



Meio Século de Evolução em uma Disciplina de Laboratório de Eletrônica Digital

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2022.3996

EDITH RANZINI - edith.ranzini@usp.br
USP

Felipe Valencia de Almeida - felipe.valencia.almeida@usp.br
Universidade de São Paulo

Victor Takashi Hayashi - victor.hayashi@usp.br
Universidade de São Paulo

Alexandre Marques Carrer - alexandrecarrer@usp.br
Universidade de São Paulo

Maria de Fatima Salgueiro - fatima.salgueiro@usp.br
Universidade de São Paulo

Daniel Costa Ferreira - dancosfer@usp.br
Universidade de São Paulo

Reginaldo Arakaki - reginaldo.arakaki@poli.usp.br
Universidade de São Paulo

Edson Toshimi Midorikawa - edson.midorikawa@poli.usp.br
Universidade de São Paulo

Paulo Sergio Cugnasca - paulo.cugnasca@poli.usp.br
Universidade de São Paulo

Resumo: Um tema bastante discutido e debatido no cenário atual de ensino da Engenharia é a formação do chamado "engenheiro do futuro". Por se tratar de uma ciência viva e em constantes mudanças do mercado, um curso de Engenharia precisa continuamente estar em processo de modernização, visando atender a estas demandas. Este artigo apresenta a 50 anos de evolução de uma disciplina de laboratório de Eletrônica Digital. Ele foi dividido de tal forma a atender três momentos históricos, sendo eles o passado, o presente e o futuro. As decisões adotadas podem servir de expoente para disciplinas correlatas, enquanto o debate





aqui fomentado pode ser utilizado para balizar a modernização de outras disciplinas de engenharia.

Palavras-chave: laboratório de eletrônica digital, FPGA, IoT



Meio Século de Evolução em uma Disciplina de Laboratório de Eletrônica Digital

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia é uma área do conhecimento em constante evolução. A cada dia métodos são incorporados, materiais inéditos são descobertos e formas de resolver problemas antes vistos como impossíveis ou inviáveis são desenvolvidas na sociedade. Diante do desafio de ensinar em uma área com tamanha complexidade, com frequência encontram-se debates e discussões acerca do chamado "engenheiro do futuro". O próprio tema do XLVIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE 2020) foi "Os desafios para formar hoje o engenheiro do amanhã" apontando para a relevância deste assunto. O "engenheiro do futuro", ou então "engenheiro do amanhã" pode ser definido por diversas formas e/ou vertentes, porém um ponto é tangente a todas elas. Ele é um profissional que não apenas possui um amplo domínio técnico de sua área, o que remete à questão das chamadas *hard skills*, mas também possui um domínio de habilidades colaborativas (*soft skills*), necessárias para poder trabalhar em grandes grupos interdisciplinares e, inclusive, liderá-los.

Ao identificar este perfil para profissional no futuro, um grande questionamento é levantado: como modernizar os currículos já existentes de Engenharia para que estes possam atender às necessidades de formação do engenheiro do futuro? Além do ponto já mencionado das habilidades colaborativas, cabe ressaltar também que os próprios conhecimentos técnicos da engenharia sofrem mudanças com o tempo, com o surgimento de novos métodos e técnicas. Desta forma, existe uma necessidade constante de modernizar o currículo dos cursos de Engenharia. Porém, entende-se que diversas vezes existe uma demanda de grande esforço institucional para que isso ocorra, onde não é incomum que embargos inviabilizem uma grande mudança curricular. Uma alternativa para conseguir gerar a tão almejada mudança se dá em uma maior granularidade, por meio das disciplinas que compõem o curso de uma determinada Engenharia.

O curso de Engenharia de Computação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo possui como uma de suas disciplinas características a disciplina de Laboratório Digital, onde os alunos colocam em prática os ensinamentos adquiridos durante as disciplinas teóricas de Sistemas Digitais. No ano de 2022, a disciplina completa 50 anos desde sua criação sofrendo diversas mudanças ao longo do tempo, com o propósito de modernizar o conteúdo e melhor preparar os alunos para os desafios que estes encontrarão no mercado de trabalho.

