

**Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica**

**Máquinas Elétricas II**

**Enunciados dos Trabalhos Laboratoriais**



# Enunciados dos Trabalhos Laboratoriais

## Máquinas Elétricas II

RECURSO EDUCACIONAL ABERTO (REA)  
OPEN EDUCATIONAL RESOURCE (OER)

**Licença:** CC BY-SA 4.0 International  
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

**Autor:** Ricardo Luís  
**Instituição:** ISEL  
**Ano:** 2025

**Repositório GitHub:** <https://github.com/Ricardo-Luis/me-2-oer/tree/main/lab-outlines>

**Editor:** Typst (ficheiros fonte .typ disponíveis no repositório)

### Ferramentas de inteligência artificial utilizadas:

- Perplexity AI: pesquisa de fontes e referências bibliográficas;
- NotebookLM: organização de conteúdos a partir de pesquisa dirigida nos documentos fornecidos pelo autor;
- Claude (Anthropic): revisão e aprimoramento do texto para maior fluidez e correção linguística.

**Nota:** O autor assume inteira responsabilidade editorial e científica sobre o conteúdo apresentado.

### Como citar este documento:

Ricardo Luís, "Enunciados dos Trabalhos Laboratoriais", Máquinas Elétricas II, recurso educacional aberto, ISEL, 2025. [Online].  
Disponível: <https://github.com/Ricardo-Luis/me-2-oer/tree/main/lab-outlines>



# Prefácio

Este documento tem como objetivo orientar os grupos de trabalho das aulas práticas de Máquinas Elétricas II, fornecendo linhas de orientação para a preparação dos ensaios a realizar no Laboratório Máquinas Elétricas (LME) e para a elaboração dos respetivos relatórios técnicos.

No LME pretende-se um ambiente de experimentação colaborativa e de prática reflexiva. Nesse sentido, as aulas práticas são estruturadas para orientar os estudantes no trabalho em equipa durante a realização de ensaios experimentais, tendo como esteio as competências técnicas nos procedimentos de ensaio e de segurança. Promove-se a observação sistemática e a reflexão estruturada sobre os resultados obtidos, conduzindo os estudantes a analisar os dados recolhidos, a fundamentar-se nos conhecimentos teóricos, a decidir sobre ajustes nos procedimentos e executar as modificações necessárias.

Para tal, após a constituição dos grupos de trabalho no início do semestre, é necessária a consulta do documento “Planeamento das Aulas Práticas”, que inclui:

- Calendarização semanal das atividades;
- Distribuição das bancadas de trabalho;
- Pré-requisitos para as aulas práticas;
- Informação sobre a entrega de relatórios.

Cada enunciado de Trabalho Laboratorial (TL) está estruturado da seguinte forma:

- Objetivos de aprendizagem;
- Introdução ao TL;
- Sequência de ensaios;
- Considerações para observação e análise de resultados.

Esta estrutura visa proporcionar aos estudantes uma compreensão clara das expectativas e procedimentos para cada TL, facilitando uma aprendizagem eficiente e uma experiência laboratorial produtiva. Complementarmente, este documento inclui um anexo sobre a elaboração de relatórios laboratoriais.

Lisboa, setembro de 2025

Ricardo Luís



*A aprendizagem é resultado do que o aluno faz  
e pensa, e somente do que o aluno faz e pensa.  
O professor só pode promover a aprendizagem  
influenciando o que aluno faz e pensa.*

— **Herbert Simon** (1916-2001)





# Índice

<b>TL1: Geradores de Corrente Contínua .....</b>	<b>1</b>
Objetivos de aprendizagem .....	1
Introdução .....	1
Ensaio laboratoriais .....	1
Sugestões de análise .....	2
<b>TL2: Motores de Corrente Contínua .....</b>	<b>3</b>
Objetivos de aprendizagem .....	3
Introdução .....	3
Ensaio laboratoriais .....	4
Sugestões de análise .....	4
<b>TL3: Alternador Síncrono Isolado .....</b>	<b>5</b>
Objetivos de aprendizagem .....	5
Introdução .....	5
Ensaio laboratoriais .....	6
Sugestões de análise .....	6
<b>TL4: Máquina Síncrona sobre Rede Elétrica .....</b>	<b>7</b>
Objetivos de aprendizagem .....	7
Introdução .....	7
Ensaio laboratoriais .....	8
Sugestões de análise .....	8
<b>TL5: Transitórios de Máquinas Elétricas .....</b>	<b>9</b>
Objetivos de aprendizagem .....	9
Introdução .....	9
Ensaio laboratoriais .....	10
Sugestões de análise .....	10
<b>ANEXO: Relatório Laboratorial .....</b>	<b>11</b>
Âmbito .....	11
Estrutura .....	11
Escrita Técnica .....	12
Ferramentas técnicas .....	13

