

LabEAD: Laboratório Remoto para o Ensino de Engenharia

Victor Hayashi¹, Felipe Almeida¹, Reginaldo Arakaki¹, Julio Teixeira², Danilo Martins³, Edson Midorikawa¹, Paulo Cugnasca¹, Sergio Canovas¹

¹Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) – São Paulo – SP – Brasil

²Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas
Universidade Federal do ABC (UFABC) – São Paulo – SP – Brasil

³Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) – São Paulo – SP – Brasil

{victor.hayashi, felipe.valencia.almeida, reg}@usp.br,
julio.carlos.teixeira@ufabc.edu.br, dmartins, iotcontrol@gmail.com,
{emidorik, cugnasca, sergio.canovas}@usp.br

Resumo. *O LabEAD é um projeto de laboratório remoto que busca viabilizar experimentos à distância durante o distanciamento social do COVID-19. Seu protótipo é apresentado em três estudos de caso: apoio a criação de vídeos com bancada remota para disciplina de Eletrônica Analógica; disponibilização de dados reais em portal web para a disciplina de Máquinas Elétricas; execução de experimentos de Eletrônica Digital de forma totalmente remota.*

1. Cenário de uso

Uma das inspirações para os pesquisadores do projeto LabEAD relatada neste artigo vem de um projeto espacial. Em dezembro de 1996, a Nasa (2020) lançou o veículo robô “*Mar’s Pathfinder*” para o planeta Marte, que chegou ao destino um ano depois. Esse veículo foi operado a partir do centro espacial na Terra, onde o operador fez das câmeras do veículo-robô os seus “olhos”, e os comandos remotos os seus braços. Tratava-se de uma das primeiras experiências de imersão virtual: um mecanismo era “tocado” e dirigido na exploração do terreno no outro planeta de forma remota. Em 2020, temos como diferença a acessibilidade da tecnologia. O que antes os custos eram próprios de orçamentos de projetos espaciais, atualmente estamos caminhando para a conexão da ordem de 45 bilhões de dispositivos segundo Dahlqvist et al. (2020), além das pessoas, conectados na Internet. Os custos estão acessíveis e experiências de imersão virtual estão bem indicados pelo conceito de *phygital* de Gartner (2020), no qual o aluno acessa o laboratório físico de ensino através de recursos virtuais, diferentemente de exercícios simulados, e desta forma consegue “tocar” os aparelhos do laboratório em tempo real.

O laboratório à distância pode ajudar o ensino nos diversos níveis de formação: ensino médio, técnico e cursos superiores. Não é objetivo deste artigo descrever os aspectos pedagógicos inerentes em cada um dos níveis citados. A principal questão indicada neste artigo está na viabilidade técnica do uso da Internet das Coisas (*Internet of Things*) e os avanços de processadores, comunicação, sensores e atuadores em termos

de tecnologia e de custos. Sem buscar, portanto, uma completeza ou exploração exaustiva das possibilidades, cabem alguns pontos considerados no projeto:

- A. Teoria e prática valem para Engenharia, Medicina, Veterinária, Artes, cursos técnicos e outras carreiras onde o conhecimento e habilidades bem fundamentadas constituem pilares que moldam o profissional esperado pela indústria e pela sociedade;
- B. As aulas teóricas estão em franca evolução através de cursos à distância: focos em discursos “conceituais” mais curtos e explorando mais atividades que desafiam e engajam os estudantes, por exercícios e resolução de problemas;
- C. Sobre os laboratórios práticos: em Computação, o ensino de programação fica muito bem resolvido com os recursos da Internet e processamento em nuvem, mas no caso de equipamentos físicos (e.g. sistemas embarcados, computadores, dispositivos de redes como roteadores e *firewalls*), muitas vezes a operação destes equipamentos são tratados de forma apenas teórica, ou através de simulação;
- D. Quanto a circuitos análogos-digitais, muito utilizados em disciplinas de Controle e Automação/Robótica, onde as grandezas físicas do mundo real são transformadas em dados eletrônicos digitais, muitas vezes as iniciativas práticas ficam em termos de simulações ou estudos dos dados disponibilizados (*data sets* públicos);
- E. Máquinas Elétricas consomem parte significativa da energia elétrica gerada. Seu estudo é, assim, base em todos os cursos de Engenharia de Eletricidade, de Controle e de Energia. Contudo, estes equipamentos exigem um rito de manobras cuidadosas pelos alunos, professores e auxiliares de ensino, no controle e mitigação dos riscos, e o engajamento dos alunos neste tipo de laboratório é um desafio [SINGH et al., 2019];
- F. Outras situações de ensino, onde o ensino de conceitos e prática em conjunto são mandatórios.

