação mais relevante para a construção dos vários mecanismos do protótipo, apresenta-se na tabela 4.15, a lista das várias peças ou componentes dos vários sistemas.

É importante referir que nesta tabela apenas estão mencionados as peças ou componentes que ainda não foram adquiridos ou construídos. A construção de toda a estrutura envolve diversos outros componentes mas estes já se encontram devidamente instalados no protótipo já existente. Os desenhos técnicos relativos aos componentes designados para fabrico podem ser consultados no Anexo desta dissertação.

Tabela 4.15 – Lista de peças ou componentes do produto final

Sistema	Componente	Quantidade	Comprado(C) ou Fabricado(F)
Elementos estruturais	Triângulo de apoio	12	F
	Prateleira de apoio	3	F
	Apoio inclinado da tampa	24	F
	Mola tração para as tampas	24	C
	Suporte do <i>tablet</i>	1	F
	Pórtico das tampas	12	F
Damp Bedding	Eletroválvulas	6	C
	Tubagem rígida	15 m	C
	Tubagem flexível	10 m	C
	Bomba de água	1	C
	Depósito	1	C
	Válvula de nível	1	C
	Ligações "Tê" simples (1/2 x 1/2 x 1/2 polegadas)	4	C
	Ligações "Tê" redutoras (1/2 x 1/2 x 3/8 polegadas)	24	C
	Joelhos	4	C
	Tampões (1/2 polegada)	4	C
Hot Air	Ventiladores	24	C
	Bocais	24	F
	Controlador	1	C
	Porcas M3	96	C
	Parafusos M3	96	C
Restraining	Pá restritor	24 (se necessário para todas as gaiolas)	F
	Tubo roscado	24 (se necessário para todas as gaiolas)	F
Food Deprivation e Inaccessible Food	Comedouro cilíndrico	24	F
	Tampa do comedouro	24	F
	Grampos	24	F
	Dobradiças	2x24	C
Noise	Colunas de som	4	C
	Amplificador	1	C
	Suporte para colunas	4	F
Strobe Light	Projetores Strobe	4	C
	Controlador	1	C
Light Cycle Change	Tecido Corta Luz	-	C
	Elásticos	-	C

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

5 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

No presente capítulo pretende-se fazer uma análise de todo o trabalho desenvolvido no âmbito deste projeto, fazendo uma avaliação do produto final obtido e apresentando algumas sugestões para o trabalho futuro de modo a complementar o protótipo projetado.

5.1 Conclusões

A avaliação e medição do stress em roedores, no ICVS, é atualmente realizada recorrendo a processos morosos e que requerem uma grande quantidade de recursos humanos. Além disso, como grande parte dos ensaios é feito manualmente e envolve a utilização de dispositivos rudimentares, é difícil garantir a fiabilidade dos resultados obtidos e mais ainda dificulta a reprodutibilidade dos ensaios. O trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação focou-se no desenvolvimento de um sistema que permitisse, de uma forma automatizada, aplicar grande parte dos agentes indutores de stress previstos no protocolo *CMS* e no *CUS*.

Importante também mencionar que o presente projeto é uma iteração de versões anteriores e vem no seguimento do trabalho previamente desenvolvido no *DEM*. Embora alguns mecanismos tenham sido completamente modificados, os estudos antecedentes foram um instrumento importante na conclusão e obtenção de novas soluções ou na melhoria das já existentes.

Embora o equipamento desenvolvido exija um investimento inicial considerável, a sua utilização a longo termo, permitirá reduzir significativamente tempos, recursos, erros associados e possibilitando ainda o controlo e alteração de algumas variáveis. Se o funcionamento do sistema for bem conseguido e os resultados obtidos forem validados com o rigoroso controlo que esta área impõe, após melhoramentos futuros é possível obter uma solução que poderá ser patenteada e o produto final poderá até ser comercializado.

O desenvolvimento do equipamento regeu-se sempre pelos requisitos dos seus futuros utilizadores, considerando a experiência e opiniões de quem trabalha frequentemente com os referidos modelos de stress. Do ponto de vista de engenharia, foi um projeto desafiante, que envolveu várias áreas de estudo e exigiu alguma imaginação para obtenção das soluções

pretendidas. O estudo da teoria de projeto mecânico foi essencial para a compreensão de diversos métodos e serviu como guia para as várias etapas do projeto.

Assim, depois de projetados os mecanismos referentes aos vários indutores de stress, quando comparados com os processos manuais previamente utilizados, um vasto número de vantagens podem ser proporcionados aos seus utilizadores. Entre estas, as principais são:

- Os roedores podem agora ser alojados numa única estrutura resistente, segura e móvel, permitindo deslocar todo o equipamento com bastante facilidade;
- O sistema e vários elementos estruturais estão projetados com o objetivo de facilitar não só o processo de manutenção dos mecanismos mas também das próprias gaiolas, auxiliando o processo de limpeza e de troca das mesmas;
- O *shaking* pode ser agora aplicado sem exigir qualquer esforço físico por parte dos investigadores responsáveis. Este é sempre aplicado da mesma forma, sendo que algumas variáveis como a velocidade e a frequência podem ser programadas e alteradas;
- O *tilted cage* eleva todas as gaiolas em simultâneo e em segurança com a inclinação desejada;
- O *damp bedding* distribui a quantidade de água desejada em todas as gaiolas, funcionando por prateleiras, o que permite utilizar apenas as que forem necessárias. Trata-se de um sistema limpo que requer pouca manutenção ou limpeza, a água que fica retida nos tubos pode ser direcionada para o reservatório no fim de cada utilização;
- No *hot air* o ar é igualmente distribuído em todas as gaiolas, com a velocidade ou o caudal programado. Os ventiladores estão acoplados à parte superior das gaiolas, de forma a não interferir com outros elementos nem com a troca ou limpeza das gaiolas;
- O *food deprivation* e o *inaccessible food* simplificam o processo de remoção e privação do alimento e reduzem consideravelmente o tempo necessário para preparar estes ensaios;
- O *restraining* é efetuado diretamente nas gaiolas de um forma rápida e permitindo ajustar o mecanismo de forma a limitar o espaço conforme desejado;

