Guilherme Fernando Ribeiro
(Org.)

EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA

MÉTODOS INOVADORES, COMPETÊNCIAS E PRÁTICAS PEDAGÓGICAS

VOL. 3



científica digital

CIENTÍFICA DIGITAL EDITORIAL LTDA
Barueri - São Paulo - Brasil
www.cientificadigital.org - contato@cientificadigital.org

Diagramação e Arte
Diego Santos
Diogo Lima
Imagens da Capa
Adobe Stock - 2026

Edição © 2026 Científica Digital
Texto © 2026 Os Autores
1ª Edição - 2026
Acesso Livre - Open Access

© COPYRIGHT - TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. A editora detém os direitos autorais sobre a edição e o projeto gráfico, enquanto os autores mantêm os direitos autorais de seus respectivos textos. Esta obra está licenciada sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional, permitindo o download e compartilhamento integral ou parcial, desde que a fonte seja devidamente citada e os créditos atribuídos aos autores. É obrigatório que a obra permaneça em formato de Acesso Livre (Open Access), sem qualquer alteração. A catalogação em plataformas de acesso restrito ou com fins comerciais é estritamente proibida.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E24 Educação em engenharia: métodos inovadores, competências e práticas pedagógicas: volume 3 / Organização de Guilherme Fernando Ribeiro. – Barueri-SP: Científica Digital, 2026.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui Bibliografia
ISBN 978-65-6155-203-5
DOI 10.37885/978-65-6155-203-5

1. Engenharia. I. Ribeiro, Guilherme Fernando (Organizador). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Janaína Ramos – CRB-8/9166

Índice para catálogo sistemático:
I. Engenharia

E-BOOK
ACESSO LIVRE ON LINE - IMPRESSÃO PROIBIDA
2026

Guilherme Fernando Ribeiro
(Org.)

Educação em Engenharia:
Métodos Inovadores, Competências e Práticas Pedagógicas

Volume 3

1ª EDIÇÃO

científica digital

2026 - BARUERI - SP

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. André Cutrim Carvalho
Prof. Dr. Antônio Marcos Mota Miranda
Profª. Ma. Auristela Correa Castro
Prof. Dr. Carlos Alberto Martins Cordeiro
Prof. Dr. Carlos Alexandre Oelke
Profª. Dra. Caroline Nóbrega de Almeida
Profª. Dra. Clara Mockdece Neves
Profª. Dra. Claudia Maria Rinhel-Silva
Profª. Dra. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
Prof. Dr. Cristiano Marins
Profª. Dra. Cristina Berger Fadel
Prof. Dr. Daniel Luciano Gevehr
Prof. Dr. Diogo da Silva Cardoso
Prof. Dr. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes
Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
Profª. Dra. Fernanda Rezende
Prof. Dr. Flávio Aparecido de Almeida
Profª. Dra. Francine Náthalie Ferraresi Queluz
Profª. Dra. Geuciane Felipe Guerim Fernandes
Prof. Dr. Humberto Costa
Prof. Dr. Joachin Melo Azevedo Neto
Prof. Dr. Jónata Ferreira de Moura
Prof. Dr. José Aderval Aragão
Prof. Me. Julianno Pizzano Ayoub
Prof. Dr. Leonardo Augusto Couto Finelli
Prof. Dr. Luiz Gonzaga Lapa Junior
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva
Profª. Dra. Maria Cristina Zago
Profª. Dra. Maria Otília Zangão
Prof. Dr. Mário Henrique Gomes
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes
Prof. Dr. Nelson J. Almeida
Prof. Dr. Pedro Afonso Cortez
Prof. Dr. Reinaldo Pacheco dos Santos
Prof. Dr. Rogério de Melo Grillo
Profª. Dra. Rosenery Pimentel Nascimento
Prof. Dr. Rossano Sartori Dal Molin
Prof. Me. Silvio Almeida Junior
Profª. Dra. Thays Zigante Furlan Ribeiro
Prof. Dr. Wescley Viana Evangelista
Prof. Dr. Willian Carboni Viana
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Acesse a lista completa dos Membros do Conselho Editorial em www.editoracientifica.com.br/conselho

Parecer e revisão por pares
Os textos que compõem esta obra passaram por avaliação do Conselho Editorial e revisão por pares externos *(Peer Review)*, recebendo a devida recomendação para publicação.

Nota: Esta obra é fruto de um processo colaborativo, configurando-se como uma coletânea na qual os direitos autorais permanecem resguardados para os respectivos autores. Alguns capítulos podem ter origem em trabalhos anteriormente apresentados em eventos acadêmicos; no entanto, os autores foram orientados a adotar o devido rigor na prevenção do autoplágio. A responsabilidade pelo conteúdo de cada capítulo, assim como pela originalidade e integridade das informações publicadas, é inteiramente dos respectivos autores e autoras. O conteúdo da obra não reflete, necessariamente, a opinião da editora, dos organizadores ou dos membros do conselho editorial.

APRESENTAÇÃO

Esta obra resulta de um esforço colaborativo que reuniu professores, estudantes e pesquisadores, cujo engajamento qualificou as reflexões desenvolvidas neste espaço formativo. Fruto de iniciativas interinstitucionais de incentivo à pesquisa, o livro congrega especialistas de diversas áreas do conhecimento, vinculados a instituições de educação superior públicas e privadas, no Brasil e no exterior.

O objetivo central é fortalecer a integração entre instituições por meio de redes de pesquisa voltadas à formação continuada de profissionais da educação, promovendo a produção e a ampla disseminação do conhecimento.

Agradecemos aos autores pela dedicação e compromisso na construção desta obra, que se propõe a ser um recurso didático-pedagógico relevante para estudantes, docentes de diferentes níveis de ensino e demais interessados na temática.

Guilherme Fernando Ribeiro

SUMÁRIO

Capítulo **01**

A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA FORMAÇÃO E ATUAÇÃO DE ENGENHEIROS

Ana Paula Grimes de Souza

doi 10.37885/260822595 ..... **7**

Capítulo **02**

C2STGEDU: PROTÓTIPO DE CARREGADOR LINEAR PARA BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO COM FINALIDADE DIDÁTICA E SUPORTE A ESTUDOS DE APLICAÇÕES EM INTERNET DAS COISAS (IOT)

Rúbens Antônio Rodrigues

doi 10.37885/260822728 ..... **25**

SOBRE O ORGANIZADOR **49**

ÍNDICE REMISSIVO **50**

SUMÁRIO

01

A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA FORMAÇÃO E ATUAÇÃO DE ENGENHEIROS

Ana Paula Grimes de Souza
Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)