Este artigo tem como objetivo apresentar uma trajetória histórica da disciplina de Laboratório Digital, mostrando as mudanças que ocorreram, e como estas foram importantes para a formação dos alunos. Optou-se por dividir a estrutura do texto em três momentos, sendo eles: passado, presente e futuro. Este último irá apresentar um horizonte de ideias a serem colocadas em prática.

2 PASSADO

A disciplina de Laboratório Digital surgiu no contexto do novo currículo criado para modernizar o curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, chamado de "currículo 70". Este havia sido recém-criado naquela época por consequência de um grupo de professores e pesquisadores unidos com o propósito de modernizar o curso de Engenharia Elétrica, abordando também a nova área de Sistemas Digitais (PCS, 2022). Seu propósito era não apenas colocar em prática os ensinamentos de Sistemas Digitais, mas também reforçar alguns conceitos teóricos para complementar a formação do novo curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Digitais.

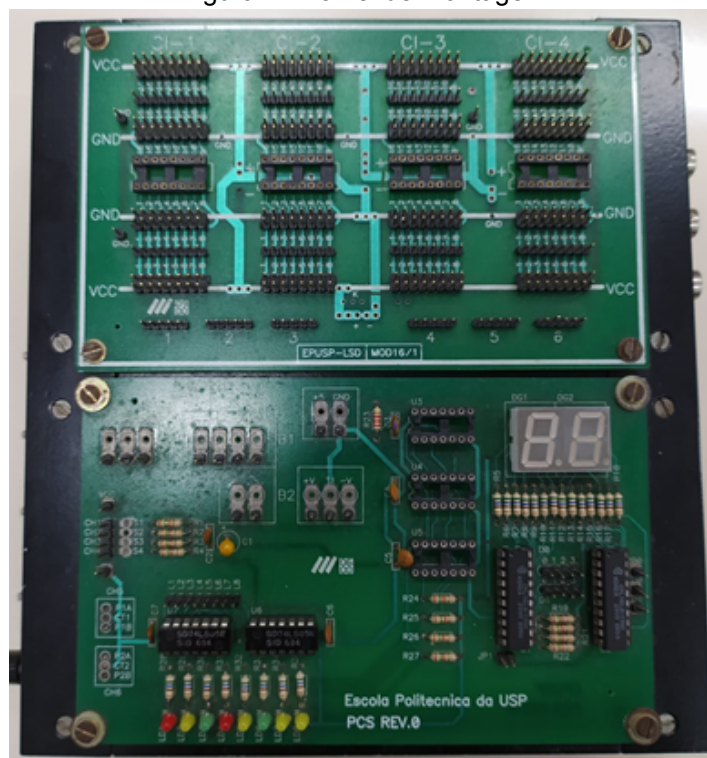
Um destaque na criação desta disciplina é que ela foi fortemente influenciada pelos conhecimentos técnicos recém adquiridos pelo grupo responsável pelo projeto do computador Patinho Feio indicado como primeiro computador brasileiro, com *hardware* e *software* todo construído na Escola Politécnica. Dentre esses membros, destaca-se a participação de alto impacto, desde sempre, da Profa. Dra Edith Ranzini, conosco na equipe deste artigo. Ela atuou diretamente como referência dos seguintes aspectos-foco do trabalho: coordenação na montagem, condução, elaboração, ajustes das experiências e estruturação das aulas práticas.

A participação da mulher na engenharia, o desenvolvimento de *soft skills* dos alunos em complemento aos perfis de *hard skills*, relacionado à criação, empreendedorismo, inovação e comunicação são alguns dos aspectos herdados pela disciplina de laboratório digital da Profa. Edith. E, com isso, os elementos que são descritos a seguir como as bancadas para os grupos, os equipamentos de apoio, e o painel de montagem refletem o início virtuoso e com aprimoramentos contínuos até os dias atuais.