- O *noise*, *light cycle change* e o *strobe light*, ficam diretamente associados ao equipamento, sem prejuízo da mobilidade do equipamento;
- O sistema permite, no futuro, a integração de quase todos os mecanismos com uma interface gráfica, onde vários parâmetros e variáveis podem ser controladas e um registo de dados pode ser guardado numa base de dados.

5.2 Trabalho Futuro

De um modo geral, aquilo a que era proposto para este projeto foi cumprido. Como aspeto menos positivo, pode-se apontar o atraso no desenvolvimento de alguns sistemas, nomeadamente no de distribuição de água. Por essa razão, tornou-se impossível proceder ao fabrico de alguns componentes. O trabalho desenvolvido pressupõe no entanto a conclusão do fabrico do protótipo. Após a sua construção, os vários sistemas devem passar por um período experimental e os possíveis problemas ou conflitos que existam devem ser reportados para futura análise e melhoramento.

Ainda no que diz respeito aos vários agentes stressantes, a abordagem aos seguintes aspetos abaixo mencionados seria pertinente:

- Desenvolver uma solução que permitisse utilizar o sistema *damp bedding* gaiola a gaiola, sem a necessidade de uma nova regulação;
- Incorporar em segurança o fator de ar quente no sistema *Hot Air*;
- Alterar o mecanismo do *restraining* para que este possa estar sempre no interior gaiola, sem incomodar os roedores, mesmo quando não está em funcionamento;
- Automatizar os mecanismos do *inaccessible food* e do *empty bottle*, para que um temporizador possa ser usado;
- Criar uma *interface* gráfica em conjunto com vários sensores, onde todos os sistemas são integrados e onde é permitido controlar todo o funcionamento da máquina, alterar variáveis e guardar registos;
- Pintar o equipamento com o objetivo de facilitar a limpeza, conceber uma maior proteção à estrutura e ainda melhorar o seu aspeto na perspetiva de futuramente comercializar o produto.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

- [1] B.G. Charlton, Stress, (1992) 156–159.
- [2] Priberam, (n.d.). <http://www.priberam.pt/DLPO/stress> (accessed September 13, 2014).
- [3] G.H. Stott, What is Animal Stress and How is it Measured ?, (1981) 150–153.
- [4] P.D. Melinda Smith, M.A., Robert Segal, M.A., and Jeanne Segal, The Effects of Stress Overload, (n.d.). http://www.helpguide.org/mental/stress_signs.htm (accessed September 14, 2014).
- [5] P.D. Lawrence R. Murphy, Theodore F. Schoenborn, Stress Management in Working Settings, (1987).
- [6] Susan Crompton, What’s stressing the stressed? Main sources of stress among workers, (2011) 45–46. <http://www.statcan.gc.ca/pub/11-008-x/2011002/article/11562-eng.pdf> (accessed September 12, 2014).
- [7] T. Way, S. Meeting, W.H.O.C. Centres, O. Health, Global Strategy on Occupational Health for All, in: 1995.
- [8] P. Workers, Raising Awareness of Stress at Work in Developing Countries, (n.d.).
- [9] WHO, Depression, WHO. (2012). <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs369/en/> (accessed September 17, 2014).
- [10] LUSA, Dia Europeu da Depressão, (2010). <http://www.publico.pt/sociedade/noticia/depressao-mata-1200-pessoas-por-ano-em-portugal-1458934> (accessed September 17, 2014).
- [11] ICVS ECS, ICVS Tour Short, Vimeo, Portugal, 2013. <http://www.icvs.uminho.pt/working-at-icvs/take-a-tour-of-icvs-icvs-video>.
- [12] ICVS, About ICVS, (n.d.). <http://www.icvs.uminho.pt/about-icvs/icvs-at-a-glance> (accessed September 17, 2014).
- [13] R.J. Blanchard, C.R. McKittrick, D.C. Blanchard, Animal models of social stress: effects on behavior and brain neurochemical systems., *Physiol. Behav.* 73 (2001) 261–71. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11438351>.
- [14] P.F. Costa, Automatização dos Paradigmas de Stress para Roedores, UMinho, 2013.
- [15] W. Sutanto, E.R. de Kloet, The use of various animal models in the study of stress and stress-related phenomena, *Lab. Anim.* 28 (1994) 293–306. doi:10.1258/002367794780745092.
- [16] C. Gambarana, of Stress in Animals and Humans, (1974).

