

POLITÉCNICO DO PORTO
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

LaRE - Laboratório Remoto Expansível

Eduardo Manuel Martins Ramalhadeiro

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Área de Especialização em Automação e Sistemas



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Agosto, 2024

Esta dissertação satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Unidade Curricular de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Área de Especialização em Automação e Sistemas.

Candidato: Eduardo Manuel Martins Ramalhadeiro, N° 1210171,
1210171@isep.ipp.pt

Orientação Científica: André Vaz Fidalgo, anf@isep.ipp.pt



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA
Instituto Superior de Engenharia do Porto
Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto

Agosto, 2024

Para ti, mãe

*“(. . .) às vezes ainda sou o menino
que adormeceu nos teus olhos”*

Eugénio de Andrade

Agradecimentos

(Opcional) Agradecimentos que sejam devidos...

Resumo

Aqui deverá ser apresentado o resumo de todo o trabalho efetuado. Esta secção não deverá exceder uma página.

Deve contextualizar o problema que pretende resolver ou a hipótese que irá formular, procure evidenciar as vantagens e desvantagens (se as houver) da solução encontrada, como também a forma através da qual a solução/hipótese foi validada. Neste último ponto, deverá referir-se aos desenvolvimentos efetuados, e à forma como validou (conformidade) e avaliou (desempenho) a solução encontrada.

A dissertação deve conter sempre duas versões do resumo: uma primeira no idioma do texto principal e a segunda num outro idioma. Este *template* assume que os dois idiomas em consideração são sempre Português e Inglês, assim, a classe irá colocar os cabeçalhos respetivos de acordo com o idioma selecionado nas opções da classe no ficheiro `main.tex`.

Palavras-Chave: Lista, separada por vírgulas, de palavras, frases, ou acrónimos chave no âmbito do trabalho descrito neste texto.

Abstract

The summary of all the developed work should be presented here. This section should not exceed one page.

Start the abstract with the contextualization of the problem you intend to solve or the hypothesis you will formulate. Try to highlight the advantages and disadvantages (if any) of the solution found, as well as the way in which the solution/hypothesis was validated. In this last point, you should refer to the developments made, and to the way you validated (compliance) and evaluated (performance) the solution found.

The dissertation must always contain two versions of the abstract: a first in the language of the main text and the second one in another language. This template assumes that the two languages are always Portuguese and English, therefore, the class will place the correct section headers according to the language selected in the class options in the `main.tex` file.

Keywords: Comma separated list of words, phrases, or key acronyms within the scope of your developed work.

Índice

Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	ix
Listagens	xi
Glossário	xiii
Lista de Acrónimos	xvii
Lista de Símbolos	xxi
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	2
1.3 Estrutura do documento	3
2 Estado da Arte	5
2.1 Transformação digital na educação	5
2.2 Educação Digital em Portugal: Avanços e Desafios	9
2.3 eLearning e abordagem STEM	11
2.4 Laboratórios na educação	16
2.4.1 Tipos de laboratórios	18
Uma questão de conceitos	21
Laboratório real	22
Laboratório virtual - Acesso local e/ou remoto	25
Laboratório remoto	30
VISIR	38
PILAR	45
2.5 COMENTÁRIO PROF	46
3 LaRE - Laboratório Remoto Expansível	47
3.1 Contextualização	47
3.2 Solução proposta	50
3.3 Arquitectura	52

3.4	Circuitos electrónicos - experiências?	53
3.5	Hardware	55
3.5.1	VirtualBench	55
3.5.2	Matriz LaRE	56
3.5.3	RaspberryPI	56
3.5.4	Relés	59
3.5.5	<i>Driver</i> de Relés	60
3.5.6	Registo de deslocamento	61
3.6	Software	63
3.6.1	<i>Back-End</i>	63
<i>Python</i>	63
<i>Flask</i>	64
3.6.2	<i>Front-End</i>	64
<i>Webpage</i>	64
4	Implementação	69
4.1	Servidor Flask	69
4.1.1	Estrutura base	70
4.1.2	Rotas	72
4.1.3	Blueprints	73
4.1.4	Pedidos	73
4.1.5	Base de dados	77
4.1.6	Autenticação	77
4.2	pyVirtualBench	78
4.2.1	VirtualBench VB-8012	79
4.3	Circuitos/Experiências	80
4.3.1	Lei de Ohm	82
4.3.2	Configuração do VirtualBench	84
4.4	qualquer coisa que ainda não sei o quê	84
5	Resultados	87
5.1	Limitações	87
5.2	Melhoramentos	87
6	Conclusões	89
Referências		103
Anexo A Título do Anexo		119
A.1	Secção	119
A.2	Mais uma secção do Anexo A	119

Lista de Figuras

2.1	Tipos de laboratórios consoante a localização, segundo Zutin, <i>et al.</i> [56]	19
2.2	Tipos de laboratórios consoante a localização, Heradio, de la Torre & Dormido, (2016) [53]	20
2.3	LV <i>vs</i> simulador	21
2.4	<i>Fritzing</i> (Exemplo)	22
2.5	Tinkercad	25
2.6	<i>Multisim</i> local	26
2.7	<i>Multisim</i> remoto	26
2.8	<i>Falstad</i> - amplificador inversor[86]	30
2.9	Diferentes tipos de arquitectura (resumo)	34
2.10	Implementação cliente-servidor MATLAB-EJS	35
2.11	Arquitectura DIESEL (genérica)[106]	36
2.12	Arquitectura ISA[111]	37
2.13	Arquitectura <i>WebLab-Deusto</i>	38
2.14	Arquitectura <i>gateway4labs</i>	39
2.15	VISIR no ISEP	39
2.16	Arquitectura VISIR[121]	41
2.17	<i>Protobaord VISIR</i>	41
2.18	<i>Chassis</i> PXI-1033 [122]	42
2.19	Osciloscópio PXI-5114 [123]	43
2.20	Gerador de sinal PXI-5402 [124]	43
2.21	Multímetro Digital PXI-4072 [125]	44
2.22	Fonte de tensão PXI-4110 [126]	44
2.23	Matriz VISIR[127]	45
3.1	<i>Arduino</i> Mega [135]	48
3.2	<i>ESP32</i> [142]	49
3.3	<i>RaspberryPI5</i> [143]	50
3.4	Exemplo do VB usado como multímetro digital	51
3.5	Representação geral do LaRE	52
3.6	Fluxograma de uma chamada ao <i>socket</i> [146]	53
3.7	Arquitectura LaRE	54

3.8	Circuitos VISIR - ISEP - Se calhar retirava a imagem	54
3.9	Painel traseiro <i>VirtualBench VB-8012</i> [147].	55
3.10	Painel frontal <i>VirtualBench VB-8012</i> [147].	55
3.11	Placas PC/104 do VISIR - ISEP - Foto com melhor qualidade .	56
3.12	<i>Raspberry PI5</i> com dissipador activo utilizado no LaRE	57
3.13	GPIOs <i>RaspberryPI</i> [149]	58
3.14	Representação alternativa dos GPIOs [149]	58
3.15	<i>Esquema simplificado de um relé</i> [151]	59
3.16	<i>Relés SPST e DPST</i> [151]	60
3.17	Diagrama de blocos ULN2003A [152]	61
3.18	Diagrama de blocos SN74HC595 [153]	62
3.19	Estrutura de uma página HTML [163]	65
4.1	Funcionamento geral <i>Flask</i>	70
4.2	Estrutura de directórios - <i>Flask main.html está a mais</i>	71
4.3	Exemplo de utilização de relés SPST e DPST	80
4.4	Diagrama de blocos simplificado do <i>ULN2003A</i>	80
4.5	Exemplo de comando dos relés, usando o <i>ULN2003A</i>	81
4.6	Envio de <i>bits</i> para o registo de deslocamento	82
4.7	Experiência Lei de Ohm	83
4.8	Experiência Lei de Ohm - Resistências desconhecidas	83
4.9	Página de <i>login</i>	84
4.10	Página de menus	85

Lista de Tabelas

3.1	Raspberry PI4 <i>vs</i> Raspberry PI5 - principais diferenças [150]	57
3.2	Modos de funcionamento do SN74HC595 [153]	63
4.1	Tabela funcionamento <i>ULN2003A</i> e relés	81

Listagens

3.1	Exemplo CSS incluído na página HTML [166]	66
3.2	Exemplo da página HTML com o CSS definida externamente [166]	67
3.3	Exemplo do CSS definido externamente [166]	67
3.4	Exemplo de <i>JavaScript</i>	68
4.1	Decorador <i>route()</i> - <i>views.py</i>	72
4.2	Construção de <i>urls</i> - <i>auth.py</i>	72
4.3	<i>Blueprint views</i> - <i>views.py</i>	73
4.4	<i>Blueprint auth</i> - <i>auth.py</i>	73
4.5	Registo das <i>blueprints</i> - <i>__init__.py</i>	73
4.6	Exemplo atributo request - <i>auth.py</i>	74
4.7	Exemplo atributo args - <i>views.py</i>	75
4.8	Exemplo argumentos passados ao servidor - <i>ohm.html</i>	75
4.9	Exemplo sintaxe <i>Jinja2</i> - <i>base.html</i>	76
4.10	Exemplo uso <i>SQLAlchemy</i> - <i>__init__.py</i>	77
4.11	Exemplo autenticação <i>login</i>	78
4.12	Chamada do VB e instrumentos	79
4.13	Libertar instrumentos e VB	79

Glossário

Arduino

O *Arduino* é uma placa de desenvolvimento de código aberto baseada em *hardware* e *software* fáceis de utilizar. As placas *Arduino* são capazes de ler entradas - luz num sensor, um dedo num botão ou uma mensagem do *Twitter* - e transformá-las numa saída - ativar um motor, ligar um *LED*, publicar algo *online* e utilizam a linguagem de programação *Arduino* (baseada em *Wiring*) e o *software Arduino* (IDE), baseado em *Processing* [1].

wrapper

Um *wrapper* em Python, neste contexto, refere-se a uma camada de código desenvolvida para encapsular e simplificar a utilização da *interface* de programação do VirtualBench. Essencialmente, os *wrappers* funcionam como intermediários que permitem aos programadores interagir com a funcionalidade subjacente do VirtualBench através de comandos Python mais simples e diretos. Isso facilita a automação de tarefas e a integração do VirtualBench com outros componentes ou *scripts* desenvolvidos em *Python*, proporcionando uma maneira mais eficiente e acessível de controlar e operar os dispositivos e funcionalidades oferecidos.

DIAC

O (*Diode for Alternating Current* (DIAC) é um semicondutor que conduz a corrente elétrica num só sentido, tal como o diodo, mas de forma controlada, isto é, só após um disparo na sua porta. O SCR é constituído por quatro camadas PNPN ou NPNP, tendo numa extremidade um ânodo e um cátodo e, ainda, a porta. Ao aplicar uma tensão positiva entre o ânodo e cátodo, ele conduz, desde que se aplique um impulso positivo na porta, com um determinado valor mínimo. Tanto o ânodo como a porta devem ser polarizados directamente, senão, o SCR não conduz [2].

ESP32

O *ESP32* é um microcontrolador de baixo custo e baixa potência com capacidade *Wi-Fi* e *Bluetooth*, desenvolvido pela *Espressif Systems*. É amplamente utilizado em projetos de IoT devido às suas capacidades de conectividade e processamento.

Industry 4.0

A Indústria 4.0, uma iniciativa da Alemanha, converteu-se um termo adoptado globalmente na última década. Dez anos após a introdução da Indústria 4.0, a Comissão Europeia anunciou a Indústria 5.0. Considera-se que a Indústria 4.0 é orientada para a tecnologia, enquanto a Indústria 5.0 é orientada para o valor [3].

PC/104

As placas PC/104 são um padrão de computação embebida que se destaca pelo seu formato compacto e modula. Desenvolvidas pelo PC/104 *Consortium*, estas placas são amplamente utilizadas em aplicações industriais e de controle, oferecendo uma combinação de robustez e flexibilidade.

Python

O *Python* é uma linguagem de programação de alto nível, orientada a objecto, ou seja, com sintaxe mais simplificada e próxima à linguagem humana. É utilizada em *web* ou servidores. Tem uma biblioteca padrão bastante completa e uma enorme comunidade que desenvolve ferramentas e bibliotecas (*frameworks*) adicionais. O código é aberto e gratuito [4]. O *Python* usa a indentação para delimitar blocos de código. Como curiosidade esta linguagem foi baptizada pelo seu criador, Guido van Rossum, como referência aos *Monty Python*.

RaspberryPI

Raspberry Pi é uma gama de pequenos computadores acessíveis e versáteis que podem ser utilizados para vários projectos e fins, desenvolvidos pela *Raspberry Pi Foundation*, uma organização educacional no Reino Unido. Esses dispositivos foram projetados para promover o ensino de ciências da computação básicas em escolas e países em desenvolvimento, além de serem populares entre entusiastas de eletrónica e *makers* devido à sua versatilidade e custo acessível. Desde o seu lançamento, os modelos de RaspberryPI evoluíram significativamente, oferecendo maiores capacidades de processamento, memória e conectividade, adequados a uma ampla gama de aplicações, desde simples projetos de bricolagem a sistemas embebidos complexos e até mesmo servidores de baixo custo[5][6].

SCR

O *Silicon Control Rectifier* (SCR) é semicondutor que conduz a corrente elétrica nos dois sentidos, como se fossem dois diodos, em paralelo e em sentidos contrários; isto é, ora funciona um diodo, durante a alternância positiva, ora

funciona o outro na alternância negativa. A alimentação da porta do TRIAC é, frequentemente, feita utilizando um DIAC [2].

TRIAC

O *Triode for Alternating Current* (TRIAC) é um tiristor constituído por quatro camadas PNPN ou NPNP, com dois ânodos e uma porta. Contrariamente ao SCR, o TRIAC conduz nos dois sentidos da CA, desde que se aplique à porta um impulso suficiente, positivo ou negativo. O TRIAC é, geralmente, utilizado em CA, no comando e controlo de potência [2].

Lista de Acrónimos

μC	<i>microcontroladores</i>
I^2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
LabVIEW	<i>Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench</i>
ADC	<i>Analog-to-Digital Converter</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
ARM	<i>Advanced RISC Machine</i>
BTH	Blekinge Institute of Technology
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
COVID-19	SARS-CoV-2
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
DAQ	<i>Data Acquisition</i>
DESI	Digital Economy and Society Index
DIAC	(<i>Diode for Alternating Current</i>
DIESEL	<i>Distance Internet-Based Embedded System Experimental Laboratory</i>
DPST	<i>Double Pole Single Throw</i>
EJS	<i>Easy Java Simulations</i>
EUA	Estados Unidos da América
FPGA	<i>Field Programmable Gate Array</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
GPL	<i>Gnu Public License</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>

HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IoT	Internet Of Things
ISA	<i>iLab Shared Architecture</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
LaRE	Laboratório Remoto Expansível
LMS	<i>Learning Management System</i>
LR	Laboratório Remoto
LV	Laboratório Virtual
MATLAB	<i>MATrix LABoratory</i>
MB	Megabyte
MCR	Matriz de Comutação de Relés
MHSA	<i>Multipurpose Hardware and Software Architecture</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
NI	<i>National Instruments</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PC	<i>Personal Computer</i>
PIC	<i>Programmable Interrupt Controller</i>
PILAR	<i>Platform Integration of Laboratories based on the Architecture of vi-siR</i>
PIP	<i>Pip Installs Packages</i>
PISA	Program for International Student Assessment
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PRR	Plano de Recuperação e Resiliência
PUC	Pontifícia Universidade Católica
PXI	<i>PCI eXtensions for Instrumentation</i>
RLMS	<i>Remote Laboratory Management System</i>

SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SCR	<i>Silicon Control Rectifier</i>
SIG	<i>Special Interest Groups</i>
SIPO	<i>Serial Input Parallel Output</i>
SPICE	Simulation Program for Integrated Circuits Emphasis
SPST	<i>Single Pole Single Throw</i>
STEM	Science, Technology, Engineering and Mathematics
TIC	Tecnologias da Informação e da Comunicação
TRIAC	<i>Triode for Alternating Current</i>
ue	União Europeia
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
URL	Uniform Resource Locator
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VB	<i>VirtualBench</i>
VISIR	Virtual Instrument Systems in Reality
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
WSGI	<i>Web Server Gateway Interface</i>
WWW	World Wide Web

Listas de Símbolos

Símbolo	Descrição	Unidades
i	corrente	A
P	potência	W
R	resistência	Ω
v	tensão	V
x	deslocamento	m
ω	velocidade angular	rad s^{-1}

Capítulo 1

Introdução

“So it begins”

King Theoden

Esta dissertação insere-se no programa de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Área de Especialização em Automação e Sistemas e tem como principal objectivo o desenvolvimento de um Laboratório Remoto (LR) aplicado ao ensino da eletrónica. Este capítulo aborda a motivação para a abordagem desta temática, nele é apresentada a contextualização, assim como os objectivos a serem atingidos e uma breve estruturação da dissertação.

1.1 Enquadramento

A educação em engenharia, especialmente em áreas como eletrónica, depende fortemente de actividades práticas. Os laboratórios são cruciais para que os estudantes possam aplicar os conceitos teóricos em cenários práticos, desenvolver habilidades técnicas e enfrentar desafios reais[7][8]. No entanto, a manutenção e o acesso a laboratórios físicos tradicionais apresentam várias dificuldades, incluindo altos custos, limitações de espaço e a necessidade de supervisão constante por parte de instrutores ou professores qualificados[9]. Além disso, o acesso a esses laboratórios pode ser restrito devido a factores como horários de funcionamento e a necessidade de presença física.

Nos últimos anos, os avanços na tecnologia, do *eLearning* e na implementação da abordagem Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) abriram novas possibilidades para o ensino prático da eletrónica através de laboratórios remotos. Esses laboratórios permitem que os estudantes realizem experiências reais em equipamentos físicos controlados remotamente, independentemente da sua localização geográfica. A implementação de laboratórios remotos tem o potencial de democratizar o acesso ao ensino de qualidade, oferecendo oportunidades educacionais mais equitativas e inclusivas[10].

1.2 Objectivos

A génesis desta dissertação ocorreu há três anos e estava associada à ideia de desenvolver um Laboratório Remoto Expansível (LaRE) para o ensino da electrónica. Uma das soluções existentes no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) é o Virtual Instrument Systems in Reality (VISIR)¹. O VISIR é um projecto (LR) que pode ser aplicado no vasto campo da engenharia eletrotécnica e eletrónica e na área da teoria e prática de circuitos. Tem como objetivo definir, desenvolver e avaliar um conjunto de módulos educativos compostos por experiências práticas, virtuais e remotas [11]. No entanto, o desenvolvimento deste LR apresenta um grave problema, que corresponde ao facto de, por questões legais, não ser possível realizar qualquer tipo de modificação e/ou actualização ao *firmware* da matriz que controla os relés.

A REVER - Prof.

Partindo, então, destes pressupostos definiram-se os seguintes objectivos:

- Contextualizar o uso dos laboratórios remotos no ensino;
- Estudar e analisar as alternativas existentes, nomeadamente, o VISIR;
- Identificar os requisitos de *hardware* e *software* necessários para implementar o LaRE como um projeto *open-source*, em conformidade com a licença *Gnu Public License* (GPL):
 - Pesquisar, analisar e avaliar a implementação de um servidor;
 - Pesquisar, analisar e avaliar as soluções de *software* existentes para a integração do *VirtualBench (VB)*² com o LaRE;
 - Definir quais, e quantos, circuitos integrar;
- Implementar e testar o LaRE;
- Identificar as vantagens e desvantagens do LaRE, assim como possíveis melhoramentos;

¹Uma explicação mais pormenorizada VISIR será fornecida nos capítulos seguintes

²Uma explicação mais detalhada será dada nos capítulos seguintes

- Apresentar resultados e conclusões da implementação do LaRE.

1.3 Estrutura do documento

À data de 30/06 - Poderá haver modificações nos capítulos - **rever** Esta dissertação está organizada em quatro capítulos. Neste primeiro capítulo, foi feita uma breve introdução à implementação do LaRE e aos objetivos que a norteiam. O Capítulo 2 aborda o estado da arte no que diz respeito à Educação Digital e à integração dos laboratórios no ensino. O Capítulo 3 aborda detalhadamente os aspectos relacionados com o LaRE, a nível de *hardware* e *software*. Os resultados obtidos neste capítulo servem como base para, no Capítulo 3.6.2, se discutir as vantagens e desvantagens do LaRE e, tendo em conta as suas limitações, apontar melhoramentos que podem ser desenvolvidos no futuro. No Capítulo 4.4 serão apresentadas as conclusões da implementação do LaRE.

Capítulo 2

Estado da Arte

“You are entering a world of pain.”

Walter Sobchak

Tendo em conta a nossa experiência como professor numa escola secundária, neste capítulo procuramos fazer o enquadramento das principais dificuldades que a Educação (digital) atravessa em Portugal e discutir em que medida a integração da tecnologia digital na educação é essencial para criar ambientes de aprendizagem mais eficazes e adaptados à evolução do panorama digital. Explora-se o potencial de tecnologias, como os laboratórios remotos, para o desenvolvimento de experiências de aprendizagem personalizadas e reflete-se sobre a forma como podem ajudar a suprir estas mesmas dificuldades. Face a isto, discute-se a ascensão do *eLearning*, particularmente no contexto da abordagem STEM, assim como a evolução da educação das salas de aula tradicionais para ambientes virtuais, enfatizando as oportunidades e possibilidades de aprendizagem alargadas oferecidas pelo *eLearning*.

2.1 Transformação digital na educação

NOTA: O prof sugeriu que os pontos 2.1 e 2.2 pudessem ficar num só ponto
no entanto, parece-me fazer sentido que fiquem separados, se calhar depois do
prof ler possa ter outra percepção. Deixo para consideração depois de ler.

A educação está a sofrer grandes mudanças a nível tecnológico, social e humano. Estas foram impulsionadas pela pandemia SARS-CoV-2 (COVID-19), que expôs

as fragilidades em termos de gestão e capacitação dos recursos tecnológicos e do eLearning¹. O sistema educativo português está longe da perfeição (ou, se nos atrevermos a dizê-lo, está longe de ser razoável) mas, durante a pandemia, devido a um grande esforço coletivo, respondeu imediatamente a este enorme obstáculo. Num curto espaço de tempo, o ensino presencial e o contacto humano foram substituídos pelo ensino à distância.

Estávamos pronto para isto?

Antes da pandemia, no Ensino Básico, as tecnologias digitais eram mais frequentemente utilizadas como meio de comunicação do que como ferramenta pedagógica [13]. Nas últimas duas décadas aproximadamente, Portugal já introduziu programas para abordar a digitalização na educação. O programa de digitalização contemplado no Plano de Ação para a Transição Digital (Resolução do Conselho de Ministros n.º 30/2020, de 21 de abril) prevê, entre outras medidas, uma forte aposta na formação digital dos professores, no desenvolvimento digital das escolas e na disponibilização de recursos educativos digitais [14] [15].

No mundo de hoje, cada vez mais digital, 3.6 mil milhões de pessoas ainda não têm acesso à *Internet*[16]. Este problema reduz o acesso a um mundo de informações disponíveis *online* e limita o potencial de aprendizagem e crescimento, para não falar das competências digitais de que as pessoas necessitam para aprender e melhorar as suas vidas. A crise da COVID-19 mostrou-nos como a ligação à *Internet* é crucial para as actividades quotidianas, como o trabalho e a aprendizagem. Hoje, mais do que nunca, é necessário reforçar as infra-estruturas nacionais para garantir que a conetividade esteja mais amplamente disponível. Igualmente importante é reforçar os planos de conetividade das escolas e investir numa aprendizagem de qualidade, a fim de melhorar o acesso à educação, os resultados da aprendizagem e o potencial de ganhos dos jovens, bem como o desenvolvimento socioeconómico das suas comunidades e países [16]. Se adoptarmos uma abordagem geral da integração da tecnologia digital [17], Portugal ocupa o 19º lugar entre os 28 Estados-Membros da União Europeia (ue) no Digital Economy and Society Index (DESI) 2020. Apesar de alguns progressos na dimensão do capital humano, graças a uma melhoria do nível básico de competências digitais e a uma maior percentagem de diplomados em Tecnologias da Informação e da Comunicação (TIC), este aspeto continua a ser particularmente crítico para Portugal, dado o atual baixo nível de literacia digital da sua população.

Relativamente à dimensão capital humano, Portugal ocupa o 21º lugar entre 28 países da ue - uma melhoria de dois lugares em relação ao ano anterior, mas ainda abaixo da média da ue. Em 2019, a percentagem da população portuguesa sem, pelo menos, competências digitais básicas diminuiu de 50% para 48%. **REVER ESTA AFIRMAÇÃO** No entanto, cerca de 26% dos cidadãos portugueses não

¹Jay Cross, é conhecido por ter “cunhado” pela primeira vez o termo *eLearning*[12]. Por isso, nesta tese, o termo será sempre referido desta forma, em vez de *e-Learning*

tinham quaisquer competências digitais. Isto deve-se principalmente ao facto de muitas pessoas nunca terem utilizado a Internet [17].

Podemos deduzir que esta realidade está relacionada com os baixos níveis de educação que ainda existem no país. No entanto, há outros factores que são visíveis para todos, como o elevado preço dos serviços de *Internet* ou o baixo número de licenciados em TIC: “A proporção de especialistas em TIC representa uma percentagem menor da força de trabalho em comparação com a média da ue (2,4% contra 3,9% na ue). Além disso, Portugal continua a ter uma das mais baixas percentagens de especialistas de TIC no emprego feminino total, representando metade da média da ue. A proporção de licenciados em TIC no total de licenciados melhorou, mas é ainda muito baixa para os padrões da ue (1,9% em comparação com 3,6% na ue)” [17]. Esta falta de competências básicas foi agravada pela pandemia. De acordo com o relatório “*Juventude e COVID 19: impactos no emprego, na educação, nos direitos e no bem-estar mental*” [18], 65% consideram que aprenderam menos desde o início da pandemia devido à transição das aulas presenciais para as aulas *online* durante o confinamento. Apesar dos seus esforços para continuar a estudar, metade destes jovens acredita que os seus estudos vão ficar para trás e 9% pensa que podem reprovar devido a estas dificuldades. A situação foi pior para os jovens que vivem em países de baixos rendimentos, por haver menos acesso à *Internet*, uma falta crítica de equipamentos, e às vezes nenhum lugar em casa para a aprendizagem adequada [18].

Com base nestes resultados, o estudo conclui que “os desafios colocados pela transição para o ensino fora da sala de aula e em casa” foram enormes. Mesmo quando as instituições conseguiram fazer a transição para a aprendizagem *online*, os professores, formadores e estudantes podem não ter tido a capacidade de “garantir a continuidade da aprendizagem”. Entre os factores que dificultam a eficácia do ensino *online* contam, como já foi referido: baixos níveis de acesso à *Internet*; lacunas nas competências digitais; incapacidade de ensinar e aprender à distância; falta de equipamento informático em casa; falta de espaço; falta de materiais preparados para o *eLearning*; e falta de trabalho de grupo e de contacto social - ambos componentes fundamentais do processo de aprendizagem.

Como professor do ensino secundário e director de turma, que tinha de lidar tanto com professores como com alunos, pudemos observar estes problemas do lado dos alunos, principalmente: não terem computador portátil ou pessoal, não terem acesso à *internet* ou esta ser lenta. Houve mesmo alguns casos de alunos que tiveram de assistir às aulas através do telemóvel. Do lado dos professores, esperava-se um enorme desafio, principalmente devido à falta de experiência na lecionação *online* e às dificuldades em encontrar e utilizar as várias ferramentas *online*. A “curva de aprendizagem” foi muito lenta.

Obviamente, não só em Portugal, mas também em todo o mundo, as escolas e

instituições encerraram em meados de março de 2020 e os alunos de todos os níveis de ensino assistiram às aulas e interagiram com os professores através de videoconferências e outras ferramentas *online*. A United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) apoiou a implementação de programas de ensino à distância em grande escala e recomendou aplicações e plataformas educativas gratuitas que as escolas e os professores poderiam utilizar para comunicar com os alunos à distância. A organização partilhou depois as melhores práticas para tirar partido de tecnologias móveis pouco dispendiosas para fins de ensino e aprendizagem, a fim de atenuar as perturbações no ensino [19].

O Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) recomenda a entrega de computadores portáteis a todos os alunos e professores do ensino primário e secundário. Supostamente deveriam ter sido entregues 600 mil computadores (com acesso à Internet), mas ainda há um longo caminho a percorrer. Em agosto de 2022, apenas 70% desses computadores tinham chegado aos utilizadores. A principal razão? Os pais foram confrontados com o compromisso de reembolsar o dinheiro investido pelo Estado, se não pudessem devolvê-los nas mesmas condições em que os tinham recebido[20].

Entretanto, **REFERIR AQUI CASO PESSOAL EM CONTEXTO**

DE SALA DE AULA?? - OPINIÃO PROF as aulas de laboratório (electrónica) eram as que menos sentido faziam: por exemplo, o contacto com uma placa branca - também conhecida por *breadboard* ou placa de ensaio - e todos os componentes físicos foi substituído pelo recurso a dois simuladores online: **Multisim** e **Falstad**. Felizmente, estes já eram utilizados na sala de aula, embora como complemento da vertente mais prática do ensino.

Assim, a resposta à questão colocada anteriormente é: **não**.

Ninguém estava preparado para estas mudanças nem para o ensino *online* e o *eLearning*.

Como já foi referido, os desafios para alunos e professores foram enormes, a adaptação ao ensino/aprendizagem *online* teve de ser feita muito rapidamente e os recursos digitais tornaram-se a “tábua de salvação” da educação. No entanto, as oportunidades que as tecnologias digitais oferecem vão muito além do apoio de emergência utilizado durante a pandemia. Atualmente, está disponível um número infinito de possibilidades, novas respostas para o quê, como e quando as pessoas aprendem [21].

A forma de pensar dos estudantes de hoje é também muito diferente da de há trinta anos. De uma forma mais particular, o pensamento mudou muito desde que a *Internet* e os recursos digitais começaram a tornar-se massivos. É essencial que

os alunos possam aceder à tecnologia e utilizá-la para se desenvolverem ainda mais e a lição mais importante de todas é: **permitir-lhes compreender o que fazer com a informação e os recursos que estão à sua disposição de tantas formas diferentes.** Esta nova adaptação educativa (ou deveríamos chamar-lhe “evolução”?) “também adapta a aprendizagem aos estilos de aprendizagem pessoais com uma granularidade e precisão muito maiores do que qualquer ambiente de sala de aula tradicional pode fazer. Do mesmo modo, **laboratórios virtuais** dão aos alunos a oportunidade de conceber, realizar e aprender com as experiências, em vez de se limitarem a aprender sobre elas” [21].

Em agosto de 2020, numa citação incluída num artigo publicado no *Diário de Notícias*, um aluno afirmava:

“As aulas de laboratório foram as que menos sentido fizeram para mim, pois fazer relatórios e cálculos sobre experiências que não fizemos, sem adquirir/desenvolver as competências e técnicas que é suposto esta componente da disciplina nos dar, é um pouco ridículo.” [22].

Por outro lado, os professores devem desenvolver a sua literacia digital, para melhor dominarem estas novas ferramentas na sala de aula, de forma a ajudarem os alunos a construírem o seu próprio conhecimento.

Assim, é evidente que a Educação, como um todo, precisa de se inserir neste contexto que está cada vez mais presente no quotidiano de todos.

O mundo é cada vez mais dominado pela tecnologia (... e nestes tempos actuais começa o domínio da Inteligência Artificial), milhares de milhões de dispositivos físicos em todo o mundo estão agora ligados à *Internet*, todos recolhendo e partilhando dados. Atualmente, os *chips* de computador são muito baratos e a ubiquidade das redes sem fios permite ligar qualquer coisa, desde algo tão pequeno como um comprimido até algo tão grande como um avião. É o que se designa por Internet Of Things (IoT) [23]. Por conseguinte, a informação e os recursos estão “na ponta dos dedos de todos” e à distância de um clique.

Chegou o momento de os países aproveitarem as lições da pandemia para reconfigurarem as pessoas, os espaços, o tempo e a tecnologia, de modo a criarem ambientes educativos mais eficazes e eficientes [24].

2.2 Educação Digital em Portugal: Avanços e Desafios

Nos últimos anos, é evidente que estamos a enfrentar grandes mudanças tecnológicas. Os conhecimentos e as competências têm de acompanhar esta evolução. (Este facto ficou bem patente com a pandemia...).

Praticamente todas as aprendizagens e futuros empregos exigirão um certo nível de competências e aptidões digitais. A constante evolução tecnológica exige o

desenvolvimento de competências ao longo da vida[25]. No entanto, em média, dois em cada cinco europeus com idades compreendidas entre os 16 e os 74 anos ainda não possuem estas competências[17].

Se reflectirmos sobre esta ideia em contexto educativo e acrescentarmos o facto de o ensino da eletrónica em Portugal passar pelo ensino profissional **ACHO QUE NÃO REFERI!! - A REVER**, como já foi referido anteriormente, e se o objetivo é a evolução e inovação no processo de ensino/aprendizagem, é necessário proporcionar a todos os intervenientes as condições e ferramentas necessárias para que o trabalho possa ser desenvolvido e, consequentemente, os alunos realmente aprendam.

A evolução da educação digital em Portugal pode ser aferida pelas crescentes iniciativas governamentais e adopção de tecnologias digitais nas escolas e universidades. Nos últimos anos, Portugal tem investido significativamente na educação digital, reconhecendo a importância das competências digitais para o futuro dos seus cidadãos e a competitividade do país. Este esforço é materializado através de várias iniciativas e programas governamentais que visam integrar a tecnologia no sistema educacional, capacitar professores e preparar os estudantes para a era digital. As medidas de apoio aos objetivos digitais representam um montante que corresponde a 22% da dotação total do plano, ultrapassando o limiar de 20% definido pela regulamentação europeia [26]. ~~:12 das 20 componentes do PRR têm contributo direto meta-digital.~~

Lançado em 2017, o Plano Nacional de Competências Digitais (INCoDe.2030)[27] é uma iniciativa ambiciosa do governo português para aumentar a literacia digital de toda a população. Este plano está estruturado em cinco eixos principais: inclusão, educação, qualificação, especialização e investigação. Como complemento ao INCoDe.2030, o Programa Escola Digital é outra iniciativa crucial do Ministério da Educação. Este programa visa a modernização das escolas através da integração de tecnologias digitais, com objetivos claros de dotar as escolas de infra-estruturas adequadas, disponibilizar dispositivos e recursos digitais e capacitar os professores. [28] Os objectivos deste programa centram-se no melhoramento das infra-estruturas tecnológicas, na distribuição de computadores portáteis e *tablets* aos alunos e professores, no acesso a recursos educativos digitais de qualidade e uma aposta na capacitação e formação de professores.

No entanto, no meio destas oportunidades criadas, ainda há alguns desafios que precisam de ser ultrapassados. A desigualdade no acesso à tecnologia ainda é uma barreira significativa, especialmente em áreas rurais e entre famílias de baixos rendimentos. A formação contínua dos professores também necessita de maior suporte, assim como a atualização constante dos recursos digitais disponíveis.

VERIFICAR O ENQUADRAMENTO DO PARÁGRAFO SEGUINTE
Acho que não referi - A REVER UPDATE: É referido mais à frente

Como foi referido no Capítulo 1 (**anterior - secção 1.1**) um dos pontos-chave do ensino profissional é também preparar os alunos para o mundo do trabalho. A ascensão da Industry 4.0 levou a que mais instituições de ensino adotassem os laboratórios remotos como uma alternativa contemporânea para desenvolver as competências técnicas e sociais necessárias aos estudantes e formadores de engenharia[29]. De facto, a transformação digital já alterou os postos de trabalho e, a nível mundial, a indústria, os produtos e as modalidades de ensino.

complementar mais este parágrafo e ideia - OPINIÃO PROF???