2.1 Painel de Montagem

Nos primeiros oferecimentos da disciplina, os alunos utilizavam um Painel de Montagem para construir os circuitos digitais montados com componentes TTL e avaliar o seu funcionamento. Diversas versões do Painel de Montagem foram projetadas e desenvolvidas ao longo dessas cinco décadas, sendo uma versão mais moderna deste ilustrada pela Figura 1.

Figura 1 - Pannel de Montagem



Fonte: Autoria própria

As experiências feitas na disciplina versavam principalmente a construção de circuitos digitais mais simples, porém com o propósito de apresentar aos alunos o funcionamento dos circuitos integrados (CIs) e a relação destes com o mundo real. Análises quantitativas também eram realizadas com frequência, como a caracterização da curva de funcionamento da tecnologia TTL (*Transistor-Transistor Logic*), por exemplo.

Uma lista não exaustiva de alguns temas abordados nas experiências é apresentada a seguir:

- Portas Lógicas
- Circuitos Biestáveis
- Registradores de Deslocamento
- Contadores em Anel
- Síntese de Circuitos Sequenciais
- Contadores Binários
- Multiplexadores e Decodificadores
- Transmissão e Recepção Serial Assíncrona

Em cada experiência, os alunos utilizavam um extenso aparato experimental composto por fonte geradora de tensão, multímetro, osciloscópio, gerador de ondas, além do próprio painel de montagem.

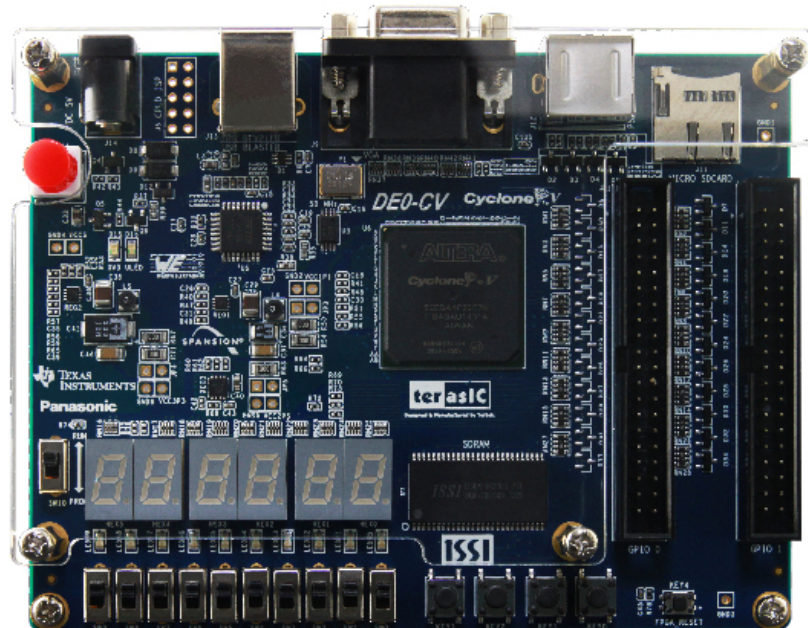
2.2 Adição da placa FPGA

Com o surgimento da lógica programável, foi criada uma demanda por trazer esses conceitos para a disciplina de Laboratório Digital. Inicialmente circuitos mais simples foram utilizados para este propósito, ocorrendo posteriormente uma aquisição das



chamadas *Field-Programmable Gate Array* (FPGA) por meio das placas FPGA. É importante destacar que uma placa FPGA é composta pela própria FPGA e um conjunto de periféricos que permitem sua interação com o ambiente exterior (botões, *leds*, *displays*, pinos de propósito geral etc). A Figura 2 ilustra um exemplo de placa FPGA DE0-CV da fabricante Altera, utilizada no laboratório.