10.37885/260822595

RESUMO

O desenvolvimento científico e tecnológico do último século esteve profundamente associado aos conhecimentos produzidos pela Física Moderna e Contemporânea (FMC), como Mecânica Quântica, Física do Estado Sólido, Física Nuclear e Física de Partículas. Tecnologias como semicondutores, circuitos integrados, lasers, dispositivos optoeletrônicos, materiais avançados e aplicações nanotecnológicas dependem diretamente desses conhecimentos. Apesar dessa relevância, estudos indicam que a FMC ocupa espaço reduzido nos currículos de Engenharia no Brasil, embora esses cursos preparem profissionais para atuar em áreas ligadas aos avanços científicos e tecnológicos. Este capítulo sintetiza uma pesquisa qualitativa que investigou a importância atribuída à FMC por formadores de Engenharia e engenheiros da indústria. A investigação envolveu entrevistas semiestruturadas com engenheiros e docentes das áreas de Engenharia Elétrica, Eletrônica e de Materiais, incluindo professores e egressos de duas universidades federais brasileiras. Os resultados revelam um contraste entre os grupos investigados. Enquanto os formadores reconhecem a importância da FMC para a compreensão de tecnologias contemporâneas, os engenheiros da indústria percebem uma distância entre esses conhecimentos e as demandas do mercado de trabalho. Essa distância é atribuída ao perfil atualmente valorizado do engenheiro, ao caráter adaptativo do desenvolvimento tecnológico brasileiro e à baixa presença de atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) na indústria nacional. O capítulo discute as implicações desses resultados para a formação em Engenharia e o debate sobre a presença da FMC nos currículos.

Palavras-chave: educação em engenharia**;** ensino de física; física moderna e contemporânea.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento científico e tecnológico observado ao longo do último século promoveu profundas transformações na sociedade, modificando não apenas a forma como as pessoas vivem, comunicam-se e trabalham, mas também a maneira como os diferentes setores produtivos se organizam. Tecnologias relacionadas à microeletrônica, às telecomunicações, aos materiais avançados, à energia nuclear e à nanotecnologia passaram a fazer parte do cotidiano e constituem importantes fatores de desenvolvimento econômico e social (Ricardo; Custódio; Rezende Junior, 2007; Bazzo; Pereira, 2006). Essas transformações têm como fundamento conhecimentos científicos produzidos, em grande parte, pela Física Moderna e Contemporânea (FMC), cujos desdobramentos ultrapassaram o campo acadêmico e passaram a influenciar diretamente o desenvolvimento tecnológico contemporâneo.

Nesse contexto, torna-se cada vez mais evidente a relação entre ciência, tecnologia e formação profissional. O desenvolvimento de dispositivos semicondutores, lasers, circuitos integrados, aplicações da radioatividade, nanotecnologias e diversos outros recursos tecnológicos demonstra que conhecimentos oriundos da FMC passaram a desempenhar papel estratégico para diferentes áreas da Engenharia. Assim, compreender esses conhecimentos não significa apenas conhecer os princípios físicos envolvidos no funcionamento dessas tecnologias, mas também desenvolver condições para refletir sobre suas implicações científicas, econômicas, sociais e ambientais (Valadares; Chaves; Alves, 2005; Bazzo; Pereira, 2006). Entretanto, embora a importância da FMC para o desenvolvimento tecnológico seja amplamente reconhecida, sua presença nos cursos de Engenharia ainda é relativamente limitada.

As Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de Graduação em Engenharia (Brasil, 2002; Brasil, 2009) estabelecem a obrigatoriedade da formação em Física, mas não especificam quais conteúdos devem compor essa formação, fazendo com que a definição desses conhecimentos fique a cargo das instituições de ensino superior. Como consequência, a Física Clássica continua predominando na maioria dos currículos, enquanto conteúdos relacionados à FMC aparecem de forma reduzida ou restritos a disciplinas específicas de algumas modalidades de Engenharia.

ISBN 978-65-6155-282-0 - Vol. 2 - Ano 2026 - www.cientificadigital.org

Ao mesmo tempo, a discussão sobre a presença da FMC na formação em Engenharia não pode limitar-se apenas à análise dos currículos. É igualmente importante compreender quais conhecimentos são efetivamente considerados relevantes pelos sujeitos diretamente envolvidos nesse processo: de um lado, os docentes responsáveis pela formação dos futuros engenheiros; de outro, os profissionais que atuam cotidianamente na indústria. Essas perspectivas podem revelar aproximações e distanciamentos entre a formação oferecida pelas universidades e as demandas percebidas no exercício profissional, contribuindo para uma reflexão mais ampla sobre o papel da Física na formação do engenheiro.

Nesse sentido, este capítulo tem como objetivo discutir a importância da FMC na formação em Engenharia, sintetizando os principais resultados de uma pesquisa que investigou as concepções de formadores e de engenheiros que atuam na indústria acerca da presença desses conhecimentos na formação inicial e na prática profissional. Para isso, inicialmente discute-se o papel do engenheiro na sociedade contemporânea e sua relação com o desenvolvimento científico e tecnológico. Em seguida, apresenta-se uma síntese da importância da FMC para a Engenharia e, posteriormente, são discutidos os principais resultados obtidos na investigação realizada com docentes e engenheiros, finalizando com algumas considerações acerca das implicações desses resultados para a formação em Engenharia.

O PAPEL DO ENGENHEIRO NA SOCIEDADE TECNOLÓGICA

A Engenharia ocupa, historicamente, uma posição estratégica no desenvolvimento das sociedades. Ao transformar conhecimentos científicos em soluções para problemas concretos, essa profissão contribui diretamente para o desenvolvimento econômico, tecnológico e social. Entretanto, a forma de atuação do engenheiro modificou-se significativamente ao longo do tempo. Diferentemente da Engenharia praticada nos seus primórdios, baseada predominantemente na experiência acumulada e na aplicação de técnicas consolidadas, a Engenharia contemporânea caracteriza-se pela incorporação sistemática dos conhecimentos científicos na resolução de problemas e no desenvolvimento de novos produtos e processos (Bazzo; Pereira, 2006; Lemes; Rezende Junior, 2011).

A institucionalização do ensino de Engenharia acompanhou essa transformação. As primeiras escolas formais, criadas na França durante o século XVIII, tinham como objetivo formar profissionais capazes de atender às demandas do Estado, inicialmente com forte enfoque militar e, posteriormente, voltadas às obras civis. Com a criação da École Polytechnique, em 1795, o conhecimento científico passou a ocupar posição central na formação dos engenheiros, aproximando a Engenharia das Ciências Naturais e da Matemática. No Brasil, essa influência tornou-se evidente com a criação da Real Academia Militar, em 1810, considerada precursora do ensino formal de Engenharia no país (Oliveira, 2005; Telles, 1984; Bazzo; Pereira, 2006).

Nas últimas décadas, entretanto, novas transformações passaram a influenciar o perfil esperado desse profissional. O acelerado desenvolvimento científico e tecnológico fez com que o engenheiro deixasse de ser apenas um executor de técnicas consolidadas para tornar-se um profissional capaz de atuar em ambientes marcados pela inovação, pela rápida evolução tecnológica e pela necessidade permanente de atualização. Como destacam Cordeiro *et al.* (2008) e Lemes e Rezende Junior (2011), a formação em Engenharia deve contemplar não apenas competências técnicas, mas também aspectos científicos, sociais, econômicos e ambientais, preparando profissionais capazes de compreender as múltiplas dimensões envolvidas no desenvolvimento tecnológico.