2.3 eLearning e abordagem STEM

Tem-se vindo a falar de ensino à distância e de ferramentas digitais e virtuais. Por isso, importa agora contextualizar o que foi escrito anteriormente em termos de *eLearning*, abordagem STEM, como estes dois conceitos se interligam e, mais especificamente, os conceitos de laboratórios remotos e virtuais e simuladores. É óbvio que o *eLearning* e o STEM não poderão ser dissociados, sendo que a relação entre os dois é mutuamente benéfica. **REFERÊNCIA** Além dos mais, as dificuldades na implementação destes dois conceitos em Portugal apresentam várias semelhanças. Ambas enfrentam desafios relacionados com as infra-estruturas tecnológicas, formação de professores, envolvimento dos alunos e métodos de avaliação. **ENUMERAR E REFERÊNCIAS??**

O COVID-19 impulsionou a utilização de recursos digitais e, consequentemente, o *eLearning*. Este tornou-se popular e até necessário e a educação evoluiu do tradicional contexto de sala de aula para um ambiente virtual. A utilização do *eLearning* não só cria uma forma mais abrangente de aprendizagem, como também envolve muitas possibilidades: cursos *online*, laboratórios virtuais e remotos, simuladores *online*, etc. No entanto, esta globalização do *eLearning* só foi possível graças à massificação da *Internet* e à evolução da tecnologia digital.

Em 2004, Jay Cross publicou um trabalho muito interessante e algo controverso intitulado “An informal history of eLearning” [12]. O conceito em si é controverso na medida em que existem múltiplas definições do que poderá ser o *eLearning*. Por exemplo, citado no mesmo artigo: “(...) Elliott Masie disse no final de 1997, “A aprendizagem *online* é a utilização da tecnologia de rede para conceber, fornecer, selecionar, administrar e alargar a aprendizagem.”” Jay Cross, por outro lado, define o *eLearning* como uma visão daquilo em que a formação empresarial se pode tornar.

No entanto, num estudo intitulado “O e-Learning no Ensino Superior: um caso de estudo” [30], os autores generalizam a definição dada por Maria João Gomes no seu artigo sobre reflexões em torno do *eLearning* [31], considerando que este “(…)

corresponderá a qualquer metodologia de ensino/aprendizagem que integre actividades, suportadas por TIC, essenciais para atingir os objectivos de aprendizagem definidos.”

No mesmo artigo, Maria João Gomes defende que “(...) o termo e-learning deve ser adotado como menos centrado nos aspectos tecnológicos e mais próximo das potencialidades pedagógicas decorrentes da utilização das “tecnologias de rede” na concepção de situações baseadas na interação e colaboração, no sentido da construção de aprendizagens significativas”.

Assim, é fácil perceber que não há grande consenso sobre o significado de *eLearning*,

Estas múltiplas definições do conceito “*eLearning*” têm a ver com as diferentes perspectivas, pontos de vista e concepções dos vários intervenientes que, de uma forma ou de outra, têm investido neste domínio.

Se se pretender uma definição que, de alguma forma, se aproxime de um cenário de ensino à distância baseado na comunicação e na colaboração[31], então a definição apresentada no “*Convite à apresentação de propostas DG EAC/46/02*” deve ser tida em conta[32]: “(...) a utilização das novas tecnologias multimédia e da *Internet* para melhorar a qualidade da aprendizagem, facilitando o acesso a recursos e serviços, bem como o intercâmbio/interação e a colaboração à distância.”

Uma das principais vantagens do *eLearning* é a flexibilidade que oferece. Os estudantes podem aprender ao seu próprio ritmo e horário, o que é particularmente útil para aqueles que têm outras responsabilidades, como o trabalho ou a assistência à família. Além disso, o *eLearning* também pode ocorrer a partir de qualquer lugar, desde que haja uma ligação à *Internet*, o que permite aos alunos estudar a partir de casa ou de qualquer outro lugar que lhes seja conveniente.

Outra vantagem do *eLearning* é que permite o acesso a uma grande variedade de recursos e materiais de aprendizagem, incluindo vídeos, textos, actividades interactivas, fóruns de discussão, laboratórios virtuais e remotos, entre outros. Estes recursos podem ser actualizados e adaptados rapidamente de acordo com as necessidades dos alunos e professores, garantindo que os conteúdos estão sempre actualizados e são relevantes.

O *eLearning* também pode ser uma forma eficaz de personalizar a aprendizagem, permitindo que os alunos se concentrem nas áreas em que precisam de mais ajuda e avancem rapidamente nas áreas em que já têm conhecimentos suficientes. Os alunos podem fazer avaliações *online* que ajudam a determinar as suas competências e conhecimentos, permitindo que o professor adapte os conteúdos e as actividades de aprendizagem às suas necessidades.

Para as instituições de ensino em Portugal, o *eLearning* pode ajudar a reduzir os custos, eliminando a necessidade de espaço físico e equipamento adicionais, assim

como, também pode ajudar a alcançar um público mais vasto de alunos, especialmente aqueles que não têm acesso ao ensino presencial devido a restrições geográficas, financeiras ou outras. O *eLearning* também permite que as instituições de ensino em Portugal ofereçam educação de qualidade a um custo mais baixo, permitindo que mais pessoas tenham acesso à educação.

Por último, o *eLearning* pode contribuir para melhorar a qualidade do ensino em Portugal, permitindo que os alunos aprendam de forma mais eficaz e eficiente. Os professores podem monitorizar os progressos dos alunos em tempo real, fornecendo *feedback* imediato e adaptando os conteúdos às suas necessidades. Além disso, o *eLearning* pode ajudar a promover a colaboração entre alunos e professores, permitindo-lhes trabalhar em conjunto em projectos e actividades de grupo, independentemente da sua localização física.

Embora existam desafios envolvidos na adoção do *eLearning*, os benefícios superam os problemas e é provável que o *eLearning* continue a ser uma parte importante do ensino no futuro.

Como já foi referido, STEM é acrônimo de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática e o conceito vai muito além de uma mera definição.

Se tomarmos como ponto de partida o endereço da UNESCO [33], é fácil compreender que as definições dão um sentido lato ao conceito. Citando Heather B. Gonzalez, Jeffrey J. Kuenzi, 2012 e o Australian Council of Learned Academies (ACOLA), 2014, verifica-se que consideram essencialmente a “ocupação”, embora em contextos diferentes. Enquanto a primeira publicação apresenta um diagnóstico de STEM nos Estados Unidos da América (EUA), a segunda publicação aborda uma forma de reduzir as lacunas nas competências “STEM”.

Jonathan Rothwel, no seu artigo [34], tenta perceber a ambiguidade de STEM definindo primeiro conhecimento STEM”, e assim “constata que uma grande parte dos empregos “STEM” são técnicos (“*blue-collar*”) e não “académicos””

Uma terceira definição - porque não é nosso objectivo principal dissecar as mais variadas definições de STEM - é a que eventualmente melhor se adequará a este trabalho: Mark Sanders no seu artigo “STEM, STEM Education, STEMmania” [35], centra-se no termo “STEM education”, mais precisamente, “faz a apologia do ensino “integrativo” STEM (significando aqui “ensino entre quaisquer duas ou mais áreas disciplinares STEM, ou entre uma disciplina STEM e outra) *versus* “educação STEM””. Tipicamente, a educação inclui actividades educativas em todos os níveis de ensino - desde a Educação Pré-escolar até ao pós-doutoramento - em contextos formais (por exemplo, salas de aula) e informais (por exemplo, programas pós-escolares). Nos últimos anos, surgiu uma nova definição baseada na ideia de acrescentar as artes ao currículo, recorrendo a princípios de raciocínio e conceção e incentivando soluções criativas. No entanto, não é objetivo do presente documento desenvolver ainda mais este conceito específico.

NOTA: Colocar ou não este tipo de exemplo. OPINIÃO PROF

No meu caso particular, os alunos estão envolvidos em vários projectos, tanto a nível nacional como internacional, aplicando o conceito STEM. O trabalho é desenvolvido em contexto de sala de aula e abarca vários tipos de trabalhos, desde enviar engenhos para a estratosfera até à construção de robôs.

Um dos principais desafios enfrentados em Portugal na implementação do STEM é a falta de recursos e infra-estruturas adequados. Como já foi referido no Capítulo 2 e é reforçado pelo Program for International Student Assessment (PISA) da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), muitas escolas não têm acesso a laboratórios bem equipados e à tecnologia mais recente para ensinar ciências e tecnologia de forma eficaz [36]. Extrapolando um pouco mais, a falta de investimento na educação em Portugal é evidente e limita a capacidade do país para inovar e criar novas tecnologias [37], [38], [39], [40], [41].

Os pontos fracos do sistema português - identificados no relatório da OCDE intitulado "Políticas Eficazes, Escolas de Sucesso" - são a falta de pessoal não docente, a taxa de retenções, a falta de equipamento informático, plataformas de ensino online e acesso rápido e eficaz à internet e a falta de equidade. - **A REVER**

Outro problema que afecta a implementação do STEM em Portugal é a escassez de profissionais qualificados nesta área [42] - "A procura de licenciados com este tipo de qualificação é baixa em relação à oferta (ou procura) (...)".

Por outro lado, muitos estudantes que se formam em ciência e tecnologia em Portugal procuram oportunidades de emprego no estrangeiro, o que pode levar à fuga de talentos e à perda de conhecimentos valiosos. **PROCURAR REFERÊNCIAS E CITAÇÕES - A REVER** Além disso, muitos estudantes não têm acesso a um ensino de qualidade STEM, o que pode limitar as suas futuras oportunidades de carreira - Estas dificuldades já foram mencionadas na Secção - **VERIFICAR SECÇÃO**.

Para além destes desafios estruturais, existe também uma falta de consciência da importância do STEM para o desenvolvimento económico e social do país. Muitos estudantes podem não compreender a relevância destas áreas de conhecimento para o seu quotidiano e para o futuro de Portugal. Consequentemente, podem não se sentir motivados para estudar ciência e tecnologia ou para seguir carreiras nestes domínios.

A pandemia COVID-19 também apresentou desafios adicionais para a implementação do STEM. Com muitas escolas fechadas e com aulas à distância, muitos alunos não tiveram acesso a laboratórios e equipamento especializado necessário para aprender ciência e tecnologia *hands-on*. Além disso, a pandemia aumentou a desigualdade na educação, com os alunos de famílias com baixos rendimentos a terem menos acesso à tecnologia e aos recursos necessários para acompanhar o ensino à distância [43][44].

Desde que a World Wide Web (WWW) se generalizou e se tornou um meio viável de aprendizagem, abriram-se novas oportunidades para um ensino mais flexível. No entanto, a educação em Portugal continua a ser condicionada por práticas instrucionais, administrativas e fortemente burocratizadas.

Este não é um problema exclusivamente português. De facto, “(...) os nossos sistemas de ensino a todos os níveis enfrentam desafios assustadores que são produtos da ineeficácia das várias componentes do sistema. Um rácio professor-aluno muito alto (particularmente nas escolas públicas), défice de infra-estruturas, instalações escolares inadequadas, indisponibilidade de recursos de aprendizagem e alunos pouco motivados são os mais óbvios dos nossos **desafios**[45].”

Esta afirmação descreve com exatidão o que está a acontecer nas escolas portuguesas em todos os níveis de ensino.

Ultrapassar estes desafios não é fácil.

O que é que nós, professores, podemos fazer?

Em primeiro lugar, procurar os recursos cuja utilização em contexto de sala de aula possa, pelo menos, permitir que o processo de ensino-aprendizagem evolua e que estes desafios sejam ultrapassados ou, pelo menos, atenuados: Os recursos (...) didácticos parecem estar no centro de tudo, os professores precisam deles para ajudar no seu ensino e os alunos precisam deles para os ajudar na sua aprendizagem[45].”

Por outro lado, num inquérito (link[pdf]) realizado em nome da Pearson² de 8 a 14 de junho de 2020 pela The Harris Poll³, envolvendo 7038 pessoas com idades compreendidas entre os 16 e os 70 anos em todo o mundo, verificou-se que 78% dos inquiridos acreditavam que a aprendizagem *online* daria às pessoas mais fácil acesso a uma educação de qualidade. **Talvez falte completar aqui mais um pouco OPINIÃO PROF**

Portanto, pelo que foi dito anteriormente e conhecendo bastante bem a realidade do ensino secundário por trabalhar com alunos que, na sua maioria não diretamente para o mundo do trabalho, pode-se concluir que a educação enfrenta vários desafios, nomeadamente a necessidade dos professores, em particular, se manterem actualizados em relação às tecnologias emergentes, bem como serem capazes de preparar os alunos para as exigências do mercado de trabalho em constante evolução. **Talvez precise de mais desenvolvimento OPINIÃO PROF**

No entanto, este não será o maior desafio. Existem vários e graves problemas a montante que tornam o processo de ensino/aprendizagem muito difícil. Este não é apenas um problema das escolas secundárias, também abrange o ensino universitário. De facto, podemos referir como um problema grave as dificuldades financeiras[46] [47] [48] das escolas e universidades, que limitam o acesso dos alunos a equipamentos

²<https://plc.pearson.com/>

³<https://theharrispoll.com/>

e materiais necessários essenciais nomeadamente para as aulas laboratoriais: computadores actualizados, software, etc. Uma das consequências desta limitação é a falta de ligação entre a teoria e a prática. Muitas vezes, os alunos são expostos a uma grande quantidade de informação teórica, mas não têm a oportunidade de aplicar esses conhecimentos em projectos práticos. Este facto pode levar a uma falta de compreensão sobre como as teorias se aplicam na vida real e pode dificultar a transferência de conhecimentos para a prática profissional.

Para ultrapassar os desafios da implementação do STEM em Portugal, é importante que o país continue a investir em recursos e infra-estruturas adequados ao ensino e aprendizagem das ciências e tecnologias. Além disso, é necessário sensibilizar para a importância do STEM para o futuro de Portugal e proporcionar oportunidades de carreira atractivas para os licenciados nestas áreas. Finalmente, é também importante que Portugal trabalhe para manter o seu talento científico e tecnológico no país, em vez de o perder no estrangeiro: “Portugal perde 4 mil cérebros por ano” [49].

Esta forma de ensino não só faz a integração das áreas do conhecimento, como também permite ao aluno usá-las para conexões na resolução de problemas diários. A aprendizagem é amplamente beneficiada com a inter-disciplinaridade. Além disso, nesta metedologia de ensino, os alunos aprendem a colaborar uns com os outros.

2.4 Laboratórios na educação

*“Teoria sem prática é utopia,
prática sem teoria é rotina.”*

Anónimo⁴

Do que foi escrito no Capítulo1, pode-se concluir da importância dos laboratórios na educação ou, neste caso particular, do laboratório de eletrónica, principalmente em contexto de sala de aula.

A investigação sobre a eficácia do ensino e da aprendizagem num laboratório ⁵ remonta à década de 1960 e existem inúmeros trabalhos de investigação, ensaios e teses de doutoramento sobre esta matéria [7].

Algumas observações interessantes foram feitas nesta investigação[7]: **e estão de acordo com a secção anterior ([No capítulo/secção anterior](#))**

- As actividades laboratoriais escolares têm **potencial especial como meios e estratégias para ensinar e aprender** que podem promover importantes resultados de aprendizagem das ciências para os alunos;

⁴Como curiosidade, esta frase estava num cartaz pendurado na sala de aula de eletrónica do 8º ano, no ano lectivo de 1985/86.

⁵A investigação feita por Hofstein [7] incide sobre laboratórios de ciências, nomeadamente de química. No entanto, as conclusões podem ser adaptadas ao caso particular dos laboratórios de eletrónica

(Este facto é comprovado nas aulas práticas dos meus alunos. Os alunos sentem-se muito mais motivados para aprender utilizando qualquer tipo de recurso, quer seja um laboratório real ou um simulador *online*).

- Os professores precisam de conhecimentos, competências e recursos que lhes permitam ensinar eficazmente em ambientes de aprendizagem práticos;

(Isto está de acordo com o que foi mencionado na secção anterior: Os professores devem desenvolver a sua própria literacia digital. Esta adaptação está a revelar-se um grande desafio).

- As percepções e os comportamentos dos alunos no laboratório de ciências são muito influenciados pelas expectativas e práticas de avaliação dos professores e pela orientação do guia de laboratório, das fichas de trabalho e dos meios electrónicos associados;

(Obviamente isto requer muito trabalho, empenho e dedicação, e os professores também precisam de motivação e das condições necessárias para poderem desenvolver este tipo de ensino. Em Portugal, sabe-se que vivemos tempos de incerteza relativamente a todas estas condições e situações.).

- Os professores precisam de formas de descobrir o que os seus alunos estão a pensar e a aprender no laboratório de ciências e na sala de aula.

(Precisam de fazer uma avaliação formativa, cujo objetivo não é atribuir classificações/dar notas aos alunos, mas determinar o que aprenderam e como chegaram lá, o que não aprenderam e porque é que isso aconteceu. Assim, poderão encontrar estratégias/recursos para ajudar os seus alunos a ultrapassar os obstáculos que vão surgindo ao longo do processo.).

Na mesma investigação é dito algo bastante interessante: “Se usado corretamente, o laboratório tem o potencial de ser um meio importante para introduzir os alunos nos conhecimentos e competências conceptuais e processuais centrais da ciência (Bybee, 2000) como citado em [7].”

Este é um ponto muito importante, uma vez que a investigação demonstrou que as experiências práticas em laboratórios desempenham um papel central (possivelmente *O* papel central) na educação científica, como referem, por exemplo, Hofstein e Lunetta, (2004), como citado em [8]. Isto deve-se em grande parte ao seu forte impacto nos resultados da aprendizagem e no desempenho dos estudantes e à sua eficácia na preparação dos estudantes para a sua futura profissão, como referem, por exemplo, Basey et al., (2008), citados [8].

Em Portugal, o estudo da eletrónica no ensino secundário é feito através do ensino profissional. Este tipo de ensino não só permite que os alunos entrem na universidade com os conhecimentos/competências laboratoriais adequados, como também lhes fornece as ferramentas necessárias para melhor enfrentarem o mercado de trabalho[50].

Nota: *falar aqui nas competências dos alunos - A REVER! - OPINIÃO PROF*

É claro que esta ideia só é válida se houver um ensino eficaz e, subsequentemente, uma aprendizagem efectiva utilizando os laboratórios.

Na nossa carreira de mais 20 anos como professor de eletrónica, a leccionar a turmas entre o 10º e o 12º ano, temos utilizado de ferramentas digitais como o *multisim*⁶ (tanto *online* como *stand-alone*) e o *falstad*⁷ como complemento das práticas laboratoriais.

No entanto, devido a dificuldades de várias ordem (nomeadamente económicas) que as escolas têm enfrentado ao longo dos anos e que geram constrangimentos materiais, foi necessário desenvolver a pesquisa e utilização de novas ferramentas digitais, ou se assim lhe quisermos chamar, laboratórios virtuais e/ou simuladores. Este tipo de dificuldades aliado ao aparecimento do COVID-19, com a consequente transformação das aulas normais em aulas virtuais, obrigou ainda mais à procura de novas ferramentas digitais, para além das já referidas nos parágrafos anteriores.

É, pois, inquestionável a importância das práticas laboratoriais nas ciências - ou no caso particular desta dissertação - nas aulas práticas de eletrónica, tanto no Ensino Secundário como no Ensino Superior. A tentativa de mitigar as dificuldades já referidas neste capítulo levam à procura de soluções alternativas. Vários estudos sugerem que os laboratórios virtuais e remotos surgem como duas soluções que podem ajudar a ultrapassar a falta de laboratórios reais ou a falta de recursos nos laboratórios reais [51] [52] [53] [54].

2.4.1 Tipos de laboratórios

No contexto educativo e científico, existem diversos tipos de laboratórios, cada um atendendo a diferentes necessidades e objetivos. Os laboratórios são espaços cruciais para a educação, pesquisa e inovação, proporcionando ambientes onde teorias podem ser testadas e conceitos podem ser explorados de maneira prática [55]. Os principais tipos incluem laboratórios físicos tradicionais, laboratórios virtuais e laboratórios remotos. Oferecem diferentes vantagens e desafios, sendo frequentemente utilizados de maneira complementar.

Os laboratórios físicos, virtuais e remotos oferecem diferentes vantagens e propõem diversos desafios, sendo frequentemente utilizados de maneira complementar. Os laboratórios físicos tradicionais proporcionam uma experiência prática essencial,

⁶<https://www.multisim.com/>

⁷<https://www.falstad.com/circuit/>

permitindo a manipulação direta dos materiais e equipamentos. Os laboratórios virtuais oferecem uma alternativa segura e económica, ideal para a simulação e modelagem de conceitos complexos. Já os laboratórios remotos combinam os benefícios dos dois, permitindo o controle de equipamentos reais à distância e facilitando a colaboração global. Sendo assim, cada tipo de laboratório desempenha um papel crucial na educação e na pesquisa e a escolha entre eles depende das necessidades específicas da disciplina, dos recursos disponíveis e dos objetivos pedagógicos. A integração desses diferentes tipos de laboratórios pode proporcionar uma experiência de aprendizagem rica e diversificada, preparando melhor os alunos para os desafios do mundo real e do ambiente académico [8] [51] [55].

Interessa nesta fase definir a classificação dos laboratórios em geral, classificação esta que, mesmo assim não é consensual, até porque não há uma normalização *standard* na forma como se definem estes conceitos.

Como exemplo desta não uniformização, uma forma possível de classificar os laboratórios está representada na Figura 2.1. Segundo Zutin, *et al.*,(2010), [56], citados por Zapata-Rivera e Larrondo, (2017), [57] os laboratórios podem ser divididos consoante a sua localização: local ou remota.

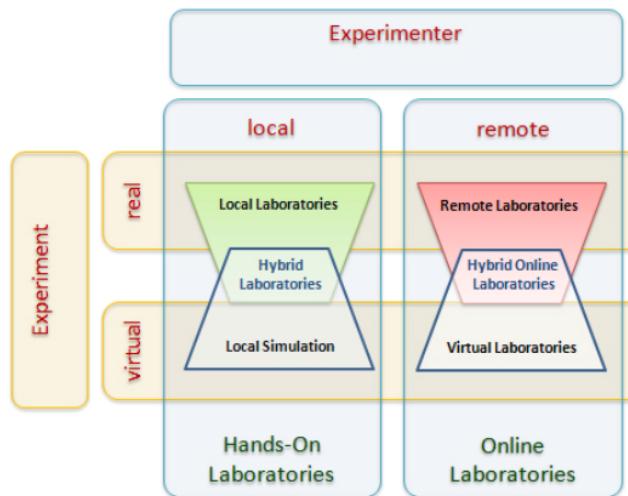


Figura 2.1: Tipos de laboratórios consoante a localização, segundo Zutin, *et al.* [56]

Também Heradio, de la Torre e Dormido(2016)[53] classificam os laboratórios de forma idêntica, tal como é representado na Figura 2.2:

As representações têm algumas diferenças ao nível da nomenclatura. No entanto, Zutin, *et al.*,(2010), [56], introduzem os conceitos de *Hybrid Laboratories* e *Hybrid Online Laboratories*. Não é propósito desta dissertação um estudo aprofundado destes conceitos, sendo que o enfoque está no estudo dos laboratórios remotos. Apresenta-se, de qualquer das formas, uma breve explicação dos laboratórios híbridos.

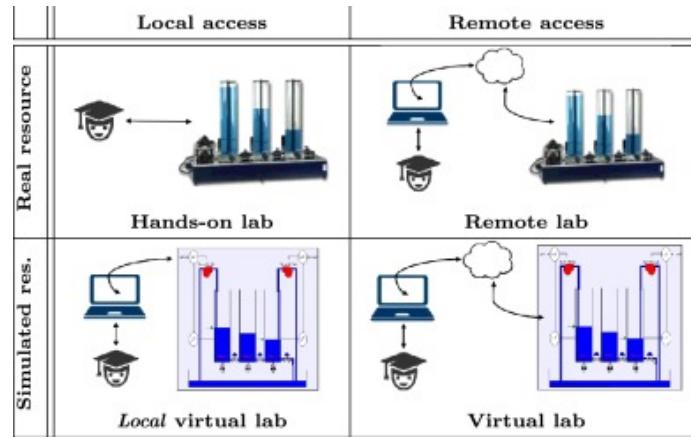


Figura 2.2: Tipos de laboratórios consoante a localização, Heradio, de la Torre & Dormido, (2016) [53]

Este tipo de laboratórios é criado através da combinação de laboratórios físicos e/ou laboratórios *online*/remotos [57]. Seguem-se alguns exemplos de configurações possíveis:

- Acesso a um laboratório real (no local) com acesso local a um Laboratório Virtual (LV) - experiência já realizada em contexto de sala de aula: os alunos testam o circuito no *multisim online*, antes de o testarem na placa branca;
- Acesso remoto a um laboratório real (no local) e acesso remoto a um LV - experiência a realizar com os alunos, por exemplo, acedendo ao VISIR e simulando o circuito no *multisim online*;
- Acesso remoto ao laboratório real (no local) e acesso local a um LV - experiência idêntica à referida no ponto anterior com o *multisim online* a ser substituído pela versão instalada no PC.

Portanto, a forma como são classificados os laboratórios, segundo Heradio, de la Torre & Dormido,(2016), [53], representados na Figura 2.2 - enquadrar-se melhor nos conceitos e objectivos abordados neste capítulo:

- Acesso local;
 - Laboratório real
 - LV
- Acesso remoto.
 - Laboratório remoto
 - LV

Uma questão de conceitos

Antes de mais importa clarificar os conceitos de “laboratório virtual” e “simulador” (válida para as versões *online* e locais), já que estas duas definições se sobrepõem na maioria dos casos. Alguma literatura, trabalho de investigação ou informação *online* usam já o termo “laboratório virtual” [8][45][58], visto que a montagem nesses sistemas é feita de forma a ter semelhança física com um laboratório real. No entanto, o propósito é o mesmo: o de **simular**.

Uso em sala de aula - REFERIR??

Nestes dois exemplos demonstrativos⁸ - apresentados na Figura 2.3 - o *Tinkercad*⁹ é um LV e um simulador. O *Multisim*¹⁰, por sua vez, é um simulador, já que a montagem dos circuitos não tem semelhança física com os circuitos montados num laboratório real.

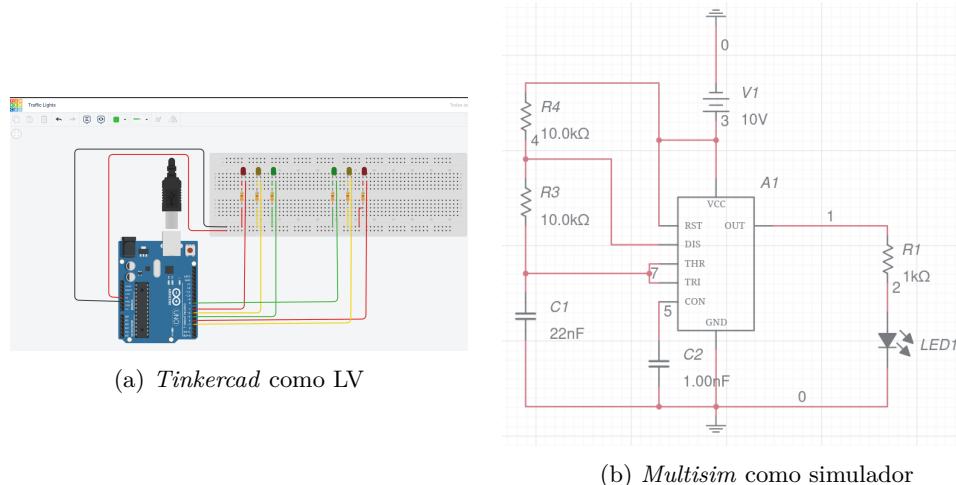


Figura 2.3: LV vs simulador

Na Figura 2.4, apresentamos outro exemplo de um LV recorrendo ao *Fritzing*, que também é um simulador: Tal como foi referido anteriormente, não há um consenso na forma como são denominadas estas ferramentas. Faiña, (2022), [59], refere-se ao *Tinkercad* como sendo um simulador, “Existem vários simuladores destinados a estudantes de eletrónica, como o *TinkerCAD*”. No entanto, no mesmo trabalho de investigação, refere que “O simulador apresentado neste artigo é implementado no *Fritzing*(...).” [59]. Já Knörig, Wettach e Cohen, (2009), no seu artigo ”*Fritzing: a tool for advancing electronic prototyping for designers*“ referem que “(...) decidiu permitir ao utilizador documentar o seu protótipo de trabalho baseado numa placa de ensaio com uma metáfora visual que imita a situação do utilizador no mundo real.” [60].

⁸ *Multisim* disponível em link

⁹ <https://www.tinkercad.com/>

¹⁰ <https://www.multisim.com/>

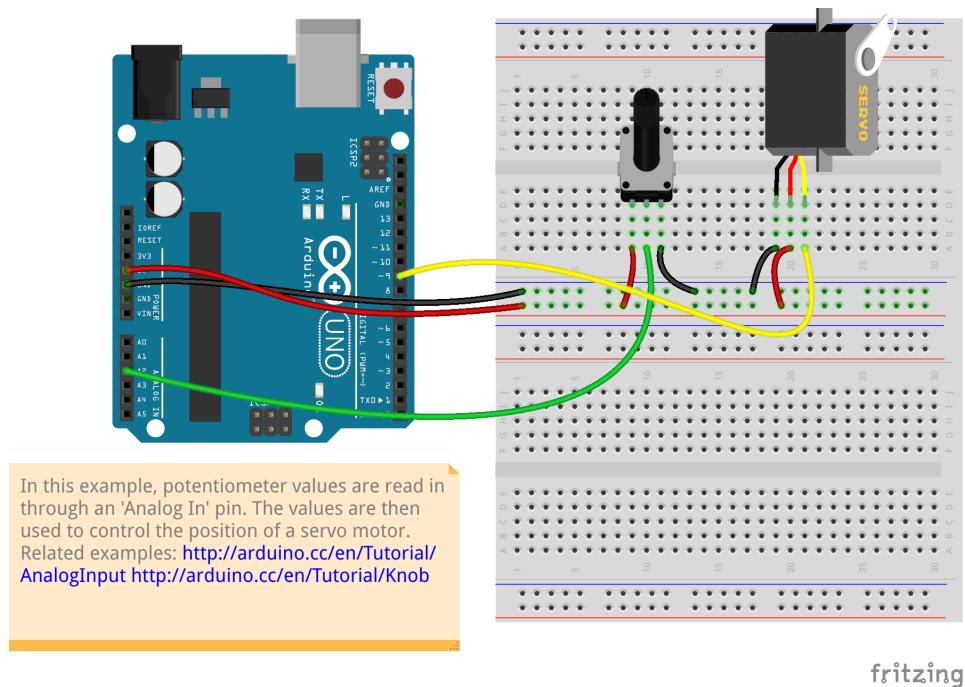


Figura 2.4: Fritzing (Exemplo)

Além disso, “(...) um laboratório virtual pode ser definido como um ambiente no qual as experiências são conduzidas ou controladas parcial ou totalmente através de operação, simulação e/ou animação por computador, quer localmente, quer remotamente através da *Internet*.” [61]. Os laboratórios virtuais oferecem aos alunos um conjunto de oportunidades diferentes, não só como substituto, mas também como complemento dos laboratórios reais.

Assim sendo, e sem prejuízo para os assuntos abordados nesta dissertação, já que não existe uma uniformização dos critérios no que toca às definições e conceitos, é seguro considerar que todos os laboratórios virtuais são simuladores. Heying, Kejie e Jiang, (2010), [62] e Umenne, Hlalele, (2020), [63] consideram nos seus trabalhos de investigação o *Multisim*[64] como um LV. Este conceito é, pois, abrangente o suficiente para abranger o que se entende por simuladores. Doravante, neste documento, serão considerados e utilizados os termos “laboratório virtual” ou “laboratórios virtuais”.

Laboratório real

link para não esquecer <https://digital.dge.mec.pt/laboratorios-de-educacao-digital>

Neste tipo de laboratórios, os alunos têm à sua disposição os recursos, o equipamento e os materiais físicos necessários para realizar experiências, analisar dados, desenvolver competências de trabalho em equipa e cultivar o interesse pela ciência,

por exemplo. Estas competências são cruciais para muitas carreiras e profissões, especialmente as relacionadas com a ciência, a tecnologia, a engenharia e a matemática - STEM.

Além disso, os laboratórios podem ajudar a melhorar a compreensão dos alunos sobre o processo científico e a importância da investigação científica.

O grande problema dos laboratórios reais é a falta de condições e recursos para os equipar de forma adequada de modo a que possam apoiar, por exemplo, uma turma de trinta alunos. Este não é um problema exclusivamente português, uma vez que, de um modo geral, “a quantidade de trabalho prático em laboratório no ensino da engenharia tem vindo a ser reduzida pouco a pouco durante as últimas décadas do século passado” [65].

No mesmo artigo [65] são referidas as principais razões para a diminuição dos laboratórios reais, o que curiosamente reflecte o que se passa atualmente no sistema educativo português:

- Número excessivo de alunos por turma [66] - embora o número tenha sido reduzido para entre 23-28, para aplicar o ensino laboratorial em contexto de sala de aula, os recursos materiais necessários seriam incomportáveis;
- Falta de investimento[38], [39], [40] - falando por experiência própria, em todas as escolas por onde passamos, a falta de verbas (ou a demora em recebê-las...)” foi constante; - **A REVER esta afirmação**
- Custos excessivos dos laboratórios - no contexto português e face a este número de alunos, a montagem e manutenção de um laboratório desta natureza seria demasiado dispendiosa, para além de que os laboratórios não estariam disponíveis durante o tempo que seria desejável;
- Falta de professores/Poucos professores - “Nos próximos sete anos, segundo números do *Conselho Nacional de Educação*, cerca de 20 mil professores do ensino público irão reformar-se. Atualmente, mais de metade dos professores tem 50 anos ou mais.” [67].

Sendo assim, que estratégias foram usadas para mitigar estes entraves?

Falando especificamente nos laboratórios do ensino secundário e por experiência própria, uma forma encontrada para equipar os laboratórios passa pela aquisição de *microcontroladores* (μ C) - nomeadamente, *Arduinos*, *ESP32* ou *RaspberryPI*. Todos estes dispositivos - em conjunto com a vasta variedade de sensores disponíveis - já são amplamente utilizados em ambientes educacionais e de pesquisa para a prototipagem rápida, experimentação e aprendizagem prática em engenharia e diversas disciplinas, como eletrónica ou física. Têm como principal vantagem o custo-eficácia. Estes dispositivos e os sensores são relativamente baratos em comparação com equipamentos de laboratório tradicionais, tornando-os acessíveis para escolas e universidades

com orçamento limitado. A comunidade de suporte e a documentação é vasta e isso facilita a aprendizagem e a implementação de projetos por estudantes e professores. Com uma enorme gama de sensores e módulos disponíveis no mercado, estes dispositivos podem ser utilizados para criar uma infinidade de experiências e projetos, desde simples medições de temperatura, passando pela robótica até complexos sistemas de automação e controlo. Em Portugal existem uma série de eventos e competições robóticas, que se destinam a promover o espírito inovador e empreendedor dos alunos, através de métodos activos de ensino, assim como a aquisição de competências transversais. Permitem, ainda, por em prática as aprendizagens realizadas em contexto de sala de aula e em ambiente laboratorial [68][69][70]:

- *RoboParty*;
- Festival Nacional de Robotica;
- *Cansat*.

Yoder (2015) [71], desenvolveu uma alternativa ao laboratório tradicional recorrendo ao *Arduino*: “(...) a plataforma Arduino estimulou o interesse e o envolvimento dos alunos desde o início. Vários alunos começaram a alargar os projectos para além dos requisitos na terceira semana de aulas.”

Graven, *et al.*(2018), [72], citados por Plaza, *et al.*,(2018), [73] referem que “(...) No domínio da educação, o *Arduino* é também muito utilizado. Os estudantes de engenharia electrotécnica podem aceder a um laboratório compacto para trabalhar quando e onde quiserem.”. O mesmo autor refere ainda que “(...) Tal como foi demonstrado por muitas experiências e trabalhos, a robótica combinada com STEM constitui uma forma atractiva de transformar conceitos aborrecidos num processo de aprendizagem divertido.”