Neste artigo, as experimentações do LabEAD foram direcionadas por 3 categorias de disciplinas de Engenharia (ver a Figura 1): a primeira, direcionada pela disciplina de Laboratório de Eletrônica Analógica. Nesta disciplina, circuitos eletrônicos são experimentados no curso pelos alunos em conjunto com o professor. O diferencial para os alunos: o computador, dentro da premissa de distanciamento social, foi experimentado à distância, acessando o experimento disponibilizado pelo professor; a segunda é focada em Máquinas Elétricas de alta potência, onde as manobras com motores são perigosas e críticas em aulas presenciais, e a disponibilização de acesso remoto traz mais desafios no manuseio destes equipamentos. Neste caso, os técnicos e os professores preparam e dirigem os experimentos com tais motores, para que os alunos possam coletar os dados em tempo real, para posterior análise e avaliação com as referências conceituais; a terceira categoria indicada na Figura 1 refere-se ao Laboratório de Eletrônica Digital. Neste caso, os circuitos são acessados à distância e alterados em tempo real, sincronizando os procedimentos de conexões, coleta de dados, modificações e ajustes realizados pelos próprios alunos, dentro das limitações estabelecidas pelas plataformas e ferramentas das bancadas remotas.

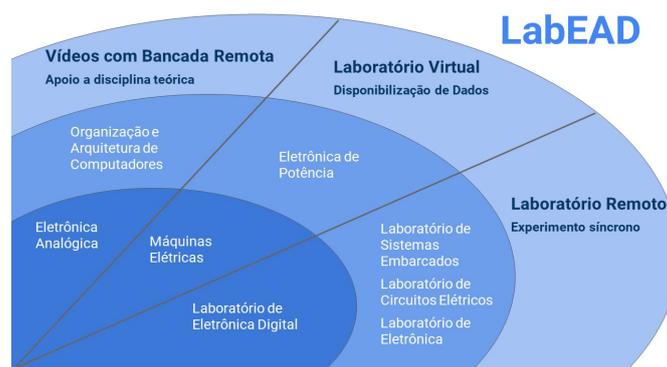


Figura 1 – Visão geral do projeto LabEAD

Em todas as categorias que abrangem o projeto LabEAD, diferente de uma aula remota completamente conceitual, os alunos são engajados e desafiados em experimentos reais. Eles são instigados a vivenciarem uma jornada focada na experimentação prática, importante para a consolidação do conhecimento e treinamento de habilidades práticas.

Todo o sistema desenvolvido está sob a licença *GNU General Public License v3.0*, e espera-se que o compartilhamento das ferramentas desenvolvidas auxilie na mediação de aulas de laboratório durante a pandemia do COVID-19 conforme diretriz do Ministério da Educação (2020), contribuindo para a formação de milhares de engenheiros demandados pelo mercado [MACIENTE et al., 2020]. Disciplinas teóricas, teórico-práticas, e práticas de Eletrônica Analógica, Instrumentação, Eletrônica Digital, Máquinas Elétricas e Controle podem se beneficiar deste trabalho.

2. Desenvolvimento

O método empregado no desenvolvimento do sistema foi o seguinte:

1. Divulgação da iniciativa para instituições e departamentos para atração de técnicos, docentes e alunos interessados;
2. Estabelecimento de grupos de trabalho com encontros semanais para definição de desenvolvimento por *sprints*, segundo a metodologia ágil;
3. Definição de requisitos funcionais, não-funcionais e restrições de forma iterativa para as disciplinas e experimentos selecionados;
4. Apresentação de resultados semanais para validação e alinhamento de pontos a melhorar e expansões.