<i>Notebooks</i> computacionais como Ambiente Integrado .....	14
Trabalho Colaborativo em Tempo Real .....	14
Inteligência Artificial Generativa .....	15
Resumo .....	16
<b>Referências .....</b>	<b>17</b>

## TL1: Geradores de Corrente Contínua

### Objetivos de aprendizagem

Como resultado do TL1 - Geradores de Corrente Contínua, pretende-se que o estudante adquira capacidades para:

- Conceber e executar esquemas elétricos de geradores de CC;
- Operar geradores CC com diferentes tipos de excitação;
- Conduzir ensaios para obtenção de curvas características de funcionamento de geradores CC;
- Distinguir os processos de regulação da tensão de saída de um gerador CC;
- Analisar comparativamente as curvas características de geradores CC.

### Introdução

As máquinas de Corrente Contínua (CC) são classificadas quanto ao tipo de excitação que utilizam na montagem do seus circuitos elétricos. No funcionamento como gerador CC distinguem-se dois grupos principais:

- Gerador CC de excitação separada ou independente. O circuito indutor é alimentado por uma fonte CC;
- Geradores CC autoexcitados. O(s) circuito(s) indutor(es) do gerador é(são) alimentado(s) pela tensão produzida pelo induzido.

Para uma análise completa do gerador CC, do(s) seu(s) circuito(s) indutor(es) e induzido, podem ser consideradas as seguintes curvas características:

- Característica magnética ou de vazio;
- Característica externa;
- Característica de regulação.

### Ensaio laboratoriais

#### TL1.1: Gerador CC de excitação separada

- Ensaio em vazio para caracterização do circuito indutor a duas velocidades constantes distintas;
- Ensaio em carga para caracterização do circuito induzido. Regulação de um ponto de funcionamento do gerador em carga.

**TL1.2: Características externas de geradores autoexcitados**

- Ensaio carga de um gerador autoexcitado. Sugestão: utilizar o gerador em excitação derivação;
- Verificar e testar a influência do enrolamento série no funcionamento do gerador auto-excitado. Sugestão: modificar a montagem anterior para excitação composta;

**Sugestões de análise**

- Quais as condições necessárias para a autoexcitação num gerador CC?
- Determinar as quedas de tensão de um gerador CC;
- Comparar as características externas do gerador CC para os vários tipos de excitação;
- Definir uma característica de regulação para um gerador CC.

## TL2: Motores de Corrente Contínua

### Objetivos de aprendizagem

Como resultado do TL2 - Motores de Corrente Contínua, pretende-se que o estudante adquira capacidades para:

- Conceber e executar esquemas elétricos de motores de CC;
- Operar motores CC com diferentes tipos de excitação;
- Conduzir ensaios para obtenção de curvas características de funcionamento de motores CC;
- Analisar comparativamente as curvas características de motores CC;
- Distinguir os processos de regulação da velocidade de um motor CC;
- Regular a velocidade do motor CC através do sistema Ward-Leonard;
- Obter um mapa de funcionamento de um motor CC em regime de velocidade variável.

### Introdução

Para caracterização do funcionamento de motores de Corrente Contínua (CC) são estabelecidas curvas características que relacionam grandezas que permitem verificar o comportamento de um motor CC no seu funcionamento em regime permanente:

- **Característica de velocidade:**  $n = f(I)$ , com  $U$  e  $R_c$  constantes;
- **Característica de binário:**  $T = f(I)$ , com  $U$  e  $R_c$  constantes;
- **Característica mecânica:**  $n = f(T)$  ou  $T = f(n)$ , com  $U$  e  $R_c$  constantes.

Estas curvas características podem ser obtidas experimentalmente, ensaiando os motores CC em regime de carga variável, ou deduzidas teoricamente, conhecendo algumas grandezas e parâmetros da máquina CC:  $E_0 = f(i_{\text{exc}})$ ,  $U$ ,  $I$ ,  $R_i$ ,  $R_s$ ,  $\frac{N_s}{N_d}$ ,  $\Delta E(I_i)$ .