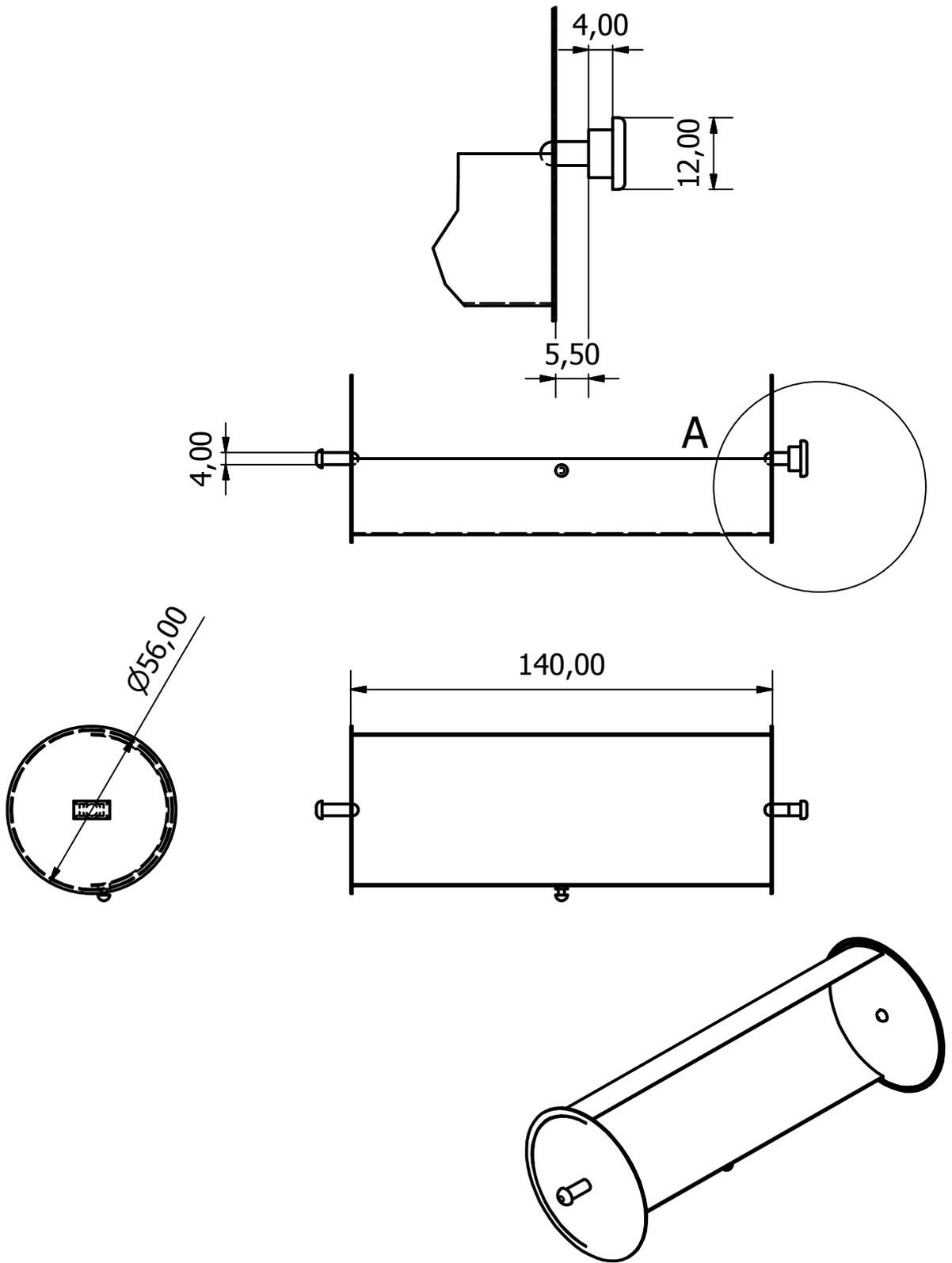
- [17] A.C. Campos, M. V Fogaça, D.C. Aguiar, F.S. Guimarães, Animal models of anxiety disorders and stress., *Rev. Bras. Psiquiatr.* 35 Suppl 2 (2013) S101–11. doi:10.1590/1516-4446-2013-1139.
- [18] F. Behavior, T.O. Molecules, - AN ANIMAL MODEL OF DEPRESSION, (2006).
- [19] J.M. Bessa, D. Ferreira, I. Melo, F. Marques, J.J. Cerqueira, J. a Palha, et al., The mood-improving actions of antidepressants do not depend on neurogenesis but are associated with neuronal remodeling., *Mol. Psychiatry.* 14 (2009) 764–73, 739. doi:10.1038/mp.2008.119.
- [20] E. Cassiolato César, Medição de Vazão, (n.d.) 13. http://www.profibus.org.br/files/artigos/Artigo_Vazao_CI_2008.pdf.
- [21] T. Strekalova, Y. Couch, N. Kholod, M. Boyks, D. Malin, P. Leprince, et al., Update in the methodology of the chronic stress paradigm: internal control matters., *Behav. Brain Funct.* 7 (2011) 9. doi:10.1186/1744-9081-7-9.
- [22] H. Leite-Almeida, L. Almeida-Torres, A.R. Mesquita, A. Pertovaara, N. Sousa, J.J. Cerqueira, et al., The impact of age on emotional and cognitive behaviours triggered by experimental neuropathy in rats., *Pain.* 144 (2009) 57–65. doi:10.1016/j.pain.2009.02.024.
- [23] S. Companies, Housing - Small Rodents, (2011). http://www.tecniplast.it/usermedia/global/page-flip/2014/housing/CAT001_ING_Conventional Housing.PDF.
- [24] A. Andrade, S.C. Pinto, R.S. De Oliveira, *Animais de laboratório*, 2002.
- [25] C.R. Laboratories, Wistar Han IGS Rat, (n.d.). <http://www.criver.com/products-services/basic-research/find-a-model/wistar-han-igs-rat> (accessed September 29, 2014).
- [26] Tecnológico de Monterrey - Escuela de Medicina, Bioterio, (n.d.). http://emcs.mty.itesm.mx/wp/?page_id=232 (accessed October 03, 2014).
- [27] NWG, (n.d.). <http://nwg.glia.mdc-berlin.de/de/picturedb/index.php?action=search&searchType=Autoren&search=&page=27> (accessed October 08, 2014).
- [28] S. Teegarden, Behavioral Phenotyping in Rats and Mice, (n.d.). <http://www.labome.com/method/Behavioral-Phenotyping-in-Rats-and-Mice.html#ref1> (accessed October 09, 2014).
- [29] T. Systems, FeedTime, (n.d.). <http://www.tse-systems.com/products/metabolism/feedtime.htm> (accessed October 08, 2014).
- [30] T. Systems, InfraMot, (n.d.). <http://www.tse-systems.com/products/metabolism/home-cage/phenomaster/activity/inframot.htm> (accessed January 08, 2014).