O projeto LabEAD obteve engajamento de instituições das esferas federal e estadual, e foi definido o apoio a três disciplinas: Eletrônica Analógica, Máquinas Elétricas e Eletrônica Digital. A seguir, são apresentados as ferramentas, materiais e linguagens de programação utilizadas na construção do protótipo.

2.1. Gravação de Vídeos com Bancada Remota para Eletrônica Analógica

A gravação de vídeos com suporte a demonstrações pôde ser realizada por docentes de disciplinas teóricas ou teórico-práticas. O docente possui acesso remoto ao computador do laboratório, que possui uma bancada de eletrônica que pode ser controlada a partir de

interface *web*, e uma *webcam* para visualização desta bancada remota. Desta forma, o docente pode gravar sua tela através de uma ferramenta específica de gravação de vídeo (programa Active Presenter), acessar remotamente o computador do laboratório (programa AnyDesk), interagir com a bancada remota através da interface *web* e monitorar os equipamentos por meio da *webcam*. Além disso, pode complementar com uma breve explicação teórica sobre os conceitos relacionados ao experimento a ser demonstrado.

Para a montagem da bancada de Eletrônica Analógica, foram utilizados Arduino Uno, Arduino IDE, Python 3, bibliotecas Python *pyserial* e *flask*, além de diversos componentes eletrônicos (fonte de alimentação, placa padrão, circuito integrado LM324, capacitores, resistores, transistores), e o programa Fritzing para o desenvolvimento de placas de eletrônica. A interface *web* foi implementada em Python 3 utilizando a própria IDE e HTML+CSS por meio do editor Notepad++. A lista completa de componentes e procedimentos de montagem está descrita em <https://github.com/vthayashi/OKIoT/tree/master/labead/labeaduno>.

2.2. Portal *web* para Laboratório Virtual para Máquinas Elétricas

As etapas para a construção do portal *web* para disponibilização de dados reais coletados com um Arduino Mega da partida de um motor de indução monofásico (ventilador) foram as seguintes:

1. Construção de protótipo de *hardware* para coleta de dados de ventilador, com Arduino Mega, sensor infravermelho, sensor de corrente e acoplador óptico;
2. Implementação de código na Arduino IDE, disponível em <https://github.com/vthayashi/megaplotter>;
3. Desenvolvimento de portal *web* de forma local com a biblioteca Flask do Python, HTML e CSS por meio da IDE do Python 3, e Notepad ++, com código disponível em: <https://github.com/vthayashi/weblabead>;
4. Implantação automática por meio da plataforma Render (<https://render.com/>).

Neste primeiro protótipo, o motor considerado foi um ventilador monofásico. A integração com o curso de Máquinas Elétricas Trifásicas está prevista em trabalhos futuros. É importante destacar que a interface descrita somente utiliza dados coletados previamente, enquanto a interface *web* utilizada no item 2.1 obtém os dados e os apresenta em tempo real.

2.3. Sistema de Laboratório Remoto para Eletrônica Digital

Foram desenvolvidos dois módulos principais para o Laboratório de Eletrônica Digital:

1. Computador da bancada: um script Python é responsável pela interface com o software Quartus Prime da fabricante Intel para verificar, compilar e carregar o projeto de circuito digital descrito na linguagem de descrição de hardware VHDL do aluno no dispositivo FPGA (*Field Programmable Gate Arrays*);
2. Dispositivo ESP8266 da bancada: um *firmware* desenvolvido em Arduino IDE com suporte à placa de desenvolvimento ESP8266 e biblioteca da plataforma de Internet das Coisas Blynk é responsável pela interação do celular do aluno com seu projeto de circuito digital, carregado na placa FPGA da bancada.

3. Apresentação do Sistema

O sistema é apresentado com três casos de uso: apoio a aulas teóricas de disciplina de Eletrônica Analógica; disponibilização de dados reais coletados para análise em disciplina de Máquinas Elétricas; execução de experimento de forma remota para a disciplina de Laboratório de Eletrônica Digital.