O sistema Ward-Leonard permite obter um acionamento de velocidade variável com as grandezas de saída, velocidade e binário, desacopladas. Ou seja, este sistema permite controlar de forma independente, a velocidade e o binário disponível. Neste ensaio experimental são obtidas as grandezas do motor CC, que permitem obter a potência elétrica consumida e a potência mecânica útil, em regime de velocidade e carga variáveis. Com estes dados torna-se possível representar um mapa de funcionamento desta máquina, por exemplo, representando curvas de nível (isolinhas) de rendimento do motor em regime de velocidade e binário variáveis.

## Ensaio laboratoriais

### TL2.1: Motor excitação derivação vs. excitação composta

- Ensaio em carga do motor CC de excitação derivação;
- Ensaio em carga do motor CC de excitação composta (aditiva e subtrativa);
- Verificação das condições de embalamiento do motor CC.

### TL2.2: Motor série

- Ensaio carga de um motor CC de excitação série;
- Verificação das condições de embalamiento do motor série.

### TL2.3: Sistema Ward-Leonard

- Ensaio de um motor CC de excitação separada, em regime de carga variável, alimentado por uma rede CC de tensão variável.

## Sugestões de análise

- Em que situações pode ocorrer um embalamiento num motor CC?
- Comparar as características de velocidade e de binário do motor CC para os vários tipos de excitação;
- Representar num gráfico as características mecânicas,  $n = f(T_u)$ , do motor CC do sistema Ward-Leonard;
- Determinar o mapa de eficiência de um motor CC de excitação separada, no regime de velocidade e carga variáveis, a partir dos dados de ensaio do sistema Ward-Leonard.

## TL3: Alternador Síncrono Isolado

### Objetivos de aprendizagem

Ao completar o trabalho laboratorial, TL3 - Alternador Síncrono Isolado, o estudante será capaz de:

- Identificar e diferenciar alternadores síncronos de polos lisos e polos salientes;
- Conceber e executar esquemas elétricos de Alternadores Síncronos Trifásicos (AST) em rede isolada;
- Conduzir ensaios para determinação dos parâmetros do circuito equivalente por fase, em AST de polos lisos e de polos salientes;
- Operar AST em rede isolada em condições variáveis de carga (corrente e  $\cos \varphi$ ):
  - levantar e interpretar características externas de funcionamento;
  - obter características de regulação de tensão;
  - compreender os mecanismos de regulação da tensão e da frequência.
- Desenvolver e interpretar diagramas vetoriais de tensões do alternador para diferentes condições de operação.

### Introdução

A análise em regime permanente de um AST a operar numa rede elétrica isolada baseia-se em duas ferramentas analíticas principais:

- **circuito equivalente por fase;**
- **diagrama vetorial de tensões por fase.**

Para implementar estas ferramentas é necessária uma caracterização detalhada dos circuitos indutor (rotor) e induzido (estator). Assim, os parâmetros elétricos da máquina determinam-se a partir dos seguintes ensaios experimentais:

- Ensaio do alternador em vazio, à velocidade nominal, para obter a característica magnética,  $E_0 = f(I_{exc})$ ;
- Ensaio do alternador em curto-circuito, à velocidade nominal, para obter a característica de curto-circuito,  $I_{cc} = f(I_{exc})$ ;
- Ensaio de pequeno escorregamento para identificação do tipo de rotor da máquina síncrona (polos lisos ou polos salientes);
- Medição da resistência dos enrolamentos do estator.

Os ensaios do AST em carga variável com diferentes fatores de potência permitem extrair curvas características do seu funcionamento em rede elétrica isolada:

- **Característica externa:**  $U = f(I)$ , com velocidade,  $I_{exc}$  e  $\cos \varphi$  constantes;
- **Característica de regulação da tensão:**  $I_{exc} = f(I)$ , com  $U$ , velocidade e  $\cos \varphi$  constantes.

Estas curvas características permitem validar o(s) modelo(s) considerado(s) para análise do comportamento do AST, para diferentes tipos de carga, comparando os resultados teóricos e experimentais.

## Ensaio laboratoriais

### TL3.1: Máquina síncrona de polos lisos vs. polos salientes

- Ensaio em vazio e de curto-circuito;
- Ensaio de pequeno escorregamento;
- Medição da resistência dos enrolamentos do estator.