- [31] R. Diets, BioDAQ E2, (n.d.). <http://www.researchdiets.com/biodaq/biodaq-e2> (accessed October 09, 2014).
- [32] T.C.U. of H.K.-D. of O.& Traumatology, Research - Program, (n.d.). <http://www.ort.cuhk.edu.hk/e/research/R-program-fracture.asp?submenuheader=0> (accessed October 10, 2014).
- [33] P.L.K. Sui, Vibration Platform for Skeleton Strengthening, (n.d.). http://appsrv.cintec.cuhk.edu.hk/wiki/index.php/Vibration_Platform_for_Skeleton_Strengthening (accessed October 10, 2014).
- [34] Sarah Teegarden, Behavioral Phenotyping in Rats and Mice, (n.d.). <http://www.labome.com/method/Behavioral-Phenotyping-in-Rats-and-Mice.html> (accessed October 10, 2014).
- [35] N. Cross, Design Methods - Strategies for Product Design, n.d.
- [36] V.D. Ingenieure, Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products, n.d.
- [37] L. Ferreira, Teoria do Projecto Mecânico Objectivos do Projecto, (n.d.).
- [38] Northern Tool + Equipment, (2014). http://www.northerntool.com/shop/tools/product_527_527?utm_source=Natural&utm_medium=Covario&utm_campaign=Water (accessed September 24, 2014).
- [39] W.H. Organization, Health Aspects of Plumbing, in: n.d. pp. 46–56. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/plumbinghealthsp.pdf.
- [40] T.H. Depot, 1/2 in. x 1/2 in. x 3/8 in. Tee, (n.d.). <http://www.homedepot.com/p/SharkBite-1-2-in-x-1-2-in-x-3-8-in-Brass-Barb-x-Barb-x-Barb-Tee-UC363LFA/202270588?N=5yc1vZbuto> (accessed September 24, 2014).
- [41] F. CPU, Fans, (2014). http://www.frozenscpu.com/cat/l3/g36/c15/s699/list/p1/Fans-12_Volt_Fans-80mm_x_38mm_Fans-Page1.html?id=HLIFuqPw (accessed December 10, 2014).
- [42] Riecktron, Blower, (2014). <https://www.riektron.co.za/en/product/1816> (accessed December 10, 2014).
- [43] Riparo, Motor de Secador, (2014). http://www.riparo.com.br/ecommerce_site/produto_16345_4711_Motor-para-Secador-de-Cabelo-Taiff-varios-modelos-Taiff (accessed December 10, 2014).
- [44] A. S.a., Colunas teto 5' 16Ohm 2 vias 100V, (n.d.). <http://www.aquario.pt/product/conjunto-2-colunas-de-tecto-2-vias-5-100v16ohm> (accessed December 12, 2014).
- [45] A.C.E. S.A., Strobe, (2015). <http://www.aquario.pt/product/estroboscio-20w-preto> (accessed January 02, 2015)

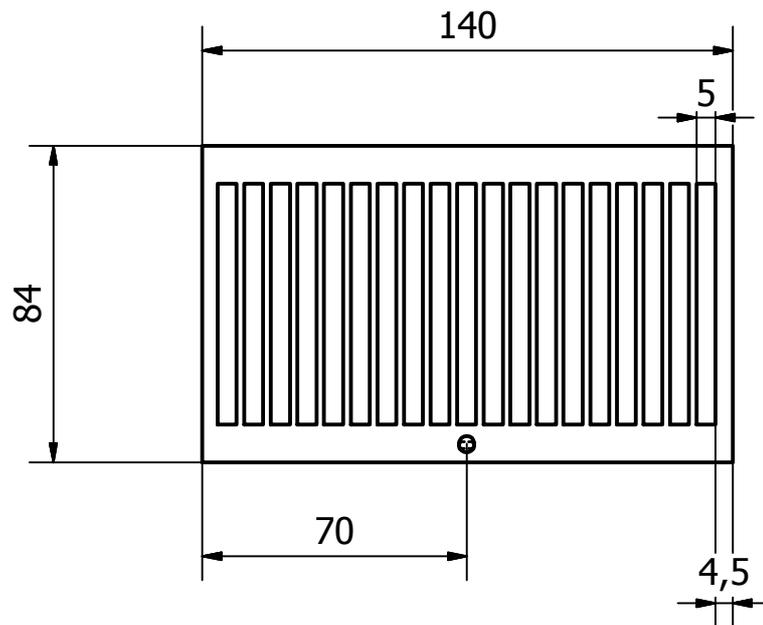
ANEXO

DESENHOS TÉCNICOS

A (1 : 1)