Essa mudança também se reflete nas competências atualmente valorizadas pelo mercado de trabalho. Os resultados da pesquisa que fundamenta este capítulo mostram que, embora o conhecimento técnico permaneça importante, habilidades como comunicação, trabalho em equipe, flexibilidade, capacidade de adaptação e relacionamento interpessoal aparecem como características cada vez mais valorizadas na contratação de engenheiros, especialmente daqueles em início de carreira. Ao mesmo tempo, um sólido embasamento científico continua sendo reconhecido como elemento importante da formação, embora nem sempre seja percebido pelos profissionais como fator decisivo para a inserção no mercado de trabalho.

Essa compreensão aproxima-se da concepção de formação defendida por diferentes autores da área da Educação em Engenharia, segundo os quais a formação do engenheiro deve ir além do domínio de conhecimentos técnicos

ISBN 978-65-6155-282-0 - Vol. 2 - Ano 2026 - www.cientificadigital.org

específicos. Bazzo e Pereira (2006) destacam que a complexidade dos desafios contemporâneos exige profissionais capazes de integrar conhecimentos científicos, tecnológicos e humanísticos, compreendendo as implicações sociais, econômicas e ambientais de sua atuação. Nessa perspectiva, a formação em Engenharia deve favorecer o desenvolvimento de competências que possibilitem ao futuro profissional interpretar problemas complexos, acompanhar as constantes transformações tecnológicas e atuar de maneira crítica e responsável diante das demandas da sociedade.

Nesse cenário, a Física assume papel particularmente relevante. Conforme destacam Masson *et al.* (2005) e Bazzo e Pereira (2006), uma formação científica consistente constitui um dos pilares da formação em Engenharia, pois permite ao engenheiro compreender os princípios físicos envolvidos no funcionamento dos sistemas tecnológicos, interpretar fenômenos naturais, modelar problemas e propor soluções fundamentadas cientificamente. Mais do que fornecer ferramentas para a resolução de problemas específicos, o ensino de Física contribui para o desenvolvimento do pensamento analítico e para a compreensão das bases científicas que sustentam os avanços tecnológicos.

É nesse contexto que se insere a discussão sobre a Física Moderna e Contemporânea. Considerando que grande parte das tecnologias desenvolvidas ao longo do século XX e consolidadas nas primeiras décadas do século XXI tem origem nos conhecimentos produzidos por esse campo da Física, torna-se pertinente refletir sobre sua contribuição para a formação do engenheiro. A seção seguinte discute essa relação, evidenciando como os avanços da Física Moderna e Contemporânea passaram a ocupar posição central no desenvolvimento das tecnologias que caracterizam a sociedade contemporânea.

A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA E SUA RELAÇÃO COM A FORMAÇÃO EM ENGENHARIA

A FMC representa um conjunto de conhecimentos que modificou profundamente a compreensão dos fenômenos naturais e possibilitou o desenvolvimento de grande parte das tecnologias que caracterizam a sociedade contemporânea. Embora suas teorias tenham surgido no início do século XX como respostas às limitações da Física Clássica, seus desdobramentos ultrapassaram o campo

científico e passaram a influenciar diretamente diferentes áreas do conhecimento, entre elas a Engenharia. Conforme discutem Valadares, Chaves e Alves (2005), muitos dos dispositivos tecnológicos atualmente utilizados somente se tornaram possíveis em razão dos avanços promovidos pela Mecânica Quântica, pela Física do Estado Sólido e pela Física Nuclear.

A Física Clássica foi capaz de explicar uma ampla variedade de fenômenos macroscópicos, constituindo a base para importantes avanços científicos e tecnológicos durante os séculos XVIII e XIX. Entretanto, ao final desse período, resultados experimentais não encontravam explicação satisfatória dentro desse referencial teórico. Fenômenos relacionados à radiação do corpo negro, ao efeito fotoelétrico, aos espectros atômicos e à estabilidade da matéria evidenciaram a necessidade de novos modelos físicos, culminando no desenvolvimento da Relatividade e da Mecânica Quântica (Tipler; Llewellyn, 2001; Eisberg; Resnick, 1979).

Mais do que representar uma ampliação da Física Clássica, essas teorias introduziram uma nova forma de compreender a matéria, a energia e suas interações. Conceitos como quantização da energia, dualidade onda-partícula e estrutura eletrônica dos materiais passaram a explicar fenômenos antes inacessíveis aos modelos clássicos, estabelecendo os fundamentos científicos de muitas tecnologias desenvolvidas ao longo do século XX (Halliday; Resnick; Krane, 2004).

Entretanto, a importância da FMC para a Engenharia não reside apenas no conhecimento dessas teorias. Seu principal significado encontra-se na compreensão dos princípios físicos que sustentam as tecnologias contemporâneas. Como discutem Bazzo e Pereira (2006), a formação científica do engenheiro deve possibilitar não apenas a utilização de tecnologias disponíveis, mas também a compreensão de seus fundamentos, favorecendo uma atuação crítica e tecnicamente consistente diante das constantes transformações tecnológicas.

Essa relação torna-se evidente quando se analisam algumas das principais inovações tecnológicas do último século. O desenvolvimento dos semicondutores, por exemplo, depende diretamente da compreensão da estrutura eletrônica dos sólidos e do comportamento quântico dos elétrons nos materiais. A invenção do transistor, considerada um dos marcos da revolução tecnológica do século XX, somente foi possível em razão dos conhecimentos produzidos pela Física do

ISBN 978-65-6155-282-0 - Vol. 2 - Ano 2026 - www.cientificadigital.org

Estado Sólido. Posteriormente, esses avanços permitiram o desenvolvimento dos circuitos integrados, dos microprocessadores e de praticamente toda a indústria da microeletrônica (Valadares; Chaves; Alves, 2005). De maneira semelhante, o laser constitui outro exemplo frequentemente citado na literatura como resultado direto das pesquisas em Física Moderna. Fundamentado nos processos de emissão estimulada previstos por Einstein, esse dispositivo passou a ser empregado em áreas tão diversas quanto telecomunicações, medicina, metrologia, processamento industrial e armazenamento de informações. O mesmo pode ser observado em relação às aplicações da Física Nuclear, presentes tanto na geração de energia quanto em técnicas de diagnóstico e tratamento médico, bem como na inspeção industrial de materiais (Halliday; Resnick; Krane, 2004).

Outro campo que evidencia a crescente aproximação entre Física e Engenharia é a nanotecnologia. O controle e a manipulação da matéria em escala nanométrica dependem diretamente da compreensão das propriedades quânticas dos materiais, permitindo o desenvolvimento de novos dispositivos eletrônicos, sensores e aplicações biomédicas. Esses exemplos evidenciam que a FMC não deve ser compreendida como um conjunto de conhecimentos restrito aos físicos ou aos pesquisadores das ciências básicas. Ao contrário, evidencia-se que os avanços tecnológicos contemporâneos aproximaram cada vez mais a Engenharia dos conhecimentos produzidos pela Física Moderna, tornando difícil estabelecer uma separação entre desenvolvimento científico e desenvolvimento tecnológico.