Figura 2 - Placa FPGA DE0-CV



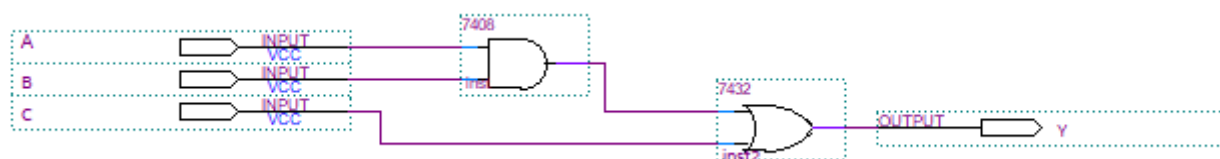
Fonte: (TERASIC, 2015)

A FPGA é um tipo de circuito integrado reconfigurável. Ela pode mudar a sua estrutura interna de células lógicas para se comportar como uma miríade de circuitos digitais distintos. As células lógicas possuem alteração em sua estrutura interna por meio de um *bitstream* (fluxo de bits) que é gerado em ambientes de desenvolvimento proprietário das fabricantes das FPGAs. No contexto desta disciplina, o ambiente utilizado é o Quartus Prime, que possui suporte para FPGAs da fabricante Altera como a DE0-CV. Existem diversas formas de configurar uma FPGA, gerando arquivos contendo *bitstreams*, porém aqui será dado um destaque a duas delas que são exploradas na disciplina. São elas a criação de um circuito por meio de um diagrama esquemático e a criação de um circuito por meio de uma linguagem de descrição de *hardware* (HDL - do inglês *Hardware Description Language*).

A criação de um circuito por meio de um diagrama esquemático consiste em conectar diversos componentes em uma interface gráfica para descrever um circuito digital. A Figura 3 ilustra um diagrama esquemático simples, composto apenas por duas portas lógicas. A principal vantagem de utilizar este tipo de recurso em conjunto com a FPGA é tornar a curva de aprendizagem do aluno menos drástica. Neste primeiro momento, a tarefa de descrever o circuito digital é mais simples, tendo as principais dificuldades voltadas para o uso do novo ambiente de desenvolvimento.



Figura 3 - Criação de um circuito digital por meio de diagrama esquemático



Fonte: Autoria própria

Após a criação do circuito e posterior processo de sintetização lógica, o aluno pode utilizar a própria ferramenta de simulação inclusa no ambiente de desenvolvimento para simular o circuito. A elaboração de um plano de testes é um poderoso recurso neste sentido, pois enquanto circuitos combinatórios possuem testes imediatos por meio de sua tabela verdade, circuitos sequenciais necessitam diversos comandos em sequência para atingir os estados almejados.

Com o término do processo de simulação, o aluno pode então carregar o *bitstream* correspondente ao circuito descrito na FPGA, fazendo com que esta se comporte conforme a descrição feita. Entradas podem ser mapeadas em chaves e/ou botões da placa FPGA, enquanto saídas podem ser mapeadas em *leds* e/ou *displays*. Outro recurso que será melhor explicado na próxima seção é a possibilidade de usar pinos de propósito geral da placa FPGA para conectá-la com periféricos.

Conforme dito anteriormente, a outra forma explorada na disciplina de configurar a FPGA é o uso de linguagens de descrição de *hardware*, mais especificamente a linguagem VHDL. A principal vantagem do uso deste recurso quando comparado com a descrição por meio do diagrama esquemático é a maior facilidade em modificar componentes além de uma maior flexibilidade na descrição de componentes que não possuem um circuito integrado comercial equivalente.

A Figura 4 apresenta a descrição de uma porta lógica AND na linguagem VHDL.

Figura 4 - Porta AND descrita em VHDL

```
entity porta_and is
  port (
    a : in std_logic;
    b : in std_logic;
    y : out std_logic
  );
end porta_and;

architecture exemplo of porta_and is
begin
  y <= a and b;
end exemplo;
```

Fonte: Autoria própria

Não é escopo deste artigo entrar no mérito de uma descrição detalhada da linguagem VHDL. Um destaque importante é que existe uma dificuldade inicial, por parte dos alunos, em entender o funcionamento da linguagem, pois esta difere de uma linguagem de programação convencional justamente pelo seu propósito. Desta forma, o conjunto de experiências da disciplina foi organizado de tal forma a construir o projeto de um circuito digital de maneira incremental. Nas primeiras aulas, os alunos descrevem componentes mais simples, tendo um contato inicial com a sintaxe da linguagem. Já nas últimas aulas, com uma maior maturidade dos alunos é possível integrar os componentes



descritos anteriormente em novos componentes, com uma maior complexidade. O uso de uma abordagem de projeto *bottom-up* é fundamental para este propósito.