3.1. Vídeos com Bancada Remota para Eletrônica Analógica

Foram gravados 5 vídeos de experimentos de eletrônica analógica com demonstração realizada através de bancada remota. Cada vídeo possui duração entre 5 a 20 minutos, e conta com uma breve introdução teórica (conforme Figura 2, em estilo *draw my life*) sobre aspectos teóricos do experimento, assim como resultados esperados.

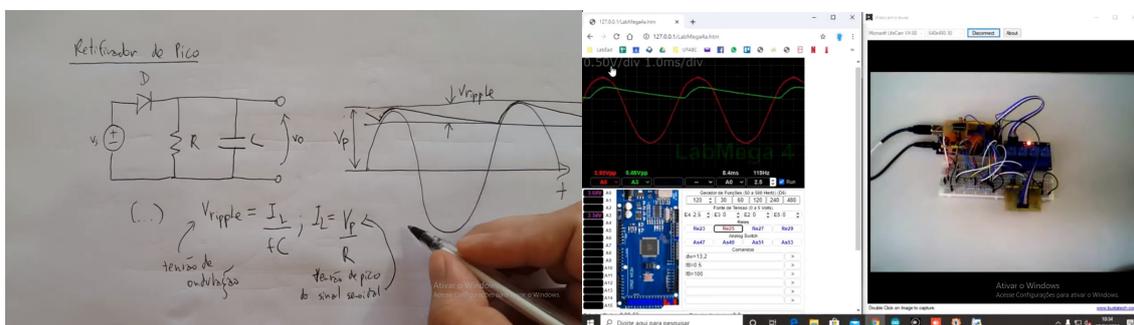


Figura 2 – Exemplo de vídeo gravado com bancada remota de eletrônica

1. O primeiro vídeo (<https://www.youtube.com/watch?v=YLBu16nOFT8>) contém um experimento introdutório de associação de resistores em série e paralelo, com familiarização do uso da bancada remota.
2. O segundo vídeo (<https://www.youtube.com/watch?v=khA5d56Mmjk>) disserta sobre a caracterização do componente eletrônico diodo, com o levantamento da sua curva de operação.
3. O terceiro vídeo (<https://www.youtube.com/watch?v=ZnzqdCZ6wtI>) demonstra o experimento de circuito retificador com diodo (retificador de meia onda; retificador de pico com capacitor).
4. O quarto vídeo (https://www.youtube.com/watch?v=v_dB4zKTcoE) consiste em um experimento de filtro passa-baixas implementado com componentes eletrônicos resistor e capacitor.
5. O quinto vídeo (<https://www.youtube.com/watch?v=aEP6ki7WB5I>) demonstra montagens com o componente eletrônico amplificador operacional, com troca entre as montagens possível por meio de relés controlados pelo Arduino da bancada remota.

3.2. Laboratório Virtual para Máquinas Elétricas

O usuário pode navegar pelo portal *web* do LabEAD ilustrado na Figura 3, e acessar dados coletados da partida de um ventilador monofásico com capacitor (corrente, fase da rede elétrica e rotações).

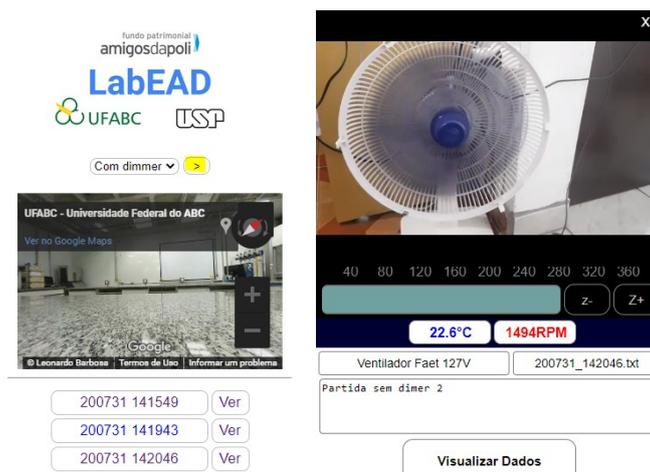


Figura 3 – Navegação pelo portal *web* do LabEAD

A navegação pode ser realizada através das seguintes instruções:

1. Acesse o portal: <https://weblabead.onrender.com/>;
2. Observe a foto em 360 graus no lado esquerdo da Figura 3;
3. Selecione "Sem *dimmer*" na caixa de seleção e aperte no botão ">";
4. Observe o vídeo do ventilador gravado no momento de coleta dos dados;
5. Observe a interface de osciloscópio com as formas de onda na Figura 4. A rotação do ventilador está em vermelho, o indicador de fase da rede elétrica está em verde, e a corrente está em azul;
6. Ajuste o zoom com o botão de zoom no canto inferior do osciloscópio;
7. Clique na opção de "V/div" para alternar entre as visualizações, e clique nos canais no canto superior direito para esconder/mostrar canais específicos;

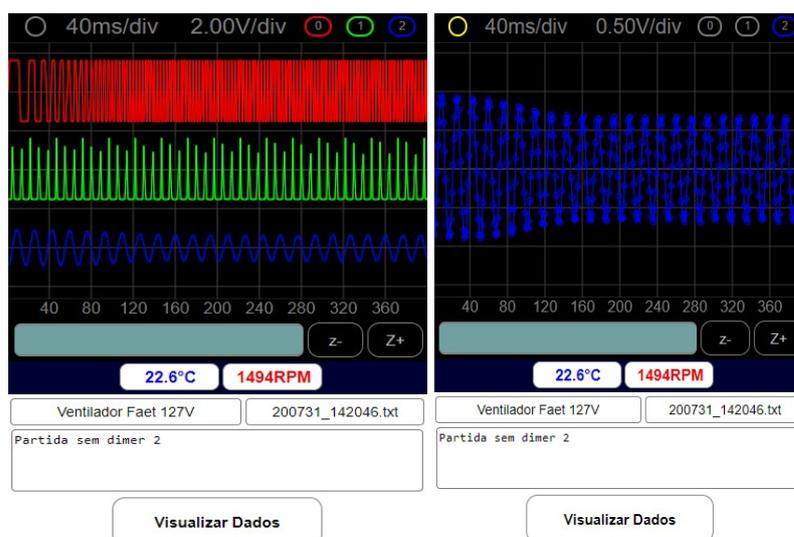


Figura 4 – Exemplos de visualizações de dados coletados pelo portal *web*

8. Aperte no botão "Visualizar dados" ao final da página. Nesta página, você pode copiar os dados coletados e colar em uma planilha para realizar outras análises.

3.3. Laboratório Remoto para Eletrônica Digital

Os procedimentos de instalação do aplicativo *mobile* Blynk, criação de projeto, e sua configuração inicial para uso no laboratório remoto digital estão descritos em <https://github.com/vthayashi/OKIoT/blob/master/labead/blynk/README.md>.

O projeto de circuito digital para teste na placa FPGA consiste em uma porta AND, cujas entradas podem ser ativadas através dos pinos D1 e D2 do ESP8266. Estas entradas podem ser monitoradas pelos *leds* LEDR8 e LEDR9 da placa FPGA DE0-CV, e a saída da porta AND está relacionada ao *led* LEDR0. A sequência de comandos do terminal virtual para experimentar o ciclo de compilação, programação e interação com o projeto VHDL na placa FPGA DE0-CV disponível na bancada do Laboratório Digital é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Sequência de comandos para teste do laboratório remoto digital

	comando	função
1	i	iniciar o <i>script</i> , em seguida, o comando pede outras informações. Digitar: exp01 para definir o nome do arquivo com a pinagem e porta_and para definir o nome do arquivo QAR
2	co	compilar o projeto com Intel Quartus Prime
3	ca	carregar o projeto na placa FPGA
4	t	iniciar o teste do projeto
5	D1 1	ativar sinal D1 do Wemos D1 mini
6	D2 1	ativar sinal D2 do Wemos D1 mini
7	D2 0	desativar sinal D2 do Wemos D1 mini
8	D1 0	desativar sinal D1 do Wemos D1 mini

O efeito de cada comando executado pode ser observado via webcam disponível na bancada do laboratório remoto. A operação dos comandos de 5 a 8 podem ser observados diretamente nos *leds* da placa FPGA, conforme captura de tela da Figura 5. Um vídeo com a demonstração completa do fluxo descrito está disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zsISbCkaI0c>.