### TL3.2: Características externas

- Ensaio em carga do AST com cargas resistiva e reativa:
  - obtenção das características externas;
  - obtenção das características de regulação da tensão;
  - observação da regulação de tensão e frequência do alternador.

## Sugestões de análise

- Desenvolva o circuito equivalente por fase do AST usando o modelo de polos lisos e determine as características externas teóricas;
- Compare os resultados teóricos com as características externas obtidas experimentalmente;
- Sob condições de corrente de carga constante e tensão nominal, elabore os diagramas vetoriais de tensões para diversos cenários de fator de potência;
- Estabeleça a relação entre os diagramas vetoriais obtidos e as respectivas características de regulação da tensão, comparando e discutindo os resultados observados;
- Usando o exemplo prático de um grupo eletrogéneo a Diesel (também conhecido por grupo gerador-Diesel), avalie a necessidade e o funcionamento dos reguladores de tensão e de velocidade na sua operação autónoma em rede isolada.



## TL4: Máquina Síncrona sobre Rede Elétrica

### Objetivos de aprendizagem

Após a conclusão do trabalho laboratorial, TL4 - Máquina Síncrona sobre Rede Elétrica, o estudante será capaz de:

- Compreender as funções da Máquina Síncrona Trifásica (MST) na rede elétrica;
- Elaborar e implementar esquemas de ligação da MST para operação na rede elétrica;
- Executar os procedimentos de ligação da MST à rede elétrica e operá-la nos quatro quadrantes de funcionamento (como alternador, motor e compensador síncrono);
- Obter experimentalmente e interpretar curvas V (curvas de Mordey) de uma MST;
- Associar e operar alternadores síncronos 3~ em paralelo numa rede elétrica isolada, garantindo a repartição de carga entre alternadores com tensão e frequência constantes;
- Desenvolver e interpretar diagramas vetoriais de tensões da MST em rede elétrica sob diferentes condições de operação.

### Introdução

Este trabalho analisa o funcionamento da MST ligada a uma rede elétrica. Considera-se a rede elétrica de corrente alternada do laboratório de potência infinita, o que implica que a tensão e frequência constantes. Assim, nos ensaios TL4.1 e TL4.2 ajustam-se as potências ativa (alternador), mecânica (motor) e reativa (alternador/motor/compensador), considerando que a tensão da MST e a velocidade do rotor permanecem constantes. Essa estabilidade estática é garantida pelo acoplamento magnético entre o rotor e o campo girante, pois os enrolamentos do estator, ligados à rede elétrica, estão sob a mesma tensão e frequência.

No ensaio TL4.3, a rede elétrica é formada por alternadores em paralelo alimentando uma carga de carácter indutivo (RL), configurando uma rede elétrica isolada. Este ensaio procura responder a duas questões principais:

- Como manter a tensão e a frequência constantes ao variar a carga ativa e/ou reativa, preservando a repartição de carga entre os alternadores?
- Como ajustar a repartição de carga (ativa e reativa) entre os alternadores, mantendo constantes a tensão e a frequência?

O trabalho TL4 possibilita a compreensão prática e teórica da operação da MST em redes elétricas, capacitando o estudante a aplicar conceitos de sincronismo, gestão e repartição de carga em contextos reais de geração e operação de energia elétrica.

## Ensaio laboratoriais

### TL4.1: Ligação a rede elétrica e funcionamento nos 4 quadrantes

- Sincronização do alternador com a rede elétrica;
- Operação da MST nos quatro quadrantes de funcionamento, incluindo fator de potência unitário e atuação como compensador síncrono.

### TL4.2: Curvas de Mordey

- Utilização da MST como motor acoplado a um gerador de corrente contínua (mais carga elétrica) para ensaio em carga no motor síncrono.
- **Bancadas 2 e 3 (MST sem barras amortecedoras):** preparar esquema e procedimento para ligação da MST à rede elétrica por meio de motor de arrasto.
- **Bancadas 4 e 5 (MST com barras amortecedoras):** preparar esquema e procedimento para ligação da MST à rede elétrica, utilizando as barras amortecedoras (arranque como motor de indução com auxílio de autotransformador).

### TL4.3: Paralelo de alternadores em rede isolada

- Sincronização (paralelo) entre alternadores síncronos trifásicos;
- Regulação de frequência e tensão vs repartição de carga ativa e reativa.