Apesar da estreita relação entre a FMC e o desenvolvimento das tecnologias atuais, sua inserção nos cursos de Engenharia ainda ocorre de forma limitada. Essa realidade foi evidenciada por Souza, Custódio e Rezende Jr. (2018), em um estudo que analisou os projetos pedagógicos e as matrizes curriculares de cursos de Engenharia de duas instituições federais de ensino superior. Os autores verificaram que, embora a maioria dos cursos contemple conteúdos de FMC, estes ocupam uma parcela reduzida da carga horária destinada à formação em Física. Na instituição 1, os cursos de Engenharia de Materiais e Engenharia Eletrônica apresentaram a maior participação desses conteúdos, correspondendo a aproximadamente 35% e 24% da carga horária total de Física, respectivamente, enquanto nos demais cursos essa proporção foi de cerca de 3%. Na instituição 2, a FMC concentra-se, em geral, nos tópicos finais da disciplina de Física IV,

com pequena carga horária, sendo complementada por disciplinas específicas apenas em alguns cursos, como Engenharia Elétrica, Engenharia Eletrônica e Engenharia da Computação. Além disso, as ementas privilegiam conteúdos introdutórios, centrados nos limites da Física Clássica e na chamada "velha" Mecânica Quântica, sem aprofundamento na formulação moderna da teoria, utilizando predominantemente livros-texto de Física Básica (Souza; Custódio; Rezende Jr., 2018).

Esses resultados reforçam a ideia de que, embora grande parte das tecnologias contemporâneas esteja fundamentada em conhecimentos da FMC, essa relação ainda não se traduz de maneira proporcional na organização curricular dos cursos de Engenharia. Tal constatação suscita uma reflexão que ultrapassa a simples ampliação da carga horária destinada a esses conteúdos ou a criação de novas disciplinas. Mais do que discutir a quantidade de conteúdos abordados, torna-se necessário refletir sobre quais conhecimentos científicos são essenciais para a formação de profissionais capazes de compreender as tecnologias contemporâneas e acompanhar sua constante evolução. Nessa perspectiva, espera-se que o engenheiro desenvolva uma compreensão dos princípios científicos que fundamentam dispositivos, materiais e processos tecnológicos, favorecendo uma atuação crítica, criativa e tecnicamente fundamentada, e não apenas a capacidade de memorizar teorias ou resolver problemas matemáticos complexos.

Considerando a importância atribuída pela literatura à FMC, como nos trabalhos de Manini e Dias (2006), Mckagan, Perkins e Wieman (2006), Niño, Herrera e Goméz (2006), Perfoll e Rezende Junior (2006), Cunha *et al.* (2008) e Lemes, Rezende Junior e Chiarello (2009), torna-se pertinente investigar como esses conhecimentos são percebidos pelos sujeitos diretamente envolvidos nesse processo. Assim, na seção seguinte são apresentadas e discutidas as concepções de docentes responsáveis pela formação de engenheiros e de profissionais que atuam na indústria acerca do papel da FMC na formação do engenheiro.

DIÁLOGOS ENTRE A UNIVERSIDADE E A INDÚSTRIA: CONCEPÇÕES SOBRE A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO

Com o objetivo de compreender as concepções de docentes e engenheiros acerca da importância da Física Moderna e Contemporânea (FMC) na formação e na atuação profissional do engenheiro, desenvolveu-se uma pesquisa de natureza qualitativa, por possibilitar a compreensão dos significados atribuídos pelos participantes às suas experiências e percepções (Triviños, 1987; Bogdan; Biklen, 1994). Como instrumento de produção de dados, optou-se pela entrevista semiestruturada, uma vez que esse procedimento favorece a interação entre pesquisador e participantes, permitindo aprofundar questões previamente estabelecidas e explorar novos aspectos que emergem ao longo da investigação (Lüdke; André, 1986; Triviños, 1987).

Participaram da pesquisa dez docentes vinculados a duas universidades públicas federais, com experiência na formação de engenheiros, especialmente nas áreas de Engenharia Elétrica, Engenharia Eletrônica e Engenharia de Materiais, modalidades selecionadas por sua maior aproximação com os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea. Também participaram oito engenheiros egressos dessas instituições, atuantes em empresas de diferentes portes e segmentos industriais. As entrevistas foram analisadas por meio da Análise Textual Discursiva (ATD), proposta por Moraes (2003) e Moraes e Galiazzi (2007), processo interpretativo fundamentado na unitarização, categorização e comunicação dos dados, do qual emergiram categorias de análise que possibilitaram compreender as diferentes concepções dos participantes sobre o papel da FMC na formação e na atuação profissional do engenheiro.

A análise das entrevistas com engenheiros atuantes na indústria e com docentes formadores de cursos de Engenharia, por meio da ATD, emergiu categorias que possibilitaram interpretar as concepções desses sujeitos sobre a importância da FMC na formação e atuação profissional do engenheiro. No caso dos engenheiros, foram identificadas três categorias: Perfil do profissional engenheiro, A Física na formação do engenheiro e A Física na atuação do profissional engenheiro. Já entre os formadores emergiram as categorias Perfil do profissional engenheiro e A FMC na formação e atuação dos engenheiros. A organização

dessas categorias permitiu compreender tanto as demandas do mercado de trabalho quanto as tensões existentes entre a formação científica e a prática profissional da Engenharia.

Perfil do profissional engenheiro

A categoria Perfil do profissional engenheiro revelou que, na percepção dos engenheiros entrevistados, o mercado de trabalho valoriza principalmente o conhecimento técnico associado às habilidades comportamentais. Características como comunicação, relacionamento interpessoal, flexibilidade, capacidade de trabalhar em equipe, proatividade e facilidade para aprender foram apontadas como elementos decisivos nos processos de contratação, especialmente para profissionais recém-formados. As habilidades gerenciais também apareceram como importantes, sobretudo porque muitos engenheiros tendem a assumir funções administrativas e de liderança ao longo da carreira.

Embora os entrevistados reconheçam a relevância dos conhecimentos científicos de base — Física, Química e Cálculo — esses saberes não foram mencionados como fator central de contratação. Ainda assim, observou-se que empresas com maior envolvimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica tendem a incentivar a formação continuada de seus profissionais, inclusive por meio de programas de pós-graduação e parcerias com universidades. Em alguns casos, os engenheiros relataram participação em atividades relacionadas ao desenvolvimento de protótipos, monitoramento tecnológico e pesquisas envolvendo semicondutores e nanotecnologia, indicando que, em contextos específicos, conhecimentos mais avançados de Física podem se tornar relevantes.