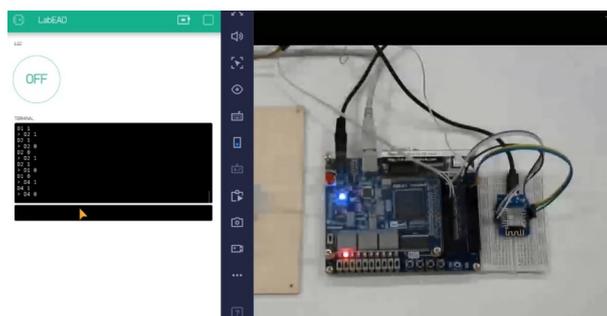


Figura 5 - Visualização da tela do celular e da câmera na bancada remota

4. Considerações finais

A proximidade com o comportamento real, e a realização de atividades práticas essenciais para a formação do engenheiro são possíveis pelo sistema LabEAD. Através de seus diversos módulos que integram ferramentas de laboratório virtual e real, a infraestrutura torna possível a execução de experimentos à distância para disciplinas de Laboratório de Eletrônica Analógica, Máquinas Elétricas, e Laboratório de Eletrônica Digital. Desta forma, mesmo durante a manutenção de medidas de distanciamento social implementadas no combate ao COVID-19, os estudantes de Engenharia podem adquirir competências para enfrentar os desafios vindouros com a Internet das Coisas.

O apoio a disciplinas teóricas em formato de vídeos e demonstrações em tempo real pelo docente para disciplinas de Eletrônica Analógica, a disponibilização de dados reais em interface *web* para disciplina de Máquinas Elétricas, e a execução de experimentos por docentes em *workshop* para o Laboratório de Eletrônica Digital são os resultados obtidos até o momento. Pesquisas de opinião, *workshops* com alunos, e integração com simuladores estão previstas. As ferramentas construídas irão suportar a disciplina de Laboratório de Eletrônica Digital na Escola Politécnica da USP entre setembro e dezembro de 2020. Espera-se que o compartilhamento em código aberto dos métodos, ferramentas, e protótipos torne possível a expansão do LabEAD, de forma a contribuir para a formação de competências dos engenheiros do futuro, tão essenciais para o progresso científico-tecnológico do país.

Referências

DAHLQVIST, F; PATEL, M; RAJKO, A; SHULMAN, J. Growing opportunities in the Internet of Things. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/private-equity-and-principal-investors/our-insights/growing-opportunities-in-the-internet-of-things>. Acesso em: 15 ago. 2020.

GARTNER. Fashion Goes Phygital. Disponível em: <https://www.gartner.com/en/marketing/insights/daily-insights/fashion-goes-phygital>. Acesso em: 06 ago. 2020.

MACIENTE, A; NASCIMENTO, P; A DEMANDA POR ENGENHEIROS E PROFISSIONAIS AFINS NO MERCADO DE TRABALHO FORMAL Disponível em: <http://www.iea.usp.br/eventos/documentos/a-demanda-por-engenheiros-e-profissionais-afins-no-mercado-de-trabalho-formal> Acesso em: 15 ago. 2020.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Parecer CNE/CP Nº: 9/2020. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=147041-pcp009-20&category_slug=junho-2020-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 15 ago. 2020.

NASA. Mars Pathfinder. Disponível em: <https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/pathfinder/>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SINGH, Arvind et al. Improving Student Engagement in Teaching Electric Machines Through Blended Learning. IEEE Transactions on Education, v. 62, n. 4, p. 297-304, 2019.