## Sugestões de análise

- Reflita sobre as condições de sincronização do alternador síncrono com a rede elétrica ou entre alternadores. Por exemplo, quais poderiam ser as implicações de sincronizar as tensões entre o alternador e a rede sem a verificar a sequência de fases?
- Elabore diagramas vetoriais simplificados para explicar a operação da MST nos quatro quadrantes, assumindo o modelo de polos lisos e resistência estatórica,  $R \approx 0$ ;
- Utilize diagramas vetoriais da MST para verificar pontos de operação distintos nas curvas “V” da máquina;
- Analise as curvas “V” da MST, interpretando-as nas componentes de potência ativa/mecânica, reativa e aparente;
- No paralelo de alternadores em rede isolada, analise os processos de regulação de tensão e frequência em resposta a variações de carga;
- No paralelo de alternadores em rede isolada, avalie os processos de repartição de carga entre alternadores, mantendo constantes a tensão e frequência da rede isolada;
- Analise o funcionamento da MST como compensador síncrono nos ensaios realizados.

## TL5: Transitórios de Máquinas Elétricas

### Objetivos de aprendizagem

Como resultado do trabalho laboratorial, TL5 - Transitórios de Máquinas Elétricas, pretende-se que o estudante adquira capacidades para:

- Distinguir os regimes transitórios das máquinas elétricas (ME) em estudo (ME de corrente contínua e ME síncrona trifásica), examinando o comportamento e os resultados experimentais em ensaios específicos;
- Determinar os parâmetros mecânicos de uma ME a partir do ensaio de desaceleração;
- Obter os parâmetros que caracterizam o regime dinâmico de um curto-circuito trifásico aplicado a um alternador síncrono em vazio.

### Introdução

Este trabalho permite uma introdução ao funcionamento dos regimes dinâmicos das ME analisadas durante as atividades laboratoriais.

Assim, neste trabalho laboratorial é utilizado o motor de corrente contínua como exemplo para obtenção da sua equação mecânica, através dos ensaios em vazio, para determinar as perdas mecânicas,  $p_{mec}$ , e de desaceleração para obter os parâmetros mecânicos. A equação mecânica do motor como parte do modelo matemático da máquina é fundamental para simulação e otimização do seu desempenho, e como base para estudos mais avançados em máquinas elétricas e sistemas de controlo.

A análise do regime transitório de um curto-circuito trifásico aplicado a um alternador síncrono é fundamental para o dimensionamento de equipamentos de proteção, como disjuntores e relés. Este estudo permite garantir que os dispositivos sejam capazes de suportar e interromper correntes de defeito elevadas, assegurando assim a integridade e a segurança do sistema elétrico onde a máquina síncrona esteja integrada.

## Ensaaios laboratoriais

### Máquina de corrente contínua

- Ensaio em vazio do motor de corrente contínua (utilizar excitação em derivação ou independente) para separação de perdas mecânicas e magnéticas,  $p_{(\text{mec}+\text{Fe})}$ ;
- Ensaio de desaceleração do motor de corrente contínua para determinação dos parâmetros mecânicos: momento de inércia,  $J$ , coeficiente de atrito dinâmico,  $K_d$ , e coeficiente de atrito estático,  $K_e$ .

### Máquina síncrona de polos salientes

- Ensaio do alternador à tensão nominal em vazio, submetido a um curto-circuito trifásico.

## Sugestões de análise

- Analisar o transitório mecânico do motor de corrente contínua, obtendo:
  - o binário relativo às perdas mecânicas,  $T_p$ ;
  - os parâmetros mecânicos ( $J$ ,  $K_d$ ,  $K_e$ ) e a validação dos mesmos, estimando a curva de velocidade de desaceleração,  $\omega(t)$ , por amortecimento natural da máquina ensaiada.
- Analisar a envolvente da corrente do curto-circuito trifásico do alterador, determinando:
  - as correntes de curto-circuito subtransitória, transitória e de regime permanente ( $I''_{cc}$ ,  $I'_{cc}$ ,  $I_{cc}$ );
  - a corrente máxima de curto-circuito do alternador devido à componente contínua;
  - as reatâncias síncronas subtransitória, transitória e de regime permanente ( $X''_d$ ,  $X'_d$ ,  $X_d$ );
  - as constantes de tempo subtransitória, transitória e da armadura (estator) ( $T''_d$ ,  $T'_d$ ,  $T_a$ ).