Entre os formadores, também predominou a defesa de uma formação generalista, em consonância com as Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia. Os docentes enfatizaram que o engenheiro deve estar preparado para resolver problemas técnicos, administrativos, financeiros e humanos, articulando diferentes competências profissionais. Além disso, houve destaque para a necessidade de fortalecer a formação empreendedora dos estudantes, aspecto que dialoga com autores como Póvoa e Bento (2005), que defendem

ISBN 978-65-6155-282-0 - Vol. 2 - Ano 2026 - www.cientificadigital.org

o desenvolvimento de capacidades de comunicação, liderança, autonomia e trabalho em equipe durante a graduação.

Apenas um dos formadores enfatizou de maneira mais incisiva a necessidade de uma formação científica sólida, argumentando que conhecimentos aprofundados de Física, Química e Cálculo são fundamentais para carreiras técnicas de longo prazo e para a atuação em pesquisa e desenvolvimento tecnológico. A maioria, entretanto, reconheceu a importância desses conhecimentos principalmente como base para o acompanhamento das disciplinas profissionalizantes e para a compreensão de fenômenos envolvidos na prática da Engenharia.

A Física na formação do engenheiro

Nesta categoria, os engenheiros relataram que seus cursos apresentaram forte predominância de conteúdos de Física Clássica, organizados geralmente em três ou quatro disciplinas básicas envolvendo Mecânica, Termodinâmica, Eletromagnetismo, Ondas e Óptica. A presença da FMC ocorreu, quando muito, de forma introdutória e associada a tópicos de Física do Estado Sólido, semicondutores, efeito fotoelétrico, modelos atômicos e raios X, normalmente inseridos em disciplinas mais amplas e não em componentes curriculares específicos.

Um resultado particularmente significativo foi a baixa familiaridade dos engenheiros com o próprio termo "Física Moderna e Contemporânea". Muitos entrevistados não conseguiram identificar claramente quais conteúdos pertenciam a essa área, o que sugere que o contato com esses conhecimentos durante a graduação foi superficial ou pouco sistematizado.

Apesar disso, a maioria dos profissionais afirmou não ter sentido grandes defasagens em relação aos conteúdos de Física estudados, considerando que o curso forneceu uma base suficiente para buscar conhecimentos adicionais quando necessário. As críticas concentraram-se menos nos conteúdos e mais na forma como a Física foi ensinada. Os engenheiros apontaram excesso de formalismo matemático, pouca relação com situações reais da profissão e dificuldades metodológicas nas aulas teóricas e experimentais.

As disciplinas de laboratório receberam críticas recorrentes. Os entrevistados consideraram que as atividades experimentais estavam frequentemente limitadas à verificação de resultados já conhecidos, sem caráter investigativo e sem

conexão com problemas típicos da Engenharia. Essa percepção aproxima-se das discussões de Borges (2002), que critica práticas laboratoriais centradas em roteiros fechados e com pouca participação intelectual dos estudantes.

Entre as sugestões apresentadas pelos profissionais destacaram-se: maior contextualização dos conteúdos, utilização de softwares de simulação e cálculo, integração entre teoria e prática e desenvolvimento de atividades experimentais mais aplicadas ao cotidiano profissional do engenheiro.

A Física na atuação do profissional engenheiro

Esta categoria evidenciou que os conhecimentos mais utilizados no cotidiano dos entrevistados pertencem majoritariamente à Física Clássica, especialmente Eletromagnetismo, Circuitos Elétricos, Eletrotécnica, Eletrônica Básica, Termodinâmica e Mecânica. Esses conteúdos aparecem em atividades como desenvolvimento de projetos, ensaios laboratoriais, medições elétricas, análise de motores e sistemas de refrigeração.

Apenas três engenheiros identificaram a presença de conhecimentos relacionados à FMC em sua prática profissional, principalmente em temas ligados à Física do Estado Sólido e semicondutores. Mesmo nesses casos, a utilização desses conhecimentos estava associada a funções mais técnicas ou de desenvolvimento de produtos. Os demais profissionais afirmaram não perceber relação direta entre FMC e suas atividades atuais, embora alguns reconhecessem sua importância para a compreensão geral das tecnologias contemporâneas.

Um aspecto recorrente nas entrevistas foi a ideia de que a FMC é mais necessária para profissionais envolvidos com pesquisa e desenvolvimento (P&D) do que para a maioria dos engenheiros que atua na aplicação, adaptação e manutenção de tecnologias já consolidadas. Os entrevistados argumentaram que o contexto brasileiro oferece poucas oportunidades para o desenvolvimento de tecnologias de base, favorecendo a importação e adaptação de soluções estrangeiras. Essa percepção foi associada à falta de incentivos governamentais, à elevada carga tributária sobre equipamentos e componentes importados e à limitada articulação entre universidades e empresas.

Os resultados reforçam, portanto, a existência de um distanciamento entre a FMC, a formação dos engenheiros e o mercado de trabalho nacional. Como

ISBN 978-65-6155-282-0 - Vol. 2 - Ano 2026 - www.cientificadigital.org

a maior parte das vagas concentra-se em funções técnicas e administrativas, conteúdos considerados importantes para o desenvolvimento tecnológico acabam ocupando posição secundária nos currículos de Engenharia.

A FMC na formação e atuação dos engenheiros

Na categoria A FMC na formação e atuação dos engenheiros, os formadores apresentaram concepções mais favoráveis à presença desses conhecimentos nos cursos de Engenharia do que os profissionais da indústria. De modo geral, os docentes consideraram a FMC importante para a compreensão das tecnologias contemporâneas e para a formação de engenheiros capazes de acompanhar avanços científicos e tecnológicos.

Os formadores das áreas de Engenharia Eletrônica e Engenharia de Materiais foram os que atribuíram maior relevância à FMC, destacando temas como semicondutores, Física do Estado Sólido e propriedades eletrônicas dos materiais. Já entre os docentes da Engenharia Elétrica houve maior reconhecimento das limitações impostas pelo perfil predominante do mercado de trabalho brasileiro.

Outro ponto enfatizado foi a necessidade de uma formação que permitisse ao engenheiro compreender, avaliar e julgar criticamente as tecnologias, e não apenas utilizá-las. Alguns docentes demonstraram preocupação com o fato de os currículos priorizarem a resolução imediata de problemas industriais, deixando em segundo plano a compreensão dos fundamentos científicos envolvidos nos processos tecnológicos.

Ao discutir o cenário nacional, os formadores também reconheceram a baixa demanda por profissionais de P&D e as dificuldades estruturais para o desenvolvimento tecnológico no Brasil. Assim como os engenheiros, apontaram que a limitada tradição do país em pesquisa industrial contribui para reduzir a pressão por uma formação mais aprofundada em FMC.

De modo geral, os resultados indicam uma convergência parcial entre engenheiros e formadores: ambos reconhecem a importância da FMC para o desenvolvimento tecnológico e para áreas específicas da Engenharia, mas também concordam que esses conhecimentos aparecem pouco na prática profissional da maioria dos engenheiros brasileiros. A principal diferença está no fato de que os formadores tendem a defender uma presença mais significativa da FMC

nos currículos, enquanto os engenheiros avaliam sua necessidade a partir das demandas concretas do mercado de trabalho e das funções que efetivamente desempenham em suas empresas.