Marzoli *et al.*,(2021), [74], no trabalho de investigação “*Arduino: From Physics to Robotics*”, discutem vários pontos e questões, entre os quais se o *Arduino* pode melhorar a prática laboratorial no ensino secundário italiano e mudar as atitudes dos alunos em relação às disciplinas STEM e “Como melhorar as práticas laboratoriais no ensino secundário, tendo em conta os orçamentos e as instalações limitadas disponíveis?” As conclusões a que chegaram ajudam a revelar a potencialidade do *Arduino* em contexto laboratorial: “A interação profícua entre professores com diferentes formações foi fundamental para a concepção de novas soluções e a exploração de novas aplicações.(...) Assim, o *Arduino* pode ser considerado como uma espécie de micro-laboratório (...)”[74].

As possibilidades oferecidas por estes dispositivos - nomeadamente, o *Arduino* - em contexto de sala de aula e como parte de um laboratório, são imensas, permitindo a realização de uma vasta variedade de projetos inovadores. Esta flexibilidade faz dele uma ferramenta valiosa para a educação e a investigação, facilitando a aprendizagem prática e o desenvolvimento de competências em eletrónica e programação.

Uso em sala de aula - REFERIR??



(a) Tinkercad como LV



(b) Tinkercad como um simulador online

Figura 2.5: Tinkercad

Colocar fotos?

dar mais algum exemplo do que existe? PocketLAb?

osciloscópio portátil DSO NANO?

Projecto de uma caixa de sistemas digitais?

A REVER - opinião PROF

Laboratório virtual - Acesso local e/ou remoto

Um LV é uma poderosa ferramenta que utiliza modelos matemáticos para emular dispositivos reais. Atualmente, os programas de simulação por computador são um padrão de desenvolvimento de produtos aceite pela indústria e são amplamente utilizados no ensino [53] [54].

No fundo, a diferença entre o acesso remoto e local prende-se com a forma de acesso ao LV. Dos programas usados em contexto de sala de aula, só um possui uma versão remota e local: *Multisim*[64]. As diferenças situam-se ao nível da interface gráfica e, sobretudo, na quantidade de recursos disponível, sendo que na versão local é obviamente muito mais extensa e completa, como se pode ver na Figura 2.6 e Figura 2.7.

O *Tinkercad*[75] só tem versão *online*, embora se possa instalar um *plug-in* no PC, que dispensa o uso do navegador. O *Fritzing* [76] é acedido localmente, não tendo versão *online*.

Estes programas de simulação oferecem aos alunos um conjunto de diferentes oportunidades, não só como substituto, mas também como complemento aos laboratórios reais[77]. Os alunos podem fazer experiências arriscadas sem se porem em perigo. Considerando o nosso caso pessoal, numa turma com 20 ou mais alunos e

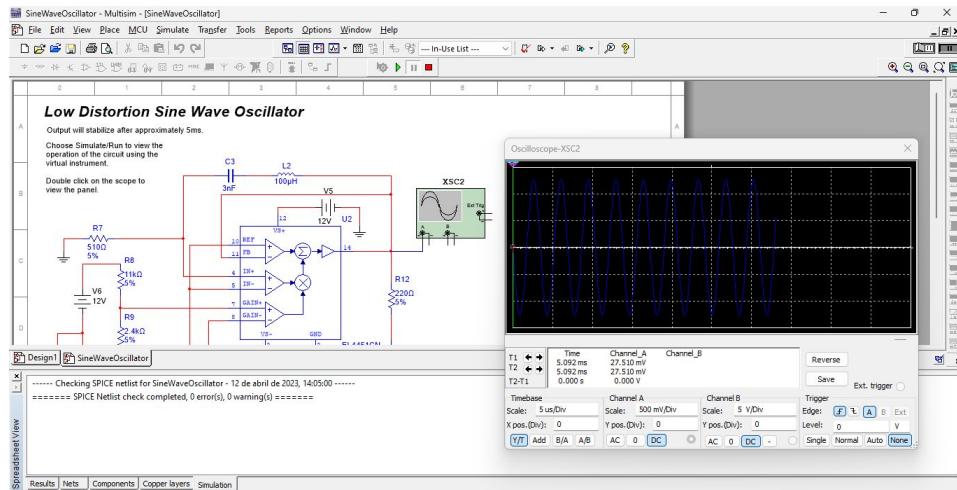


Figura 2.6: Multisim local

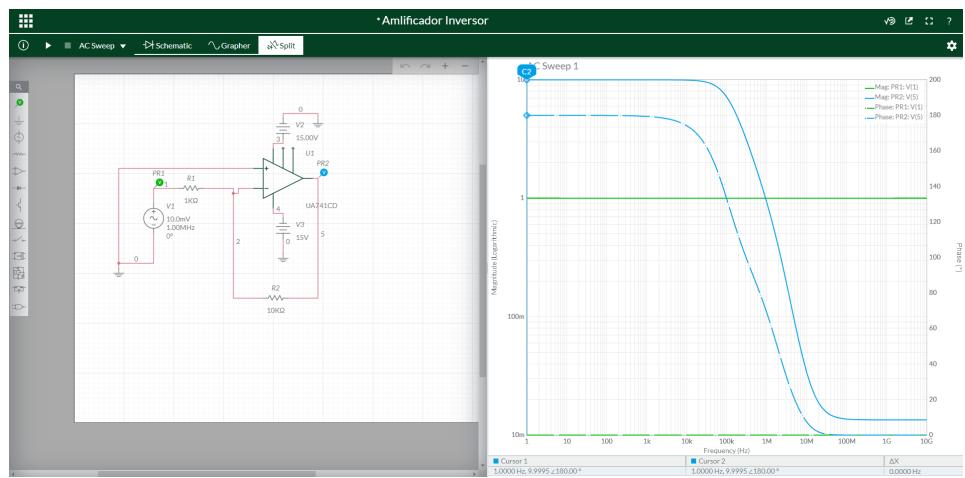


Figura 2.7: Multisim remoto

numa primeira fase, é mais seguro simular um circuito de potência utilizando componentes como TRIAC, DIAC ou SCR. O complemento poderá vir com a montagem real.

Os laboratórios virtuais permitem a verificação e o ensaio de circuitos analógicos e digitais complexos. Têm a capacidade de reproduzir componentes reais com precisão suficiente. As faculdades e universidades de todo o mundo introduzem habitualmente este tipo de *software* de simulação nos cursos de engenharia. Uma vez que todos os circuitos são virtuais, os estudantes podem trabalhar e experimentar uma vasta gama de elementos possíveis sem o perigo de danificar ou destruir o equipamento.

esta frase pode ficar mais à frente em jeito de conclusão Já foi visto na secção 2.4.1 - **REVER A REFERÊNCIA** que os resultados não são prejudicados pela utilização dos LRs. **IMPORTANTE - REferências - há um trabalho para apresentar como referência** No caso de versão do LV ser remota, as vantagens são semelhantes às de trabalhar com qualquer programa na nuvem:

- Não há necessidade de instalar *software* adicional no computador (versão *online*);
- Desde que a velocidade da *Internet* seja estável, o simulador pode ser acedido em qualquer lugar;
- Os circuitos são guardados e armazenados na nuvem;
- É ideal para trabalhos colaborativos e partilha de recursos.

No entanto, se o LV for apresentado uma versão de acesso local, ou seja, que é instalada no PC, é óbvio que estas vantagens não se aplicam.

Mas as vantagens dos LVs vão muito para além das descritas em anteriormente [78][79][80][81]. Oferecem um ambiente seguro para a realização de experiências complexas e (potencialmente) perigosas, reduzindo os riscos para os estudantes e professores. Os estudantes podem progredir ao seu próprio ritmo e repetir as experiências as vezes que forem necessárias, estando os laboratórios acessíveis a qualquer altura e em qualquer lugar. Os laboratórios virtuais são, por inerência, mais baratos, de fácil instalação e manutenção e - a juntar a estes factos vantajosos - há ainda informação de ajuda e tutoriais *online*.

Mas os laboratórios virtuais também têm as suas desvantagens. A principal pretende-se com o desfasamento da realidade. Pegando no exemplo anterior - a simulação de circuitos de potência - o facto de nada de mau poder acontecer pode levar a uma atitude de irresponsabilização ou falta de cuidado, já que o estudante pode ser levado a pensar que nada de grave poderá acontecer [54]. Há sempre contrangimentos no que diz respeito à evolução tecnológica dos sistemas que suportam o LV, assim como à disponibilidade de uma ligação à *Internet* adequada ao seu uso.

Se não for usado em contexto de sala de aula, o LV reduz a interação direta entre os alunos e entre estes e os professores, uma vez que a comunicação é sobretudo feita *online*. Além do mais, exige do aluno mais iniciativa e autonomia. Há ainda a referir algumas vantagens que se podem tornar desvantagens. O facto de o aluno poder testar e simular vezes sem conta, acabará por lhe retirar sensibilidade quando utilizar os laboratórios e componentes reais; a imensa quantidade de informação disponível *online* terá que ser “filtrada” pelo aluno[54][81][82][83].

Um dos principais simuladores disponíveis gratuitamente, embora com limitações de funcionalidades, usado numa base regular em contexto de sala de aula, é o *Multisim*[64]. Em tempos de confinamento, este LV foi um “salva-vidas”. Existe também uma versão *premium* que oferece acesso a uma gama mais completa de recursos *online* e uma versão que pode ser instalada no PC. (O funcionamento destas duas versões é em tudo idêntico, portanto, quando nos referirmos ao *Multisim*[64], entende-se as duas versões, sem perda de generalidade. Nos casos em que houver necessidade de distinção, esse facto será devidamente referenciado). Este *software* integra a simulação virtual Simulation Program for Integrated Circuits Emphasis (SPICE) padrão da indústria com um ambiente esquemático interativo para visualizar e analisar instantaneamente o comportamento de circuitos electrónicos. É uma ferramenta poderosa que utiliza modelos matemáticos para simular componentes reais, dispositivos ou circuitos com uma precisão muito boa, através de um navegador *web*. Fornece uma plataforma para “colmatar” a lacuna entre a teoria dos manuais e os circuitos reais e também proporciona aos estudantes uma boa plataforma para experiências abrangentes e inovadoras[64].

Além disso, dispondo de poderosas funcionalidades de aprendizagem e integração de *hardware* de laboratório, o *Multisim* ensina aos alunos conceitos fundamentais de eletrónica analógica, digital e de potência presentes em todo o currículo de engenharia e ciências [84].

Citando Heying, Kejie e Li, (2010), “(...) podemos concluir que a criação de uma plataforma de simulação virtual através do *Multisim* num computador permite construir facilmente todo o tipo de circuitos. (...) Seguem-se os comentários de alguns alunos:”

- “O ensino experimental utilizando o *Multisim* é uma boa abordagem para me ajudar a compreender as matérias;”
- “Gostei de trabalhar na plataforma de simulação virtual *Multisim*;”
- “A simulação *Multisim* ajudou-me a compreender melhor as experiências.”

Os mesmos autores concluem que: “O laboratório virtual [*Multisim*] desempenha um papel muito importante na atualização do método de ensino experimental, na melhoria da qualidade do ensino dos cursos em circuito e na otimização do efeito do ensino.”[85]

Outro laboratório bastante usado em contexto de sala de aula foi criado e desenvolvido por *Paul Falstad*, em 1985 e está disponível em *Falstad* [86]. Este LV é livre e de código aberto [87]. Funciona num navegador *web* como uma *applet JAVA*. É também importante por ser de fácil interacção e pela simplicidade na representação de circuitos eléctricos, aspectos muito importantes para os recursos multimédia nas áreas da electrónica e da electricidade¹¹.

Além disso, o simulador *Falstad* tem sido desenvolvido como uma aplicação de *Internet* há muitos anos, segundo da Silva *et al.*, (2011), [89], citados por *Falstad*, (2024), [86].

O principal problema é que, devido à falta de parametrização avançada e de um modelo matemático, este LV não se destina a engenharia profissional ou real. No entanto, para fins didácticos, é muito eficaz. Por exemplo, é de referir que:

- Os pontos amarelos animados representam correntes e os seus movimentos demonstram um fluxo de cargas eléctricas em "tempo real";
- De acordo com a direção do fluxo da corrente, a cor do fio é representada por verde ou vermelho, tendo em conta a direcção do fluxo da corrente;
- Os componentes mostram diferentes tensões no circuito;
- As formas de onda também são representadas;
- Podem ser representados e controlados diferentes tipos de interruptores, por exemplo, para fazer variar frequência e/ou tensão, Figura 2.8, o que permite o utilizador observar os processos transitórios;
- A velocidade da simulação e a corrente também podem ser controladas.

A variedade de laboratórios virtuais no contexto da electrónica é muita, pelo que só referimos os mais usados em contexto de sala de aula. No entanto, outras soluções seriam de considerar, tais como:

- *Tinkercad* - é uma aplicação *online* gratuita para projetos 3D, de eletrónica e de programação;
- *Fritzing* - a interface é muito semelhante à do *TinkerCad*, com a excepção de não poder realizar simulações, no entanto, fornece uma variedade muito maior de componentes do que o *TinkerCad*;
- *Wokwi*[90] - LV que usa as mais variadas placas que simulam o *Arduino*, *ESP32*, *STM32*, *RaspberryPi Pico* e uma grande variedade de sensores[90].

FALTA AQUI UMC CONCLUZÃOZINHA

¹¹Para sermos mais rigorosos, este LV não se cinge somente aos circuitos electrónicos, ligando-se também a outros ramos da ciência como a termodinâmica, a mecânica quântica, o processamento de sinal, etc. [88]

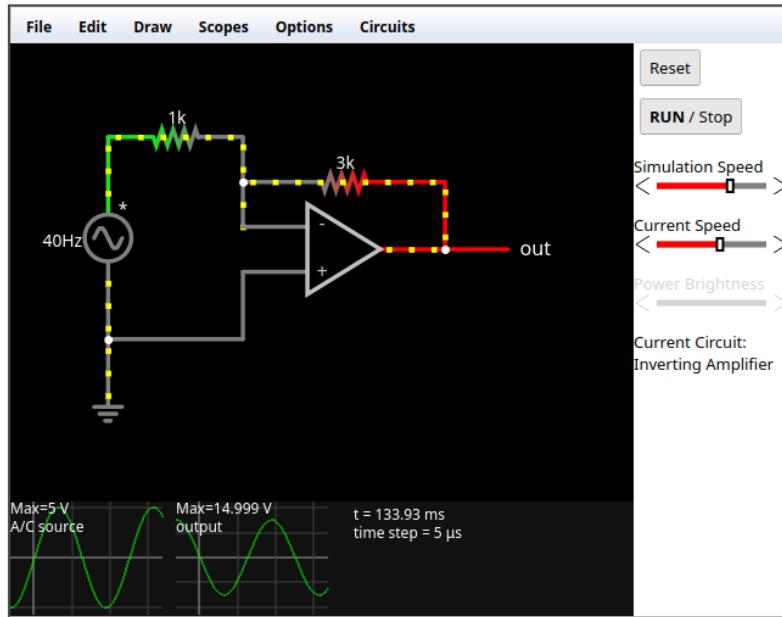


Figura 2.8: Falstad - amplificador inversor[86]

Laboratório remoto

Alguns dos problemas dos laboratórios reais já foram abordados ao longo destes dois capítulos. As vantagens são bastante evidentes e prendem-se, sobretudo, com a possibilidade de os alunos trabalharem utilizando recursos físicos. No entanto, no ensino secundário, nem sempre é possível ter acesso a esses recursos, quer por dificuldades em obter os fundos necessários para manter um laboratório, quer porque é simplesmente incomportável montar um laboratório onde vinte ou vinte e quatro alunos possam realizar experiências ao mesmo tempo. No ensino superior, em que, pelo menos teoricamente, os alunos são mais autónomos do que no ensino secundário, o principal problema é a disponibilidade de laboratórios fora das aulas normais.

Numa época em que a tecnologia é cada vez mais encarada como um facilitador no processo de ensino/aprendizagem, a utilização de laboratórios remotos é cada vez mais comum e generalizada. Além disso, os laboratórios remotos apresentam algumas vantagens em relação aos laboratórios reais e mesmo aos simuladores [91], tais como: flexibilidade, acessibilidade, disponibilidade e segurança.

ATENÇÃO AOS ACRÓNIMOS DESTE PARÁGRAFOEstes tipos de laboratórios - que incluem, por exemplo, o VISIR, o *LabsLand*¹² ou o *WebLab-Deusto*¹³ - permitem que professores/investigadores e alunos accedam a equipamentos e/ou computadores através da Internet para realizar experiências e tarefas laboratoriais sem estarem no espaço físico dos laboratórios [92].

¹²<https://labsland.com/en>

¹³<https://weblab.deusto.es/website/>

Num LR, a interação tem lugar à distância com a ajuda da infraestrutura remota. Esta é uma nova camada que se situa entre o utilizador e o equipamento do laboratório. É responsável pela transmissão das acções do utilizador e pela receção da informação sensorial do equipamento. Várias investigações mostram que os estudantes podem efetivamente aprender com a utilização de laboratórios remotos e também de laboratórios virtuais, obviamente se estiverem empenhados no que estão a estudar [91].

De acordo com Viegas *et al.*, (2018)[51], citando Brinson, (2015)[8] e Corter *et al.*, (2011)[10], os resultados obtidos com simuladores e laboratórios remotos podem ser considerados semelhantes ou mesmo superiores aos dos laboratórios práticos reais. No entanto, uma abordagem à aprendizagem laboratorial que utilize uma combinação de laboratórios práticos, simulações e procedimentos de laboratórios remotos parece ser a forma mais eficaz de aprendizagem, tirando partido dos benefícios dos três [8].

Esta mesma conclusão foi obtida por de Mel e Samaranayaka, (2017), no estudo intitulado “Extending the boundaries of remote laboratory by providing hands on experience”. Citando os autores: “(...) os estudantes estão disponíveis a usar o LR juntamente com o real (...)”, mas “(...) não aconselham a total substituição (...).” O estudo conclui, ainda, que não há grande diferença entre o laboratório real e remoto, sendo que os conhecimentos adquiridos são (praticamente) os mesmos[93].

Podem ser considerados outros estudos que, por exemplo, comparem laboratórios reais (práticos) e simulados, laboratórios reais e virtuais. De facto, Corter *et al.*, (2007) concluem que “(...) os laboratórios remotos e simulados podem ser pelo menos tão eficazes como os laboratórios práticos tradicionais no ensino de conceitos específicos da disciplina”[94]. Outro estudo feito por Kocijancic e O’Sullivan, (2004) conclui que “(...) não se trata de saber se é melhor utilizar experiências reais ou laboratórios virtuais no ensino das ciências, uma vez que ambas as abordagens, utilizadas de forma complementar, podem contribuir para uma aprendizagem ativa mais eficaz.” [95]. Tsihouridis *et al.*, (2019), concluem também que “não há um vencedor final nesta controvérsia intemporal entre os dois ambientes de laboratório experimental, de acordo com a nossa investigação.” [96].

Assim, através de estudos efectuados, será seguro afirmar que os laboratórios remotos são a melhor alternativa aos tradicionais em termos de baixo custo e ubiquidade, e algumas universidades já começaram a recorrer a laboratórios remotos nas suas sessões práticas[97]. **REVER esta frase em jeito de conclusão!**

De facto, de acordo com Nafalski *et al.*, (2010)[98], citando Auer e Gravier, (2009)[99] as razões para o crescimento dos laboratórios remotos em engenharia e ciência prendem-se com:

- A crescente complexidade das tarefas de engenharia;

- O equipamento cada vez mais especializado e dispendioso, as ferramentas de software e os simuladores necessários;
- A necessidade de utilizar equipamentos e ferramentas de *software*/simuladores dispendiosos em projectos com prazos curtos (como os apresentados em [92]);
- A aplicação de equipamentos de alta tecnologia necessários em pequenas e médias empresas;
- A necessidade de pessoal altamente qualificado para controlar os novos equipamentos;
- As exigências da globalização e da divisão do trabalho.

No entanto, se se pretende, segundo Fan, Evangelista e Indumathi, (2021), [29], citando Tawfik *et al.*(2016)[91], Chen *et al.*, (2010)[100] e Simão *et al.*, (2014), [101], incorporar os laboratórios remotos com Industry 4.0, já discutidas no Capítulo 1, tem vantagens óbvias:

- Os estudantes podem fazer os exercícios da disciplina ao seu próprio ritmo e de acordo com o seu nível de interesse;
- A quantidade de tempo (muitas vezes horas extraordinárias) que os professores têm de despender na preparação e ensino dos laboratórios pode ser reduzida;
- Podem ser efectuadas várias experiências utilizando a mesma configuração;
- Os laboratórios remotos permitem o acesso de um maior número de utilizadores, o que significa que a sua instalação acaba por ser mais barata do que a dos laboratórios físicos;
- Os laboratórios remotos estão acessíveis 24 horas por dia, 7 dias por semana;
- Os laboratórios remotos podem ajudar a reforçar o trabalho autónomo dos alunos;
- Os laboratórios remotos são mais seguros, tanto para o utilizador como para o equipamento ou software, uma vez que estão fisicamente separados e são orientados para a tecnologia.

Embora os laboratórios remotos ofereçam muitas vantagens, como as descritas em cima, é importante estar ciente das suas desvantagens (muitas delas comuns com as descritas para os laboratórios virtuais). A falta de interacção física directa, a dependência da ligação com a *Internet*, os desafios técnicos e de manutenção, a experiência de aprendizagem menos imersiva e a limitação da interação com colegas e professores são pontos críticos que devem ser considerados ao implementar esses laboratórios. No entanto, a principal desvantagem dos laboratórios remotos, prende-se

com a complexidade da sua implementação. Como os LR_s seguem uma arquitectura cliente-servidor, além do servidor é ainda necessário ter em conta a questão do *hardware* e a sua integração com o *software* que pode, ou não, ser proprietário. Há ainda a questão essencial da forma como os utilizadores accedem ao laboratório. Isto levanta problemas de largura de banda, que restringe o número de utilizadores que podem aceder simultaneamente ao LR [53].

Sendo assim, os laboratórios remotos não são simplesmente uma versão reduzida de um laboratório real (prático), mas uma abordagem diferente com pontos fortes e fracos alternativos, oferecendo novas oportunidades que não são proporcionadas pelas abordagens tradicionais. No final, se forem combinados e complementados com laboratórios reais e simulações, é possível tirar partido das vantagens que estes três tipos de laboratórios proporcionam.

Existem muitos tipos de laboratórios nos mais variados campos da ciência (Física, Electrónica, Robótica ou Química) e com os mais variados tipos de arquitectura de *hardware* e *software*. Apesar de não estar no objectivos desta dissertação um estudo aprofundado desta matéria, ficam alguns exemplos que esclarecem e atestam o quanto vasto, complexo e variado é este assunto. **vale a pena fotos? PROF?**

Dentro dos laboratórios remotos que existem e actualmente estão activos, destacam - se os seguintes:

- VISIR - é um LR que interliga vários componentes reais, que podem ser ligados para realizar diferentes tarefas e para construir circuitos específicos concebidos pelo utilizador final, como se pode ver na Figura 2.15; permite a estudantes e professores fazerem medições reais em circuitos reais, algo que não é possível em simulações; será discutido com mais pormenor mais adiante;
- A Universidade de *Deusto*, em Bilbao tem disponível uma conjunto de LR_s, que inclui o VISIR, o comando de um robô através de um *Arduino* ou a programação de uma *Field Programmable Gate Array* (FPGA);
- *iSES*¹⁴ - tem várias experiências remotas que abrangem diversas áreas da ciências, como Física, Electrónica, Radioactividade, Electromagnetismo, etc.
- *OpenSTEM*¹⁵ - estes laboratórios têm uma colecção de experiências abrangendo áreas científicas que vão desde a saúde, engenharia ou observatórios;
- *Remote-LAB GymKT*¹⁶ - Várias experiências que vão desde o controlo de um braço robótico através de um *Arduino* até experiências no campo da física e da electrónica;

¹⁴<https://www.ises.info/index.php/en/systemises/sdkisesstudio>

¹⁵<https://learn5.open.ac.uk/>

¹⁶<http://remote-lab.fyzika.net/>

No entanto, a implementação dos laboratórios remotos assenta sobre as mais variadas, e complexas, soluções.

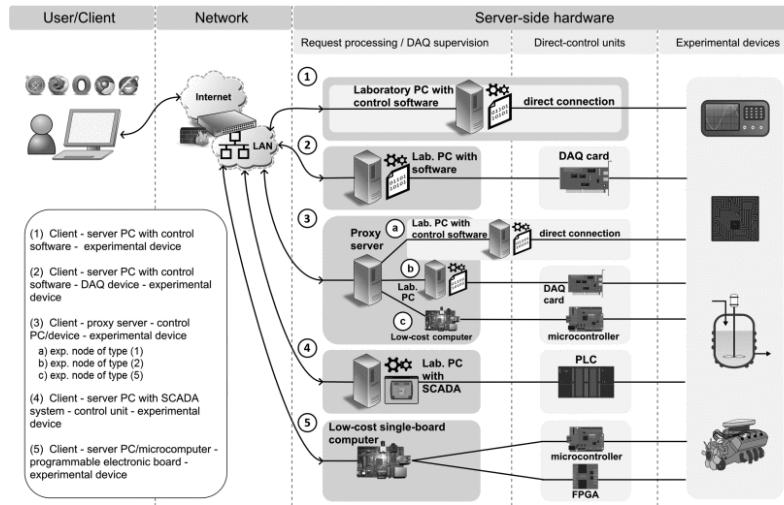


Figura 2.9: Diferentes tipos de arquitectura (resumo)

Segundo Kalúz *et al.*, (2015), Figura 2.9, os tipos mais frequentes de arquitecturas são[102]:

- Cliente-servidor com *software* de controlo - dispositivo experimental: este tipo de arquitetura muito comum utiliza uma ligação direta entre o PC(servidor) e o dispositivo controlado, por exemplo, através de uma porta série ou *Universal Serial Bus* (USB);
- Cliente-servidor com *software* de controlo - dispositivo de aquisição de dados (*Data Acquisition* (DAQ));
- Configuração experimental remota com funcionalidade muito semelhante à anterior; a única diferença é que o dispositivo de aquisição de dados (normalmente uma placa DAQ) é uma parte separada da arquitetura;
- Nós cliente-servidor-*proxy*-laboratório (PC + unidade de controlo)-dispositivos experimentais: este tipo, também conhecido como arquitetura ramificada, oferece uma maior capacidade de possíveis ligações experimentais do que qualquer outra arquitetura;
- Cliente-servidor com sistema de controlo de supervisão e aquisição de dados (*Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA)) - unidade de controlo - dispositivo experimental: a combinação do sistema SCADA com uma unidade de controlo (*Programmable Logic Controller* (PLC) ou outro controlador de *hardware*) é uma das abordagens industriais mais frequentemente utilizadas;

- Cliente - servidor/microcomputador - placa eletrónica programável - dispositivo experimental: as abordagens muito populares nos últimos anos, também frequentemente designadas na literatura como de baixo custo, baseiam-se em placas programáveis como as FPGA, microcontroladores *Arduino* e alternativas baratas aos computadores normais (por exemplo, computadores de placa única baseados na arquitetura *Advanced RISC Machine* (ARM), como RaspberryPI, entre outros);
- *Multipurpose Hardware and Software Architecture (MHSA)*: é composto por uma arquitetura de *hardware*, baseada em dispositivos industriais, que permite ao programador ligar vários tipos de experiências à sua configuração física, limitada apenas pelas capacidades de ligação dos nós experimentais e por um *software* baseado na *web* do lado do cliente, que proporciona uma grande versatilidade tanto para a implementação final como para a utilização; desde o início, o MHSA foi desenvolvido como uma arquitetura para a implementação de laboratórios de sistemas de controlo, sem ter em conta a utilização de dispositivos específicos, reduzindo o *back-end* a um conjunto de sinais.

Fabregas *et al.*, (2011), utilizam o *Simulink*, do lado do servidor, e o *Easy Java Simulations* (EJS), do lado do cliente, para realizar a implementação do LR[103], Figura 2.10. Ainda no mesmo artigo - Lazar e Carari, (2008) - desenvolveram um

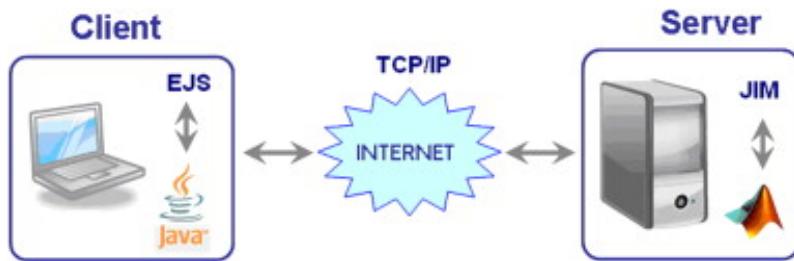


Figura 2.10: Implementação cliente-servidor MATLAB-EJS

LR baseado no *software LOOKOUT SCADA* da *National Instruments* (NI), [104] citado por [103]. Por sua vez, Dormido *et al.*, (2008), desenvolveram um LR, em que o *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW)* estava implementado no servidor, [105] citado por [103]. Em ambas implementações foi utilizada uma arquitectura cliente-servidor.

A *Distance Internet-Based Embedded System Experimental Laboratory (DIESEL)* é outro tipo de arquitectura que é aplicada na implementação de laboratórios remotos. A abordagem cliente-servidor do DIESEL utiliza uma arquitetura de *software* distribuída, desenvolvida com a tecnologia *Microsoft .NET*. É constituída por uma aplicação cliente, um determinado número de estações de trabalho experimentais que alojam aplicações servidoras individuais, um servidor *Web* que aloja

uma base de dados, um serviço *Web* e um sistema de reservas baseado na *Web* [106], como se pode ver na Figura 2.11.

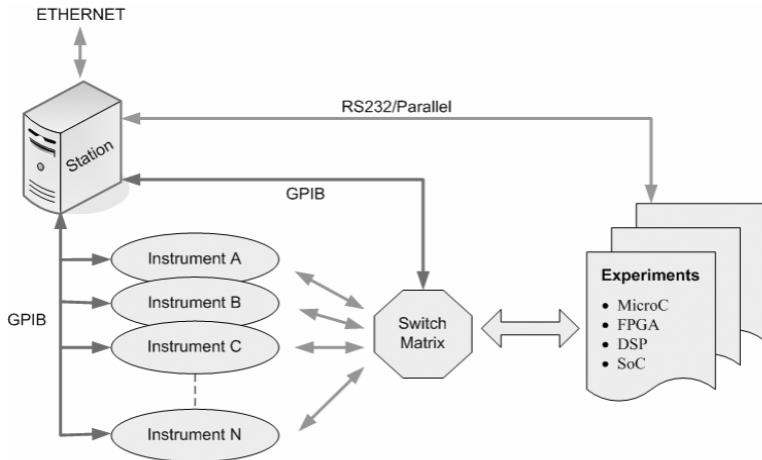


Figura 2.11: Arquitectura DIESEL (genérica)[106]

Jacko *et al.*, (2022) - no seu artigo “Remote IoT Education Laboratory for Microcontrollers Based on the STM32 Chips” - descrevem a implementação de um LR que utiliza o *Microsoft Visual Studio 2019* do lado do servidor [107].

Candelas *et al.*, (2003), implementaram um LR dedicado ao ensino da robótica em que a “ponte” entre a experiência e o utilizador é feita através de *Java Applet*.

No entanto, a implementação dos LRs vai muito para além dos conceitos abordados anteriormente, a **Interoperabilidade** torna possível a integração de diferentes LRs mas levanta outro tipo de problemas, como sendo a gestão dos LRs e funcionalidades, autenticação, autorização ou gestão de utilizadores. Este facto abriu espaços à criação de serviços que pudessem gerir estas funcionalidades, comumente designados por *Remote Laboratory Management System* (RLMS). Trata-se de *software* de gestão que pode suportar vários laboratórios remotos (por exemplo, um laboratório de robótica e um laboratório de eletrónica ao mesmo tempo) e fornece autenticação, autorização, gestão de utilizadores, monitorização de utilizadores e agendamento, bem como *Application Programming Interface* (API)s para desenvolvimento de novas funcionalidades e laboratórios [108].

A *iLab Shared Architecture* (ISA)¹⁷, Figura 2.12, é uma arquitetura de software, desenvolvida pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), que oferece aos criadores e utilizadores dos LRs uma estrutura comum para utilizar, partilhar e disponibilizar mecanismos para a partilha de LRs numa arquitetura distribuída baseada em serviços *Web*, gerindo o agendamento e a manutenção de sessões de laboratório durante a execução de uma experiência[109]. Os utilizadores accedem a estes LRs através de um início de sessão único e de uma interface administrativa

¹⁷<https://icampus.mit.edu/projects/ilabs/#architecture>

normalizada simples. O projeto ISA demonstrou que a utilização de laboratórios pode ser alargada a milhares de estudantes dispersos globalmente[110][111]. Zutin, Auer e Gustavsson, (2011), apresentaram uma solução para integrar o VISIR no ISA[112].

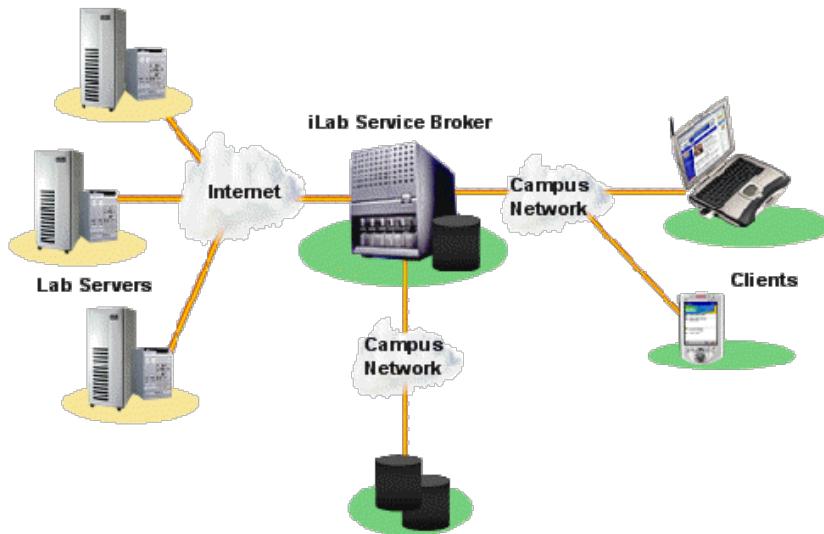


Figura 2.12: Arquitectura ISA[111]

O *WebLab-Deusto* é uma iniciativa desenvolvida pela Universidade de Deusto¹⁸, Bilbao, e consiste num sistema de gestão de LR de código de fonte aberto (*BSD 2-clause license*). A arquitectura do *WebLab-Deusto* é definida localmente e baseia-se na arquitectura distribuída cliente-servidor **MODULAR? REVER**, como podemos ver na Figura 2.13.

Nesta tipo de arquitectura, os utilizadores(clientes) ligam-se aos servidores principais e estes gerem a autenticação, a autorização, o controlo dos utilizadores, etc. Suporta nativamente a “Federação” de LRs, o que significa que se duas universidades instalarem o *WebLab-Deusto*, qualquer um dos sistemas poderá usar os laboratórios fornecidos pela outra universidade. Além disso, fornece bibliotecas tanto do lado do cliente, como do lado do servidor para lidar com as comunicações e também fornece componentes de *software* que estarão entre cliente e servidor [113].