## ANEXO: Relatório Laboratorial

### Âmbito

#### Objetivo do Relatório

O relatório laboratorial é um documento essencial que regista e interpreta os resultados dos ensaios experimentais. Visa documentar de forma sistemática e rigorosa o processo experimental, apresentando a metodologia utilizada, os resultados obtidos, a sua análise crítica e as conclusões relevantes para o trabalho desenvolvido, [1], [2].

#### Importância Académica e Profissional

- Desenvolve competências de comunicação técnico-científica;
- Treina metodologias de registo e análise de dados;
- Promove o pensamento crítico e a capacidade de interpretação;
- Prepara os estudantes para práticas profissionais em engenharia.

### Estrutura

O relatório deve ter entre 15-25 páginas (conforme o número de aulas práticas), procurando a síntese e objetividade no desenvolvimento do conteúdo. A estrutura recomendada inclui os seguintes elementos, [3]:

1. **Título:** apresentado na folha de rosto, com outros elementos como: instituição, curso, unidade curricular, grupo de trabalho, data.
2. **Introdução:** tem o propósito de apresentar o contexto do trabalho (enquadramento), e estabelecer os objetivos.

#### 2.1 Enquadramento

#### 2.2 Objetivos

3. **Procedimentos de Ensaio:** essencial para descrever como o trabalho foi realizado, com detalhe suficiente para que outros possam repetir o procedimento (condução do trabalho/ensaio). De modo a ilustrar as metodologias usadas, os esquemas de ligações e os materiais utilizados devem ser considerados, identificando o objeto de estudo.

#### 3.1 Esquema(s) de ligações

#### 3.2 Material utilizado

#### 3.3 Condução do trabalho (por ensaio)

4. **Resultados Experimentais:** apresentar os dados e observações (em geral, na forma de tabelas e figuras) de forma objetiva, sem interpretação nesta fase.
5. **Análise de Resultados:** a discussão é essencial para interpretar os resultados, relacioná-los com os objetivos e o enquadramento, e eventualmente com outros trabalhos ou comportamento teórico esperado.
6. **Conclusões:** apresenta os aspetos fundamentais, ligando-os aos objetivos do trabalho.

A estes elementos podem ainda ser considerados na estrutura do relatório, de acordo com a dimensão e complexidade do mesmo, Índice, Listas de abreviaturas/símbolos/figuras/tabelas/glossário, Resumo/*Abstract*, Bibliografia e Anexos...

## Escrita Técnica

A escrita técnica deve ser clara, objetiva e precisa, facilitando a comunicação entre especialistas. Seguem orientações essenciais, [1], [2]:

- **Objetividade:** Seja direto e evite linguagem coloquial ou ambígua.
- **Clareza:** Use frases curtas e evite períodos muito longos. Prefira a voz ativa (“O grupo realizou...”).
- **Organização:** Mantenha a estrutura lógica e sequencial, com títulos descritivos e numeração hierárquica.
- **Impersonalidade:** Evite opiniões pessoais e use linguagem impessoal (“Verificou-se que...”).
- **Legibilidade:** Utilize fontes e tamanhos adequados, margens uniformes e espaçamento consistente.
- **Terminologia:** Utilize terminologia técnica correta e defina todas as siglas e símbolos na primeira ocorrência.
- **Esquemas Elétricos:** Assegure o uso correto da simbologia normalizada de acordo com a norma IEC 60617, [4]. Esta conformidade é essencial para a comunicação técnica precisa e universal.
- **Figuras e Tabelas:** Numere e legende todas as figuras e tabelas, indicando preferencialmente unidades do Sistema Internacional, [5].
- **Revisão:** Verifique o texto para eliminar erros ortográficos, gramaticais e de formatação.
- **Referências:** Cite todas as fontes consultadas, seguindo uma das normas internacionais, ou nacional, usuais em engenharia (IEEE, ISO 690 ou NP 405).

## Ferramentas técnicas

Na redação de documentos técnicos e relatórios laboratoriais, a escolha adequada de ferramentas computacionais promove eficiência, reprodutibilidade e o rigor técnico. Recomenda-se que os grupos de trabalho selecionem as ferramentas que considerarem mais convenientes para o seu contexto específico. Apresentam-se a seguir algumas sugestões de ferramentas FOSS (*Free and Open Source Software*) compatíveis com os vários sistemas operativos (Linux, macOS, e Windows).