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

As análises apresentadas neste capítulo evidenciam que as concepções de docentes e engenheiros sobre a inserção da FMC na formação em Engenharia são permeadas por diferentes perspectivas, estreitamente relacionadas ao contexto da formação universitária e às características do setor produtivo brasileiro. A análise das entrevistas com esses profissionais gerou alguns pontos-chave, os quais apresentam grande influência sobre a relação da FMC com a prática da Engenharia e a formação dos profissionais.

O primeiro ponto se refere ao perfil do profissional engenheiro, os resultados revelam a predominância de uma concepção de formação voltada ao desenvolvimento de competências técnicas e comportamentais, privilegiando profissionais capazes de atuar em diferentes contextos organizacionais, resolver problemas e assumir funções de gestão ao longo da carreira. Nesse cenário, embora a formação científica seja reconhecida como importante, ela tende a ser compreendida principalmente como suporte às disciplinas profissionalizantes, o que contribui para que discussões acerca da ampliação da Física Moderna e Contemporânea nos currículos ocupem um espaço secundário.

O segundo ponto, desenvolvimento de tecnologias, evidencia que as concepções dos participantes são fortemente influenciadas pelas características da indústria nacional. O predomínio de empresas voltadas à adaptação, aplicação e utilização de tecnologias já consolidadas reduz a demanda imediata por conhecimentos aprofundados de FMC, reforçando currículos centrados na Física Clássica. Ao mesmo tempo, parte dos docentes e engenheiros defende que uma formação científica mais consistente constitui condição necessária para ampliar a capacidade de pesquisa, inovação e desenvolvimento tecnológico, contribuindo para uma participação mais ativa do país na produção de tecnologias.

Por fim, o ponto Física Moderna e Contemporânea na atuação dos engenheiros demonstra que a aplicação desses conhecimentos permanece restrita a áreas específicas, particularmente à pesquisa e desenvolvimento e a setores

de maior intensidade tecnológica. Ainda assim, os resultados sugerem que a discussão sobre a FMC não deve limitar-se à sua utilização imediata na prática profissional. Sua presença na formação pode favorecer uma compreensão mais aprofundada dos princípios físicos que fundamentam as tecnologias contemporâneas, ampliando as possibilidades de atuação dos engenheiros e fortalecendo sua capacidade de acompanhar as transformações científicas e tecnológicas.

Os resultados desta pesquisa evidenciam que não há consenso entre docentes e engenheiros acerca da importância da Física Moderna e Contemporânea (FMC) na formação e na atuação profissional do engenheiro. Enquanto os docentes tendem a reconhecer a relevância desses conhecimentos para a formação científica e para os desafios tecnológicos futuros, os engenheiros atuantes na indústria, em sua maioria, percebem pouca aplicação da FMC em seu cotidiano profissional, em função das características do mercado de trabalho nacional. Esses resultados reforçam que a discussão sobre a inserção da FMC nos currículos de Engenharia não deve restringir-se às demandas imediatas da prática profissional, mas considerar o perfil de engenheiro que se pretende formar e o papel da universidade na promoção da inovação e do desenvolvimento tecnológico. Nesse sentido, espera-se que este estudo contribua para ampliar o debate sobre o ensino de Física nos cursos de Engenharia e estimule novas investigações acerca da presença e do papel da FMC na formação desses profissionais.

REFERÊNCIAS

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V. **Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos.** Florianópolis: Editora UFSC, 2006. 270 p.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução às teorias e métodos.** Porto: Porto Editora, 1994. 336 p.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia: Resolução CNE/CES nº 11, de 11 de março de 2002.** Diário Oficial da União, Brasília, 9 abr. 2002.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia: Resolução CNE/CES nº 2, de 24 de abril de 2019.** Diário Oficial da União, Brasília, 26 abr. 2019.

CORDEIRO, J. S. *et al.* Um futuro para a educação em engenharia no Brasil: desafios e oportunidades. **Revista de Ensino de Engenharia**, Brasília, v. 27, n. 3, p. 69-82, 2008.

CUNHA, L. S. *et al.* A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de engenharia do Estado de Minas Gerais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXVI, São Paulo, 2008. **Anais...** São Paulo: ABENGE, 2008. p. 1-7.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica.** Rio de Janeiro: Editora Campus, 1986.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **Física 4.** Rio de Janeiro: LTC, 2004.

LEMES, T. C.; REZENDE JUNIOR, M. F. A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de engenharia do Brasil: cenário atual e perspectivas. **Revista de Ensino de Engenharia**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 24-34, 2011.

LEMES, T. C.; REZENDE JUNIOR, M. F.; CHIARELLO, A. G. A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de engenharia da Universidade Federal de Itajubá. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXVII, Recife, 2009. **Anais...** Recife: ABENGE, 2009. p. 1-9.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas.** São Paulo: EPU, 1986.

MANINI, V. S. A.; DIAS, H. Iniciativas na construção de um novo modelo para o ensino de Física em engenharia na Escola Politécnica da USP e na Faculdade de Engenharia da FSA. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIV, Passo Fundo, 2006. **Anais...** Passo Fundo: ABENGE, 2006. p. 12.1-12.10.

MASSON, J. T. *et al.* Ensino de Física Tecnológica. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIII, Campina Grande, 2005. **Anais...** Passo Fundo: ABENGE, 2005. p. 1-18.

MCKAGAN, S. B.; PERKINS, K. K.; WIEMAN, C. E. Reforming a large lecture modern physics course for engineering majors using a PER-based design. *In*: PHYSICS EDUCATION RESEARCH CONFERENCE. **Proceedings...** Nova Iorque, 2006.

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. **Análise textual discursiva.** Ijuí: Unijuí, 2007. 223 p.

NIÑO, J. V.; HERRERA, W. J.; GOMÉZ, S. Acerca de la enseñanza de la física en las carreras de ingeniería. **Revista Colombiana de Física**, v. 38, n. 4, 2006.

OLIVEIRA, V. F. Crescimento, evolução e o futuro dos cursos de engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, Brasília, v. 24, n. 2, p. 3-12, 2005.

PERFOLL, A. P.; REZENDE JUNIOR, M. F. A Física Moderna e Contemporânea e o ensino de engenharia: contextos e perspectivas. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIV, Passo Fundo, 2006. **Anais...** Passo Fundo: ABENGE, 2006. p. 11.55-11.68.

PÓVOA, J. M.; BENTO, P. E. G. O engenheiro, sua formação e o mundo do trabalho. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, XXXIII, Campina Grande, 2005. **Anais...** Campina Grande: ABENGE, 2005.

RICARDO, E. C.; CUSTÓDIO, J. F.; REZENDE JUNIOR, M. F. A tecnologia como referência dos saberes escolares: perspectivas teóricas e concepções dos professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 135-147, 2007.

SOUZA, A. P. G.; CUSTÓDIO, J. F.; REZENDE JUNIOR, M. F. A Física Moderna e Contemporânea na formação de engenheiros: a análise das estruturas curriculares de duas instituições. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**, v. 8, n. 3, p. 97-111, set./dez. 2018.