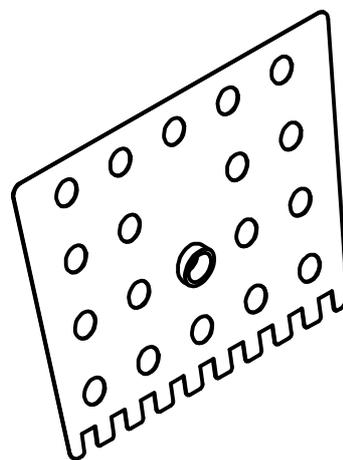
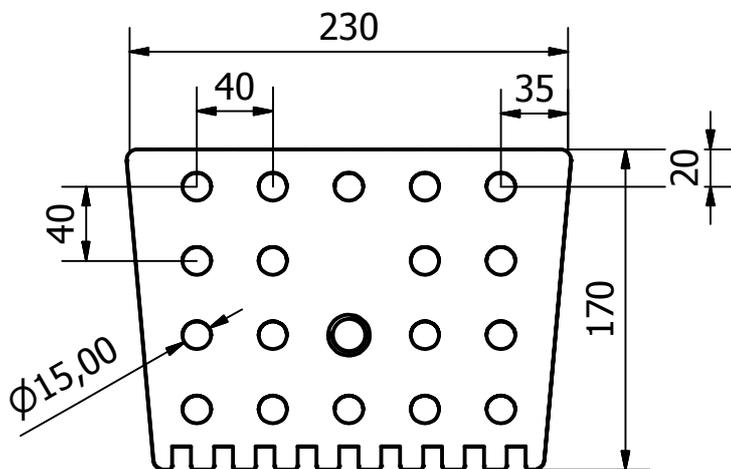
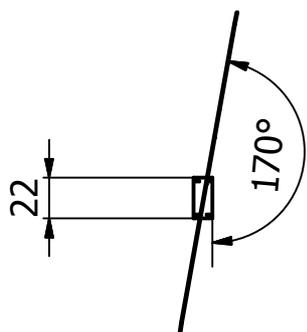


Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automação dos Paradigmas de Stress em Roedores	
Desenho				55773 - Pedro Miguel O. Silva	
Copiou					
Vista					
Escala	Grelha comedouro				
Toler.					
				Substitui:	
				Substituído por:	