Tabela 1 - Ferramentas FOSS para a realização de documentos técnicos

Categoria	Ferramenta	Descrição
<b>Escrita, Edição e Formatação</b>	<a href="#"><u>OnlyOffice</u></a> , <a href="#"><u>LibreOffice</u></a>	Processadores de texto para documentos, com suporte a formatação avançada e compatibilidade
	<a href="#"><u>Typst</u></a>	Alternativa moderna ao $\text{\LaTeX}$ , com sintaxe simplificada e tipografia automática para documentos técnicos
	<a href="#"><u>Overleaf</u></a>	Plataforma online colaborativa para edição $\text{\LaTeX}$ , controlo de versões e modelos de documentos científicos
	<a href="#"><u>TeXstudio</u></a> , <a href="#"><u>TeXworks</u></a> , <a href="#"><u>TeXmaker</u></a>	Editores de texto para a escrita de documentos $\text{\LaTeX}$
<b>Folha de Cálculo / Gráficos de Resultados</b>	<a href="#"><u>OnlyOffice</u></a> , <a href="#"><u>LibreOffice</u></a>	As respetivas folhas de cálculo são alternativas compatíveis com o Microsoft Excel
	<a href="#"><u>LabPlot</u></a>	Análise e visualização de dados científicos com gráficos 2D/3D avançados e ferramentas estatísticas
	<a href="#"><u>Gnumeric</u></a>	Folha de cálculo leve e precisa, instalação independente sem necessidade de <i>suite office</i> completa
	<a href="#"><u>gnuplot</u></a>	Utilitário de linha de comandos para criação de gráficos 2D/3D e visualização de funções matemáticas e dados
<b>Desenho Técnico</b>	<a href="#"><u>LibreCAD</u></a> , <a href="#"><u>QCAD</u></a>	Aplicações de desenho assistido por computador (CAD) bidimensional (2D) que utilizam o formato base DXF
	<a href="#"><u>draw.io</u></a>	Desenhos como esquemas, diagramas e fluxogramas, com bibliotecas para facilitar a criação, com exportação para SVG, PNG, JPEG, PDF, <i>etc.</i>
	<a href="#"><u>QElectroTech</u></a>	Esquemas elétricos, eletrónicos, controlo e automação e outras áreas de engenharia com uma vasta biblioteca de componentes

Categoria	Ferramenta	Descrição
<b>Linguagens de descrição gráfica textuais</b>	<u>CeTZ</u>	Biblioteca Typst para ilustrações vetoriais, esquemas e diagramas
	<u>TikZ</u>	Biblioteca L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X para ilustrações vetoriais, esquemas e diagramas
<b>Computação Científica e Análise Numérica</b>	<u>Octave</u>	Linguagem de programação compatível com a sintaxe do MATLAB, utilizada para computação numérica e visualização de dados
	<u>Julia</u>	Linguagem de programação dinâmica de elevado desempenho, ideal para computação científica, análise numérica e aplicações de engenharia
	<u>Python</u>	Linguagem e bibliotecas (NumPy, SciPy, SymPy) para cálculo numérico, simbólico e simulações científicas
	<u>Scilab</u>	Ambiente de programação para cálculo numérico com ferramentas para análise de dados, visualização e simulação, semelhantes ao MATLAB e Simulink

### **Notebooks computacionais como Ambiente Integrado**

Para projetos multidisciplinares e relatórios técnicos, pode considerar-se a utilização de *notebooks* computacionais (e.g., Jupyter, Pluto, Google Colab, LabPlot) como ambiente de integração para desenvolvimento, análise e documentação. Nestes ambientes, é possível combinar código, texto, equações matemáticas, visualizações e tabelas, facilitando a reprodução dos resultados e a elaboração de relatórios técnicos claros e completos. Um exemplo de relatório laboratorial sobre máquinas elétricas no formato de *notebook* computacional pode ser consultado em [6].

### **Trabalho Colaborativo em Tempo Real**

Entre as ferramentas recomendadas, destacam-se as seguintes plataformas que permitem trabalho colaborativo em tempo real, com edição simultânea por vários utilizadores, histórico de versões e controle de acessos:

- Typst (documentos Typst)
- Overleaf (documentos LaTeX)
- OnlyOffice, CryptPad (documentos, folhas de cálculo, ...)
- Draw.io (desenhos, esquemas, diagramas, fluxogramas)



- Google Colab (serviço alojado do Jupyter Notebook que não requer configuração para utilização e fornece acesso a recursos de computação, através das linguagens de programação: Python, Julia, R)

## Inteligência Artificial Generativa

A Inteligência Artificial Generativa (GenAI) pode apoiar a redação e revisão de relatórios, mas a sua integração deve ser feita com **responsabilidade, transparência e sentido crítico**, [7], [8], [9].