TELLES, P. C. S. **História da engenharia do Brasil.** Rio de Janeiro: LTC Editora S. A., 1984.

TIPPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física moderna.** Rio de Janeiro: LTC, 2006.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação.** São Paulo: Atlas, 1987.

VALADARES, E. C.; CHAVES, A.; ALVES, E. G. **Aplicações da Física Quântica: do transistor à nanotecnologia.** Temas Atuais de Física. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

02

C2STGEDU: PROTÓTIPO DE CARREGADOR LINEAR PARA BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO COM FINALIDADE DIDÁTICA E SUPORTE A ESTUDOS DE APLICAÇÕES EM INTERNET DAS COISAS (IOT)

Rúbens Antônio Rodrigues
Universidade Virtual do Estado de São Paulo (UNIVESP)

10.37885/260822728

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a validação do C2STGEDU, uma plataforma didática para o estudo de carregamento de baterias de chumbo-ácido, baseada em uma arquitetura linear e orientada pelo princípio de observabilidade. A plataforma foi concebida priorizando simplicidade, facilidade de obtenção de componentes, previsibilidade do comportamento elétrico e acesso às principais grandezas envolvidas no processo de carregamento. O circuito implementa regulação de tensão, limitação de corrente e comutação automática entre os estágios Bulk e Float, além de disponibilizar pontos específicos para instrumentação. A validação foi realizada inicialmente com lâmpadas incandescentes, utilizadas como cargas simuladas, e posteriormente com uma bateria de 40 Ah. As medições foram realizadas por meio de multímetro digital e de um sistema baseado em Arduino Nano, permitindo avaliar a utilização dos pontos de instrumentação para aquisição microcontrolada. Os resultados demonstraram o funcionamento adequado do carregador e boa correspondência entre as medições realizadas pelos dois instrumentos. O ensaio também permitiu identificar uma limitação associada à influência térmica sobre o circuito de medição, evidenciando a contribuição da observabilidade para a análise do próprio sistema. A plataforma mostrou-se adequada para atividades práticas de eletrônica, instrumentação e experimentação com sistemas microcontrolados, além de possibilitar futuras aplicações envolvendo aquisição e transmissão de dados por Internet das Coisas (IoT).

Palavras-chave: c2stgedu; carregador de baterias; plataforma didática; observabilidade; internet das coisas.

INTRODUÇÃO

A crescente utilização de sistemas de armazenamento eletroquímico de energia em aplicações como dispositivos eletrônicos, sistemas de alimentação ininterrupta (UPS), veículos elétricos e sistemas fotovoltaicos tem ampliado a importância dos carregadores de baterias (SUJITHA; KRITHIGA, 2017). Nesse contexto, o desenvolvimento e a compreensão de sistemas de carregamento constituem temas relevantes tanto para aplicações tecnológicas quanto para a formação em eletrônica de potência.

Embora os avanços nessa área tenham possibilitado carregadores de elevada eficiência baseados em conversores chaveados, essas soluções apresentam maior complexidade construtiva e exigem conhecimentos específicos de controle, instrumentação e análise de sinais. Essa complexidade pode dificultar a observação dos fenômenos elétricos envolvidos no carregamento, especialmente em atividades experimentais de ensino.

Como alternativa, adotou-se a **observabilidade** como princípio de projeto de uma plataforma experimental didática. No escopo proposto, observabilidade corresponde à possibilidade de acessar e acompanhar as principais grandezas e estados de operação do sistema por meio de pontos de instrumentação, permitindo relacionar seu comportamento elétrico aos fenômenos estudados.

Com base nessa abordagem, é desenvolvido o C2STGEDU, um protótipo de carregador linear para baterias de chumbo-ácido, orientado à experimentação e ao estudo de instrumentação e aplicações de Internet das Coisas (IoT). A plataforma prioriza **simplicidade, facilidade de obtenção de componentes, previsibilidade e observabilidade**, incorporando pontos específicos para medição e aquisição de dados. Essa arquitetura permite sua utilização desde atividades práticas de montagem e análise até experimentos com sistemas microcontrolados e monitoramento por rede, sem comprometer sua finalidade didática.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Baterias

Uma bateria é um dispositivo eletroquímico que converte energia química em elétrica por meio de reações de oxidação e redução. É constituída por uma ou

mais células galvânicas, formadas por ânodo, cátodo e eletrólito, onde ocorrem as reações eletroquímicas. São classificadas como primárias quando apresentam reações essencialmente irreversíveis ou secundárias quando possuem reações reversíveis, permitindo múltiplos ciclos de carga e descarga mediante o fornecimento de energia elétrica externa (LINDEN; REDDY, 2011, cap. 1, p. 4-5).

Existem diversas tecnologias de baterias secundárias, como chumbo-ácido, níquel-cádmio (Ni-Cd), níquel-hidreto metálico (Ni-MH) e íons de lítio (Li-ion), que apresentam diferentes características de custo, vida útil, eficiência, segurança e densidade de energia (REDDY, 2011, cap. 15, p. 5).

Para esta plataforma, foi escolhida a bateria de chumbo-ácido (REDDY, 2011, cap. 15, p. 6) por ser uma tecnologia consolidada, robusta e amplamente disponível no mercado nacional.

Assim, a escolha do chumbo-ácido prioriza a simplicidade, disponibilidade e robustez, favorecendo a experimentação, a instrumentação e a observação dos fenômenos envolvidos no processo de carregamento.

Características do processo de carregamento

Em geral, o processo de carregamento de baterias chumbo-ácido pode ser dividido em três etapas principais: carga em corrente constante, absorção em tensão constante e flutuação. Essas etapas têm como objetivo realizar a carga da bateria de forma controlada, reduzir os efeitos de sobrecarga e contribuir para a preservação de sua vida útil (SALKIND; ZGURIS, 2011, cap. 16, p. 70-75).

Embora o carregamento completo seja descrito pelas três etapas, carregadores simplificados podem realizar a transição diretamente de Bulk (carga principal) para Float (flutuação), reduzindo a complexidade do circuito e do controle (HOROWITZ; HILL, 1989, p. 928).

Neste estudo, as etapas de carregamento são observáveis pelo comportamento da tensão e da corrente ao longo do tempo, favorecendo a instrumentação, a aquisição de dados e a análise experimental.

Carregadores lineares e chaveados

Os carregadores de baterias podem ser classificados, de forma geral, em lineares e chaveados. Embora ambos controlem a tensão e a corrente fornecidas à bateria, diferem principalmente em eficiência, complexidade e requisitos de instrumentação.

Nos carregadores lineares, os dispositivos semicondutores operam em sua região ativa, dissipando como calor a potência associada à diferença entre a tensão de entrada e a tensão aplicada à bateria (MALVINO, 1997, v. 1, p. 467). Apresentam, portanto, menor eficiência, especialmente para grandes diferenças de tensão, mas possuem arquitetura simples, comportamento previsível e menor complexidade de controle, favorecendo aplicações de baixa potência e ambientes experimentais (NOWAKOWSKI; TAYLOR, 2013).