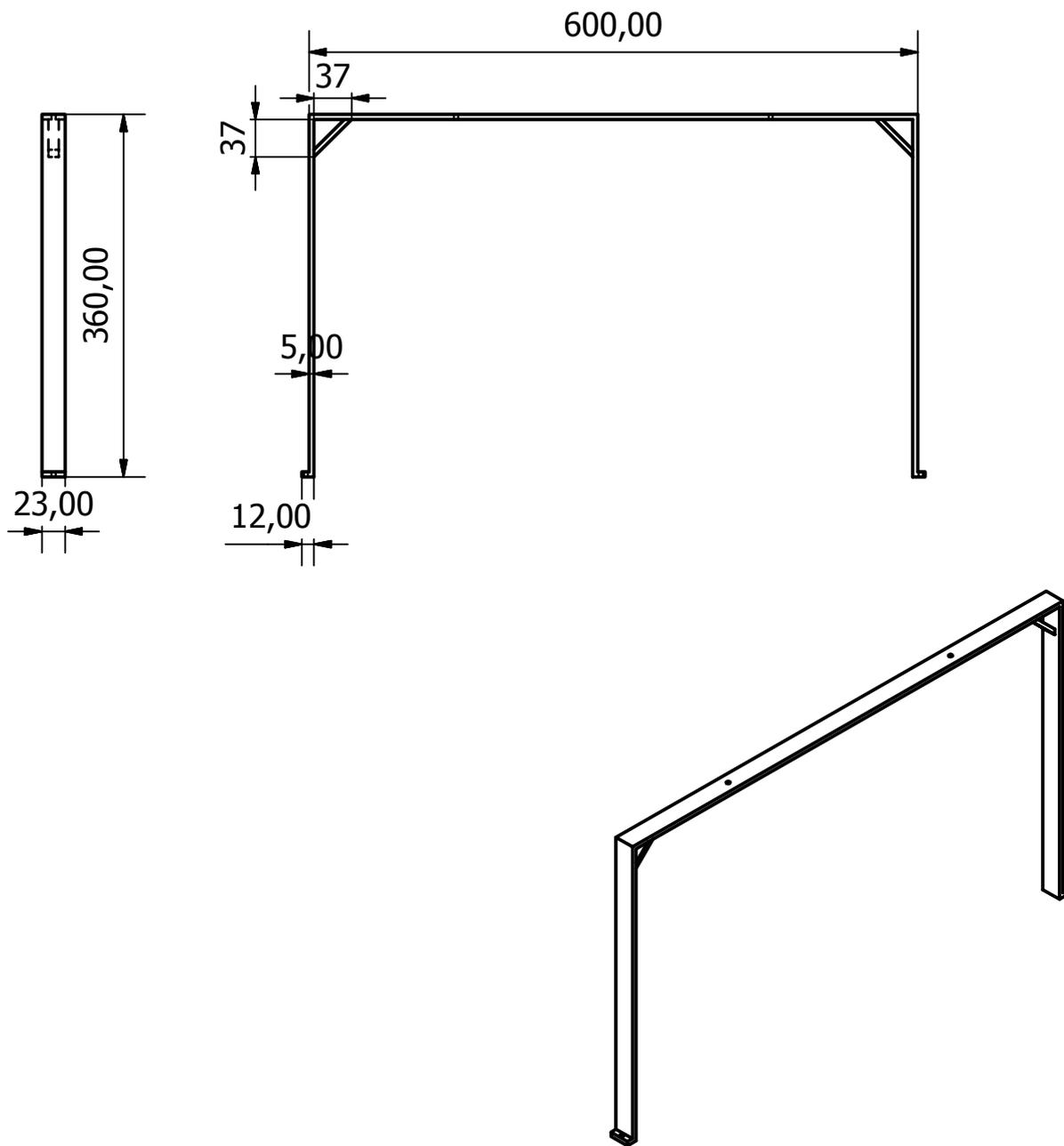


Chapa inox 1 mm

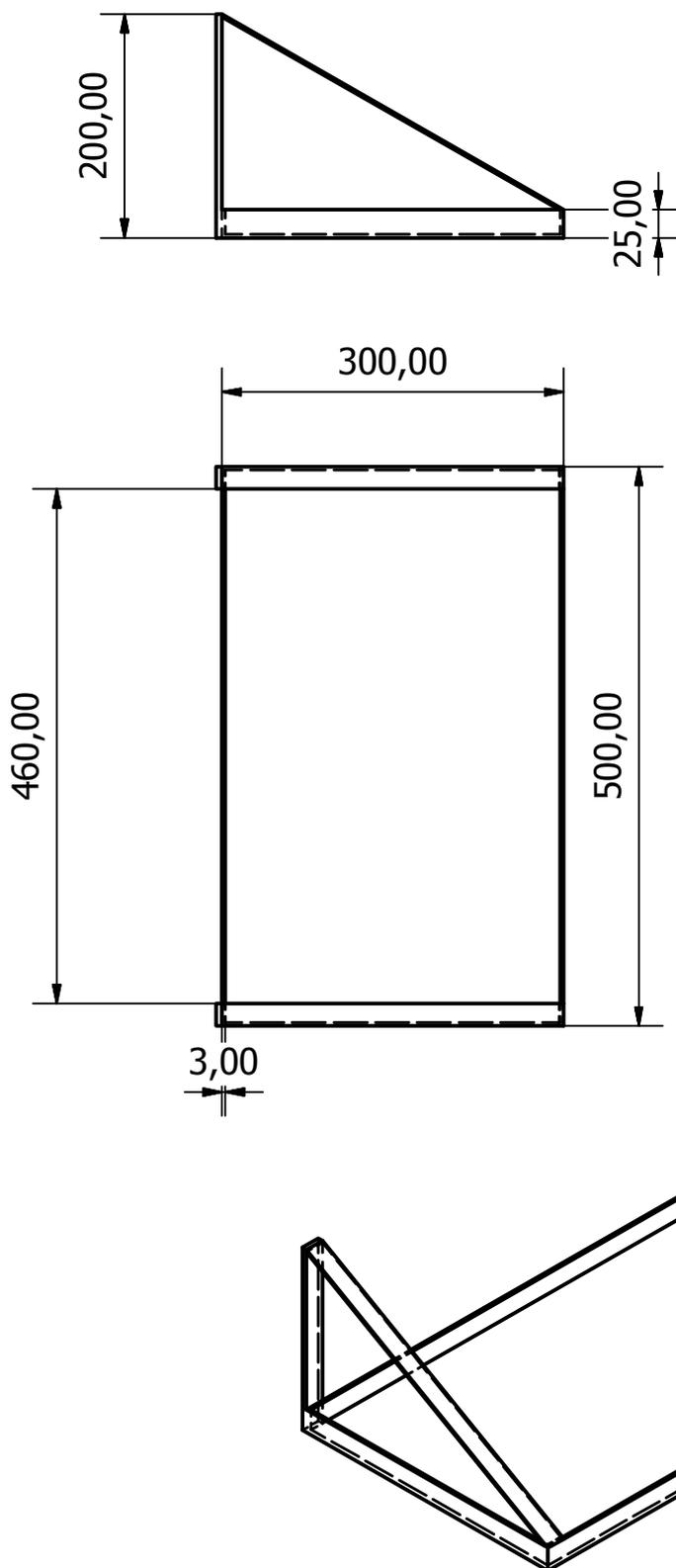
Projecç		Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Projeto e Desenvolvimento de um Equipamento Automático para Induzir Stress em Ratos de Laboratório			
Desenho			55773 - Pedro Miguel O. Silva			
Copiou						
Vista						
Escala						
Toler.			Grelha comedouro			
			Substituí:			
			Substituído por:			