A *gateways4labs*¹⁹ é, também, uma abordagem *open-source* que visa a integração de múltiplos laboratórios remotos em diferentes ambientes de aprendizagem digital (ferramentas digitais) através de uma *interface* única. A arquitectura do *gateway4labs* está representada na Figura 2.14. O lado esquerdo - denominado o “lado do cliente” - contém ferramentas de aprendizagem, como por exemplo o *moodle*. O lado direito - denominado o “lado do laboratório” - representa o RLMS, por exemplo, um dos dois casos abordados anteriormente: *WebLab-Deusto* ou ISA[114]. A parte

¹⁸<https://www.deusto.es/es/inicio>

¹⁹<https://gateway4labs.readthedocs.io/en/latest/>

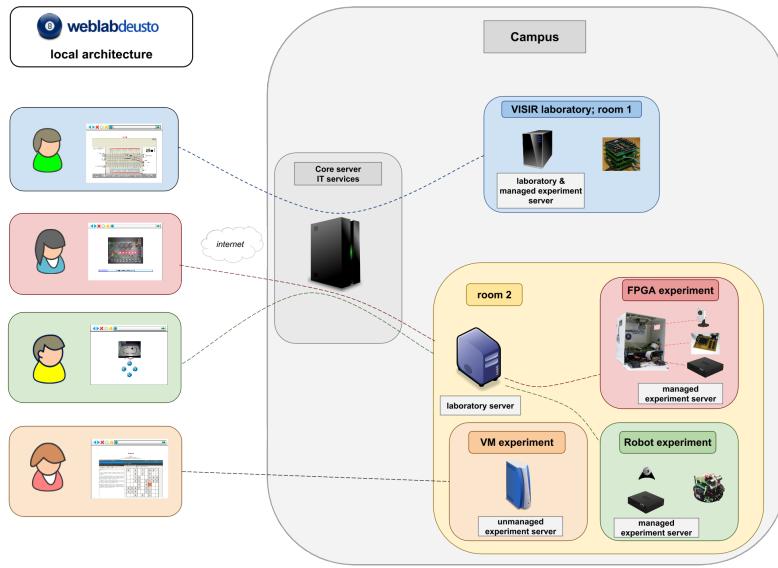


Figura 2.13: Arquitectura *WebLab-Deusto*

central, *LabManager*, é responsável pela recepção dos vários pedidos de diferentes *Learning Management System* (LMS)s (que é o local onde os alunos e os professores se encontram e onde os alunos encontram outros recursos educativos) e compreenderá os protocolos de diferentes RLMSs, não tendo qualquer código dependente dos LMSs, mas dispondo de *plug-ins* dependentes de RLMSs[114][115].

Uma derivação do *WebLab-Deusto* é o *LabsLand*²⁰ que interliga escolas e universidades com laboratórios reais disponíveis noutro local²¹. Fornece um repositório de laboratórios remotos de diferentes instituições ligados entre si. Também presta serviços de consultoria e vende laboratórios remotos²².

Outra forma de integrar LRs - nomeadamente, o VISIR - é o sistema *Maxwell*²³, desenvolvido e integrado na Pontifícia Universidade Católica (PUC) - Rio, Rio de Janeiro²⁴. A PUC - Rio, possui um LMS integrado num repositório institucional e o VISIR, assim como o *LabVIEW*, podem ser utilizado a partir do LMS. Os alunos acedem ao LR através do *weblab*[116].

- Desenvolver um pouco mais o conceito de “FEDERAÇÃO” - PROF??

VISIR No contexto desta dissertação, importa abordar o caso mais particular do VISIR. De facto, este LR esteve na génese da criação do LaRE. Além do mais, está disponível no ISEP, Figura 2.15. Como já foi referido, o VISIR também se encontra implementado na Universidade de Deusto, mais concretamente, como parte integrante do *WebLab-Deusto*.

²⁰<https://labsland.com/>

²¹<https://developers.labsland.com/weblablib/en/stable/>

²²<https://weblab.deusto.es/website/index.html>

²³<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>

²⁴<https://www.puc-rio.br/index.html>

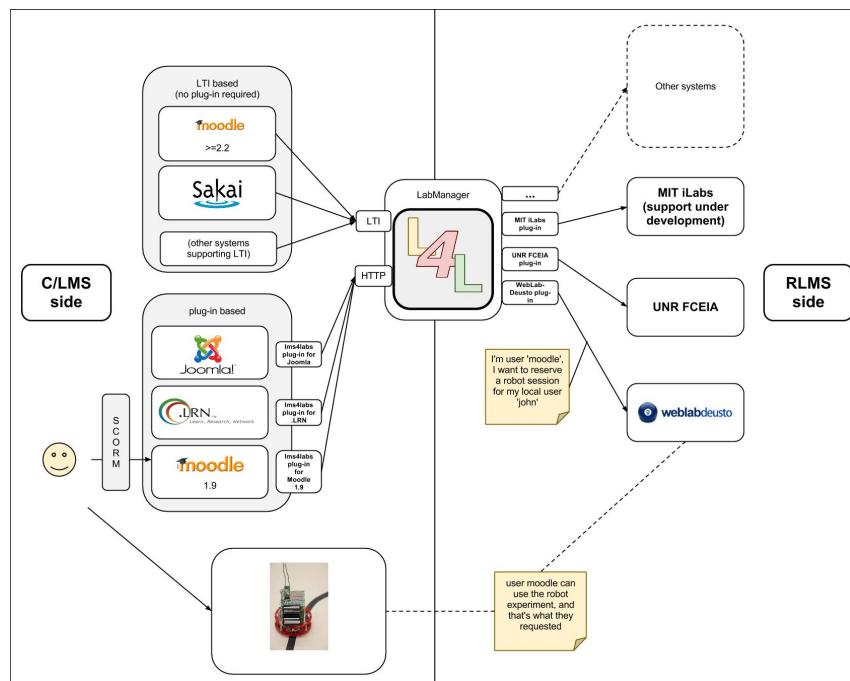
Figura 2.14: Arquitectura *gateway4labs*

Figura 2.15: VISIR no ISEP

O VISIR é um LR para concepção, ligação e medição de circuitos electrónicos. O sistema VISIR foi desenvolvido no Blekinge Institute of Technology (BTH), *Karlskrona*, Suécia, em 1999, e as suas funcionalidades e comunidade de utilizadores têm vindo a crescer desde então [91]. O projecto foi lançado no final de 2006 em conjunto com a NI, nos EUA, (como fornecedor de instrumentos) e a *Axiom EduTECH* na Suécia (como fornecedor de educação, *software* técnico e serviços de engenharia para análise de ruído e vibrações). Foi apoiado financeiramente pela BTH e pela Agência Governamental Sueca para os Sistemas de Inovação (VINNOVA)[117].

O VISIR oferece aos estudantes a oportunidade de utilizarem recursos experimentais gratuitos 24 horas por dia, 7 dias por semana, sem um aumento significativo no custo por estudante. Com mais tempo dedicado a estas experiências, os estudantes tornam-se verdadeiros "experimentadores", capazes de criar bens e serviços que satisfaçam os requisitos de uma sociedade sustentável. Desta forma, o VISIR não só melhora a aprendizagem, mas também contribui para a formação de profissionais comprometidos com o desenvolvimento sustentável [118].

Em 2018, tal como referido em [119], o VISIR já tinha sido implementado em 8 Instituições de Ensino Superior diferentes, situados em 6 países, incluindo o ISEP (Portugal). No mesmo ano, segundo a mesma publicação, foram instalados novos sistemas VISIR em várias instituições da América do Sul. O software do VISIR é lançado sob uma licença GNU GPL.

O conceito subjacente a este consiste em acrescentar uma opção de operação remota aos laboratórios de ensino tradicionais para os tornar mais acessíveis, independentemente dos alunos estarem no *campus* ou principalmente fora do *campus*[120].

A arquitectura, do VISIR pode ser dividida em quatro partes, tal como referido em [121] e como se pode ver na Figura 2.16 esta arquitectura inclui:

- Servidor de equipamento - Compreende todo o equipamento do VISIR (módulos e *chassis*): as placas *PCI eXtensions for Instrumentation* (PXI) e instrumentação (que estão ligadas à matriz de relés) controlados através do *LabVIEW*;
- Servidor de medições - Trata-se de um servidor escrito em Visual C++ para a *Microsoft*. É programado por ficheiros "max list" que contêm os valores máximos dos componentes e ajustes dos instrumentos para cada experiência e servem para evitar a concepção de circuitos perigosos e proteger os instrumentos;
- Servidor *web* - Aloja a *interface Web* do VISIR e foi concebida em *Apache* com uma base de dados em *MySQL*;
- Servidor de *interface*, Figura 2.17 - É o *site* do VISIR e foi escrito em PHP, com o cliente de experiências integrado escrito em *Flash*.

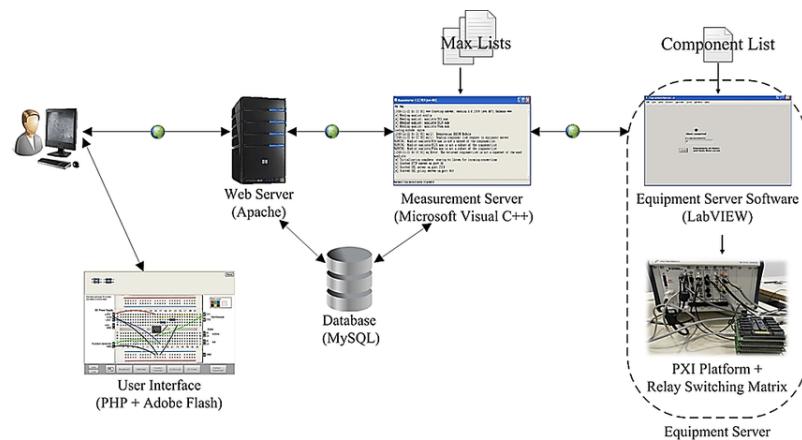


Figura 2.16: Arquitectura VISIR[121]

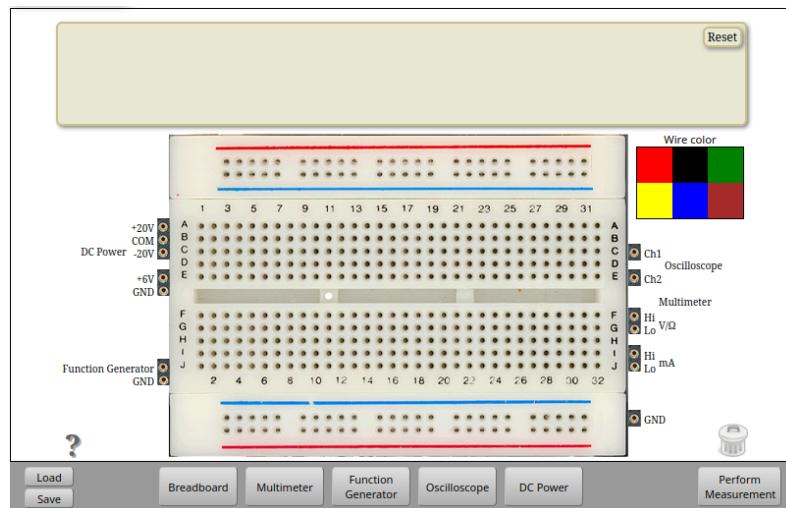


Figura 2.17: Protoboard VISIR

O *chassis* PXI-1033[122], Figura 2.18, é um controlador integrado com 5 *slots* que foi concebida para aplicações de controlo remoto. Obviamente que esta placa exige um *interface* para PC, que, neste caso, é feito através do *LabVIEW*.



Figura 2.18: *Chassis* PXI-1033 [122]

Os módulos integrados na PXI-1033 e que compõem o VISIR são:

- Osciloscópio, PXI-5114, 12 MHz, 250 MS/s, 8-Bit, Figura 2.19
- Gerador de sinal, PXI-5402, 10 MHz *Bandwidth*, 1-*Channel*, 14-Bit, Figura 2.20
- Multímetro Digital, 6^{1/2}Digitos, ±300 V, *Onboard* 1.8 MS/s Digitalizador isolado, suporte para medições de indutâncias e capacitâncias, Figura 2.21;
- Fonte de tensão programável, 3 canais, corrente de saída máxima de 1 A, gama de tensão de saída analógica: -20 V a 20 V, Figura 2.22.

O VISIR possuí uma Matriz de Comutação de Relés (MCR) concebida no BTH especialmente para o uso em experiências electrónicas em LRs, Figura 2.23. Esta matriz é constituída por quatro placas PC/104²⁵ (de baixo para cima): **NOTA: subentende-se que são placas de controlo - A REVER** fontes de tensão, multímetro digital, osciloscópio e a placa de topo permite configurar os componentes. A matriz é controlada por uma *Programmable Interrupt Controller* (PIC), PIC18F4550²⁶, montada na placa de alimentação (fontes de tensão) e comunica com um PC, via USB, e com os controladores das outras placas através das PICs, PIC16F767²⁷, via *Inter-Integrated Circuit* (I^2C), montadas em cada placa[127].

²⁵<https://pc104.org/>

²⁶Datasheet: <https://www.microchip.com/en-us/product/PIC18F4550>

²⁷Datasheet: <https://www.microchip.com/en-us/product/PIC16F767>



Figura 2.19: Osciloscópio PXI-5114 [123]



Figura 2.20: Gerador de sinal PXI-5402 [124]



Figura 2.21: Multímetro Digital PXI-4072 [125]



Figura 2.22: Fonte de tensão PXI-4110 [126]

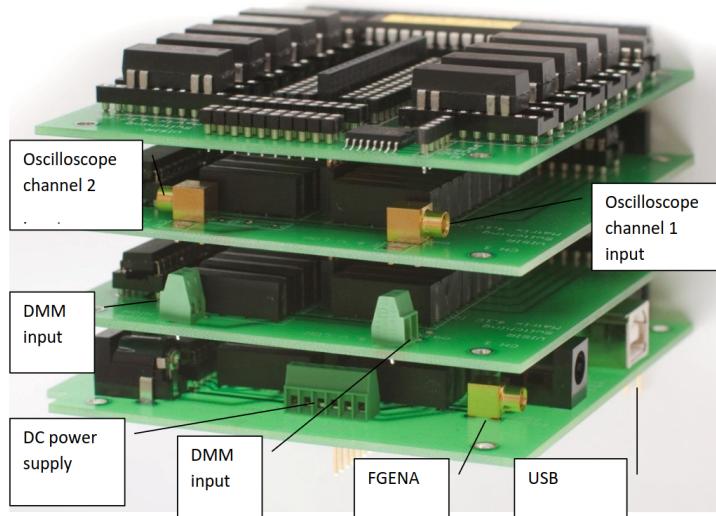


Figura 2.23: Matriz VISIR[127]

Segundo [121] e [128], em 2012, 6 Universidades tinham implementado o VISIR. No entanto, Pereira *et all.*, (2017), referem que o VISIR estava presente em 12 instituições e 7 países[129].

Levanta-se, então, uma questão: Como fazer a integração de todos os LRs de forma a aproveitar os recursos e potenciar o trabalho colaborativo?

PILAR O projecto *Platform Integration of Laboratories based on the Architecture of visiR (PILAR)* Erasmus+, foi iniciado em 2016 tendo terminado em 2019 e tinha como objectivo a criação de uma Federação de cinco nós VISIR existentes, partilhando experiências, capacidade e recursos entre as diversas instituições e permitir o acesso ao LR VISIR, através do consórcio PILAR, a estudantes de outras instituições[130].

O VISIR *Special Interest Groups* (SIG) é(**FOI - A REVER PROF**) organizado para pessoas interessadas em Engenharia *online* ou remota, especialmente na abertura de laboratórios universitários para acesso remoto 24/7. Este projeto foi lançado com o objetivo de divulgar métodos de abertura de laboratórios para acesso remoto, partilhar ideias, equipamento e material didático, bem como de discutir o desenvolvimento da plataforma VISIR. Outro dos objetivos é(**FOI - A REVER PROF**) a padronização de bancos de trabalho *online* localizados em universidades de todo o mundo, constituindo laboratórios de rede disponíveis para sessões de laboratório para estudantes dentro e fora do *campus*[131].

A missão da Federação VISIR é actualizar e alargar o VISIR SIG, integrando indivíduos e instituições. O objetivo é fornecer um sistema uniforme, em que os estudantes se possam registar e utilizar os laboratórios federados baseados no VISIR

e os materiais de aprendizagem de diferentes instituições pertencentes à Federação. Através de um mecanismo comum partilhado, deverá ser possível aceder a cada experiência a partir de um único sistema de gestão da aprendizagem [132].

Os principais objectivos da Federação são[132]:

- Expandir o SIG a instituições;
- Conectar todos os nós VISIR;
- Alargar a gama de aplicações;
- Melhorar a utilização do VISIR;
- Promover o laboratório remoto VISIR;
- Partilhar materiais de aprendizagem;
- Trocar experiências entre os detentores e utilizadores do VISIR.

Como se viu anteriormente, o VISIR funciona numa base de cliente-servidor, o que significa que, se um determinado servidor não estiver disponível, também o laboratório não estará. Neste caso, a Federação permite o redireccionamento dos pedidos dos clientes para um outro nó VISIR que esteja disponível[133].

2.5 COMENTÁRIO PROF

Desenvolver mais o PILAR e a Federação?

Desenvolver mais o VISIR? Vantagens? Desafios?

Capítulo 3

LaRE - Laboratório Remoto Expansível

“All we have to decide is what to do with the time that is given us.”

Gandalf

Neste capítulo descreve-se o processo que levou à criação do LaRE, a arquitectura de *hardware* e *software*, o motivo das escolhas e a implementação dos circuitos. **Acho que tem de ser refeito ou complementado**

3.1 Contextualização

Como já foi referido anteriormente (**ver a referência**) o principal objectivo desta dissertação passa pelo desenvolvimento de um LR para o ensino da electrónica, que visa colmatar (ou resolver) alguns dos problemas que afectam o VISIR.

Como referido na Secção 2.4.1, o *software* do VISIR foi lançado sob a licença GNU GPL. No entanto, o *software* de programação do *firmware* do controlador da matriz, que é vendido com a própria matriz, é proprietário da BTH. Quer isto dizer que não pode ser programado ou actualizado por terceiros. Ademais e como já foi referido na Secção 2.4.1, o equipamento que comprehende módulos e placas de instrumentação, é controlado pelo *LabVIEW*, sendo que os preços das diversas versões variam, aproximadamente, entre os 523€ e os 4300€ anuais [134].

A criação do LR surge como forma de resolver alguns dos problemas que afectam o VISIR.

Numa fase mais embrionária, foram feitos alguns testes de controlo de relés com o *Arduino* Mega, representado na Figura 3.1, juntamente com um *Integrated Development Environment* (IDE) simples desenvolvido em *LabVIEW*.

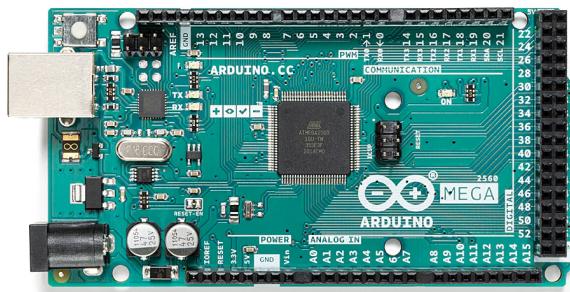


Figura 3.1: *Arduino* Mega [135]

No entanto, de forma a ultrapassar o problema levantado pelo elevado preço do *LabVIEW*, surge um segundo objectivo que se prende com a substituição deste *software* por outro que fosse gratuito e *open source*. A eliminação do *LabVIEW* implicou a implementação de um servidor. Sendo assim, numa primeira abordagem, foram analisadas algumas opções, tais como: *FastApi*¹, *Django*² e *Flask*³.

As opções analisadas enquadraram-se no que se pode chamar *frameworks* ou *micro-frameworks*. Neste caso são todas desenvolvidas para aplicação em Python.

Uma *micro-framework* é um tipo de *framework* minimalista, que fornece apenas as funcionalidades essenciais para o desenvolvimento de aplicações, sem incluir bibliotecas ou componentes adicionais que não os estritamente necessários. Isso permite a quem desenvolve adicionar apenas as funcionalidades específicas para cada projecto ou aplicação. Daqui resulta um ambiente de desenvolvimento mais leve e flexível [136]. Optou-se, então, pelo *Flask* e as razões da escolha, assim como uma explicação mais detalhada serão apresentadas na Secção 3.6.

É possível combinar o *Arduino* com o Python, mas isso implicaria uma mudança ao nível do *firmware*, uma tarefa que não é trivial [137]. A linguagem nativa do *Arduino* é similar ao C++ e o *firmware* instalado foi projectado para interpretar e executar código escrito nesse tipo de linguagem. Para seremos mais rigorosos,

¹<https://fastapi.tiangolo.com/>

²<https://www.djangoproject.com/>

³<https://flask.palletsprojects.com/en/3.0.x/>

o uso do *Python* no *Arduino* ou em qualquer outro microcontrolador, faz-se através de *MicroPython*, uma implementação simples e eficiente do Python que inclui um pequeno subconjunto da bibliotecas padrão e é optimizado para funcionar em microcontroladores e em ambientes limitados [138]. Quer isto dizer que todas as bibliotecas usadas na programação da aplicação ou projecto têm de ser carregadas para a memória dos microcontroladores. No caso do *Arduino* Mega, uma análise ao *datasheet* [139] revela que este tem 256 Kbytes reservados para o envio de programas e 8 Kbytes de memória *SRAM* reservado para variáveis temporárias. Além destes problemas de memória e uma vez que é necessário que o *Arduino* funcione como servidor, a versão apresentada na Figura 3.1 não é adequada.

No mercado, existe o ESP32, uma alternativa mais poderosa que o *Arduino* e com placa de rede sem fios integrada, tal como é apresentado na Figura 3.2. No entanto, este microcontrolador sofre dos mesmos problemas de memória que o *Arduino* Mega e da utilização do *MicroPython*. Uma análise ao *datasheet* [140] revela que a memória *flash* varia entre os 4-16 Megabyte. No modelo "ESP32-DEVKITC-32E", que estava disponível para este projecto, o valor é de 4 MB [141].

Estas limitações não permitem a implementação de um servidor minimamente robusto usando o *Arduino* Mega ou o ESP32.



Figura 3.2: *ESP32* [142]

A escolha seguinte recaiu no RaspberryPI, versão 5, apresentada na Figura 3.3. Este dispositivo insere-se numa gama de pequenos computadores, acessíveis e versáteis que podem ser utilizados para os mais variados projectos. Na Secção 3.5 apresenta-se uma descrição mais detalhada do RaspberryPI.



Figura 3.3: *RaspberryPI5* [143]

Considerou-se, portanto, que seria uma mais-valia desenvolver um LR com as seguintes características:

- Python como linguagem principal;
- RaspberryPI como servidor *Flask*;
- *Interface* com o utilizador desenvolvido em *HyperText Markup Language* (HTML).

Estava dado o passo final para o que viria a ser o LaRE.

3.2 Solução proposta

Os objectivos principais foram definidos na Secção 1.2 e as características gerais definidas na Secção 3.1.

Pretende-se que o LaRE seja um LR capaz de controlar e comandar um conjunto de experiências electrónicas, assim como efectuar medições de várias grandezas electricas. Para que a solução proposta seja completa e definitiva, falta definir os instrumentos de medida, assim como os circuitos que compõem as experiências.

No contexto desta dissertação, o instrumento de medida sugerido para implementar o LaRE foi o *VirtualBench*, modelo VB-8012.

O *VirtualBench* pode ser controlado de duas formas: através do *software* fornecido pela NI ou através do *pyVirtualBench* [144]. (Apesar de não ser abordado no contexto desta dissertação, existe também a possibilidade de aceder ao VB através do *LabVIEW*.)

O *pyVirtualBench* é um *wrapper*⁴ que permite controlar o VB através de uma aplicação Python [145]. No entanto, este *wrapper* não é compatível com *Linux*.

⁴Este *wrapper* é um *software* de terceiros, suportado e mantido pela comunidade e não é diretamente suportado pela NI.

Perante este facto, decidiu-se integrar um PC no LaRE - pormenores da instalação do *driver* no *site* da NI (*link*) - sendo que todo o peso computacional passaria para o PC e o RaspberryPI controlaria os relés. Esta decisão de o manter como controlador dos relés prendeu-se com o facto de, futuramente, poder haver espaço para uma evolução ao nível da compatibilidade com o *pyVirtualBench*.

A outra forma de controlar o VB é usando a aplicação disponibilizada pela NI e compatível com *Windows*. Esta aplicação faz uma apresentação integrada dos cinco instrumentos apresentados no VB, como pode ser visto na Figura 3.4. A aplicação também inclui funcionalidades de fluxo de trabalho, como a importação e exportação de configurações de instrumentos e a captura de dados⁵.

De referir que o VB não pode ser controlado pelo *pyVirtualBench* e pelo *software* simultaneamente.

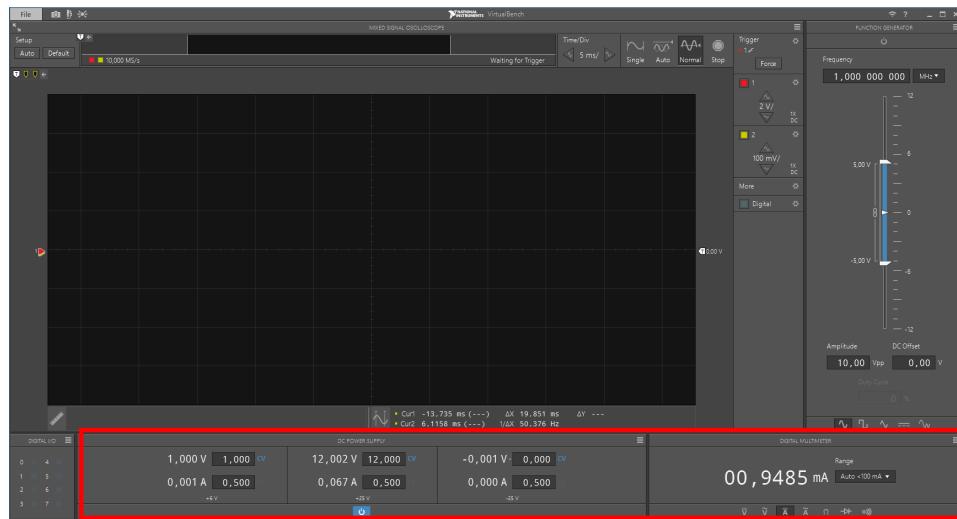


Figura 3.4: Exemplo do VB usado como multímetro digital

As características do LR são, agora, as seguintes:

- Python como linguagem principal;
- PC como servidor *Flask*;
- RaspberryPI como controlador dos relés;
- *Interface* com o utilizador desenvolvido em HTML.

Definidas - de uma forma geral - as soluções de *hardware* e *software*, agora com a integração de um PC - passou-se ao estudo da arquitectura do LaRE.

⁵Transferir VirtualBench

3.3 Arquitectura

Como já se viu na Secção 3.1, a arquitectura do LaRE proposta baseia-se numa estrutura cliente-servidor, suportada ao nível do *hardware* pelo VB, pelo RaspberryPI e um PC como servidor. Uma representação geral do que será o LaRE pode ser vista na Figura 3.5.

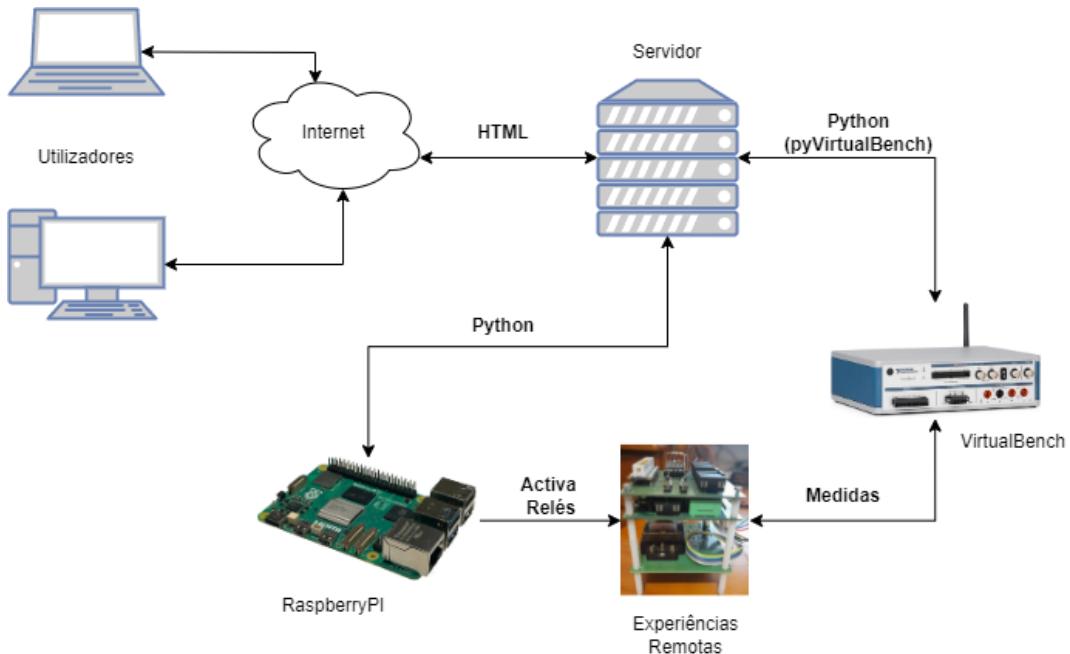


Figura 3.5: Representação geral do LaRE

Antes de mais, importa clarificar as formas de comunicação entre os diversos dispositivos que compõem o LaRE. Tanto o servidor, como o RaspberryPI e o VB têm disponíveis interfaces de rede sem fios e com fios, assim como *interfaces USB*.

A comunicação entre os diversos dispositivos é feita da seguinte forma:

- **Servidor - RaspberryPI:** comunicação via rede sem fios. Em termos de simplicidade de programação, a comunicação entre o servidor e o RaspberryPI é feita através da rede sem fios, utilizando *sockets*. Os *sockets* e a API de *sockets* facilitam a comunicação entre processos em redes, quer estas sejam físicas (ligadas a outras através de fios ou sem fios) ou lógicas (como a rede local de um computador), isto é, permitem o envio de mensagens através de uma rede [146]. O fluxograma de uma chamada ao *sockets* é apresentada na Figura 3.6;
- **Servidor - VB:** comunicação via rede sem fios ou USB. Entre estes dois dispositivos é, basicamente, indiferente a forma como é feita a comunicação. Isto porque esta parte é gerida pelos *drivers* da aplicação instalada no *Windows*. Independentemente de se utilizar o *pyVirtualBench* ou a aplicação.

- **Controlo de relés e medidas:** O controlo e medição comum às experiências é feito através de ligações directas aos dispositivos.

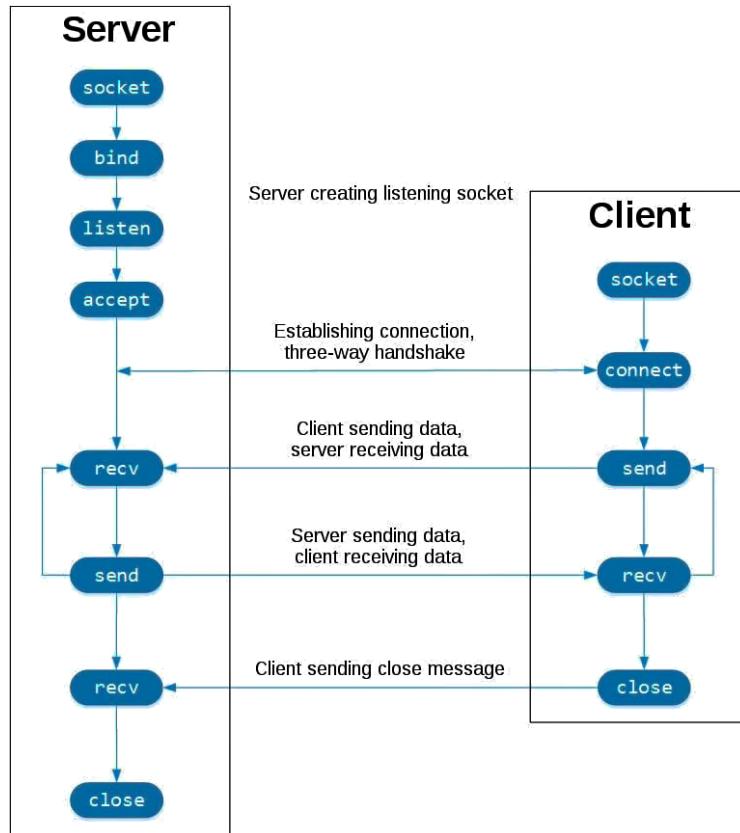


Figura 3.6: Fluxograma de uma chamada ao *socket* [146]

Ao nível do *software*, o servidor será implementado no PC com base no *Flask*, como já foi referido na Secção 3.1 e 3.2, e será descrito com mais pormenor na Secção 3.6. A comunicação entre o servidor e o VB, entre o servidor e o RaspberryPI e o controlo dos relés é feita em *Python*. A *interface* com o utilizador é feita em HTML.

A Figura 3.7 apresenta com mais pormenor a solução implementada no LaRE. De uma forma geral, podemos ver como é realizada a comunicação e a troca de informação entre os diferentes dispositivos de *hardware*.

3.4 Circuitos electrónicos - experiências?

Não sei até que ponto esta secção não se enquadra melhor no hardware
A escolha dos circuitos teve como base os que estão disponíveis no VISIR do ISEP, como se pode ver na Figura 3.8. Reduzindo os objectivos do LaRE à sua forma mais básica, pode afirmar-se que se pretende “provar um conceito”. Escolhendo experiências com circuitos integrados ou transístores, poderia tornar a implementação desnecessariamente mais complexa e, por conseguinte, com menos experiências.

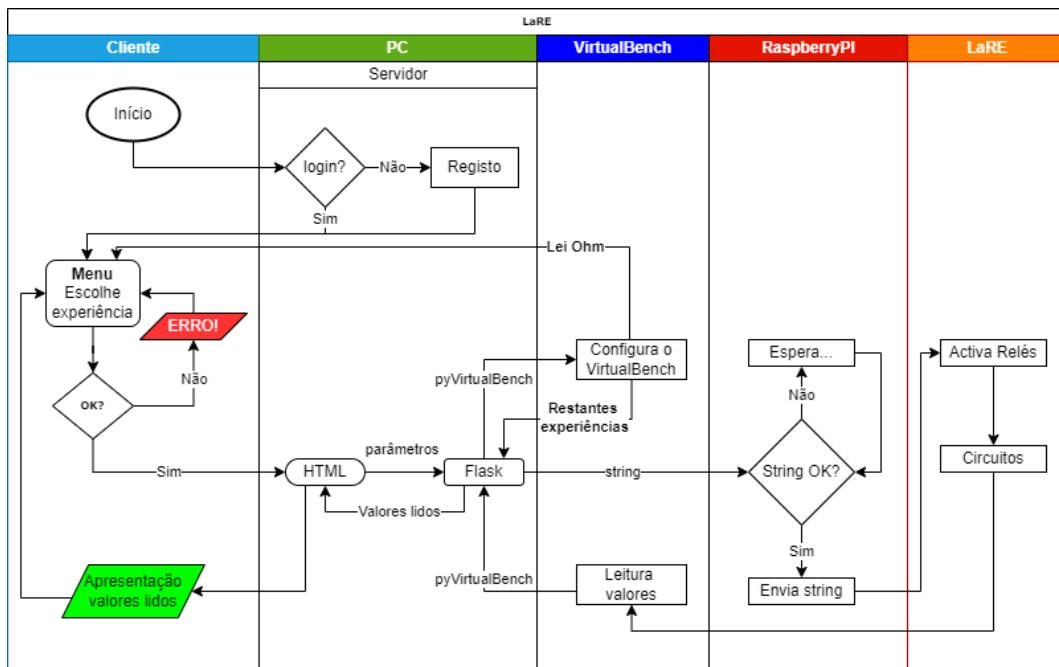


Figura 3.7: Arquitectura LaRE

Portanto, o objectivo passará por criar um LR com experiências típicas para a introdução à electrónica e que permitam uma aprendizagem gradual em contexto de sala de aula. E, assim, “provar o conceito”.