3 PRESENTE

Nesta seção é apresentada a situação atual da disciplina de Laboratório Digital. Recentemente a disciplina foi marcada por fortes mudanças, impulsionadas principalmente pela pandemia do COVID-19, o que será melhor apresentado nas subseções a seguir.

3.1 Presente x Passado

Neste momento é importante fazer um destaque percebido empiricamente com os alunos das diversas turmas da disciplina. Ao apresentar anteriormente a inserção da placa FPGA no contexto da disciplina é intuitivo para o leitor pensar que o Painel de Montagem tenha sido substituído pela própria placa FPGA, porém na prática isso não aconteceu.

Como o uso da FPGA abstrai uma série de detalhes físicos dos componentes digitais, observou-se que iniciar a disciplina com o seu uso resulta numa lacuna no aprendizado, pois por mais que os alunos conseguissem descrever com sucesso inúmeros circuitos digitais, eles não entendiam com clareza alguns detalhes físicos dos circuitos integrados. Desta forma, e visando encontrar um ponto de equilíbrio entre o antigo e o novo, optou-se por alocar um número de experiências da disciplina voltadas para o uso do painel de montagem. Assim, após o aluno começar a utilizar a FPGA ele já possuía uma base do uso de circuitos integrados.

3.2 Trazendo as *soft skills*

Até o presente momento todos os pontos levantados neste artigo remetem a aspectos técnicos da eletrônica digital, que consistem nas *hard skills*. Uma lacuna encontrada na disciplina que foi comentada na introdução deste artigo consiste na necessidade do desenvolvimento de habilidades colaborativas (*soft skills*) na formação do engenheiro do futuro. Assim, após uma série de mudanças gradativas na disciplina obteve-se um modelo atual onde os alunos conseguem desenvolver estas habilidades.

No modelo atual, a disciplina é dividida em dois grandes blocos de experiências. No primeiro bloco, os alunos trabalham no desenvolvimento de um projeto base, seguindo roteiros pré estabelecidos em apostilas feitas pela equipe da disciplina. No segundo bloco, os alunos precisam desenvolver um projeto próprio, utilizando a base feita anteriormente para que o aprendizado ocorra de forma incremental. A Tabela 1 apresenta um planejamento da disciplina neste formato. Neste oferecimento da disciplina os alunos desenvolveram o projeto do jogo do Genius.



Tabela 1 - Cronograma de um oferecimento da disciplina Laboratório Digital

Experiência	Tema
1	Primeiro contato com circuitos digitais em VHDL
2	Um Fluxo de Dados Simples
3	Projeto de uma Unidade de Controle
4	Desenvolvimento de Projeto de Circuitos Digitais em FPGA
5	Projeto Base do Desafio do Jogo da Memória (I)
6	Projeto Base do Desafio do Jogo da Memória (II)
7	Projeto I
8	Projeto II
9	Projeto III
10	Projeto IV

Fonte: Autoria própria

Em relação ao segundo bloco de experiências (Projeto I - IV) algumas considerações precisam ser feitas, que vão de encontro ao aspecto de desenvolvimento das habilidades colaborativas.

No início de cada aula de projeto, os alunos precisam fazer uma apresentação do tipo *pitch* de três minutos dando uma atualização à equipe e aos próprios colegas de turma da situação atual do seu projeto. Aqui é explorado tanto o aspecto de controle do tempo quanto a comunicação de forma clara e sucinta. Um outro detalhe importante observado na prática é que os próprios alunos acabam se espelhando em seus colegas no momento da apresentação. Observa-se frequentemente uma "competição saudável" entre a turma.