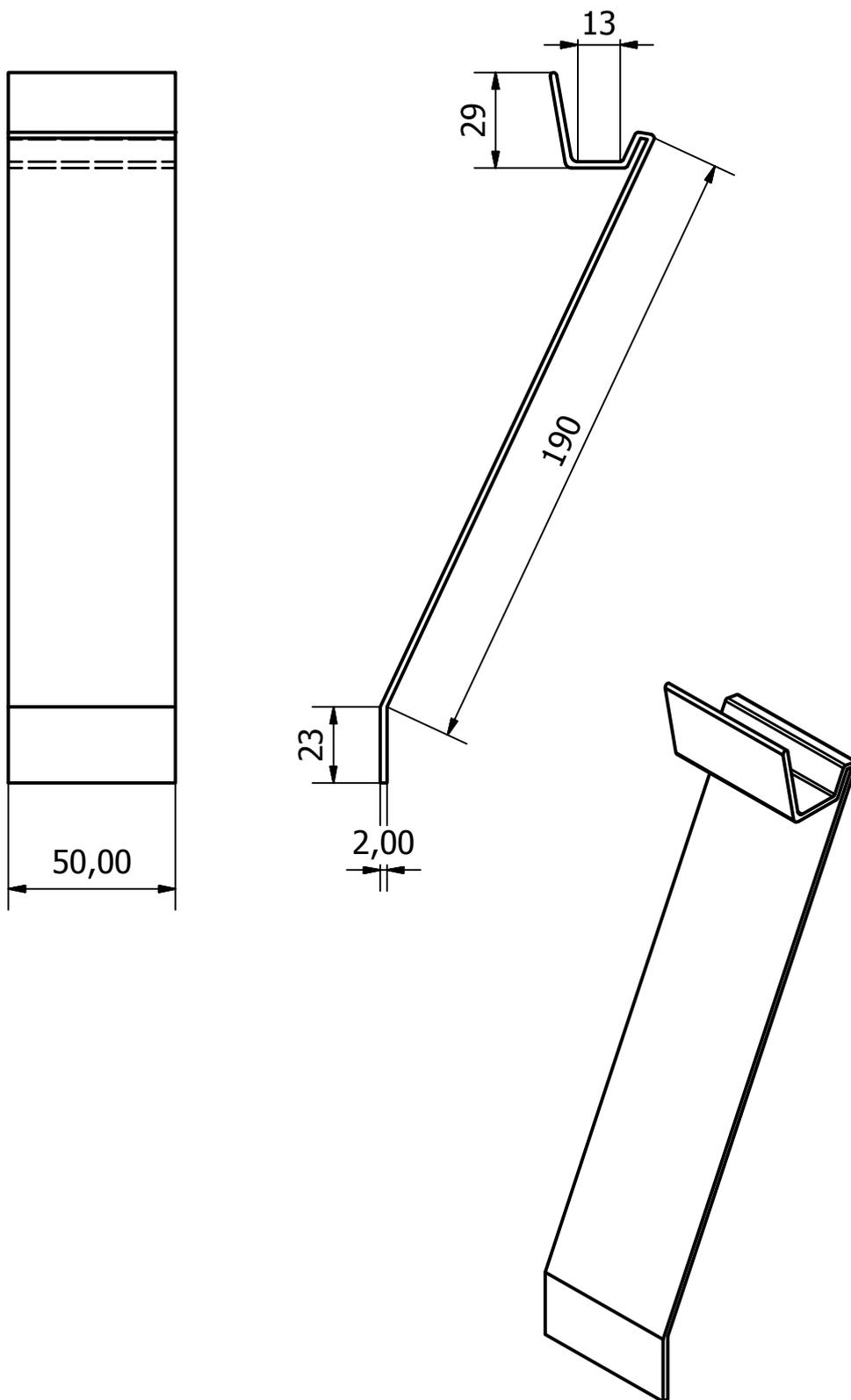
Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Projeto e Desenvolvimento de um Equipamento Automático para Induzir Stress em Ratos de Laboratório	
Desenho				55773 - Pedro Miguel O. Silva	
Copiou					
Vista					
Escala					
Toler.	Pá Restraining				
				Substitui: Substituído por:	