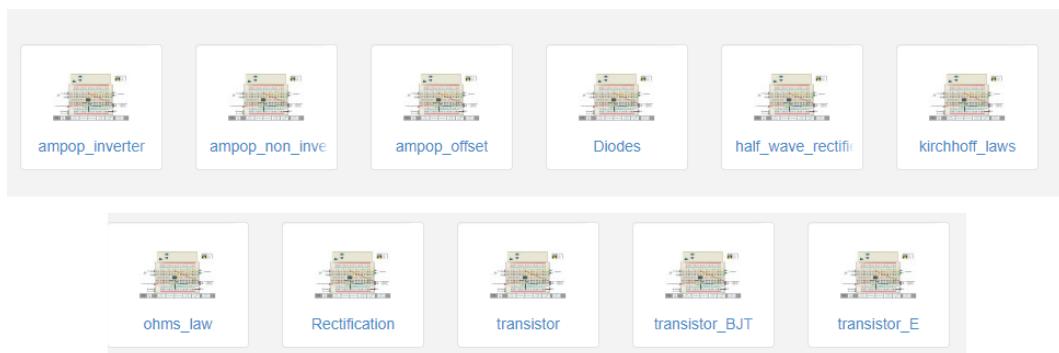


Figura 3.8: Circuitos VISIR - ISEP - Se calhar retirava a imagem

Sendo assim, os circuitos que compõem o LaRE e satisfazem os critérios definidos em cima são:

- Lei de Ohm;
- Rectificador de meia onda;
- Rectificador de onda completa;
- Filtro RC passa-baixo;
- Filtro RC passa-alto.

3.5 Hardware

3.5.1 VirtualBench

Este dispositivo desenvolvido pela NI integra vários instrumentos e ferramentas de teste, tais como um osciloscópio digital com análise de protocolo, um gerador de formas de onda, um multímetro digital, uma fonte de alimentação Corrente Contínua (CC) programável e E/S digitais num único dispositivo que se liga a um PC, via USB ou rede sem fios, como se pode ver na Figura 3.9. As principais características deste modelo estão descritas na Figura 3.10 [147]. A forma como pode ser controlado e configurado já foi abordada na Secção 3.2.

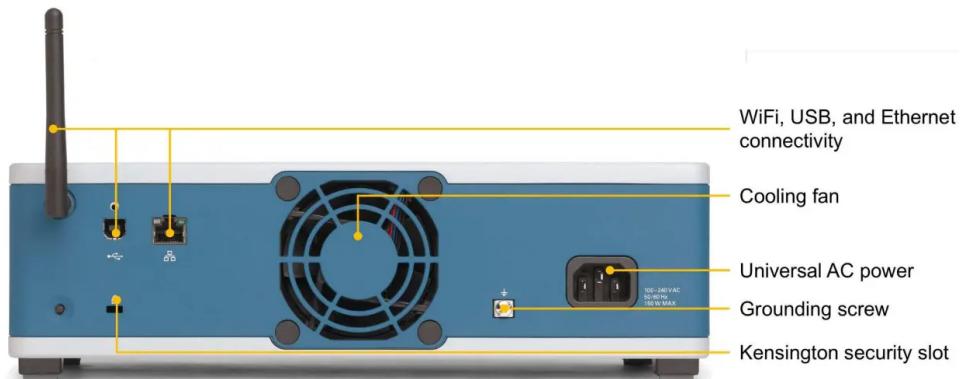


Figura 3.9: Painel traseiro *VirtualBench* VB-8012 [147].

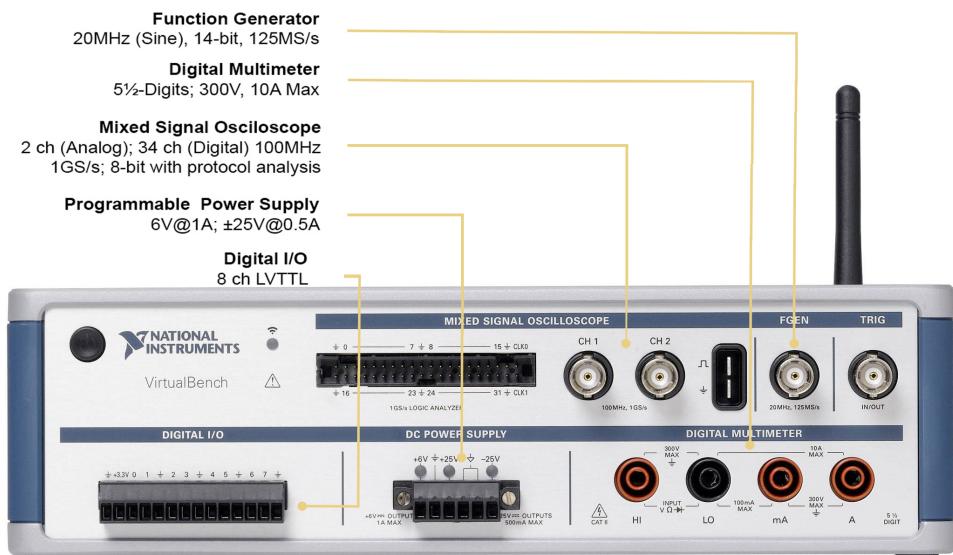


Figura 3.10: Painel frontal *VirtualBench* VB-8012 [147].

3.5.2 Matriz LaRE

Encontradas as soluções de *hardware* e *software*, assim como as experiências a serem implementadas, partiu-se para o projecto da matriz.

Mais uma vez, tomando como base o VISIR, como pode ser visto mais pormenor na Figura 3.11, decidiu-se projectar uma matriz com a dimensão das placas a obedecerem às definidas pela consórcio PC/104 [148]. Este consórcio definiu um padrão que se destaca pelo seu formato compacto e modular. As dimensões mecânicas das placas estão definidas na **referência ao datasheet - VER COPMO FAZER REFERÊNCIA.**



Figura 3.11: Placas PC/104 do VISIR - ISEP - **Foto com melhor qualidade**

3.5.3 RaspberryPI

Como já foi referido na Secção 3.1, a ideia inicial passava por utilizar o RaspberryPI como servidor e como controlador dos relés, no fundo desempenhando as funções de RLMS.

Em contexto de laboratório estavam disponíveis os modelos PI2 e PI3, algo desactualizados. O PI3 já se mostrou lento nos primeiros testes e, por isso, optou-se pela última versão do *RaspberryPI*⁶, que à data da escrita desta dissertação é a versão 5.

Esta versão traz várias melhorias e novos recursos, sendo que as principais diferenças de *hardware* para a versão 4B estão representadas na Tabela 3.1. No entanto, estas melhorias acarretam um maior consumo de energia e, por isso, é recomendado o uso de arrefecimento activo [149]. Na Figura 3.12 está representado o RaspberryPI usado no LaRE.

Comum às versões anteriores, o RaspberryPI possui um conector de 40 pinos denominados *General Purpose Input/Output* (GPIO)s, como se pode ver na Figura

⁶Doravante, sempre que for referido *RaspberryPI5*, subentende-se a versão 5.



Figura 3.12: *Raspberry PI5* com dissipador activo utilizado no LaRE

Tabela 3.1: *Raspberry PI4 vs Raspberry PI5 - principais diferenças*
[150]

Raspberry PI4	Raspberry PI5
1.8 GHz	2.4 GHz
VideoCore VI @ 500 MHz, Vulkan 1.0	VideoCore VII @ 800 MHz, Vulkan 1.2
LPDDR4-3200 SDRAM até 8 GB	LPDDR4X-4267 SDRAM 4 GB/8 GHz
5 V/3 A via USB-C (15 W)	5 V/5 A via USB-C (27 W)

3.13. Os GPIOs são pinos versáteis e configuráveis e permitem que a placa interaja com uma variedade de componentes eletrónicos e outros dispositivos, como por exemplo, relés, sensores, motores, etc.. Os GPIOs são pinos digitais, isto é, o RaspberryPI não possui um *Analog-to-Digital Converter* (ADC) interno para ler sinais analógicos. No entanto, pode usar-se um ADC externo, como por exemplo, o MCP3008 ou o módulo ADS1115. Quer isto dizer que só trabalham com duas tensões: 3.3 V ou 0 V, correspondendo aos valores lógicos “1” ou “0”, respectivamente. Dependendo da configuração dos GPIOs - entrada ou saída - estes podem ler ou fornecer as tensões correspondentes aos níveis lógicos desejados. O RaspberryPI pode fornecer uma corrente até 16 mA por cada GPIO ou 50 mA se combinados [149].

Se for fornecida uma tensão superior a 3.3 V aos GPIOs, o RaspberryPI corre o risco de se danificar irremediavelmente.

Na Figura 3.14 está representada uma forma alternativa de visualizar os GPIOs, mais intuitiva e que permite perceber melhor a função dos pinos.

Representados a cor amarela estão os GPIOs que podem ser configurados como entrada ou saída; a vermelho, laranja e preto as alimentações de 5 V, 3.3 V e *ground*, respectivamente. Por fim, os GPIOs representados pela cor branca estão reservados para utilização avançada.

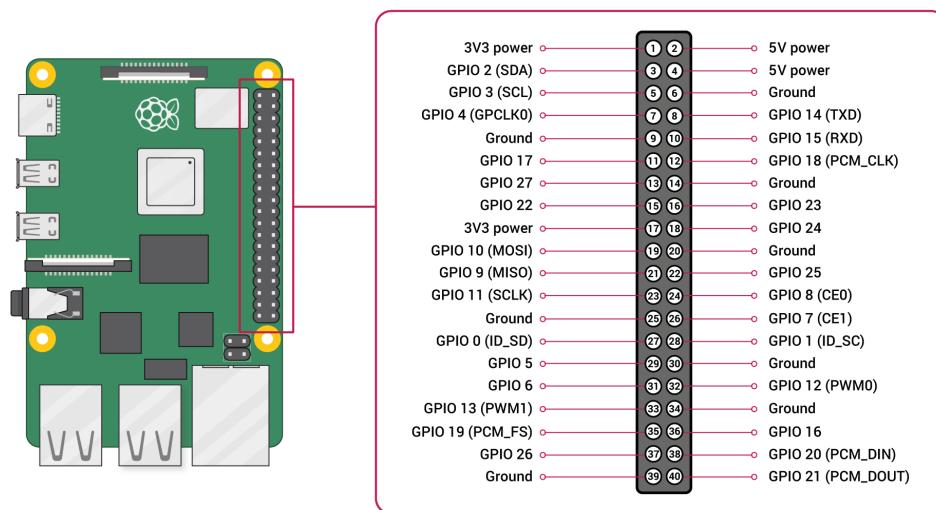
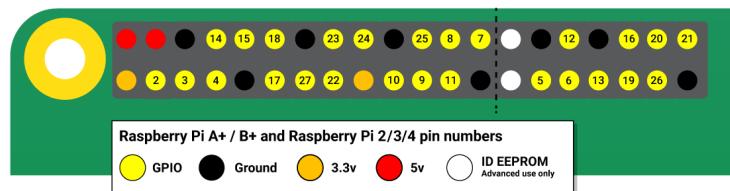
Figura 3.13: GPIOs *RaspberryPI* [149]

Figura 3.14: Representação alternativa dos GPIOs [149]

3.5.4 Relés

Como já foi referido na Capítulo 2, os circuitos que compõem o VISIR são controlados através de relés. Estes dispositivos funcionam como interruptores electromecânicos simples que utilizam um sinal elétrico para controlar um eletroíman. Os relés electromecânicos são constituídos por uma bobine e um contacto, que pode ser normalmente aberto ou fechado. A corrente eléctrica ao passar pela bobine gera um campo magnético que atrai o contacto, fechando-o ou abrindo-o, conforme o caso. A Figura 3.15 mostra um esquema simplificado de um relé electromecânico.

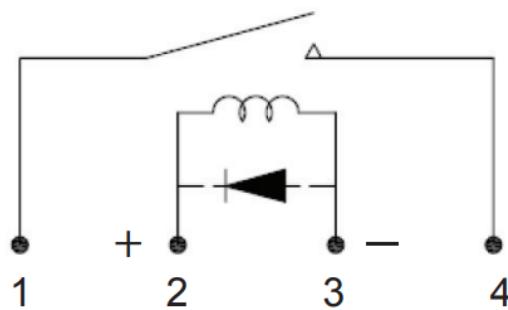


Figura 3.15: *Esquema simplificado de um relé [151]*

Ainda na Figura 3.15 pode ver-se a inclusão do diodo de “roda livre”, que é comum em muitos relés. Este diodo é usado para proteger o circuito de comando de picos de tensão induzidos pela bobine do relé, quando a corrente é desligada, segundo a Lei de Faraday. O diodo permite que a corrente induzida pela bobine circule em circuito fechado, evitando danos no circuito comandados pelos relés.

Os relés utilizados no LaRE estavam disponíveis em contexto laboratorial e são em tudo idênticos aos que se encontram montados no VISIR do ISEP.

No LaRE foram usados dois tipos de relés - simples, *Single Pole Single Throw* (SPST) e duplos, *Double Pole Single Throw* (DPST), como se pode ver na Figura 3.16.

Os modelos utilizados foram ambos da *Comus*: relé SPST, ref. 3570-1331-123 e relé DPST, ref. 3572-1220-123. As características mais importantes encontram-se descritas no *datasheet* anexo a este documento. **Ver como fazer a referência ao datasheet**. Os dois primeiros quartetos indicam a série do relé e os três números indicam a tensão da bobine e a presença, ou não, do diodo de “roda livre”. No caso dos relés usados, a tensão da bobine é de 12V e o diodo está ligado entre os pinos 2(+) e 6(-) [151]. Tentou-se, sempre que possível, utilizar os relés SPST no comando das fontes e aparelhos de medida e os relés DPST no controlo dos componentes. Serão devidamente referidos os casos em que isso não foi possível, por indisponibilidade dos componentes.

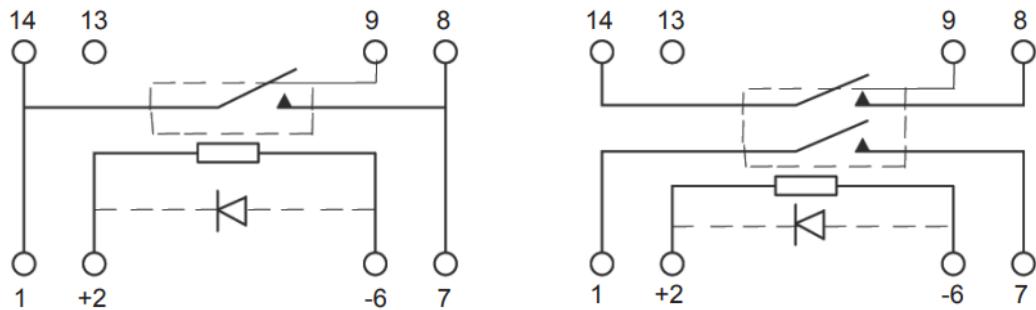


Figura 3.16: Relés SPST e DPST [151]

Como já foi referido na Secção 3.5.3, a tensão de funcionamento dos GPIOs, quer estejam configurados como entrada ou saída, é de 3.3 V, sendo que a máxima corrente por cada GPIO é de 16 mA. Com estes valores, o RaspberryPI não tem capacidade para comandar os relés, já que funcionam a 12 V. Para activar os relés, é necessário o uso de *drivers* que consigam fornecer a tensão e corrente necessárias para o efeito.

3.5.5 Driver de Relés

O circuito integrado ULN2003A é um *driver* muito usado para controlar relés. Além disso estava disponível em contexto laboratorial. Tipicamente, este *driver* é usado em conjunto com microcontroladores ou RaspberryPI no comando de cargas indutivas, como motores, bobinas e relés.

Os ULN2003A possuem sete pares de transístores NPN, em configuração *Darlington*, que apresentam saídas de alta tensão com díodos *clamp* de cátodo comum para comutação de cargas indutivas [152], como se representa esquematicamente na Figura 3.17.

A corrente de colector de saída (única) é de 500 mA e a corrente de entrada, para uma tensão de entrada de 3.85 V, é 0.93 mA [152].

Pela análise dos esquemas **DATASHEET - REFERÊNCIA** verifica-se que os GPIOs disponíveis no RaspberryPI - 26 no total - não são suficientes para comandar os relés do LaRE. Ao todo são utilizados 21 relés, o que corresponderia a 21 saídas. A experiência da Lei de Ohm, possui 8 relés. No caso das experiências correspondentes aos circuitos de rectificadores e filtros, o número de relés para efectuar as experiências é de 13. Falta adicionar os 10 GPIOs necessários para o controlo da transmissão das tramas de *bits*⁷.

Sendo assim, houve a necessidade de criar uma solução que permitisse comandar os relés, já que o RaspberryPI não possui GPIOs suficientes.

⁷Este procedimento será abordado com mais rigor, explicado melhor, blá, blá, nas secções seguintes - **COLOCAR REFERÊNCIA**

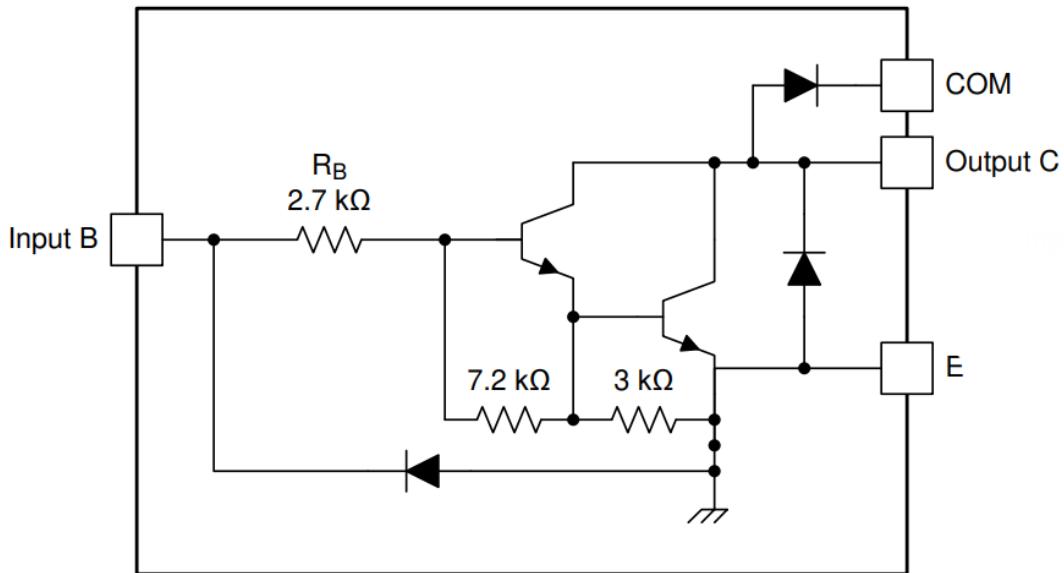


Figura 3.17: Diagrama de blocos ULN2003A [152]

3.5.6 Registro de deslocamento

O uso de registos de deslocamento foi a solução encontrada de forma a ultrapassar o problema da falta de GPIOs.

O SN74HC595 é um circuito integrado comum e bastante utilizado que contém um registo de deslocamento de 8 bits com saídas *3-State*, do tipo *Serial Input Parallel Output* (SIPO), que alimenta um registo de armazenamento do tipo D, também de 8 bits e com saídas paralelas *3-State*. O relógio para o registo de deslocamento e armazenamento é independente. A potência consumida é muito baixa, assim como a corrente de entrada [153].

Neste caso, os *bits* são enviados um-a-um, armazenados no registo e depois enviados para a saída. A Figura 3.18 representa o diagrama de blocos do SN74HC595 e a Tabela 3.2 representa os modos de funcionamento.

Na transmissão das tramas optou-se por dividir as duas: envio de 8 *bits*, na experiência da Lei de Ohm, e envio de 13 *bits*, nas experiências de rectificadores e filtros. Como se pode ver na Tabela 3.2, são precisos 5 GPIOs configurados como saídas para controlar o envio de uma trama, portanto, para realizar o comando dos relés do LaRE, são/serão necessários 10 GPIOs. Nos capítulos seguintes - **COLLOCAR A REFERÊNCIA** - é explicado com mais pormenor o processo de envio. As implicações ao nível do *software* de programação são mínimas e ao nível do *hardware* estão dentro dos limites de número de GPIOs do RaspberryPI.

Falta colocar informação complementar no datasheet em tal sítio está representada informação complementar respeitante ao ULN2003A e 74595

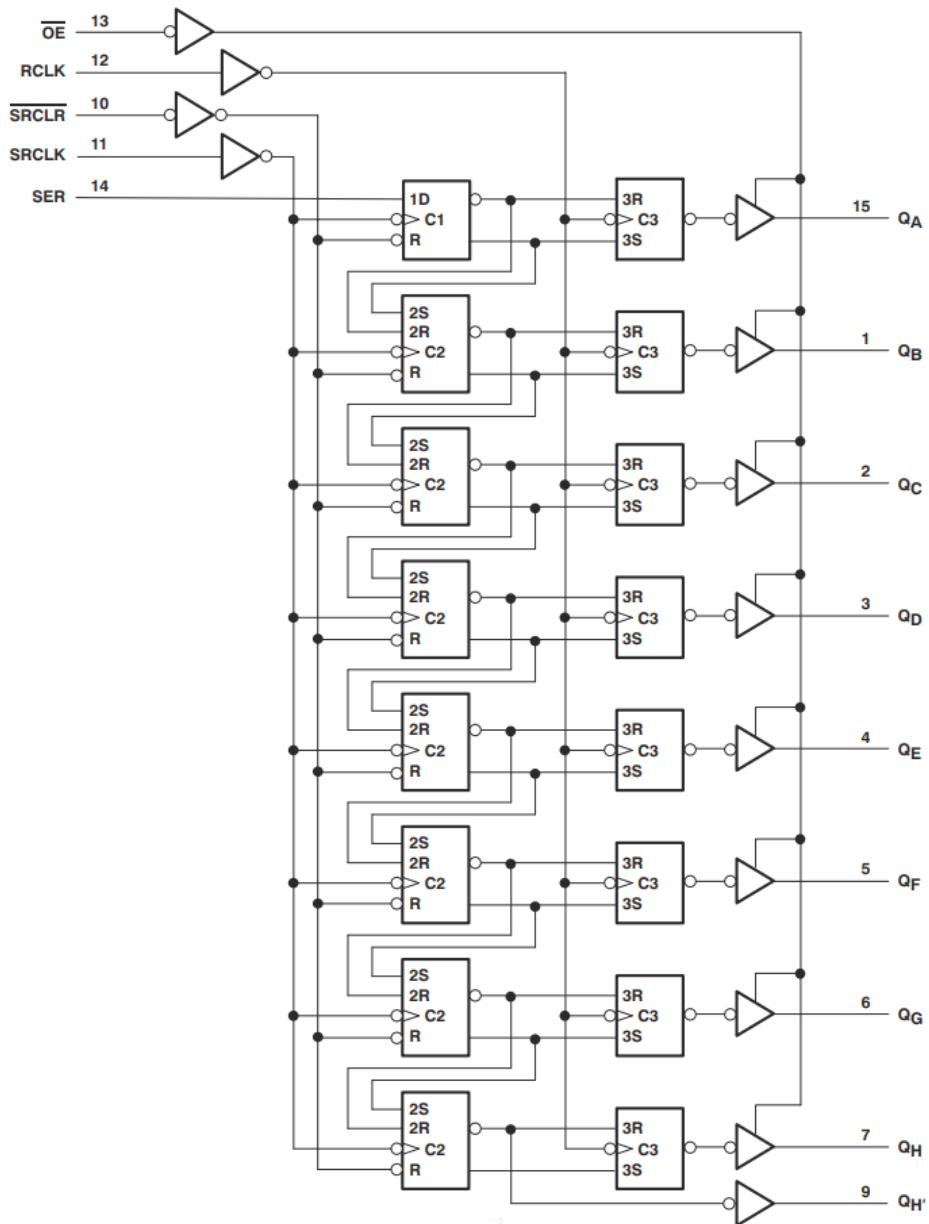


Figura 3.18: Diagrama de blocos SN74HC595 [153]

Tabela 3.2: Modos de funcionamento do SN74HC595 [153]

Entradas					Função
SER	SRCLK	\overline{SRCLR}	RCLK	\overline{OE}	
X	X	X	X	H	Saídas $Q_A - Q_H$ estão desabilitadas.
X	X	X	X	L	Saídas $Q_A - Q_H$ estão habilitadas.
X	X	L	X	X	Registo de deslocamento é limpo.
L	\uparrow	H	X	X	Primeiro passo do registo de deslocamento vai a “0”. Passo seguinte armazena os dados do estado anterior, respectivamente.
H	\uparrow	H	X	X	Primeiro passo do registo de deslocamento vai a “1”. Passo seguinte armazena os dados do estado anterior, respectivamente.
X	X	X	\uparrow	X	Os dados do registo de deslocamento são armazenados no registo.

3.6 Software

O *software* do LaRE foi dividido em duas grandes grupos/partes/secções(riscar o que não interessa): *Back-end* e *Front-end*.

Por *Back-end* pode entender-se toda a programação e os processos a correr em segundo plano, que sustentam o funcionamento do LaRE, incluindo servidor, APIs ou base de dados [154]. Existe uma grande variedade de linguagens de programação, *frameworks* e ferramentas para realizar a gestão do *Back-end*. Na implementação do LaRE, utilizou-se o *Python* como linguagem de programação e o *Flask* como *Framework*.

Já o *Front-end* gere a parte do *site*, isto é, a *interface* com o utilizador e as aplicações que os utilizadores veem e com as quais interagem para realizar determinadas tarefas. As linguagens utilizadas na implementação do *Front-end* para o LaRE foram o HTML, *Cascading Style Sheets* (CSS) e *JavaScript*. Enquanto o HTML é a “espinha dorsal” estrutural de um *site*, o CSS lida com a aparência personalizada que define o estilo dos elementos visuais e o JavaScript afecta a forma como os elementos da página se movimentam [154].

De uma forma resumida, o desenvolvimento de *Front-end* refere-se ao lado do cliente (aspetto de uma página *Web*) e o desenvolvimento de *Back-end* refere-se ao lado do servidor (funcionamento de uma página *Web*).

3.6.1 Back-End

Python

O *Python* é uma linguagem poderosa e fácil de aprender. Possui estruturas de dados de alto nível eficientes e uma abordagem simples, mas eficaz à programação orientada para objectos [4]. Apresenta, também, uma série de vantagens que se enquadram nos objectivos do desenvolvimento e implementação do LaRE [155]:

- Curva suave de aprendizagem;

- Quantidade e variedade das bibliotecas;
- Portabilidade;
- Flexibilidade;
- Robustez;
- Suporte da comunidade.

Como desvantagens há a referir que, comparado com outras linguagens, o *Python* é mais lento em termos de execução, já que é um tipo de linguagem de alto-nível, pelo que não é adaptado para aplicações móveis e consome mais recursos [155] [156].

Ainda assim, segundo a *IEEE Spectrum* [157], o *Python* foi considerada a linguagem mais popular em 2023.

Flask

O *Flask* é uma *framework* leve e flexível para *Python* que segue a filosofia *UNIX* de “fazer uma coisa bem feita”. A escolha do *Flask* deveu-se, essencialmente, à facilidade de integração com o *Python*, sendo uma das *frameworks* mais populares em *Python* [136]. É uma *framework* de aplicações *Web Server Gateway Interface* (WSGI) que descreve a forma como um servidor *Web* comunica com aplicações *Web* e como essas aplicações podem ser encadeadas para processar um pedido [158]. Depende, ainda do *Jinja*, que é um motor de criação de modelos que permite escrever código semelhante à sintaxe do *Python*, de forma a renderizar o documento final [159].

Tal como foi referido na Secção 3.1, foram ainda analisadas várias opções, incluindo a *Django*, outra *framework* bastante popular. Em [160] e [161], por exemplo, é feita uma comparação exaustiva entre as duas *frameworks*, não havendo uma decisão final sobre qual a melhor, mas sim sobre qual a que melhor se adapta às necessidades de implementação e desenvolvimento dos projectos.

No entanto, o *Flask* foi concebido para tornar a iniciação rápida e fácil, com a capacidade de evoluir até aplicações mais complexas, sendo mais adaptado a pequenos projectos.

Pelas razões referidas anteriormente, e tendo em conta a análise feita aos prós e contras, considerou-se que tanto o *Python* como o *Flask* são as linguagens que melhor se enquadram e adaptam aos objectivos propostos para o LaRE.

3.6.2 Front-End

Webpage

Como já foi referido na Secção 3.6, o *Front-end* diz respeito ao aspecto gráfico das páginas *Web* e pretende-se que a prioridade na construção da página seja a simplicidade.

A escolha do desenvolvimento da página recaiu no HTML, CSS e (pontualmente - **REVER**) *JavaScript*.

O *World Wide Web Consortium* (W3C) é uma organização internacional que desenvolve padrões e diretrizes para a *web* visando garantir que a esta permaneça aberta, acessível e interoperável para todos. Os principais objetivos são promover a compatibilidade entre diferentes sistemas e garantir que a *web* seja acessível a todos os utilizadores, independentemente das suas capacidades ou dispositivos. O W3C trabalha em várias áreas, incluindo HTML e CSS [162].

O HTML é a linguagem *standard*, usada para definir a estrutura do seu conteúdo e consiste numa série de elementos usados para delimitar ou agrupar diferentes partes do conteúdo. As *tags* ou etiquetas, podem transformar uma palavra ou imagem num *hyperlink*, pôr palavras em itálico, aumentar ou diminuir a fonte, etc. [163]

Existem 3 tipos de elementos [164]:

- **Normais:** são elementos que têm uma etiqueta de abertura e outra de fecho. Por exemplo, <p></p> define um parágrafo;
- **Texto:** são elementos que não têm uma etiqueta de fecho. Por exemplo, <Title> especifica o título da página em texto simples;
- **Vazios:** têm somente uma etiqueta de início na forma de <tag>. Por exemplo, a etiqueta referencia um ficheiro externo, neste caso uma imagem ou
 que força uma quebra de linha.

Na Figura 3.19 está representada a estrutura de uma página HTML. De referir os navegadores não exibem as etiquetas HTML. O seu propósito é ler os documentos HTML e apresentá-los corretamente.

```
<html>
  <head>
    <title>Page title</title>
  </head>
  <body>
    <h1>This is a heading</h1>
    <p>This is a paragraph.</p>
    <p>This is another paragraph.</p>
  </body>
</html>
```

Figura 3.19: Estrutura de uma página HTML [163]

Segundo o consórcio W3C, as CSS são mecanismos fundamentais para a separação de preocupações no desenvolvimento *web*. Ao delegar a responsabilidade de

formatação visual no CSS, o HTML concentra-se na estrutura semântica do conteúdo. Isso resulta num código mais limpo, de fácil manutenção e acessível. As regras de estilo, que especificam como os elementos HTML devem ser apresentados, podem ser aplicadas a elementos individuais, classes ou *IDs*, permitindo um alto grau de customização. Além disso, o CSS oferece a possibilidade de criar hierarquias de estilos, onde os mais específicos sobrepõem aos mais gerais. As folhas de estilo podem ser inseridas diretamente no documento HTML ou vinculadas a ele através de um arquivo externo, proporcionando maior organização e reutilização de estilos [165].

Um exemplo simples pode ser visto na Listagem 3.1.

```

1      <!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01//EN">
2      <html>
3          <head>
4              <title>My first styled page</title>
5              <style type="text/css">
6                  body {
7                      color: purple;
8                      background-color: #d8da3d }
9                  </style>
10             </head>
11
12             <body>
13             (...)
```

Listagem 3.1: Exemplo CSS incluído na página HTML [166]

As linhas 5 e 6 indicam que é uma folha de estilos escrita em CSS e que o estilo está aplicado ao elemento *body*. As linhas seguintes definem as cores do texto e fundo. No exemplo dado na Listagem 3.1, a folha de estilos está integrada directamente no ficheiro HTML. Mas à medida que a página cresce em complexidade, torna-se incomportável manter a folha de estilos no ficheiro (ou ficheiros) HTML. Para isso, cria-se a folha de estilos com a extensão *.css* e referencia-se este ficheiro em todas as páginas. Neste caso, o exemplo da página apresentado na Listagem 3.1 ficaria da forma apresentada na Listagem 3.2:

```

1      <!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01//EN">
2      <html>
3          <head>
4              <title>My first styled page</title>
5              <link rel="stylesheet" href="meuestilo.css">
6          </head>
7
8          <body>
9              (...)
```

Listagem 3.2: Exemplo da página HTML com o CSS definida externamente [166]

Por sua vez, o ficheiro *meuestilo.css* da forma apresentada na Listagem 3.3:

```

1      body {
2          color: purple;
3          background-color: #d8da3d }
4      </style>
5      (...)
```

Listagem 3.3: Exemplo do CSS definido externamente [166]

No link e link é possível validar as folhas de estilo e as páginas HTML, respectivamente.

Já o *JavaScript* é uma linguagem de programação orientada para objectos e utilizada principalmente para *scripts* dinâmicos do lado do cliente, permitindo que uma aplicação coloque elementos num formulário HTML e responda a eventos do utilizador, como cliques do rato, preenchimento de formulários e navegação na página. Também pode ser utilizada no lado do servidor, permitindo que uma aplicação comunique com uma base de dados, mantenha a continuidade das informações entre diferentes chamadas da aplicação ou manipule ficheiro no servidor.

Isso significa que, no navegador, o *JavaScript* pode alterar a aparência da página e, da mesma forma, o *Node.js* - versão mais avançada do *JavaScript* no servidor - pode responder a solicitações personalizadas enviadas pelo código executado no navegador.

Os programas nesta linguagem são chamados *scripts*. Podem ser escritos directamente numa página HTML e executados automaticamente quando a página é carregada. Estes *scripts* são escritos e executados em texto simples e não precisam de compilador para correr.

O *JavaScript* pode ser executado não apenas nos navegadores, mas também nos servidores, ou, basicamente, em qualquer dispositivo que tenha um *JavaScript Engine*, isto é, *software* específico que execute o código *JavaScript* [167].

Na Listagem 3.4 está representado um exemplo de *JavaScript* que desabilita os seletores de um formulário quando o botão “OK” é clicado.

```
1 (...)  
2 <script>  
3 //Accionar a funcao habilitarSeletores quando o botao "OK"  
    for clicado  
4  
5 document  
6     .querySelector(".stop")  
7     .addEventListener("click", desabilitarSeletores);  
8 </script>  
9 (...)
```

Listagem 3.4: Exemplo de *JavaScript*

Estas linguagens - HTML, CSS e *JavaScript* - são interdependentes e frequentemente utilizadas em conjunto no desenvolvimento *web*, cada uma desempenhando um papel específico na construção e estilização de páginas *web* e na implementação de interatividade. Se o HTML define o conteúdo das páginas, o CSS define a sua aparência e o *JavaScript* define o comportamento [168].

Capítulo 4

Implementação

“Do or do not. There is no try.”

Master Yoda

Neste capítulo aborda-se com mais pormenor os aspectos mais técnicos do LaRE, tendo como base a arquitectura apresentada na Figura 3.7.

O desenvolvimento começou pela implementação e desenvolvimento do servidor *Flask* e página *web*. O primeiro circuito a ser testado e integrado foi a Lei de Ohm. O projecto foi evoluindo com a adição dos restantes circuitos que compõem o LaRE.

O IDE utilizado no desenvolvimento do *software* foi o *Visual Studio Code*¹ e o projecto está alojado no *Github*. O sistema operativo instalado no RaspberryPI 5 foi uma versão ligeiramente modificada do *Arch Linux ARM*.

Os circuitos que compõem o LaRE foram testados e validados individualmente em placas brancas, antes de se proceder à construção da matriz de placas, como referido na Secção 3.5.2.

4.1 Servidor Flask

Não sei se ainad vai ficar desta forma

Hoje em dia vive-se (n)uma Era em que toda a informação está disponível na “ponta dos dedos” e à distância de um *click*. A pesquisa, desenvolvimento e teste dos assuntos mais técnicos revelou-se longa e muitas vezes extenuante. Os recursos

¹<https://code.visualstudio.com/>

são (quase) incomensuráveis e o grande desafio é tentar perceber a dicotomia certo/errado. Recorreu-se à Inteligência Artificial, documentação técnica *online*, fóruns de discussão, ajuda pessoal, tutoriais *online* e vídeos no YouTube.