No decorrer da aula, os alunos precisam avançar no desenvolvimento dos seus projetos. Um ponto importante de se mencionar é que este é o primeiro momento no curso de Engenharia de Computação que o aluno vai se comprometer a desenvolver um projeto com um certo grau de liberdade. Essa liberdade, marcada por uma ausência de apostilas que estavam presentes no primeiro bloco da disciplina, demanda uma maior maturidade e compromisso dos alunos, além de uma maior habilidade para lidar com a incerteza.

Ao término deste segundo bloco os alunos precisam apresentar seu trabalho em uma "Feira de Projetos". A feira em questão simula uma banca de Projeto de Conclusão de Curso, onde professores do departamento são convidados para conhecer e avaliar os projetos dos alunos. Por fim, uma premiação é feita para os melhores trabalhos, como forma de incentivar todo o esforço dos alunos durante a disciplina.

3.3 Pandemia e o seu legado

Os últimos dois anos foram marcados pela pandemia do COVID-19, que resultou em uma demanda por rápidas alterações e mudanças no paradigma do ensino. No

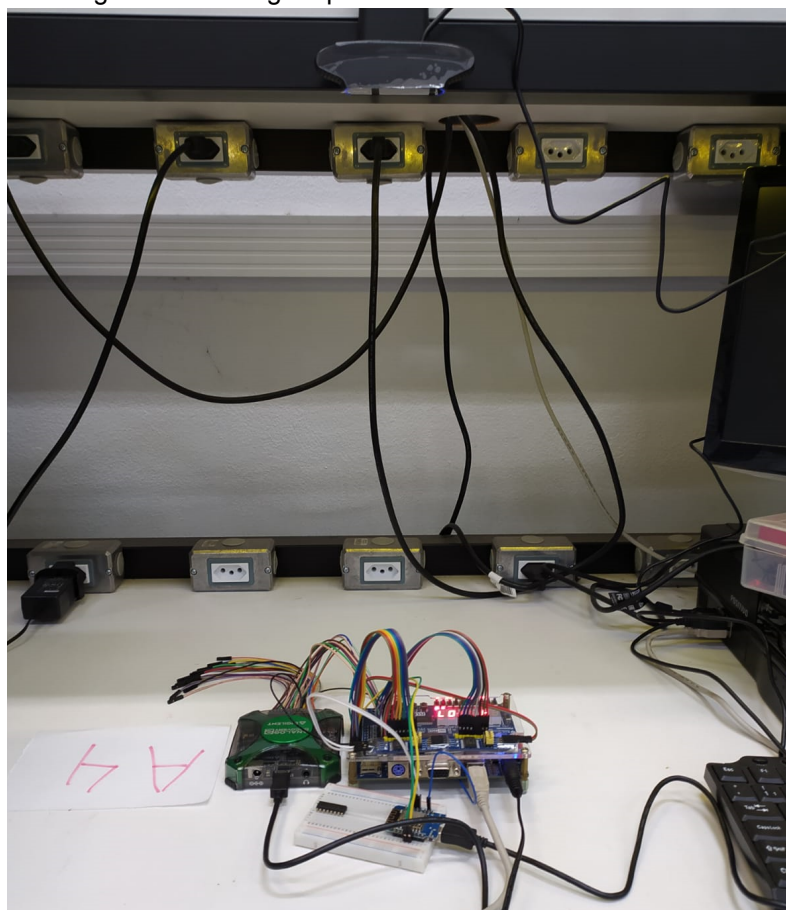


contexto das disciplinas práticas dos cursos de nível superior, observou-se que a maioria migrou para um modelo de ensino via simulação, como forma de mitigar as perdas de aprendizagem com a impossibilidade de uso do aparato experimental laboratorial.

No caso da disciplina de Laboratório Digital, a equipe conseguiu desenvolver uma infraestrutura de laboratório remoto capaz de viabilizar o contato do aluno com o aparato experimental por meio de recursos de Internet das Coisas. Esta infraestrutura possui duas versões, sendo a primeira desenvolvida em 2020 utilizando a plataforma Blynk (BLYNK, 2022) e a segunda em 2021, utilizando o protocolo MQTT (MQTT, 2022). Um detalhamento da primeira versão é apresentado em Hayashi et al. (2020).