- **Trabalhar com GenAI, não através dela**

- Use-a para: revisão gramatical e ortográfica, verificação ou sugestões de estrutura do relatório, esclarecimento de conceitos, organização inicial de ideias ou para *brainstorming*;
- Evite usar para: escrever secções inteiras do relatório, interpretar resultados experimentais, substituir a sua análise crítica e tirar conclusões científicas;
- Não perca a prática da escrita: editar texto gerado não substitui o exercício da escrita;
- Pratique o pensamento crítico: confronte, questione e valide sempre os resultados.

- **Transparência**

- Declare sempre o uso de GenAI, explicando como foi utilizada (ex.: revisão, resumo, verificação gramatical). Exemplos de declaração:

“A revisão linguística deste relatório foi apoiada por GenAI (ex.: ChatGPT, Gemini). O conteúdo final foi validado e é assumido pelos autores.”

“Recorreu-se à GenAI (Claude) para esclarecimento de terminologia técnica. A interpretação dos resultados é da responsabilidade dos autores.”

- Verifique e cite a informação obtida, recorrendo a fontes credíveis.

- **Considerações Éticas**

- Integridade: declare sempre o uso e mantenha a equidade académica;
- Questione-se: “Isto ajuda-me a aprender ou substitui o meu pensamento?”
- Proteja dados pessoais e respeite direitos de autor.

- **Autoria e Responsabilidade**

- O relatório deve refletir o seu/vosso entendimento e reflexão crítica;

- A GenAI não substitui a autoria nem a responsabilidade académica do(s) estudante(s), nomeadamente quanto à originalidade, validade e integridade do trabalho.

## Resumo

A escrita técnica em engenharia exige clareza, rigor e organização. O uso de ferramentas técnicas adequadas, a integração de *notebooks* como ambiente integrativo, o trabalho colaborativo em tempo real e o uso responsável de inteligência artificial contribuem para a qualidade, reprodutibilidade e transparência dos relatórios técnicos. Privilegie sempre a autonomia, a reflexão crítica e a ética académica.

## Referências

- [1] R. Barrass, *Students Must Write: a guide to better writing for scientists, engineers and students*. London, England: Routledge, 2003.
- [2] M. Alley, *The craft of scientific writing*, 3.º ed. New York, NY: Springer, 1996.
- [3] M. Alley, «Laboratory Reports», *Writing as an Engineer or Scientist*. Leonhard Center, Penn State, University Park, PA 16802. [Online]. Disponível em: <https://www.craftofscientificwriting.org/laboratory-reports.html>
- [4] «IEC 60617 Symbols». [Online]. Disponível em: [https://qelectrotech.org/forum/misc.php?action=pun\\_attachment&item=2124&download=1](https://qelectrotech.org/forum/misc.php?action=pun_attachment&item=2124&download=1)
- [5] Bureau International des Poids et Mesures, *The International System of Units (SI): Text in English (updated in 2024)*, 9th edition. Sèvres Cedex, France: BIPM, 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure>
- [6] R. Luís, «Ensaio back-to-back: Análise de potências, perdas e rendimento de máquinas CC», *Notebooks Computacionais Aplicados a Máquinas Elétricas II*. ISEL, Lisboa, Portugal, 2025. [Online]. Disponível em: <https://ricardo-luis.github.io/me-2/back2backlab.html>
- [7] W. Holmes, F. Miao, e UNESCO, *Guia para a IA generativa na educação e na pesquisa*. UNESCO Publishing, 2024. [Online]. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000390241>
- [8] J. F. Cohen e D. Moher, «Generative artificial intelligence and academic writing: friend or foe?», *Journal of Clinical Epidemiology*, vol. 179, p. 111646, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2024.111646>.
- [9] M. Gerlich, «AI Tools in Society: Impacts on Cognitive Offloading and the Future of Critical Thinking», *Societies*, vol. 15, n.º 1, 2025, doi: [10.3390/soc15010006](https://doi.org/10.3390/soc15010006).



**REA/OER | CC BY-SA 4.0**

Ricardo Luís | ISEL | 2025