A base para a implementação do *Flask* e toda a informação descrita neste capítulo teve como base a documentação técnica disponível no site do *Flask* e complementada com alguns tutoriais do *Youtube*, como por exemplo: *link* ou *link*.

4.1.1 Estrutura base

O fluxograma apresentado na Figura 4.1 apresenta o funcionamento geral do servidor *Flask*.

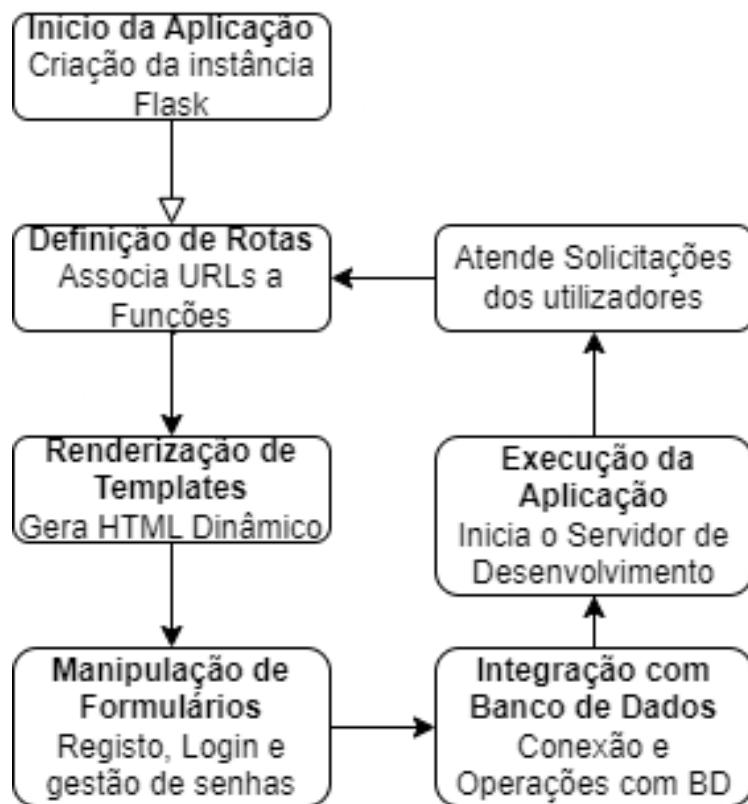


Figura 4.1: Funcionamento geral *Flask*

A estrutura de directórios do *Flask* tem uma base pré-definida que não é necessariamente rígida e pode ser adaptada consoante os requisitos do projecto [136]. No caso do LaRE a estrutura ficou organizada da forma como se mostra na Figura 4.2

A raiz do projecto é o directório “*webserver*” e nele estão contidos o ficheiro principal, assim como outros directórios e ficheiros de configuração essenciais:

- *main.py*: O ficheiro principal do aplicativo que inicializa e configura o *Flask*;
- *requirements.txt*: Uma lista de dependências do projeto que podem ser instaladas usando *Pip Installs Packages* (PIP);

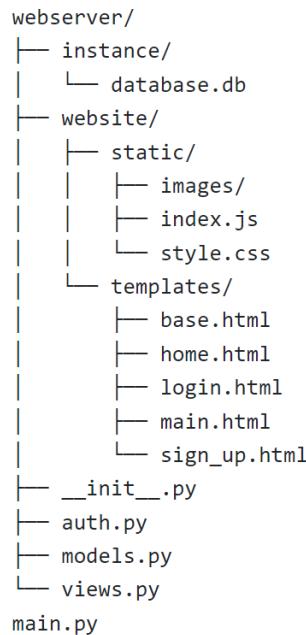


Figura 4.2: Estrutura de directórios - *Flask main.html está a mais*

- *static/*: Este diretório contém os ficheiros estáticos como CSS, *JavaScript* e imagens usadas em toda a aplicação;
- *templates/*: Contém os modelos HTML usado para renderizar as visualizações;
- *instance/*: Diretório para armazenar ficheiros de configuração ou ficheiros que mudam em tempo de execução, específicos da cada instância, por exemplo, ficheiros da base de dados.

Dentro da raiz, criou-se o directório *website* onde se incluiu os ficheiros respeitantes ao funcionamento do *site*. Nele constam os já descritos *templates*, *static* e ainda os seguintes ficheiros:

- *__init__.py*: Inicializa o *Flask* e define as configurações. Este ficheiro dentro da directória *website* faz com que esta seja tratada como um pacote *Python*. Isto quer dizer que a directória pode ser importada e tudo o que estiver dentro é executado automaticamente;
- *views.py*: Contém as funções de visualização para o tratamento de pedidos *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP);
- *models.py*: Define os modelos de dados para a aplicação;
- *auth.py*: Este ficheiro é responsável por lidar com a autenticação e autorização de utilizadores, pode incluir funções e rotas que permitem aos utilizadores registarem-se, fazer *login* e fazer *logout*.

4.1.2 Rotas

As aplicações Web modernas utilizam URLs amigáveis para ajudar os utilizadores a memorizar e utilizar o nome para voltar a visitar diretamente uma página.

No *Flask* utiliza-se o decorador *route()* para associar uma função a um URL, tal como pode ser visto na Listagem 4.1.

```

1 @views.route("/ohm", methods=['GET', 'POST'])
2 @login_required
3 def pagina_seguinte():
4     return render_template("ohm.html", user=current_user)

```

Listagem 4.1: Decorador *route()* - *views.py*

O decorador *route* define uma rota para a URL *ohm*. Esta rota aceita pedidos HTTP de métodos *GET* e *POST*.

O decorador *login* garante que o utilizador tem de estar autenticado para aceder a esta rota. Se o utilizador não estiver autenticado, será redirecionado para a página de *login*.

A função *página_seguinte()* é executada assim que a respectiva rota for acedida.

A última linha renderiza o template *home.html* e passa o objecto *current_user* para o template.

Para construir um URL para uma função específica, usa-se a função *url_for()*. Esta função aceita o nome da função como seu primeiro argumento e qualquer número de argumentos de palavras-chave, cada um correspondendo a uma parte variável da regra de URL, tal como pode ser visto na Listagem 4.2

```

1 (...)

2 if user:
3     if check_password_hash(user.password, password):
4         flash('Logged in successfully!', category='success')
5         login_user(user, remember=True)
6         return redirect(url_for('views.home'))
7 ...

```

Listagem 4.2: Construção de urls - *auth.py*

Isto quer dizer que o *Flask* gera a URL correspondente à função *home()* definida no ficheiro *views.py* dentro da Blueprint *views*. Quando usada dentro de *redirect*, redireciona o utilizador para essa URL.

4.1.3 Blueprints

O *Flask* usa um conceito de *blueprints* para criar componentes de aplicações e suportar padrões comuns dentro de uma aplicação ou entre aplicações. As *blueprints* podem simplificar muito o funcionamento de grandes aplicações e fornecer um meio central para que as extensões do *Flask* registem operações em aplicações. As *blueprints* permitem organizar a aplicação em partes menores e de mais fácil gestão. O conceito básico das *blueprints* é que registam as operações a executar quando são integrados numa aplicação. O *Flask* associa funções de vista (*views*) a *blueprints* quando processa pedidos e gera URL entre diferentes pontos de acesso.

Nas Listagens 4.3 e 4.4 podem ver-se as duas *blueprints* definidas no caso da implementação do LaRE.

```
1 views = Blueprint('views', __name__)
```

Listagem 4.3: Blueprint *views* - *views.py*

```
1 auth = Blueprint('auth', __name__)
```

Listagem 4.4: Blueprint *auth* - *auth.py*

Ambas as *blueprints* são registadas no ficheiro `__init__.py`, como se pode verificar na Listagem 4.5

```
1 app.register_blueprint(views, url_prefix='/')
2 app.register_blueprint(auth, url_prefix='/')
```

Listagem 4.5: Registo das *blueprints* - *__init__.py*

Isto quer dizer que ao registar a *blueprint* com o prefixo “/”, os URLs serão acessíveis através da raiz da aplicação.

4.1.4 Pedidos

A capacidade de uma aplicação *web* em responder a solicitações de dados do cliente é um requisito essencial. No *Flask* esta informação é fornecida pelo objeto global *request*. Este objeto contém todos os detalhes da solicitação, como os métodos HTTP usados (*GET*, *POST*, etc.), os *headers* os *cookies* ou o corpo da requisição.

O método de requisição pode ser determinado através do atributo ***method***. Para aceder aos dados de um formulário (transmitidos numa requisição *POST* ou *PUT*), utiliza-se o atributo ***form***, tal como pode ser visto na Listagem 4.6.

```
1 @auth.route('/login', methods=['GET', 'POST'])
2 def login():
3     if request.method == 'POST':
4         email = request.form.get('email')
5         password = request.form.get('password')
6
7         user = User.query.filter_by(email=email).first()
8         if user:
9             if check_password_hash(user.password, password):
10                 flash('Logged in successfully!', category='success')
11                 login_user(user, remember=True)
12                 return redirect(url_for('views.home'))
13             else:
14                 flash('Incorrect password, try again.', category='error')
15         else:
16             flash('Email does not exist.', category='error')
17
18     return render_template("login.html", user=current_user)
```

Listagem 4.6: Exemplo atributo *request* - *auth.py*

Quando se adiciona um ponto de interrogação (?) seguido de pares chave-valor (key=value) no final de um URL, está a enviar-se dados adicionais ao servidor, esses dados são chamados de **parâmetros do URL**, como se pode ver na Listagem 4.8.

```

1  @views.route('/config_VirtualBench', methods=['GET', 'POST',
2      ])
3  @login_required
4  def config_VirtualBench():
5      try:
6          Vcc = request.args.get('Vcc', 0, int)
7          Resistance = request.args.get('R', 0, int)
8          (...)

9      except Exception as e:
10         print(e)
11         return jsonify({'measurement_result': 'ERROR'})
12     finally:
13         return jsonify({'measurement_result':
14             measurement_result})

```

Listagem 4.7: Exemplo atributo *args* - *views.py*

```

1 const url = '/config_VirtualBench?parameter=${parameter}&
  Vcc=${Vcc}&R=${Resistance}';

```

Listagem 4.8: Exemplo argumentos passados ao servidor - ohm.html

No entanto, a criação e renderização das páginas HTML é feita automaticamente através dos modelos *Jinja2*². Os modelos podem ser usados para gerar qualquer tipo de ficheiro de texto, sendo que para aplicações *web* serão, principalmente, páginas HTML.

Na Listagem 4.9 pode ver-se um exemplo da combinação entre código HTML e sintaxe *Jinja2*.

²A documentação pode ser consultada em *Jinja*

```

1  <title>{% block title %}Home{% endblock %}</title>
2  </head>
3  <body>
4      <nav class="navbar navbar-expand-lg navbar-dark bg-dark"
5          "gt;
6          <button
7              class="navbar-toggler"
8              type="button"
9              data-toggle="collapse"
10             data-target="#navbar"
11             >
12                 <span class="navbar-toggler-icon"></span>
13             </button>
14             <div class="collapse navbar-collapse" id="navbar">
15                 <div class="navbar-nav">
16                     {% if user.is_authenticated %}
17                         <a class="nav-item nav-link" id="home" href="/">
18                             Home</a>
19                         <a class="nav-item nav-link" id="logout" href="/
20                             logout">Logout</a>
21                     {% else %}
22                         <a class="nav-item nav-link" id="login" href="/
23                             login">Login</a>
24                         <a class="nav-item nav-link" id="signUp" href="/
25                             sign-up">Sign Up</a>
26                     {% endif %}
27                 </div>
28             </div>

```

Listagem 4.9: Exemplo sintaxe *Jinja2* - base.html

No código HTML, encontram-se secções entre chavetas com palavras-chave especiais como por exemplo `% block %` e `% endblock %`. Estes são blocos de modelo *Jinja2* que definem áreas de conteúdo dinâmico que podem ser preenchidas com lógica ou dados em *Python*.

Para renderizar um modelo, o método utilizado foi `render_template()`, como pode ser visto na Listagem 4.6, linha 18. O *Flask* procurará por modelos na pasta *templates*, como pode ser visto na Figura 4.2.

Na página oficial do *Flask* é recomendado que se aceda aos parâmetros do URL com `get` ou capturando o ***KeyError***, uma vez que os utilizadores podem alterar o URL e, nesse caso, apresentar uma página *400 bad request* não é de fácil interpretação.

4.1.5 Base de dados

A aplicação desenvolvida usa uma base de dados e autenticação de utilizador, a ligação com a base de dados é aberta no início do pedido e é obtida a informação do utilizador. No final do pedido, a ligação com a base de dados é fechada.

No contexto da documentação do *Flask* e implementação de uma base de dados, são apresentados duas alternativas: *SQLite 3* e *SQLAlchemy*. Tal como referenciado/aconselhado na documentação, usou-se a extensão *Flask-SQLAlchemy*, como apresentado na Listagem 4.10

Nota para minha referência: Falar de instalar o pacote SQLAlchemy?

```
1
2 from flask_sqlalchemy import SQLAlchemy
3
4 db = SQLAlchemy()
5 DB_NAME = "database.db"
6
7 def create_app():
8     app = Flask(__name__)
9     app.config['SECRET_KEY'] = 'hjshjhdjah kjshkjdhjs'
10    app.config['SQLALCHEMY_DATABASE_URI'] = f'sqlite:///{'DB_NAME}'
11    db.init_app(app)
12 (...)
```

Listagem 4.10: Exemplo uso *SQLAlchemy* - *init.py*

4.1.6 Autenticação

A segurança da aplicação é feita com recurso à página de *login* e *logout*, para isso foi instalada a extensão *flask-login*, tal como é apresentado na Listagem 4.11

```

1  @auth.route('/login', methods=['GET', 'POST'])
2  def login():
3      if request.method == 'POST':
4          email = request.form.get('email')
5          password = request.form.get('password')
6
7          user = User.query.filter_by(email=email).first()
8          if user:
9              if check_password_hash(user.password, password):
10                  :
11                  flash('Logged in successfully!', category='success')
12                  login_user(user, remember=True)
13                  return redirect(url_for('views.home'))
14              else:
15                  flash('Incorrect password, try again.', category='error')
16
17      else:
18          flash('Email does not exist.', category='error')
19
20  return render_template("login.html", user=current_user)

```

Listagem 4.11: Exemplo autenticação *login*

4.2 pyVirtualBench

Antes de se avançar para uma explicação mais pormenorizada das experiências, importa enquadrar o *pyVirtualBench* no contexto do *software*. Já foi referido na Secção 3.2 que o *pyVirtualBench* é um *wrapper* que permite controlar o VB a partir de uma aplicação *Python*. Viu-se também que este *wrapper* não é compatível com *Linux* e não é suportado oficialmente pela NI. Por isso, toda a programação, controlo e configuração do VB foi realizada com base neste *wrapper* que pode ser transferido ou consultado no GitHub.

Além de instalar a biblioteca, os autores disponibilizam uma série de exemplos, sendo que, aqueles que mais se enquadram nos objectivos deste projecto são:

- *dmm_example.py*: exemplo que demonstra como efetuar medições utilizando o multímetro digital;
- *fgen_example.py*: exemplo que demonstra como configurar e gerar uma onda através do gerador de sinal;
- *mso_simple_example.py*: exemplo que demonstra como configurar e adquirir dados do osciloscópio, utilizando a funcionalidade de configuração automática incorporada;

- *ps_example.py*: exemplo que demonstra como efetuar medições utilizando a fonte de alimentação.

4.2.1 VirtualBench VB-8012

Na implementação do *pyVirtualBench* é preciso ter em atenção alguns pormenores que podem levantar potenciais problemas de interpretação e implementação.

Como já se viu na Secção 3.5 o VB é constituído por 5 instrumentos, 4 dos quais utilizados no LaRE: Fonte de tensão, gerador de sinal, osciloscópio e multímetro digital. Vários instrumentos podem ser chamados ao mesmo tempo e a cada instrumento, assim como ao VB é atribuído um **OBJECTO?endereço?referência? - verificar**

```

1 virtualbench = PyVirtualBench('VB8012-30A210F')
2 ps = virtualbench.acquire_power_supply()
3 dmm = virtualbench.acquire_digital_multimeter()
```

Listagem 4.12: Chamada do VB e instrumentos

O resultado da Listagem 4.12 é:

- (...)PyVirtualBench object at 0x000001E7DEECAD20;
- (...)PyVirtualBench.PowerSupply object at 0x000001E7DEECB2F0;
- (...)PyVirtualBench.DigitalMultimeter object at 0x000001E7DEECBC50;

No entanto, no fim da execução do ficheiro, o VB e os restantes instrumentos têm de ser libertados:

```

1 ps.release()
2 dmm.release()
3 virtualbench.release()
```

Listagem 4.13: Libertar instrumentos e VB

Sempre que o ficheiro é chamado é criado um objecto diferente para cada instrumento. Inclusive, havendo várias funções no mesmo ficheiro, os objectos criados têm de ser passados entre funções ou então, terminar e chamar o(s) instrumento(s) entre chamadas de funções. Outra hipótese seria o uso de variáveis globais. Estes factos/-procedimentos/whatever levantariam problemas de objectividade e organização do código.

Na secção seguinte explica-se a solução encontrada.

4.3 Circuitos/Experiências

Como já foi referido na Secção 3.2, o LaRE é composto por 5 circuitos. A implementação começou com o desenho esquemático e, tal como referido na Secção 3.5.4, tentou-se, sempre que possível, utilizar os relés SPST no comando das fontes e aparelhos de medida e os relés DPST no controlo dos componentes, tal como se pode ver na Figura 4.3. O relé K_4 - SPST - comanda a fonte de alimentação de 5 V e os relés K_1 a K_3 - DPST - comandam os componentes.

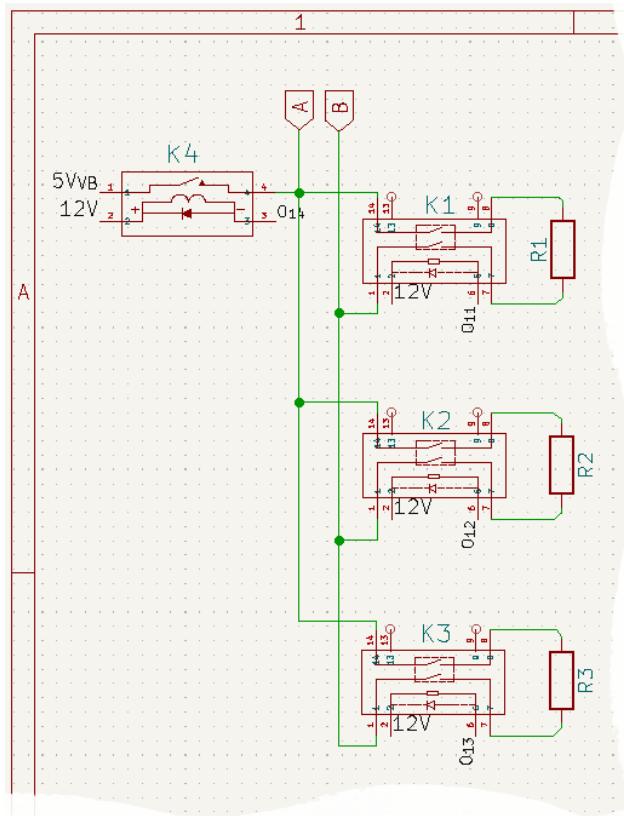


Figura 4.3: Exemplo de utilização de relés SPST e DPST

Como já se viu na Secção 3.5.5, o RaspberryPI não tem capacidade para comandar os relés. Para isso, é necessário usar o *ULN2003A* que é um *driver* de relés. Na Figura 4.4 está representado o diagrama simplificado para uma entrada/saída do *ULN2003A*.

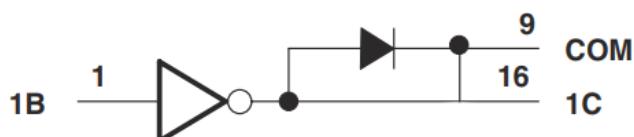


Figura 4.4: Diagrama de blocos simplificado do *ULN2003A*

O terminal 9 - *COM* - é ligado à tensão de comando dos relés e é para os dióodos de “roda livre”, como referido na Secção 3.5.4. No caso dos modelos de relés utilizados neste projecto, a tensão é de 12 V. O *ULN2003A* faz parte da família dos *drivers* inversores. Se o valor lógico na entrada “1B” = “0” (ou 0 V), então, a saída “1C” = “1” (ou 12 V).

As Figuras 4.5 e 4.6 servem para ilustrar o funcionamento dos relés, em conjunto com o *ULN2003A* e o *SN74HC595*. Neste exemplo usou-se um relé SPST. No entanto, o funcionamento é idêntico para os relés DPST, mudando somente os pinos.

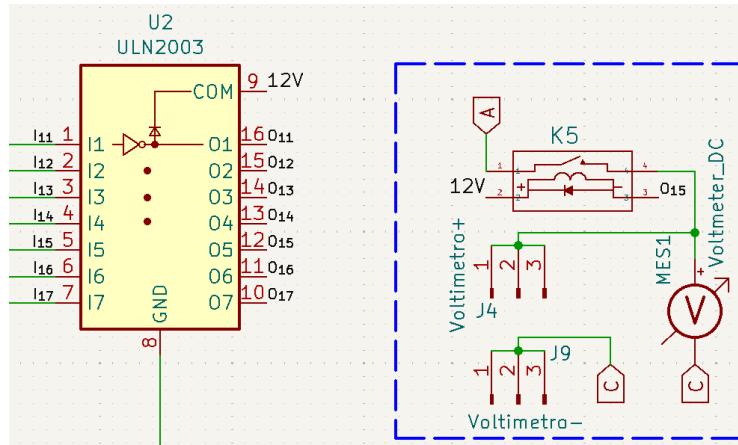


Figura 4.5: Exemplo de comando dos relés, usando o *ULN2003A*

As entradas I_1 a I_7 são comandadas pelo RaspberryPI, através do registo de deslocamento - *SN74HC595*. As saídas O_1 a O_7 vão comandar os relés - terminais “3” e os terminais “2” dos relés são ligados aos 12 V. O funcionamento está descrito na Listagem 4.1:

Tabela 4.1: Tabela funcionamento *ULN2003A* e relés

ULN2003A		Relés
Entrada	Saída	Estado
“0” (0 V)	“1” (12 V)	Desactivado
“1” (12 V)	“0” (0 V)	Activado

No caso particular do exemplo descrito em cima, se $I_5 = I_{15} = 0$ V, então, a saída $O_5 = 12$ V e não há diferença nos terminais “2” e “3” na bobina do relé “K5”. O relé está desactivado. Por outro lado, se $I_5 = I_{15} = 12$ V, então, a saída $O_5 = 0$ V, há diferença de potencial aos terminais da bobina e o relé está activado.

Como já foi referido na Secção 3.5.6, o *SN74HC595* é um registo de deslocamento de 8 bits, do tipo SIPO. Uma trama de bits é enviado pelo RaspberryPI para o registo através do pino *SER(Serial)*. Na Figura 4.6 pode ver-se o diagrama explicativo do processo de envio. Por cada impulso ascendente no pino *SRCLK - Shift Register*

Clock - Os *bits* são enviados um-a-um para o registo de deslocamento. No final, um impulso ascendente no *RCLK* - *Register Clock* - faz com que os *bits* sejam enviados para o registo de memória e, por conseguinte, para os relés.

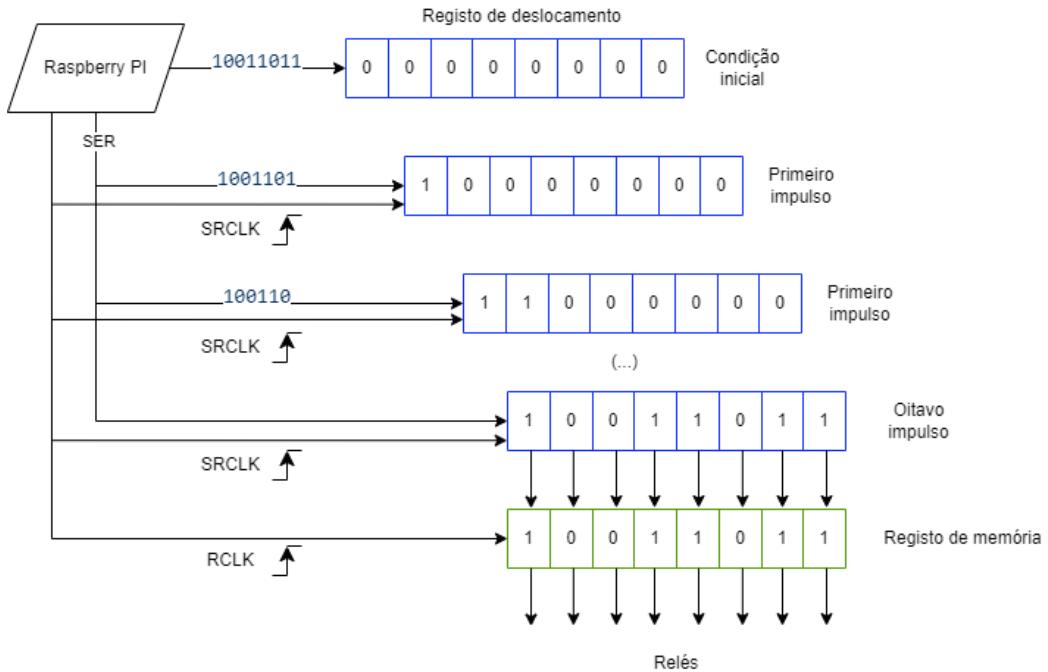


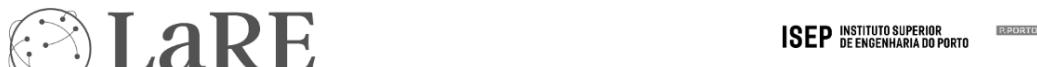
Figura 4.6: Envio de *bits* para o registo de deslocamento

4.3.1 Lei de Ohm

Nesta experiência procura-se provar a Lei de Ohm. Da forma como está implementado, o tutor ou professor, pode optar por apresentar o conceito de duas formas distintas:

- O utilizador ou aluno parte do valor já conhecido da resistência e constrói o gráfico da Tensão *vs* Corrente, efectuando cinco medições diferentes. No final confronta o valor conhecido com o declive da recta - que pode ser, ou não, apresentado com o gráfico, como pode ser visto na Figura 4.7.
- O utilizador ou aluno não sabe o valor da resistência e constrói o gráfico, obtendo o valor prático calculando o declive da recta, que mais uma vez, pode ou não, ser apresentado juntamente com o gráfico, tal como pode ser visto na Figura 4.8.

Na implementação desta experiência foram criados os ficheiros *ohm.html*, como se pode ver, por exemplo, na Figura 4.7 e o ficheiro *configVB.py*



<p>Menu Principal</p> <p>Lei de Ohm</p> <p>Rectificador de meia onda</p> <p>Rectificador de onda completa</p> <p>Filtro Passa-Alto</p> <p>Filtro Passa-Baixo</p>	<p>Escolha uma das três resistências</p> <p>Clique OK para iniciar as medições, STOP para interromper</p> <p style="text-align: center;">OK STOP/RESET</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; width: 150px;"> Seleccionar Vcc: 1 2 3 4 5 </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; width: 150px;"> Seleccionar R: 1 1.1 1.5 </div> </div>	<p>Medir Tensão »</p> <p>Medir Corrente »</p> <p>gráfico »</p>
--	---	---

Figura 4.7: Experiência Lei de Ohm



<p>Menu Principal</p> <p>Lei de Ohm</p> <p>Rectificador de meia onda</p> <p>Rectificador de onda completa</p> <p>Filtro Passa-Alto</p> <p>Filtro Passa-Baixo</p>	<p>Escolha uma das três resistências</p> <p>Clique OK para iniciar as medições, STOP para interromper</p> <p style="text-align: center;">OK STOP/RESET</p> <p>Lorem ipsum</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; width: 150px;"> Seleccionar Vcc: 1 2 3 4 5 </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; width: 150px;"> Seleccionar R: Ra Rb Rc </div> </div>	<p>Medir Tensão »</p> <p>Medir Corrente »</p> <p>gráfico »</p>
--	---	---

Figura 4.8: Experiência Lei de Ohm - Resistências desconhecidas

4.3.2 Configuração do VirtualBench

Da forma como está implementado o controlo da experiência, por parte do utilizador, levanta alguns pro

4.4 qualquer coisa que ainda não sei o quê

Após análise e estudo da informação presente no *site* do *Flask* e nos tutoriais mencionados em cima, definiu-se e implementou-se a página de autenticação no ficheiro *auth.py*, tal como pode ser visto na Figura 4.9:

Figura 4.9: Página de *login*

Um exemplo de como foi implementada a função *login()* está representada na Listagem 4.11 e a rota está definida para a página */login*, como apresentado na mesma Figura, linha 17.

Os dados de *login* e registo são guardados na directória *instance*, ficheiro *database.db*.

Além da rota definida para o *login*, as outras rotas definidas no ficheiro *auth.py* foram as *sign-up* e *logout*. A estrutura base da função *login*, representada na Listagem 4.11, é idêntica para as restantes, sendo que “*/login*” representa a rota especificada, dentro da função há o código específico inerentes a cada função e o *return render_template* indica qual a página a ser renderizada.

A juntar às páginas que compõem a estrutura base do *site*, representadas na Figura 4.2, há ainda a juntar as páginas que permitem ao utilizador interagir com as experiências do LaRE. Neste caso, serão cinco páginas, correspondentes aos 5 circuitos definidos na Secção 3.2.

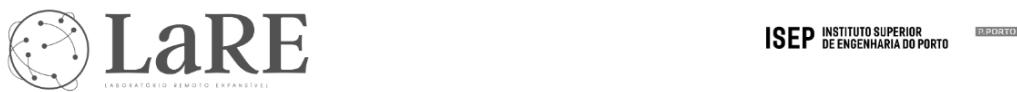
O menu de escolha foi retirado do *site w3schools* e modificado de acordo com as necessidades do projecto, tal como pode ser visto na Figura 4.10.

As páginas referentes às experiências seguem a mesma estrutura de menus.

~~Uma das partes mais erucias e que levantou mais dificuldades foi a comunicação e o envio de parâmetros entre as páginas HTML e o Flask.~~

Esta matriz, que inclui os circuitos definidos na Secção 3.2, assim como a alimentação e as ligações ao RaspberryPI, compõe as 5 experiências.

Esta matriz é composta por 3 placas:



LaRE - Laboratório Remoto Expansível

<p>Menu Principal</p> <p>Lei de Ohm</p> <p>Rectificador de meia onda</p> <p>Rectificador de onda completa</p> <p>Filtro Passa-alto</p> <p>Filtro Passa-Baixo</p>	<p>LaRE</p> <p>O LaRE é um laboratório remoto que oferece aos alunos a possibilidade de realizar cinco diferentes experiências de forma remota, proporcionando uma vivência equivalente às sessões tradicionais de laboratórios práticos.</p> <p>Mais informação no menu de escolha das experiências.</p> <p>Suporte</p> <p>Enviar email</p> <p>Software Livre</p> <p>LaRE é um projeto de software livre e pode aceder ao código fonte em GitHub</p>
--	--

Figura 4.10: Página de menus

- Alimentação:
 - Transformador;
 - Fonte de tensão de 5 V;
- Circuito da Lei de Ohm;
- Circuitos de Rectificação e filtros:
 - Rectificação de meia onda;
 - Rectificação de onda completa;
 - Filtro passa-baixo;
 - filtro passa-alto.

Capítulo 5

Resultados

“Newton’s third law. You’ve got to leave something behind”

Cooper

5.1 Limitações

5.2 Melhoramentos

Capítulo 6

Conclusões

“Make your lives extraordinary”

Professor John Keating



Matriz de relés LaRE - Protótipo

1 Características

- Matriz com 3 placas baseadas nas dimensões PC/104;
- Fonte de alimentação-5 V/1 A, baseado no LM317^a;
- Experiências:
 - Lei de Ohm;
 - Rectificador de meia onda e onda completa;
 - Filtros passa-alto e passa-baixo.



^aDatasheet LM317

2 Descrição

A matriz de relés do LaRE é constituída por três placas: placa de alimentação, placa com o circuito da Lei de Ohm e a placa com os circuitos dos filtros e rectificadores. A matriz do LaRE é controlada pelo RaspberryPI. Há vários tipos de alimentação: 220 V AC que alimenta o rectificador de onda completa; o VirtualBench fornece alimentação de 12 V DC ao LM317 e aos registos de deslocamento, sn74hc595¹ e fornece tensão variável 0-5 V DC ao circuito da Lei de Ohm. Os ULN2003a², são alimentados pela fonte de alimentação, baseada no LM317, 5 V. Todas as medições são feitas pelo VirtualBench.

3 Aplicações

- Laboratórios Remotos;
- Experiências remotas;
- Estudo da Lei de Ohm;;
- Estudo de rectificadores;
- Estudo de filtros.