A Figura 5 apresenta a montagem feita no laboratório para viabilizar o acesso remoto ao aparato experimental na segunda versão da infraestrutura. Nela os alunos conseguem enviar comandos para um microcontrolador ESP8266 por meio do protocolo MQTT. Este envia/recebe sinais para a placa FPGA por meio de conexões com os pinos de propósito geral da placa, substituindo a função dos botões/chaves/leds no ensino presencial, além de viabilizar uma maior flexibilidade nos projetos, permitindo a integração do aparato experimental com outras aplicações e componentes por meio do MQTT.

Figura 5 - Montagem para acesso remoto ao laboratório



Fonte: Autoria própria

Com o retorno ao ensino presencial no ano de 2022, uma consequência imediata seria o desmonte desta infraestrutura projetada, em decorrência da presença física do aluno no laboratório, com acesso ao aparato experimental. Porém, a equipe identificou





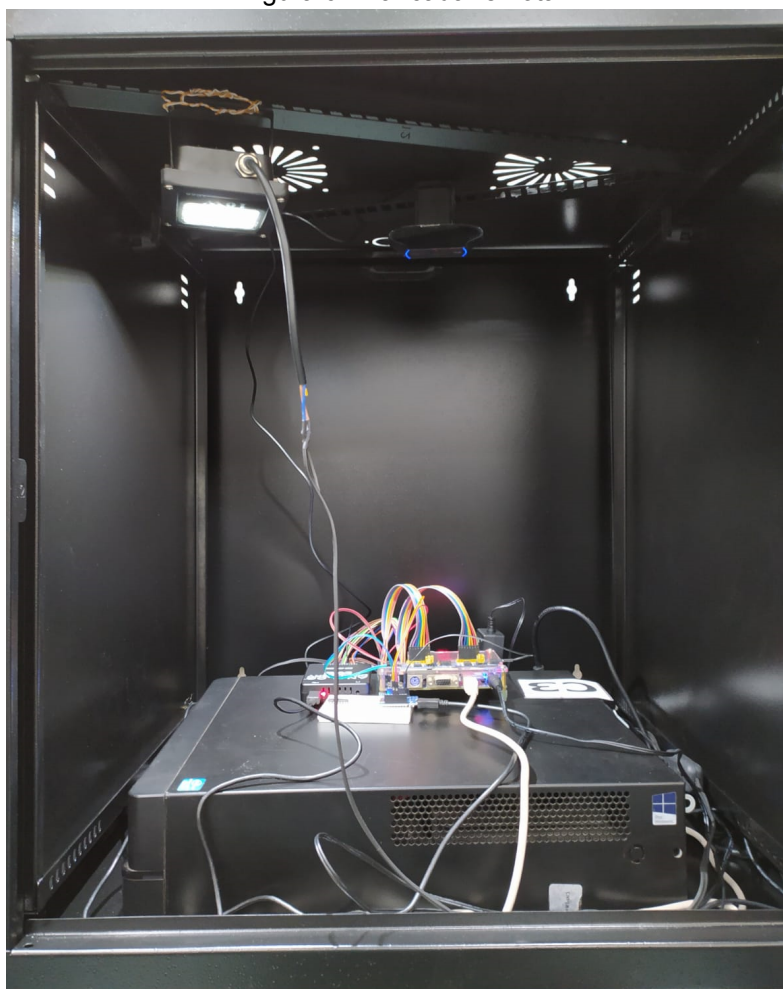
uma possibilidade no uso desta infraestrutura em outro contexto, conforme explorado a seguir.

4 FUTURO

Com a implementação do ensino remoto por consequência da pandemia, diversos aspectos foram postos em debate sobre formas/recursos/técnicas de ensino. Pensando no contexto da disciplina de Laboratório Digital e no legado da pandemia, a possibilidade do acesso ao aparato experimental pelo aluno mesmo enquanto está em sua residência é um poderoso recurso de aprendizado. É possível por exemplo que o aluno tenha um acesso ao laboratório em um período 24/7, viabilizando maiores momentos de aprendizagem.