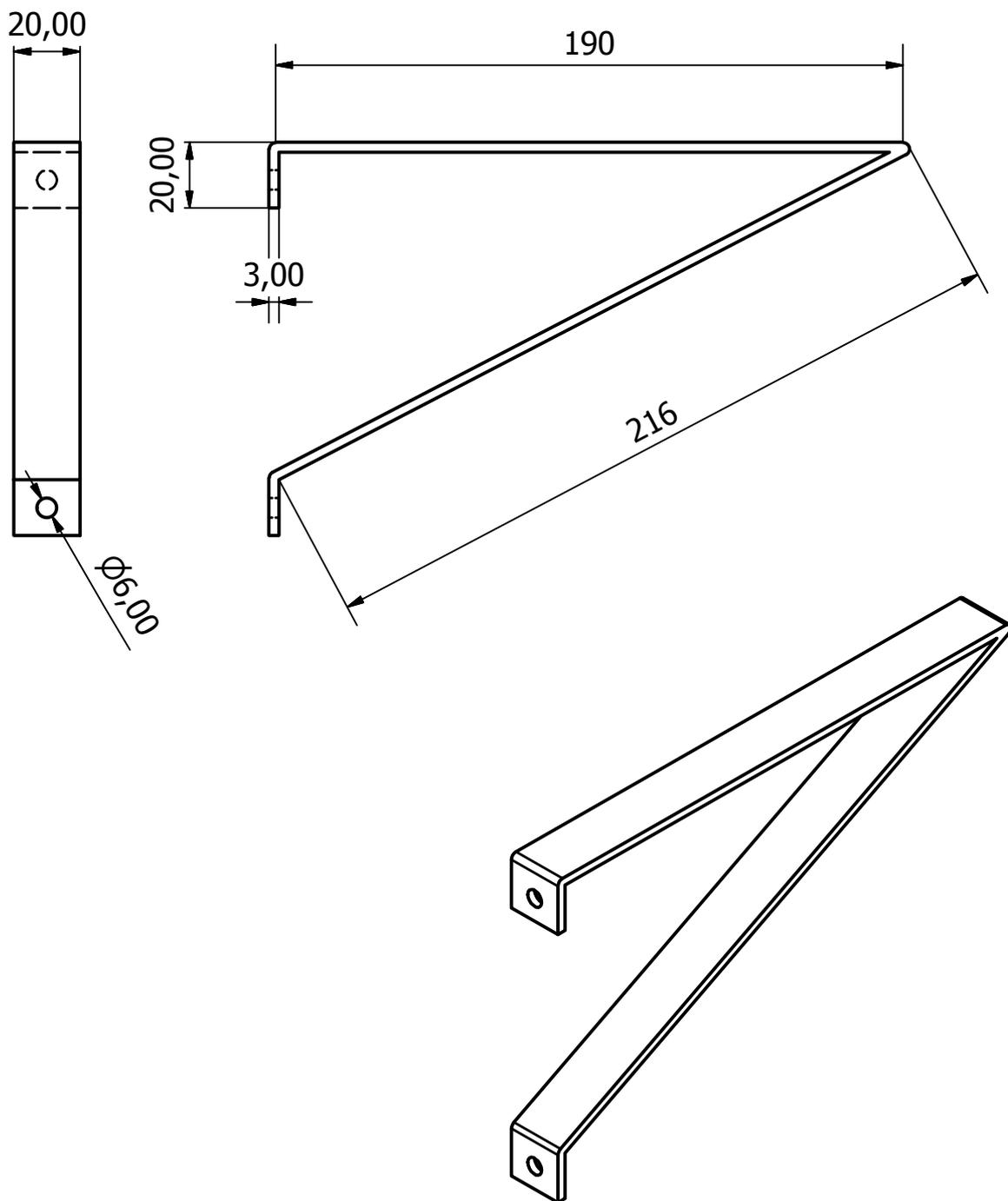
Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Projeto e Desenvolvimento de um Equipamento Automático para Induzir Stress em Ratos de Laboratório
Desenho				55773 - Pedro Miguel O. Silva
Copiou				
Vista				
Escala	Pórtico tampa			
Toler.				
				Substitui:
				Substituído por:



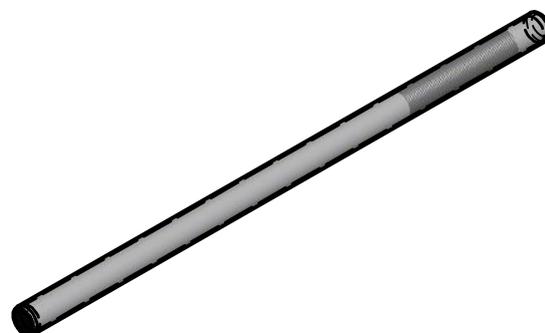
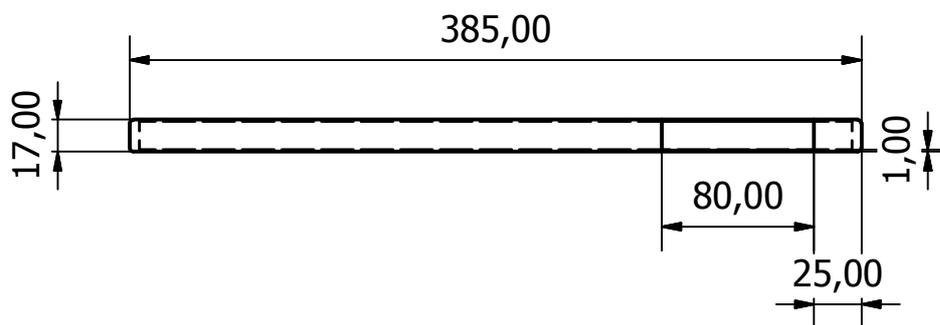
Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Projeto e Desenvolvimento de um Equipamento Automático para Induzir Stress em Ratos de Laboratório
Desenho				55773 - Pedro Miguel O. Silva
Copiou				
Vista				
Escala	Suporte Depósito			
Toler.				
				Substituído por:
				Substituído por:



Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Projeto e Desenvolvimento de um Equipamento Automático para Induzir Stress em Ratos de Laboratório
Desenho				55773 - Pedro Miguel O. Silva
Copiou				
Vista				
Escala	Suporte tampa			
Toler.				
				Substitui:
				Substituído por:



Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Projeto e Desenvolvimento de um Equipamento Automático para Induzir Stress em Ratos de Laboratório
Desenho				55773 - Pedro Miguel O. Silva
Copiou				
Vista				
Escala	Suporte triangular			
Toler.				
				Substituído por:
				Substituído por:



Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Projeto e Desenvolvimento de um Equipamento Automático para Induzir Stress em Ratos de Laboratório	
Desenho				55773 - Pedro Miguel O. Silva	
Copiou				Veio Restraining	
Vista					
Escala					
Toler.					
				Substitui:	
				Substituído por:	