¹Datasheet SN74HC595

²Datasheet ULN2003a

4 Especificações técnicas

Tabela 1: Especificações técnicas genéricas - **Sujeito a mudança**

	Unidades	Valores
I_{Max} do VirtualBench	A	0.5
I_{Max} da fonte 5 V DC	A	1.5
Transformador	?	REVER
Dimensões placas	mm * mm	96x90

Tabela 2: Especificações técnicas genéricas dos relés - **Sujeito a mudança**

Relés	Bobine			Contactos		
	$V_{Nominal}$	V_{Max}	P_{Max}	V_{Max}	I_{Max}	I_{Max}
3570-1331-123	12 V	16 V	10 W	150 V _{DC}	0.5 A	1 A
3572-1220-123						

Tabela 3: Ligações entre placas - **Sujeito a mudança**

	Tipo de ligações
RaspberryPI-LaRE	Conector IDC, fêmea, 40 pinos, 2.54 mm
Placa Lei de Ohm-Rectificadores/Filtros	Conector de 6 pinos Arduino Stackable
Placa Fontes de tensão-Rectificadores/Filtros	Conector KK, 2.54 mm, M/F

Conteúdo

1 Características	1
2 Descrição	1
3 Aplicações	1
4 Especificações técnicas	2
5 Pinout	4
6 Dimensões mecânicas	7
7 Esquemas elétricos	8
8 Esquemas PCB	11

Lista de Tabelas

1	Especificações técnicas genéricas - Sujeito a mudança	2
2	Especificações técnicas genéricas dos relés - Sujeito a mudança	2
3	Ligações entre placas - Sujeito a mudança	2

5 Pinout

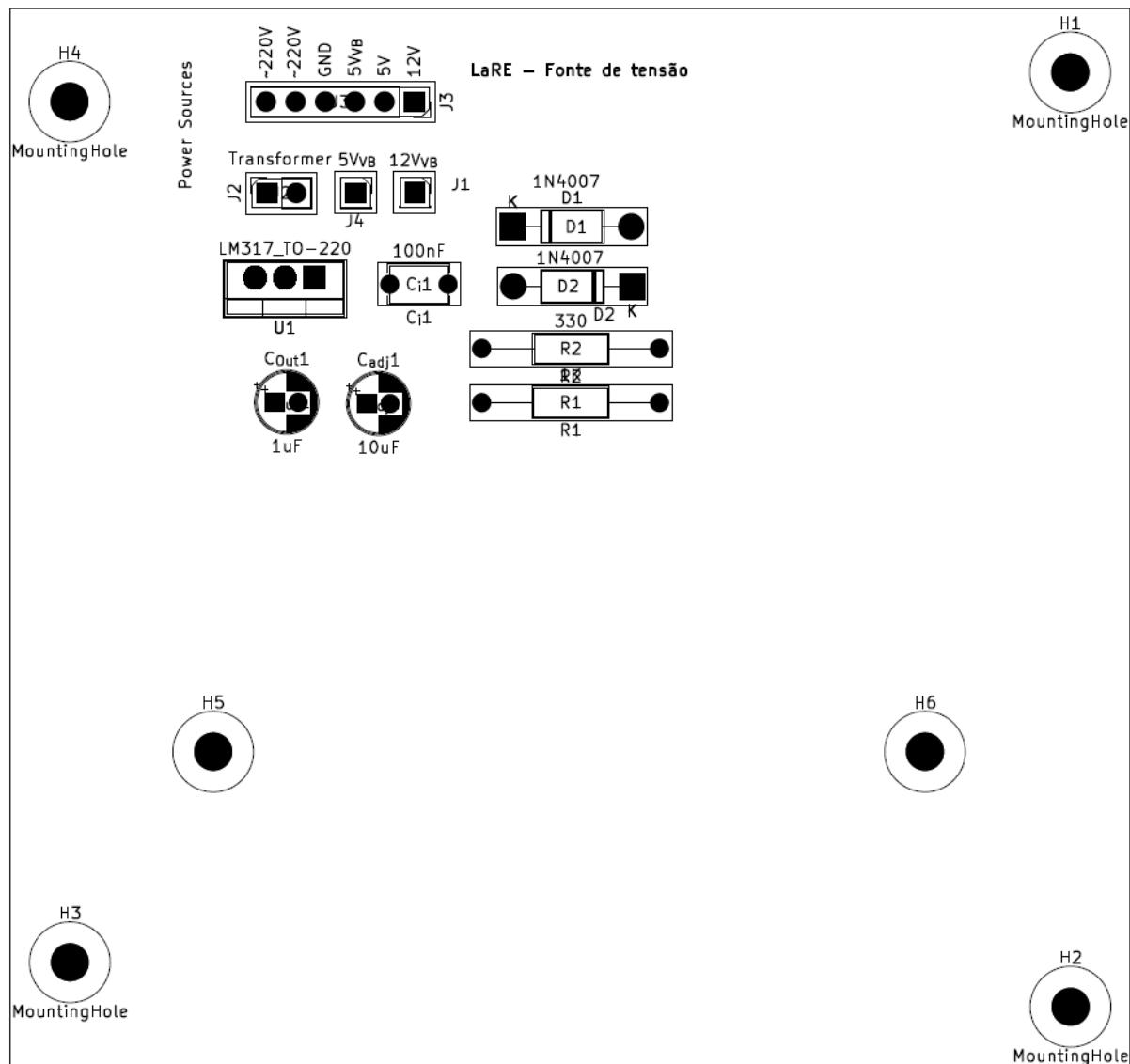


Figura 1: LaRE - Pinout [Fonte de tensão]

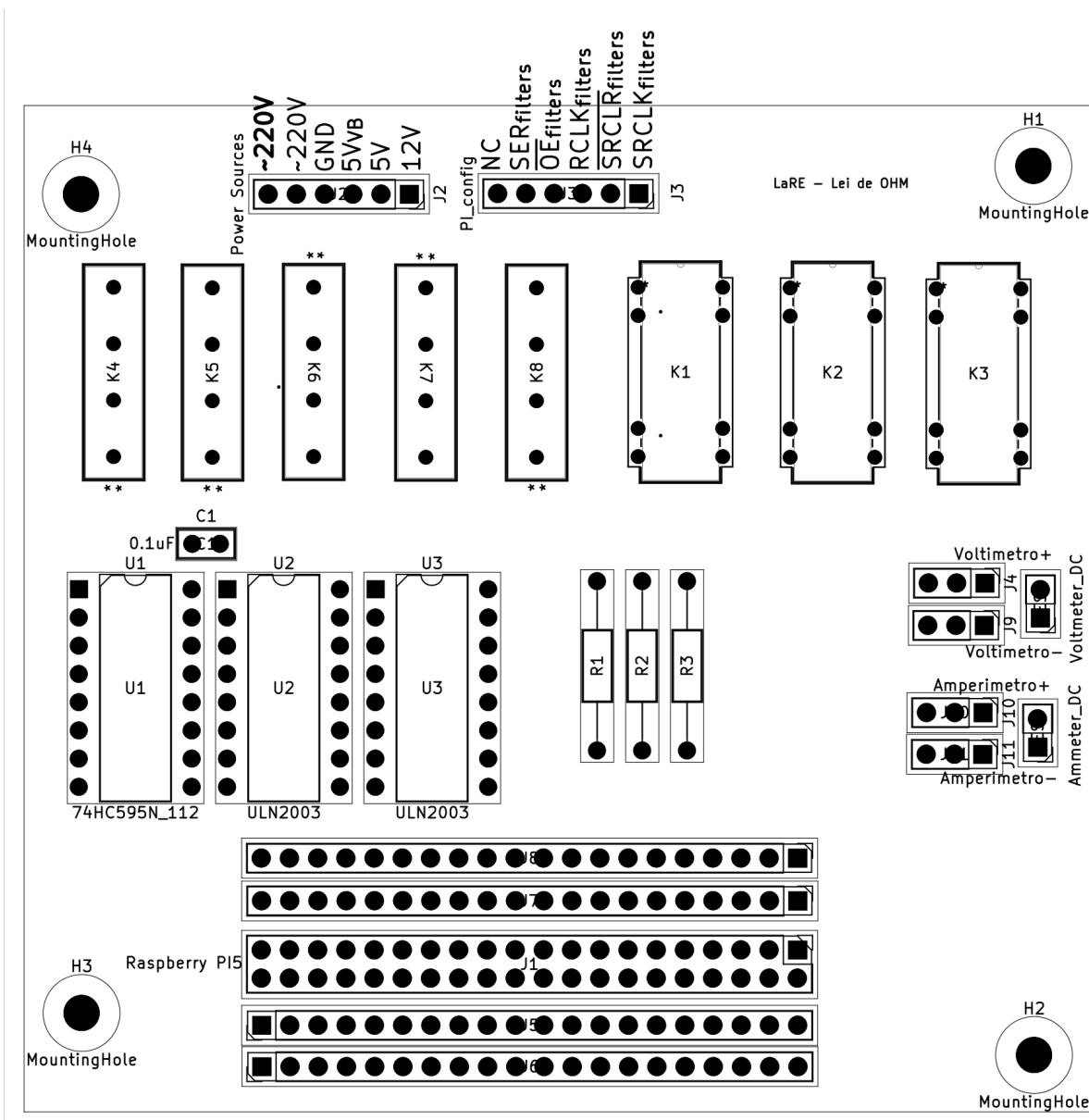


Figura 2: LaRE - Pinout [Lei de Ohm]
Os símbolos ** indicam o pino 1 dos relés

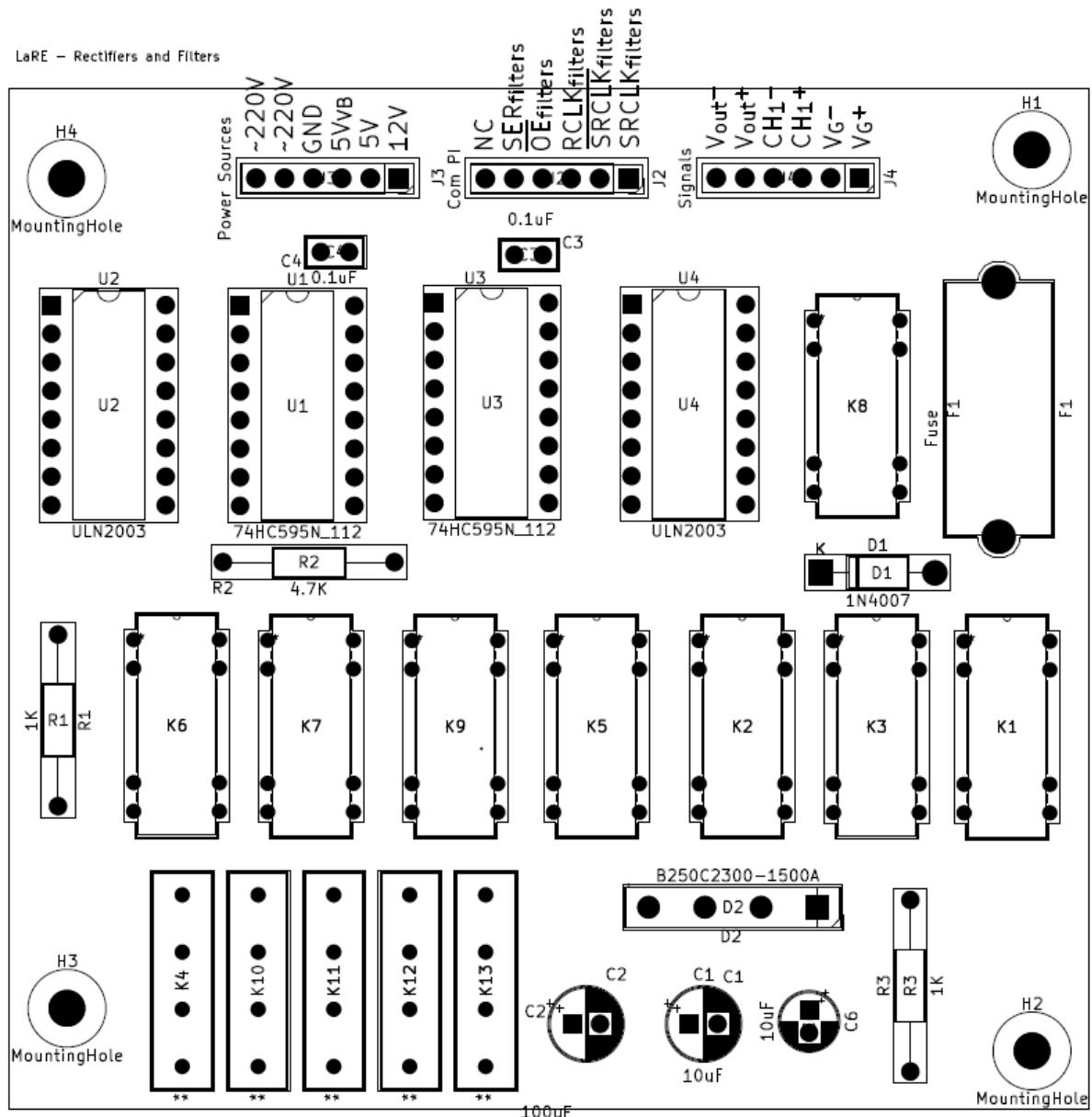
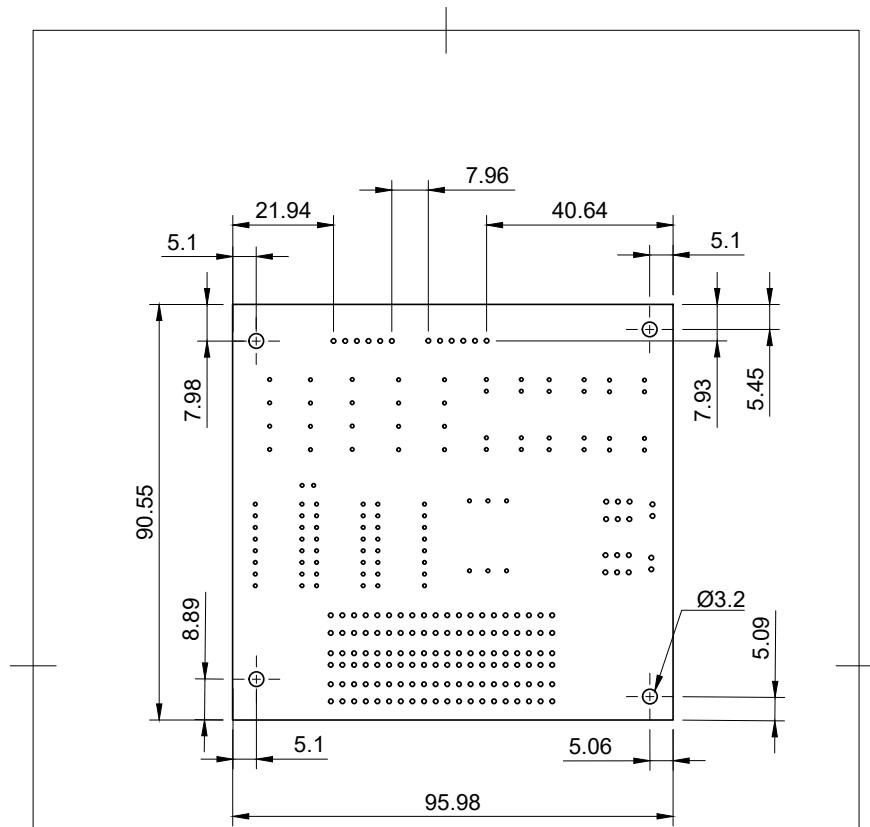


Figura 3: LaRE - Pinout [Rectificadores/Filtros]

6 Dimensões mecânicas



Dept. ISEP	Technical reference Dimensões	Created by Eduardo Ramalhadeiro 20/07/2024	Approved by
		Document type Datasheet Matriz	Document status Protótipo
	Title LaRE - Matriz	DWG No.	1
		Rev. 1	Date of issue 20/07/2024
			Sheet 1/1

Figura 4: Dimensões mecânicas PC/104 - LaRE

7 Esquemas elétricos

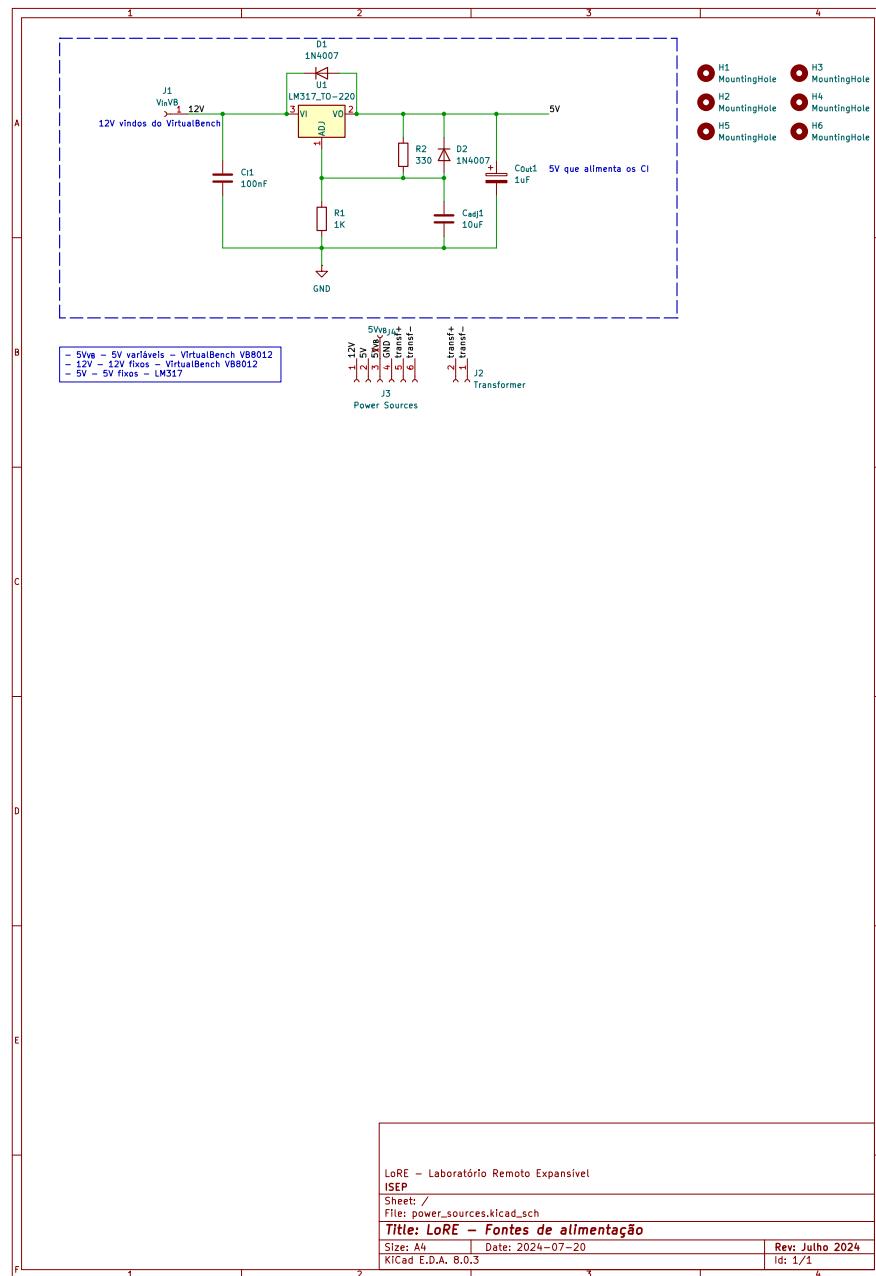


Figura 5: LaRE - Esquema [Fonte de tensão]

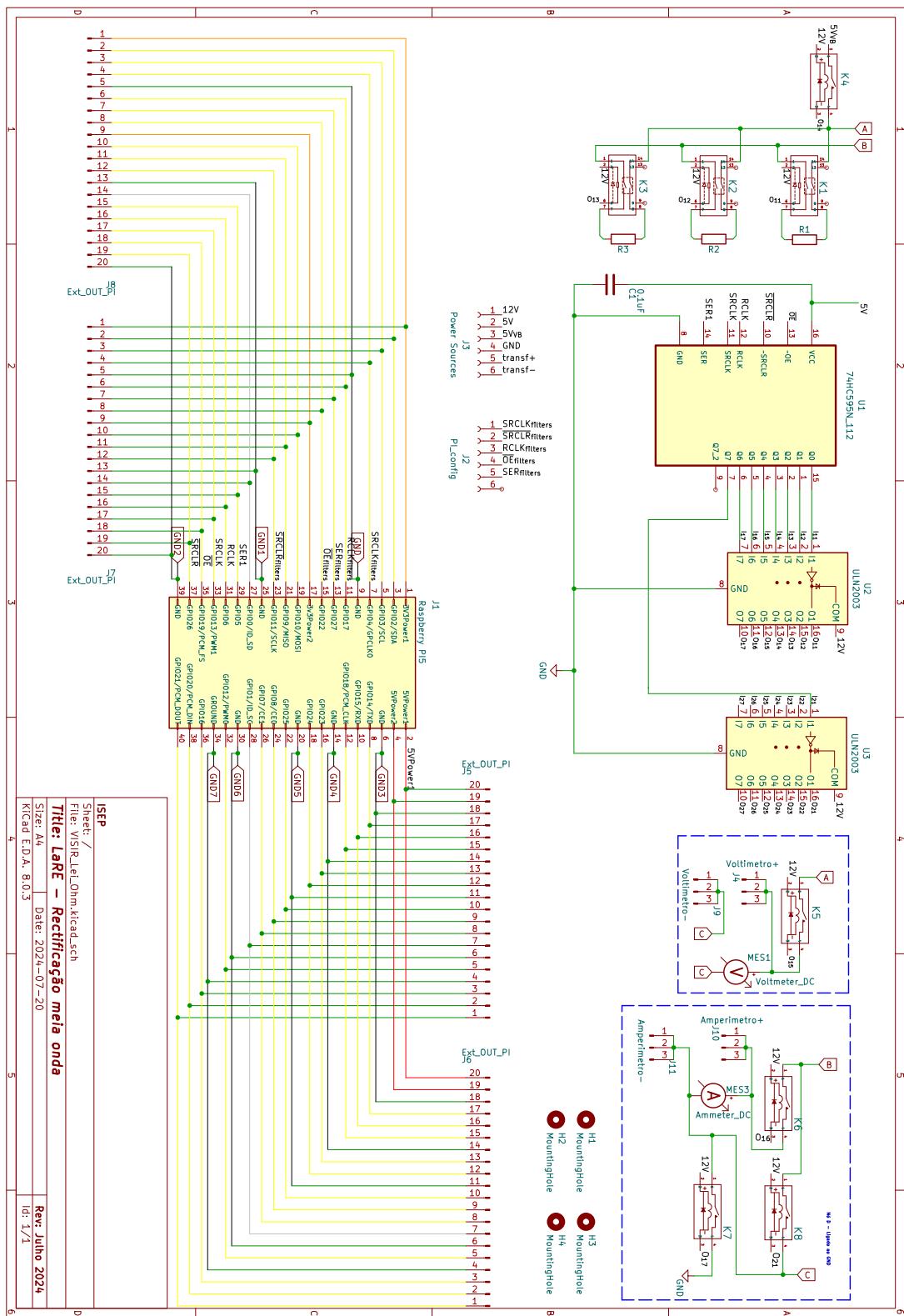


Figura 6: LaRE - Esquema [Lei de Ohm]

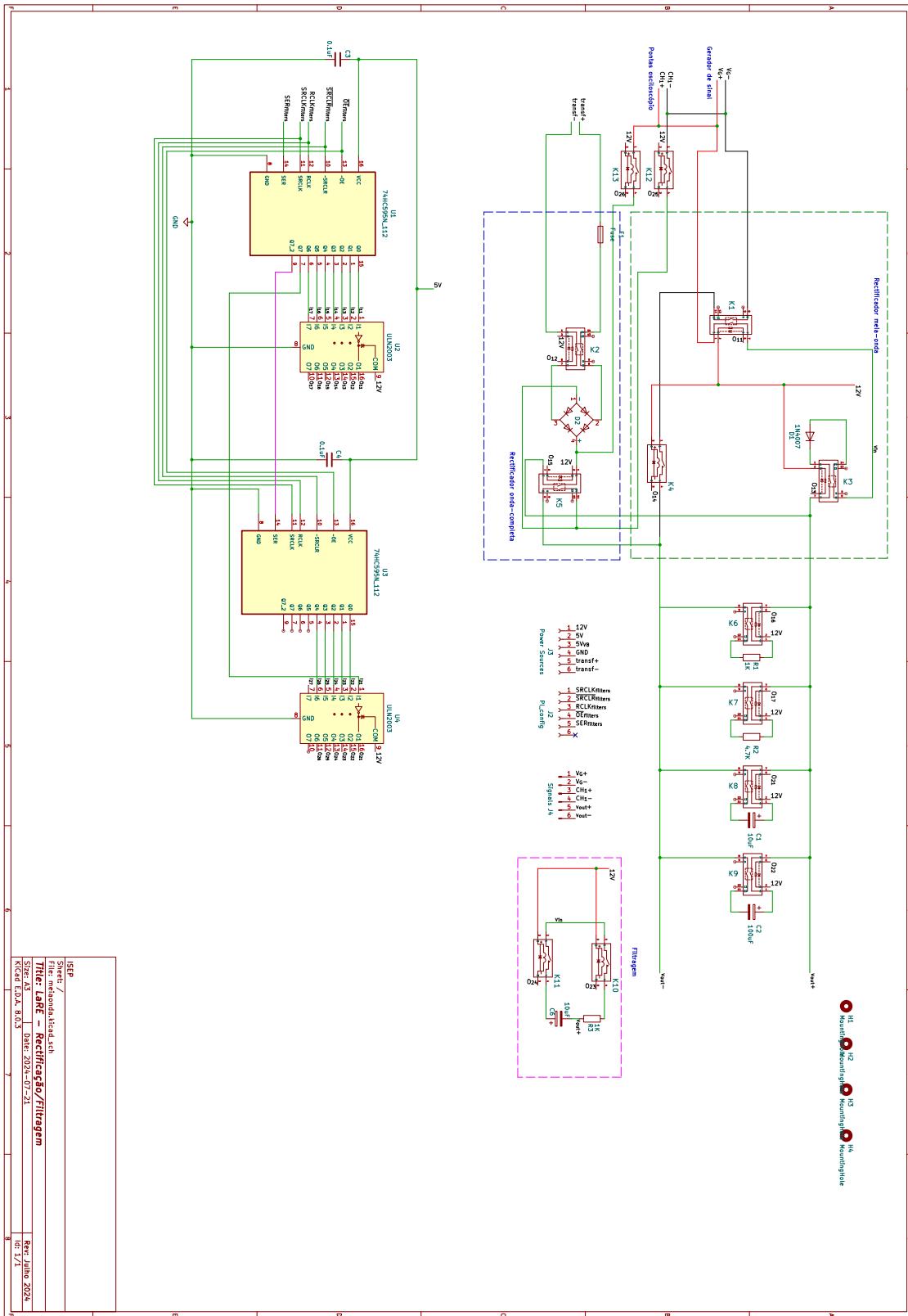


Figura 7: LaRE - Esquema [Recificadores/Filtros]

8 Esquemas PCB

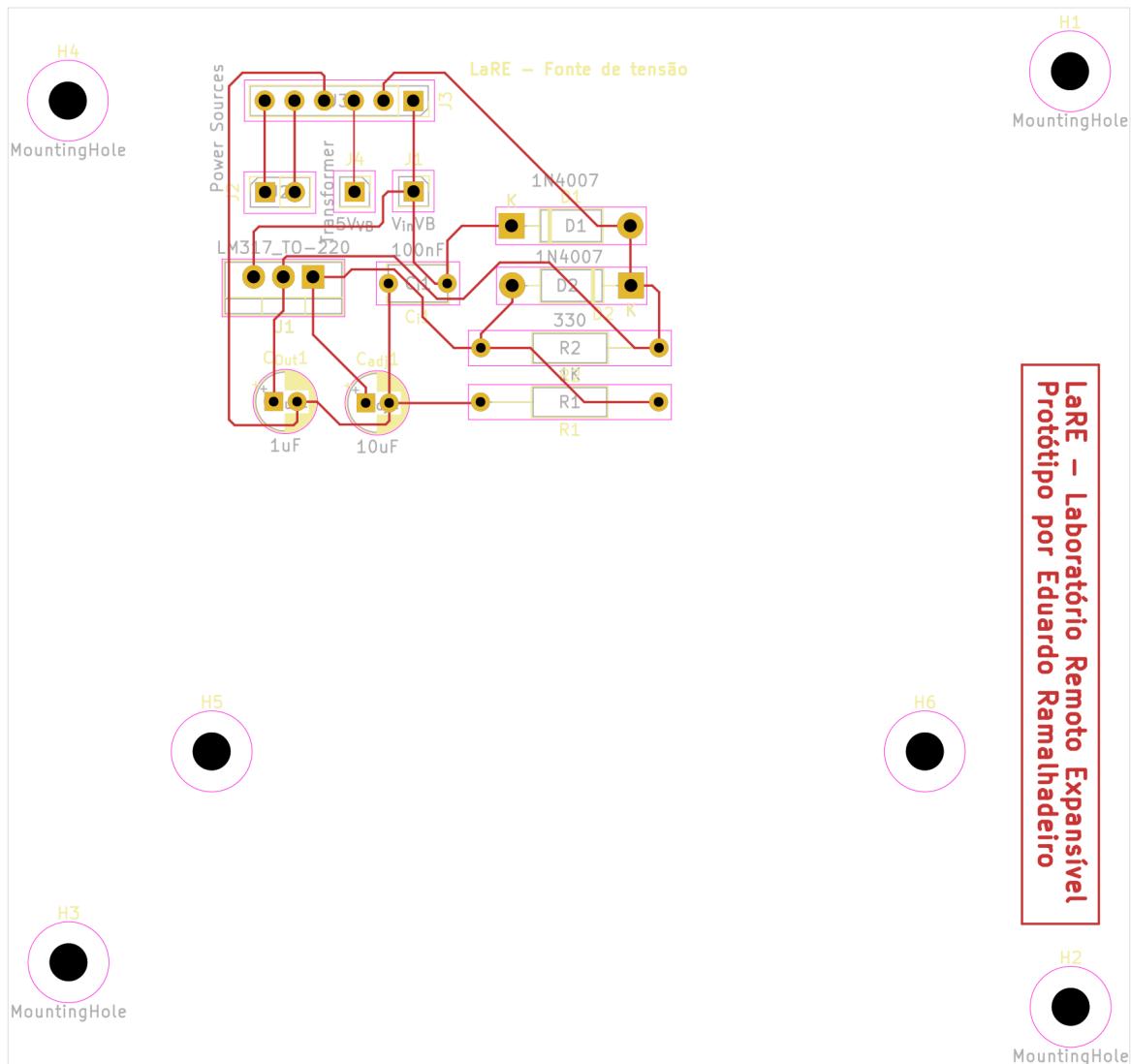


Figura 8: LaRE - PCB [Fonte de tensão]

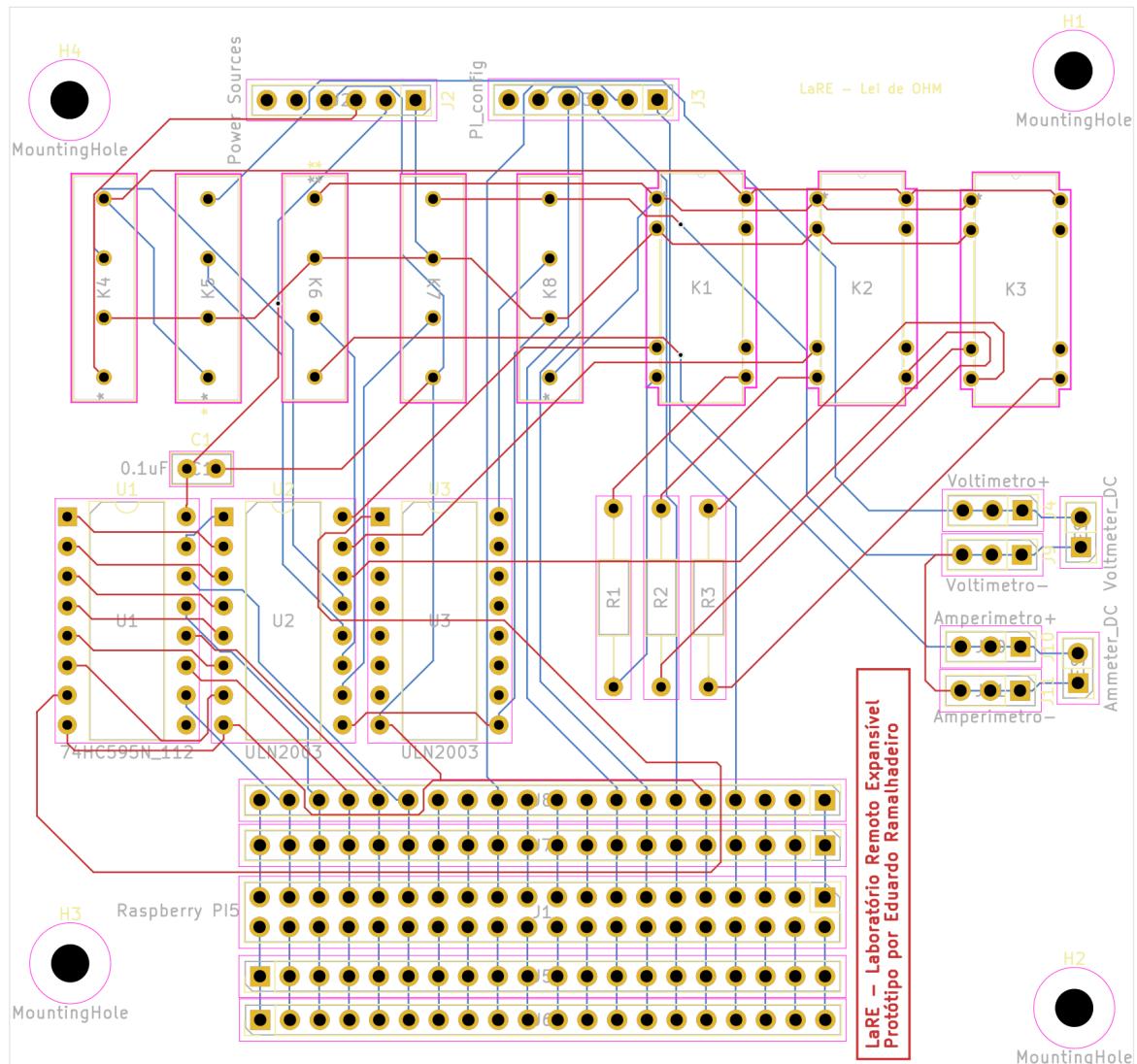


Figura 9: LaRE - PCB [Lei de Ohm]

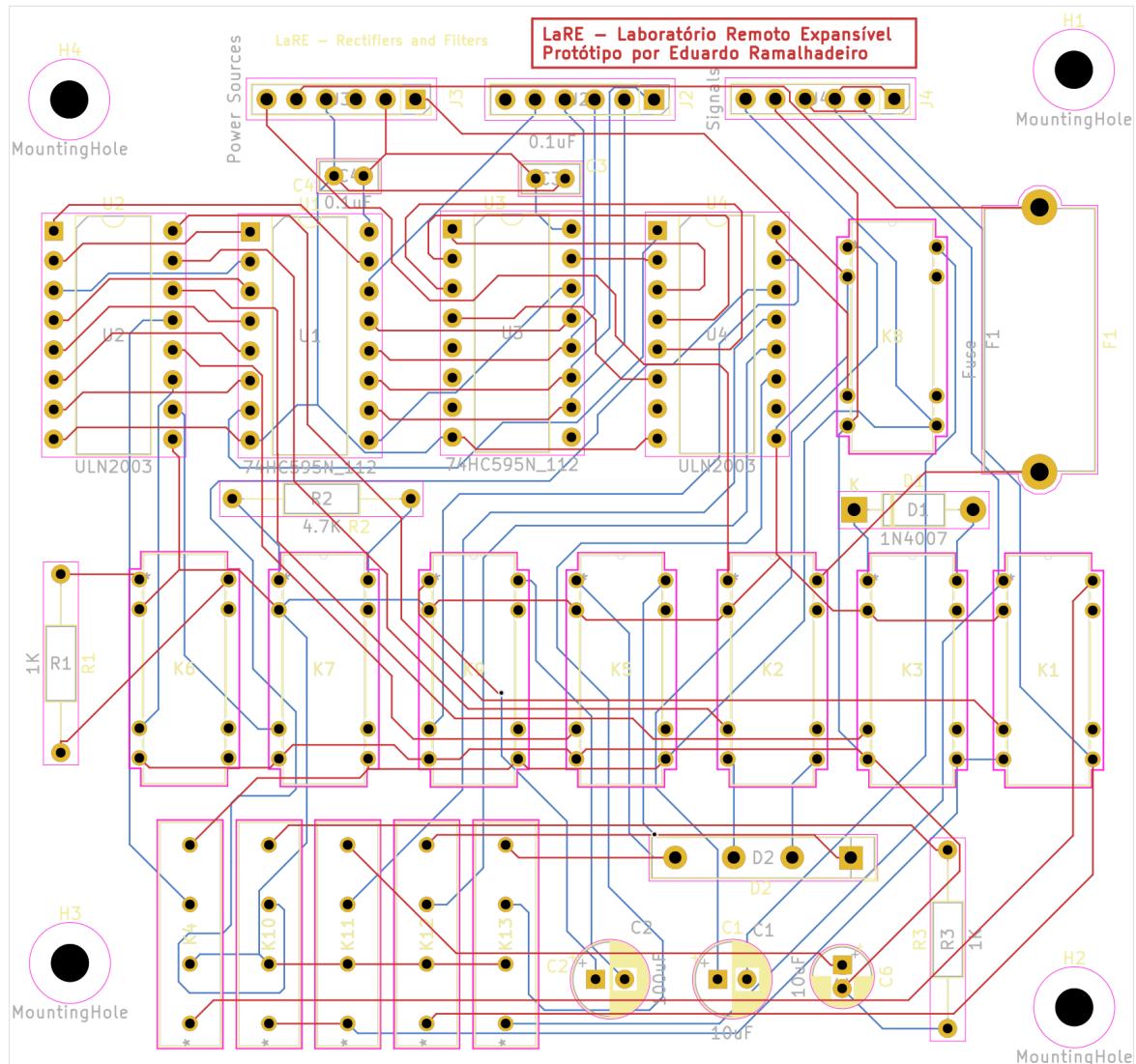


Figura 10: LaRE - PCB [Recificadores/Filtros]