Desta forma, a solução que está sendo trabalhada pela equipe atualmente é a criação das chamadas "Bancadas Remotas". Enquanto existem as Bancadas Físicas que o aluno interage presencialmente com o aparato experimental, as Bancadas Remotas são exclusivas para o acesso remoto ao aparato experimental, viabilizando assim o modelo híbrido de ensino desta disciplina. A Figura 6 apresenta a montagem de uma Bancada Remota feita dentro de um rack.

Figura 6 - Bancada remota



Fonte: Autoria própria



5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Neste artigo foi apresentada uma trajetória histórica de 50 anos da disciplina de Laboratório Digital. Entende-se que a maior contribuição deste trabalho não está na história em si aqui relatada, mas sim na apresentação deste estudo de caso como forma de fomentar o debate da modernização de outras disciplinas.

Toda mudança tem o potencial de gerar um certo desconforto, principalmente pelo esforço demandado para que esta mudança seja posta em prática. O relato aqui descrito foi possível somente pelo trabalho conjunto de docentes, técnicos, pesquisadores, alunos de pós-graduação e até mesmo os próprios alunos da disciplina, por meio das suas sugestões de mudanças e melhorias.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Computação e Sistemas Digitais da Escola Politécnica (PCS) e a todos os docentes e funcionários que auxiliaram na construção desta disciplina durante este meio século.

Os autores secundários também gostariam de deixar aqui um agradecimento especial à professora Edith Ranzini por todo o seu esforço e sua dedicação em sua carreira, sendo uma das expoentes responsáveis por inserir o Brasil na era digital. Dentre os seus feitos, destaca-se sua participação no projeto do computador Patinho Feio e a fundação do PCS. Além disso, é importante destacar também a sua eterna preocupação com a formação dos seus alunos, e o carinho com que sempre conduziu as suas aulas, sendo responsável pela formação de milhares de engenheiros e engenheiras.

REFERÊNCIAS

Trabalhos em eventos

HAYASHI, Victor; ALMEIDA, Felipe; ARAKAKI, Reginaldo; MIDORIKAWA, Edson; CUGNASCA, Paulo; CANOVAS, Sergio. **DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA O ENSINO REMOTO DA DISCIPLINA DE LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA DIGITAL**. In: XLVIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2020. Disponível em: http://abenge.org.br/sis_submetidos.php?acao=abrir&evento=COBENGE20&codigo=COBENGE20_00145_00003298.pdf.

Internet:

BLYNK (2022). **Blynk IoT Platform**. Disponível em: <https://blynk.io/>. Acesso em 20 abr. 2022.

TERASIC (2015). **DE0-CV User Manual**. Disponível em: <https://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?Language=English&CategoryNo=163&No=921&PartNo=4>. Acesso em 20 abr. 2022

MQTT (2022). **MQTT: The Standard for IoT Messaging**. Disponível em: <https://mqtt.org/>. Acesso em 20 abr. 2022.

PCS (2022). **A Computação na Poli – 20 anos antes do PCS**. Disponível em: <https://pcs.usp.br/departamento/historia/>. Acesso em 20 abr. 2022.

HALF A CENTURY OF EVOLUTION IN A DIGITAL ELECTRONICS LAB DISCIPLINE

Abstract: *A topic widely discussed and debated in the current scenario of Engineering Education is the formation of the so-called "engineer of the future". As it is a living science and in constant market changes, an Engineering course needs to be continually in the process of modernization, in order to meet these demands. This article presents the 50-year evolution of a Digital Electronics laboratory discipline. It was divided in such a way as to meet three historical moments, namely the past, the present and the future. The decisions adopted may serve as an exponent for related disciplines, while the debate fostered here can be used to guide the modernization of other engineering disciplines.*

Keywords: *digital electronics lab, FPGA, IoT*