Referências

- [1] “What is arduino? | arduino.” <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. (Accessed on 06/30/2024). [Citado na página xiii]
- [2] J. Matias, *Cursos Profissionais - Eletricidade e Eletrónica, Vol. 3.* Didáctica Editora, 2011. [Citado nas páginas xiii e xv]
- [3] X. Xu, Y. Lu, B. Vogel-Heuser, and L. Wang, “Industry 4.0 and industry 5.0— inception, conception and perception,” *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 61, pp. 530–535, 2021. [Citado na página xiv]
- [4] “The python tutorial — python 3.12.4 documentation.” <https://docs.python.org/3/tutorial/index.html>. (Accessed on 07/26/2024). [Citado nas páginas xiv e 63]
- [5] “Teach, learn, and make with the raspberry pi foundation.” <https://www.raspberrypi.org/>. (Accessed on 06/30/2024). [Citado na página xiv]
- [6] “Raspberry pi.” <https://www.raspberrypi.com/>. (Accessed on 06/30/2024). [Citado na página xiv]
- [7] A. Hofstein, *The Role of Laboratory in Science Teaching and Learning*, pp. 357–368. 01 2017. [Citado nas páginas 1, 16 e 17]
- [8] J. R. Brinson, “Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research,” *Computers & Education*, vol. 87, pp. 218–237, 2015. [Citado nas páginas 1, 17, 19, 21 e 31]
- [9] L. Feisel and A. Rosa, “The role of the laboratory in undergraduate engineering education,” *Journal of Engineering Education*, vol. 94, 01 2005. [Citado na página 1]
- [10] J. E. Corder, S. K. Esche, C. Chassapis, J. Ma, and J. V. Nickerson, “Process and learning outcomes from remotely-operated, simulated, and hands-on student laboratories,” *Computers & Education*, vol. 57, no. 3, pp. 2054–2067, 2011. [Citado nas páginas 2 e 31]
- [11] “Virtual instruments systems in reality - visir+ - home.” <https://www2.isep.ipp.pt/visir/>. (Accessed on 06/29/2024). [Citado na página 2]

- [12] J. Cross, “An informal history of elearning,” on *The Horizon*, vol. 12, pp. 103–110, 09 2004. [Citado nas páginas 6 e 11]
- [13] OECD, *Using Digital Technologies for Early Education during COVID-19*. OECD, 2021. [Citado na página 6]
- [14] “Resolução do Conselho de Ministros nº 30/2020.” [Citado na página 6]
- [15] “Capacitação digital das escolas.” <https://digital.dge.mec.pt/>. (Accessed on 02/26/2023). [Citado na página 6]
- [16] A. Sepúlveda, “The digital transformation of education: Connecting schools, empowering learners - broadband commission.” <https://broadbandcommission.org/publication/the-digital-transformation-of-education/>. (Accessed on 02/26/2023). [Citado na página 6]
- [17] “Digital Economy and Society Index (DESI) 2020 | Shaping Europe’s digital future,” June 2020. [Citado nas páginas 6, 7 e 10]
- [18] ILO, “Youth & COVID-19: Impacts on jobs, education, rights and mental well-being,” report, European Commission, Aug. 2020. [Citado na página 7]
- [19] “290 million students out of school due to COVID-19: UNESCO releases first global numbers and mobilizes response | UNESCO.” www.unesco.org/en/articles/290-million-students-out-school-due-covid-19-unesco-releases-first-global-numbers-and-mobilizes. [Citado na página 8]
- [20] SAPO, “Entrega de computadores a alunos e professores tem-se “revelado muito difícil de cumprir”.” . [Citado na página 8]
- [21] OECD, *The State of School Education*. OECD, 2021. [Citado nas páginas 8 e 9]
- [22] “Covid-19 teve impacto negativo na educação de 70% dos jovens.” www.dn.pt/mundo/covid-19-teve-impacto-negativo-na-educacao-de-70-dos-jovens-12513822.html, aug 2020. (Accessed on 03/08/2023). [Citado na página 9]
- [23] R. Steve, “What is iot ? everything you need to know about the internet of things right now.,” 2018. [Citado na página 9]
- [24] “The state of education – one year into covid - oecd education and skills today.” <https://oecdedutoday.com/state-of-education-one-year-into-covid/>. (Accessed on 02/26/2023). [Citado na página 9]

- [25] “Digital education initiatives | european education area.” <https://education.ec.europa.eu/focus-topics/digital-education/about-digital-education>. (Accessed on 03/04/2023). [Citado na página 10]
- [26] “Transição digital - prr - recuperar portugal.” <https://recuperarportugal.gov.pt/transicao-digital/>. (Accessed on 06/19/2024). [Citado na página 10]
- [27] “Home - incode 2030.” <https://www.incode2030.gov.pt/>. (Accessed on 06/19/2024). [Citado na página 10]
- [28] “Programa – escola digital.” <https://escoladigital.aerp.pt/programa/>. (Accessed on 06/19/2024). [Citado na página 10]
- [29] Y. Fan, A. Evangelista, and V. Indumathi, “Evaluation of remote or virtual laboratories in e-learning engineering courses,” in *2021 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pp. 136–143, 2021. [Citado nas páginas 11 e 32]
- [30] J. Magano, A. V. Castro, and C. Vaz de Carvalho, “O e-learning no ensino superior: um caso de estudo,” *Educação, Formação & Tecnologias*, vol. 1, p. 79–92, Mai. 2008. [Citado na página 11]
- [31] M. J. Gomes, “E-learning: reflexões em torno do conceito,” in *E-learning: reflexões em torno do conceito*, Universidade do Minho. Centro de Competência do Projecto Nónio Século XXI, May 2005. Accepted: 2005-09-13T16:07:10Z. [Citado nas páginas 11 e 12]
- [32] “Convite à apresentação de propostas dg eac/46/02 — acções preparatórias e inovadoras 2002/b — e-learning,” Jul 2002. [Citado na página 12]
- [33] UNESCO, “Glossary article: Stem.” <https://unevoc.unesco.org/home/Glossary+article:+STEM>. (Accessed on 03/14/2023). [Citado na página 13]
- [34] J. Rothwell, “Thehiddenstemeconomy610.pdf.” <https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/06/TheHiddenSTEMEconomy610.pdf>. (Accessed on 03/14/2023). [Citado na página 13]
- [35] M. Sanders, “Ttt+stem+article_1.pdf.” http://esdstem.pbworks.com/f/TTT+STEM+Article_1.pdf. (Accessed on 03/14/2023). [Citado na página 13]
- [36] OECD, *PISA 2018 Results (Volume V)*. 2020. [Citado na página 14]
- [37] “O que falta a portugal para ter um sistema de educação de sucesso?” <https://www.dn.pt/pais/o-que-falta-a-portugal-para-ter-um-sistema-de-educacao-de-sucesso-12777334.html>. (Accessed on 04/02/2023). [Citado na página 14]

- [38] “Falta de investimento na educação põe escola pública em risco: problemas rebentam um pouco por todo o lado e são cada vez mais graves! - fenprof.” <https://www.fenprof.pt/falta-de-investimento-na-educacao-poe-escola-publica-em-risco-problemas-rebentam-um-pouco-por-todo-o-lado-e-sao-cada-vez-mais-graves>. (Accessed on 04/02/2023). [Citado nas páginas 14 e 23]
- [39] “O (des)investimento na educação em portugal.” <https://www.msedu.pt/2020/12/o-desinvestimento-na-educacao-em.html>. (Accessed on 04/02/2023). [Citado nas páginas 14 e 23]
- [40] “Edustat - portugal gasta menos em educação do que há 20 anos.” <https://www.edustat.pt/detalhes-infostat?ID=14>. (Accessed on 04/02/2023). [Citado nas páginas 14 e 23]
- [41] “Portugal, o país menos educado da união europeia – observador.” <https://observador.pt/opiniao/portugal-o-pais-menos-educado-da-uniao-europeia/>. (Accessed on 04/02/2023). [Citado na página 14]
- [42] P. Ferreira, “Qualificação, steam, género.” <https://www.jn.pt/opiniao/convidados/qualificacao-steam-genero--14523190.html>. (Accessed on 04/04/2023). [Citado na página 14]
- [43] “Pandemia acentuou desigualdades na saúde, educação e no trabalho, confirma estudo,” July 2024. [Online; accessed 3. Jul. 2024]. [Citado na página 14]
- [44] R. B. Correia, “Ofap-efeitos-da-pandemia-digital-14.pdf.” <http://ofap.ics.ulisboa.pt/wp-content/uploads/2020/12/OFAP-Efeitos-da-pandemia-Digital-14.pdf>, 2020. (Accessed on 06/30/2024). [Citado na página 14]
- [45] A. Oladejo and A. Ebisin, “Virtual laboratory: An alternative laboratory for science teaching and learning,” *Journal of Pure & Applied Sciences*, vol. 3, pp. 82 – 91, 10 2021. [Citado nas páginas 15 e 21]
- [46] “Uma dificuldade nas nossas universidades é a falta de financiamento.” <https://www.dn.pt/vida-e-futuro/uma-dificuldade-nas-nossas-universidades-e-a-falta-de-financiamento-9574558.html>. (Accessed on 03/28/2023). [Citado na página 15]
- [47] “Financiamento do ensino profissional - fenprof.” <https://www.fenprof.pt/financiamento-do-ensino-profissional>. (Accessed on 03/28/2023). [Citado na página 15]

- [48] “Educação: financiar para uma melhor aprendizagem – observador.” <https://observador.pt/opiniao/educacao-financiar-para-uma-melhor-aprendizagem/>. (Accessed on 03/28/2023). [Citado na página 15]
- [49] L. Cerdeira, B. Cabrito, M. d. L. M. Taylor, and R. Gomes, “A fuga de cérebros em Portugal: hipóteses explicativas,” *Revista Brasileira de Política e Administração da Educação*, vol. 31, no. 2, pp. 409–418, 2020. [Citado na página 16]
- [50] ANQEP, “ANQEP - Cursos Profissionais,” July 2024. [Online; accessed 4. Jul. 2024]. [Citado na página 18]
- [51] C. Viegas, A. Pavani, N. Lima, A. Marques, I. Pozzo, E. Dobboletta, V. Atencia, D. Barreto, F. Calliari, A. Fidalgo, D. Lima, G. Temporão, and G. Alves, “Impact of a remote lab on teaching practices and student learning,” *Computers & Education*, vol. 126, pp. 201–216, 2018. [Citado nas páginas 18, 19 e 31]
- [52] L. F. Zapata-Rivera and M. Larrondo Petrie, “Models of collaborative remote laboratories and integration with learning environments,” *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, vol. 12, pp. 14–21, 09 2016. [Citado na página 18]
- [53] R. Heradio, L. de la Torre, and S. Dormido, “Virtual and remote labs in control education: A survey,” *Annual Reviews in Control*, vol. 42, pp. 1–10, 2016. [Citado nas páginas vii, 18, 19, 20, 25 e 33]
- [54] V. Potkonjak, M. Gardner, V. Callaghan, P. Mattila, C. Guetl, V. M. Petrović, and K. Jovanović, “Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review,” *Computers & Education*, vol. 95, pp. 309–327, 2016. [Citado nas páginas 18, 25, 27 e 28]
- [55] A. Hofstein and V. Lunetta, “The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century,” *Science Education*, vol. 88, pp. 28 – 54, 01 2004. [Citado nas páginas 18 e 19]
- [56] D. Zutin, M. Auer, C. Maier, and M. Niederstatter, “Lab2go — a repository to locate educational online laboratories,” pp. 1741 – 1746, 05 2010. Citado Zapata-Rivera, Luis Felipe and Larrondo Petrie, María. [Citado nas páginas vii e 19]
- [57] L. F. Zapata-Rivera and M. Larrondo Petrie, “Models of collaborative remote laboratories and integration with learning environments,” *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, vol. 12, pp. 14–21, 09 2016. [Citado nas páginas 19 e 20]

- [58] E. EMaster, “Por que os laboratórios virtuais são essenciais na educação moderna?,” *EMaster Cloud e Security*, May 2024. [Citado na página 21]
- [59] A. Faiña, “Learning hands-on electronics from home: A simulator for fritzing,” 06 2022. [Citado na página 21]
- [60] A. Knörig, R. Wettach, and J. Cohen, “Fritzing: a tool for advancing electronic prototyping for designers,” *ResearchGate*, pp. 351–358, Feb. 2009. [Citado na página 21]
- [61] C. Chan and W. Fok, “Evaluating learning experiences in virtual laboratory training through student perceptions: a case study in electrical and electronic engineering at the university of hong kong.” <https://hub.hku.hk/bitstream/10722/124702/1/content.pdf>. (Accessed on 04/11/2023). [Citado na página 22]
- [62] B. Heying, D. Kejie, and J. Li, “Application multisim to virtual laboratory for experiment teaching,” in *2010 International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering*, pp. 1–4, Dec 2010. [Citado na página 22]
- [63] P. Umenne and T. Hlalele, “Evaluation of the effectiveness of virtual laboratory’s for electronics in the open distance learning context,” pp. 1–5, 08 2020. [Citado na página 22]
- [64] “Multisim Live Online Circuit Simulator,” July 2024. [Online; accessed 6. Jul. 2024]. [Citado nas páginas 22, 25 e 28]
- [65] I. Gustavsson, G. Alves, R. Costa, K. Nilsson, J. Zackrisson, U. Hernandez, and J. Garcia-Zubia, “The visir open lab platform 5.0 - an architecture for a federation of remote laboratories,” 07 2011. [Citado na página 23]
- [66] “Redução do número de alunos por turma nas escolas públicas - xxi governo - república portuguesa.” <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc21/comunicacao/comunicado?i=reducao-do-numero-de-alunos-por-turma-nas-escolas-publicas>. (Accessed on 04/07/2023). [Citado na página 23]
- [67] “Falta de docentes: há três disciplinas em que a situação é mais preocupante - sic notícias.” <https://sicnoticias.pt/pais/2022-04-18-falta-de-docentes-ha-tres-disciplinas-em-que-a-situacao-e-mais-preocupante>. (Accessed on 04/07/2023). [Citado na página 23]
- [68] “RoboParty,” July 2024. [Online; accessed 5. Jul. 2024]. [Citado na página 24]
- [69] “Festival Nacional de Robótica,” July 2024. [Online; accessed 5. Jul. 2024]. [Citado na página 24]

- [70] “11.ª edição do CanSat Portugal,” July 2024. [Online; accessed 5. Jul. 2024]. [Citado na página 24]
- [71] R. Yoder, “An arduino-based alternative to the traditional electronics laboratory,” pp. 107–110, 11 2015. [Citado na página 24]
- [72] O. H. Graven and J. Bjørk, “The use of an arduino pocket lab to increase motivation in electrical engineering students for programming,” in *2016 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, pp. 239–243, 2016. [Citado na página 24]
- [73] P. Plaza, E. Sancristobal, G. Carro, M. Blazquez, F. García-Loro, S. Martin, C. Perez, and M. Castro, “Arduino as an educational tool to introduce robotics,” in *2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, pp. 1–8, 2018. [Citado na página 24]
- [74] I. Marzoli, N. Rizza, A. Saltarelli, and E. Sampaolesi, *Arduino: From Physics to Robotics*. Jan. 2021. [Citado na página 24]
- [75] “Tinkercad - From mind to design in minutes,” July 2024. [Online; accessed 8. Jul. 2024]. [Citado na página 25]
- [76] Fritzing, “Download Fritzing,” July 2024. [Online; accessed 7. Jul. 2024]. [Citado na página 25]
- [77] I. Agafonov, “Web browser electric circuit simulators for education,” 05 2018. [Citado na página 25]
- [78] R. Scheckler, “Virtual labs: A substitute for traditional labs?,” *The International journal of developmental biology*, vol. 47, pp. 231–6, 02 2003. [Citado na página 27]
- [79] T. Lynch and I. Ghergulescu, “Review of virtual labs as the emerging technologies for teaching stem subjects,” pp. 6082–6091, 03 2017. [Citado na página 27]
- [80] “Blog emaster | por que os laboratórios virtuais são essenciais na educação.” <https://emaster.cloud/educacao/laboratorios-virtuais-na-educacao/>. (Accessed on 07/06/2024). [Citado na página 27]
- [81] “Advantages and Disadvantages of Virtual Laboratory,” June 2023. [Online; accessed 6. Jul. 2024]. [Citado nas páginas 27 e 28]
- [82] B. Gherasim, “Virtual lab – advantages and disadvantages – edict,” 12 2023. [Citado na página 28]

- [83] Dr. I. Ghergulescu, “Review Of Virtual Labs As The Emerging Technologies For Teaching Stem Subjects - Adaptemy,” *Adaptemy*, Feb. 2019. [Citado na página 28]
- [84] S. Mandal, “Some important simulation software tools for a student of electronics engineering,” *Global Journal on Advancement in Engineering and Science*, vol. 3, pp. 1–8, 01 2017. [Citado na página 28]
- [85] B. Heying, D. Kejie, and J. Li, “Application multisim to virtual laboratory for experiment teaching,” in *2010 International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering*, pp. 1–4, Dec 2010. [Citado na página 28]
- [86] P. Falstad, “Circuit Simulator Applet,” Feb. 2024. [Online; accessed 7. Jul. 2024]. [Citado nas páginas vii, 29 e 30]
- [87] “Licensing,” Mar. 2011. [Online; accessed 7. Jul. 2024]. [Citado na página 29]
- [88] “Math, Physics, and Engineering Applets,” Feb. 2023. [Online; accessed 8. Jul. 2024]. [Citado na página 29]
- [89] J. B. da Silva, L. R. Machado, S. M. Sommer Bilessimo, and I. N. da Silva, “Remote teaching of electrical circuits: proposal for the use of online laboratories in secondary education,” in *2021 World Engineering Education Forum/Global Engineering Deans Council (WEEF/GEDC)*, pp. 594–600, Nov 2021. [Citado na página 29]
- [90] “Wokwi - Online ESP32, STM32, Arduino Simulator,” July 2024. [Online; accessed 8. Jul. 2024]. [Citado na página 29]
- [91] M. A. Marques, M. C. Viegas, M. C. Costa-Lobo, A. V. Fidalgo, G. R. Alves, J. S. Rocha, and I. Gustavsson, “How remote labs impact on course outcomes: Various practices using visir,” *IEEE Transactions on Education*, vol. 57, no. 3, pp. 151–159, 2014. [Citado nas páginas 30, 31, 32 e 40]
- [92] A. N. S. Karmakar, N. K. Roy and P. Kumbhakar, “A remotely operated high voltage laboratory for impulse voltage testing.” [http://wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.7,%20No.1%20\(2009\)/3-Nafalski-17.pdf](http://wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.7,%20No.1%20(2009)/3-Nafalski-17.pdf). (Accessed on 04/10/2023). [Citado nas páginas 30 e 32]
- [93] W. de Mel and S. T.G.A.A., “Extending the boundaries of remote laboratory by providing hands on experience,” 09 2017. [Citado na página 31]
- [94] J. E. Corder, J. V. Nickerson, S. K. Esche, C. Chassapis, S. Im, and J. Ma, “Constructing reality: A study of remote, hands-on, and simulated laboratories,” *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, vol. 14, p. 7–es, aug 2007. [Citado na página 31]

- [95] S. Kocijancic and C. O’Sullivan, “Real or virtual laboratories in science teaching - is this actually a dilemma?,” *Informatics in Education*, vol. 3, pp. 239–250, 10 2004. [Citado na página 31]
- [96] C. Tsipouridis, D. Vavougos, M. Batsila, and G. Ioannidis, *The Timeless Controversy Between Virtual and Real Laboratories in Science Education—“And the Winner Is...”*, pp. 620–631. 01 2019. [Citado na página 31]
- [97] M. Tawfik, E. San Cristobal, S. Martín, C. Gil, A. Pesquera, P. Losada, G. Díaz, J. Peire, M. Castro, J. García-Zubia, U. Hernández, P. Orduña, I. Angulo, M. C. Costa Lobo, M. A. Marques, M. C. Viegas, and G. R. Alves, “Visir deployment in undergraduate engineering practices,” in *2011 First Global Online Laboratory Consortium Remote Laboratories Workshop*, pp. 1–7, 2011. [Citado na página 31]
- [98] A. Nafalski, O. Göl, Z. Nedic, J. Machotka, J. M. M. Ferreira, and I. Gustavsson, “Experiences with remote laboratories,” 2010. [Citado na página 31]
- [99] M. E. Auer and C. Gravier, “Guest editorial: The many facets of remote laboratories in online engineering education,” *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 2, no. 4, pp. 260–262, 2009. [Citado na página 31]
- [100] X. Chen, Y. Zhang, L. Kehinde, and D. Olowokere, “Developing virtual and remote undergraduate laboratory for engineering technology,” 06 2010. [Citado na página 32]
- [101] J. Simão, J. de Lima, W. Rochadel, and J. B. da Silva, “Remote labs in developing countries an experience in brazilian public education,” in *IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC 2014)*, pp. 99–105, 2014. [Citado na página 32]
- [102] M. Kalúz, J. García-Zubía, M. Fikar, and L. Čirka, “A flexible and configurable architecture for automatic control remote laboratories,” *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 8, pp. 299–310, July 2015. [Citado na página 34]
- [103] E. Fabregas, G. Farias, S. Dormido-Canto, S. Dormido, and F. Esquembre, “Developing a remote laboratory for engineering education,” *Computers & Education*, vol. 57, no. 2, pp. 1686–1697, 2011. [Citado na página 35]
- [104] C. Lazar and S. Carari, “A remote-control engineering laboratory,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, pp. 2368–2375, June 2008. [Citado na página 35]

- [105] R. Dormido, H. Vargas, N. Duro, J. Sánchez, S. Dormido-Canto, G. Farias, F. Esquembre, and S. Dormido, “Development of a web-based control laboratory for automation technicians: The three-tank system,” *IEEE Transactions on Education*, vol. 51, pp. 35–44, Feb 2008. [Citado na página 35]
- [106] “View of Paradigms in Remote Experimentation,” July 2024. [Online; accessed 10. Jul. 2024]. [Citado nas páginas vii e 36]
- [107] P. Jacko, B. Matej, I. Kováčová, J. Molnár, T. Vince, J. Dziak, B. Fecko, v. Gans, and D. Kováč, “Remote iot education laboratory for microcontrollers based on the stm32 chips,” *Sensors*, vol. 22, no. 4, 2022. [Citado na página 36]
- [108] “Vocabulary — gateway4labs 0.1 documentation.” <https://gateway4labs.readthedocs.io/en/latest/vocabulary.html>. (Accessed on 07/12/2024). [Citado na página 36]
- [109] D. G. Zutin and M. E. Auer, “Work in progress — integrating educational online lab platforms around the ilab shared architecture,” in *2011 Frontiers in Education Conference (FIE)*, pp. F1G–1–F1G–3, Oct 2011. [Citado na página 36]
- [110] V. J. Harward, J. A. del Alamo, S. R. Lerman, P. H. Bailey, J. Carpenter, K. DeLong, C. Felknor, J. Hardison, B. Harrison, I. Jabbour, P. D. Long, T. Mao, L. Naamani, J. Northridge, M. Schulz, D. Talavera, C. Varadharajan, S. Wang, K. Yehia, R. Zbib, and D. Zych, “The ilab shared architecture: A web services infrastructure to build communities of internet accessible laboratories,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 96, pp. 931–950, June 2008. [Citado na página 37]
- [111] “Developers - ilabs dev - mit wiki service.” <https://wikis.mit.edu/confluence/display/ILAB2/Developers>. (Accessed on 07/12/2024). [Citado nas páginas vii e 37]
- [112] D. G. Zutin, M. E. Auer, and I. Gustavsson, “A visir lab server for the ilab shared architecture,” in *2011 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pp. 30–33, April 2011. [Citado na página 37]
- [113] “Welcome to weblab-deusto’s documentation! — weblab-deusto 5.0 documentation.” <https://weblabdeusto.readthedocs.io/en/latest/index.html>. (Accessed on 07/12/2024). [Citado na página 37]
- [114] P. Orduña, D. G. Zutin, S. Govaerts, I. L. Zorrozua, P. H. Bailey, E. San-cristobal, C. Salzmann, L. Rodriguez-Gil, K. DeLong, D. Gillet, M. Castro, D. López-de Ipiña, and J. García-Zubia, “An extensible architecture for the

- integration of remote and virtual laboratories in public learning tools,” *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje*, vol. 10, pp. 223–233, Nov 2015. [Citado nas páginas 37 e 38]
- [115] “Welcome to gateway4labs’s documentation! — gateway4labs 0.1 documentation.” <https://gateway4labs.readthedocs.io/en/latest/index.html>. (Accessed on 07/12/2024). [Citado na página 38]
- [116] G. R. Alves, J. B. Silva, A. Pavani, A. d. Costa, D. Cardoso, D. A. Lima, E. Takahashi, G. R. Roque, G. Temporão, H. Néri, J. Pereira, L. Mendes, R. Moura, R. Gedraite, S. Bilessimo, and T. Uhlmann, *Laboratórios Remotos no Ensino de Engenharia*. Brazil: ABENGE – Associação Brasileira de Educação em Engenharia, Sept. 2017. [Citado na página 38]
- [117] M. Tawfik, E. Sanchristobal, S. Martin, C. Gil, A. Pesquera, P. Losada, G. Diaz, J. Peire, M. Castro, J. García-Zubia, U. Hernández, P. Orduña, I. Angulo, M. C. Costa Lobo, M. Marques, M. C. Viegas, and G. R. Alves, “Visir: Experiences and challenges,” *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, vol. 8, p. pp. 25–32, Feb. 2012. [Citado na página 40]
- [118] “Openlabs - electrolab.” <http://openlabs.bth.se/index.php?page=ElectroLab>. (Accessed on 04/13/2023). [Citado na página 40]
- [119] F. Garcia-Loro, E. S. Cristobal, G. Diaz, A. Macho, P. Baizan, M. Blazquez, M. Castro, P. Plaza, P. Orduña, M. Auer, W. Kulesza, I. Gustavsson, K. Nilsson, A. Fidalgo, G. Alves, A. Marques, U. Hernandez-Jayo, J. Garcia-Zubia, C. Kreiter, A. Pester, C. Garcia-Hernandez, R. Tavio, K. Valtonen, and E. Lehtikangas, “Pilar: a federation of visir remote laboratory systems for educational open activities,” in *2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, pp. 134–141, 2018. [Citado na página 40]
- [120] I. Gustavsson, J. Zackrisson, L. Håkansson, I. Claesson, and T. Lagö, “The visir project – an open source software initiative for distributed online laboratories,” vol. 2, 01 2010. [Citado na página 40]
- [121] M. Tawfik, E. Sanchristobal, S. Martín, C. Gil, A. Pesquera, P. Losada, G. Diaz, J. Peire, M. Castro, J. Garcia-Zubia, U. Hernandez, P. Orduña, I. Angulo, C. Costa Lobo, M. Marques, C. Viegas, and G. Alves, “Visir: experiences and challenges,” *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, vol. 8, pp. 25–32, 02 2012. [Citado nas páginas vii, 40, 41 e 45]
- [122] “PXI-1033.” <https://www.ni.com/pt-pt/support/model.pxi-1033.html>, Nov. 2016. [Online; accessed 13. Jul. 2024]. [Citado nas páginas vii e 42]

- [123] “PXI-5114.” <https://www.ni.com/pt-pt/support/model.pxi-5114.html>, Nov. 2016. [Online; accessed 13. Jul. 2024]. [Citado nas páginas vii e 43]
- [124] “PXI-5402.” <https://www.ni.com/pt-pt/support/model.pxi-5402.html>, Nov. 2016. [Online; accessed 13. Jul. 2024]. [Citado nas páginas vii e 43]
- [125] “National instrument pxi-4072 | leasametric.” <https://www.leasametric.com/produit/national-instrument-pxi-4072/>. (Accessed on 07/13/2024). [Citado nas páginas vii e 44]
- [126] “Pxi-4110 - ni.” <https://www.ni.com/pt-pt/shop/model/pxi-4110.html>. (Accessed on 07/13/2024). [Citado nas páginas vii e 44]
- [127] I. Gustavsson, K. Nilsson, W. Kulesza, F. Garcia, and M. Castro, “Evaluation of the pilar pilot phase v 2.1.” <https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/e8531ace-ded5-4103-bd7f-be12c7608f38/>. (Accessed on 07/14/2024). [Citado nas páginas vii, 42 e 45]
- [128] M. Tawfik, E. Sanchristobal, S. Martin, R. Gil, G. Diaz, A. Colmenar, J. Peire, M. Castro, K. Nilsson, J. Zackrisson, L. Håkansson, and I. Gustavsson, “Virtual instrument systems in reality (visir) for remote wiring and measurement of electronic circuits on breadboard,” *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 6, pp. 60–72, Jan 2013. [Citado na página 45]
- [129] J. Pereira, I. Nardi da Silva, J. Schardosim Simão, L. Mellos Carlos, J. Silva, S. Bilessimo, and J. Alves, “Modelo de repositório de práticas didáticas de circuitos elétricos e eletrônicos utilizando o laboratório remoto visir,” 09 2017. [Citado na página 45]
- [130] F. Garcia-Loro, A. Macho, E. S. Cristobal, G. Diaz, M. Castro, W. Kulesza, I. Gustavsson, K. Nilsson, A. Fidalgo, G. Alves, A. Marques, U. Hernandez-Jayo, J. Garcia-Zubia, C. Kreiter, R. Oros, A. Pester, D. Garbi-Zutin, M. Auer, C. Garcia-Hernandez, R. Tavio, K. Valtonen, and E. Lehtikangas, “Experimenting in pilar federation: A common path for the future,” in *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pp. 1518–1523, 2018. [Citado na página 45]
- [131] “International association of online engineering (iaoe) & global online consortium (golc).” https://online-engineering.org/SIG_visir.php. (Accessed on 07/14/2024). [Citado na página 45]
- [132] “International association of online engineering (iaoe) & global online consortium (golc).” https://online-engineering.org/VISIR-Federation_about.php. (Accessed on 07/14/2024). [Citado na página 46]

- [133] C. Kreiter, R. Oros, A. Pester, I. Gustavsson, M. Castro, A. Fidalgo, and G. R. Alves, “Visir federation: Initial building steps: Pilar experience — work in progress,” in *2017 4th Experiment@International Conference (exp.at’17)*, pp. 24–27, June 2017. [Citado na página 46]
- [134] “labview test & measurement | farnell portugal.” <https://pt.farnell.com/c/test-measurement?st=labview>. (Accessed on 06/30/2024). [Citado na página 47]
- [135] “Arduino mega 2560 rev3 — arduino official store.” <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>. (Accessed on 07/01/2024). [Citado nas páginas vii e 48]
- [136] “Flask | the pallets projects.” <https://palletsprojects.com/p/flask/>. (Accessed on 07/26/2024). [Citado nas páginas 48, 64 e 70]
- [137] R. Candido, “Arduino with python: How to get started – real python.” <https://realpython.com/arduino-python/>. (Accessed on 08/01/2024). [Citado na página 48]
- [138] “Micropython - python for microcontrollers.” <https://micropython.org/>. (Accessed on 08/01/2024). [Citado na página 49]
- [139] “A000067-datasheet.pdf.” <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000067-datasheet.pdf>. (Accessed on 08/01/2024). [Citado na página 49]
- [140] “esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf.” https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf. (Accessed on 06/30/2024). [Citado na página 49]
- [141] “Getting started with micropython on esp32 and esp8266 | random nerd tutorials.” <https://randomnerdtutorials.com/getting-started-micropython-esp32-esp8266/>. (Accessed on 07/01/2024). [Citado na página 49]
- [142] “Esp devkits | espressif systems.” <https://www.espressif.com/en/products/devkits>. (Accessed on 07/01/2024). [Citado nas páginas vii e 49]
- [143] “Introducing: Raspberry pi 5! - raspberry pi.” <https://www.raspberrypi.com/news/introducing-raspberry-pi-5/>. (Accessed on 07/01/2024). [Citado nas páginas vii e 50]
- [144] “Automating ni virtualbench using python - ni.” <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z000000kHUFS&l=pt-PT>. (Accessed on 08/01/2024). [Citado na página 50]

- [145] armstrap, “Github - armstrap/armstrap-pyvirtualbench: Python wrappers to control ni virtualbench.” <https://github.com/armstrap/armstrap-pyvirtualbench/>. (Accessed on 07/17/2024). [Citado na página 50]
- [146] N. Jennings, “Socket programming in python (guide) – real python.” <https://realpython.com/python-sockets/>. (Accessed on 08/01/2024). [Citado nas páginas vii, 52 e 53]
- [147] N. Instruments, “Virtualbench all-in-one instrument product flyer - national instruments.” <https://www.ni.com/pdf/product-fliers/virtualbench-all-in-one-instrument.pdf>. (Accessed on 07/21/2024). [Citado nas páginas viii e 55]
- [148] “Pc104 consortium home - pc/104 consortiumpc/104 consortium.” <https://pc104.org/>. (Accessed on 08/01/2024). [Citado na página 56]
- [149] “Raspberry pi hardware - raspberry pi documentation.” <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html>. (Accessed on 07/24/2024). [Citado nas páginas viii, 56, 57 e 58]
- [150] “Raspberry pi documentation.” <https://www.raspberrypi.com/documentation/>. (Accessed on 07/24/2024). [Citado nas páginas ix e 57]
- [151] “Dry relays | relays | comus group.” <https://comus-intl.com/product-category/relays/dry-relays/>. (Accessed on 07/24/2024). [Citado nas páginas viii, 59 e 60]
- [152] “Uln2003a data sheet, product information and support | ti.com.” <https://www.ti.com/product/ULN2003>. (Accessed on 07/25/2024). [Citado nas páginas viii, 60 e 61]
- [153] “Sn54hc595 data sheet, product information and support | ti.com.” <https://www.ti.com/product/SN54HC595>. (Accessed on 07/25/2024). [Citado nas páginas viii, ix, 61, 62 e 63]
- [154] C. A. Team, “Front end vs. back end: Where should you start?” <https://www.codecademy.com/resources/blog/front-end-vs-back-end/>. (Accessed on 07/26/2024). [Citado na página 63]
- [155] “Top 10 linguagens de back-end para 2024 | qual é a melhor?” <https://blog.back4app.com/pt/linguagens-de-programacao-para-back-end/>. (Accessed on 07/26/2024). [Citado nas páginas 63 e 64]
- [156] A. Joy, “5 main disadvantages of python programming language – pythonista planet.” <https://pythonistaplanet.com/disadvantages-of-python/>. (Accessed on 07/26/2024). [Citado na página 64]

- [157] “The top programming languages 2023 - ieee spectrum.” <https://spectrum.ieee.org/the-top-programming-languages-2023>. (Accessed on 07/27/2024). [Citado na página 64]
- [158] “What is wsgi? — wsgi.org.” <https://wsgi.readthedocs.io/en/latest/what.html>. (Accessed on 07/26/2024). [Citado na página 64]
- [159] “Jinja — jinja documentation (3.1.x).” <https://jinja.palletsprojects.com/en/3.1.x/>. (Accessed on 07/26/2024). [Citado na página 64]
- [160] D. Mashutin, “Django vs flask: Which is the best python web framework? | the pycharm blog.” <https://blog.jetbrains.com/pycharm/2023/11/django-vs-flask-which-is-the-best-python-web-framework/>. (Accessed on 07/26/2024). [Citado na página 64]
- [161] R. Johns, “Flask vs django: Which python web framework to use in 2024?” <https://hackr.io/blog/flask-vs-django>. (Accessed on 07/26/2024). [Citado na página 64]
- [162] “W3c.” <https://www.w3.org/>. (Accessed on 08/03/2024). [Citado na página 65]
- [163] “Html basics - learn web development | mdn.” https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/Getting_started_with_the_web/HTML_basics. (Accessed on 07/26/2024). [Citado nas páginas viii e 65]
- [164] “Html element - wikipedia.” https://en.wikipedia.org/wiki/HTML_element. (Accessed on 08/03/2024). [Citado na página 65]
- [165] “Introduction to html 4.” <https://www.w3.org/TR/html40/intro/intro.html>. (Accessed on 08/03/2024). [Citado na página 66]
- [166] “Starting with html + css.” <https://www.w3.org/Style/Examples/011/firstcss>. (Accessed on 08/03/2024). [Citado nas páginas xi, 66 e 67]
- [167] “Javascript reference - javascript | mdn.” <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference>. (Accessed on 08/03/2024). [Citado na página 67]
- [168] “Javascript tutorial.” <https://www.w3schools.com/js/default.asp>. (Accessed on 08/03/2024). [Citado na página 68]

Anexo A

Título do Anexo

A.1 Secção

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

A.2 Mais uma secção do Anexo A

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida

placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.