Já os carregadores chaveados utilizam tipicamente a comutação de semicondutores em alta frequência, juntamente com indutores e capacitores, para aumentar a eficiência e reduzir a dissipação térmica. São mais adequados a aplicações de maior potência, porém apresentam maior complexidade de projeto e exigem cuidados adicionais com componentes magnéticos, interferências eletromagnéticas e análise de sinais (NOWAKOWSKI; TAYLOR, 2013).

Neste trabalho, a arquitetura linear foi escolhida por proporcionar um ambiente experimental alinhado aos princípios de simplicidade, disponibilidade, previsibilidade e observabilidade, utilizando instrumentação acessível em laboratórios de ensino e possibilitando futuras aplicações com microcontroladores, sistemas embarcados e Internet das Coisas (IoT).

Observabilidade e IoT

A instrumentação de um sistema possibilita sua observabilidade. Permite a extração de métricas que evidenciam seu comportamento dinâmico e viabilizam sua análise experimental (RODRIGUES; PEREIRA JÚNIOR, 2020).

Em linhas gerais, a IoT consiste em tornar observáveis sistemas como microfazendas (JORDA *et al.*, 2019), geladeiras (VELASCO *et al.*, 2020), entre outros, possibilitando a coleta e a manipulação de seus dados via rede e, consequentemente, o monitoramento local ou remoto.

Assim, pode estabelecer uma relação entre observabilidade e IoT a partir do fluxo de informações do sistema físico. A observabilidade está associada à obtenção das informações necessárias para acompanhar seu estado e comportamento, enquanto a IoT como possibilidade de ampliar a disponibilidade dessas informações por meio de mecanismos de processamento, comunicação e acesso em rede.

Ensino, atividades práticas e autoaprendizagem

O ensino de eletrônica de potência apresenta desafios, pois a compreensão dos conceitos teóricos está associada a aspectos práticos de projeto e implementação. Nesse contexto, atividades práticas de laboratório permitem a experimentação dos conceitos e o contato com aspectos do funcionamento de sistemas que podem não ser plenamente evidenciados em simulações (POMILIO, 2020).

Entre as estratégias aplicadas à eletrônica de potência, a autoaprendizagem (*self-learning*) confere ao estudante maior protagonismo em sua formação, envolvendo a escolha de componentes, o desenvolvimento, a montagem e a avaliação experimental de protótipos (PIRES *et al.*, 2011). A implementação do carregador proposto relaciona-se a essa abordagem e também se aproxima de plataformas experimentais de baixo custo e configuração versátil para o ensino de eletrônica de potência (GARCIA *et al.*, 2008).

A IoT é empregada aqui como um recurso experimental adicional, permitindo explorar a aquisição de grandezas elétricas, sua conversão em dados e sua transmissão em rede e, assim, ampliar as possibilidades de experimentação do protótipo, sem constituir uma solução educacional em si.

MÉTODOS

A pesquisa adotou abordagem experimental, combinando análise qualitativa durante o desenvolvimento do circuito e quantitativa na avaliação de seu funcionamento. A metodologia consistiu no desenvolvimento incremental da plataforma, partindo da análise de um circuito de carregamento simplificado como referência conceitual. Em seguida, foram incorporados mecanismos de regulação de tensão, ampliação da capacidade de corrente, limitação de

corrente, instrumentação, comutação entre os estágios de carga e flutuação e indicação visual.

Essa abordagem permitiu avaliar individualmente a contribuição de cada bloco funcional e sua influência no comportamento global do sistema. Ao final, foram realizados dois ensaios principais: inicialmente, com cargas simuladas por lâmpadas incandescentes e, posteriormente, com uma bateria de chumbo-ácido como carga real. Os dados obtidos permitiram avaliar o funcionamento da implementação e seu comportamento sob diferentes condições de carga.

Arquitetura da plataforma

A plataforma desenvolvida destina-se ao carregamento de baterias automotivas chumbo-ácido de 12 V, utilizando dois estágios de operação: Bulk e Float Com capacidade nominal de 2,5 A, equivalente à taxa C/10 para baterias de 25 Ah. Essa capacidade permite também o carregamento de baterias de maior capacidade, com aumento proporcional do tempo necessário para a carga completa.

De forma geral, carregadores de baterias podem ser representados por três blocos funcionais principais, conforme ilustrado na Figura (1).

Figura 1 - Diagrama de blocos de um carregador de baterias.



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em SUJITHA (2017).

O primeiro bloco corresponde ao conversor CA–CC, destacado em laranja, responsável por converter a tensão alternada da rede elétrica em tensão contínua adequada ao carregamento, realizando também o rebaixamento da tensão, por exemplo, de 127 V ou 220 V para aproximadamente 20 V.

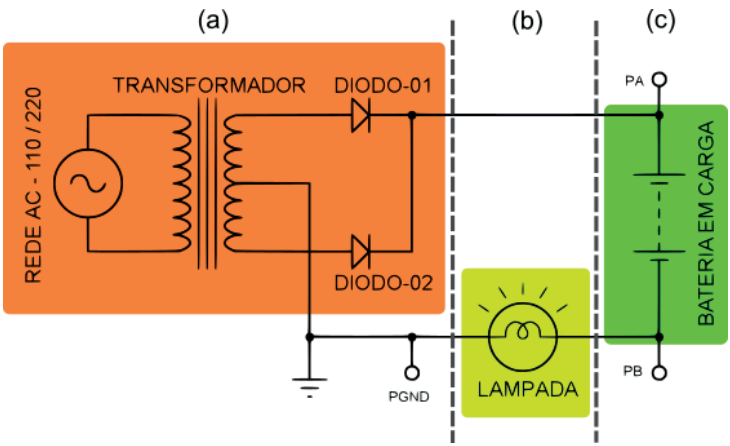
O segundo bloco corresponde ao controlador de carga, destacado em amarelo. Sua função é estabelecer as condições elétricas de carregamento, regulando tensão e corrente e realizando a transição entre os diferentes estágios conforme o estado da bateria.

O terceiro bloco, destacado em verde, representa a bateria, responsável pelo armazenamento da energia fornecida durante o carregamento.

A plataforma proposta concentra-se no desenvolvimento do bloco controlador de carga, mantendo a arquitetura convencional dos demais estágios.

Como ponto de partida para o desenvolvimento da plataforma, foi adotado o circuito apresentado na Figura (2), correspondente à implementação mínima para o carregamento de uma bateria chumbo-ácido. É constituído por três conjuntos principais: alimentação da rede, transformador abaixador e retificador com os diodos DIODO-01 e DIODO-02, destacados em laranja; uma lâmpada incandescente como limitador passivo de corrente, em amarelo; e a bateria em carregamento, em verde.

Figura 2 - Circuito básico para carregamento de baterias.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Também incorpora pontos para medições elétricas. O ponto PGND estabelece a referência de potencial; PB permite medir a queda de tensão sobre o limitador de corrente em relação ao PGND; e PA possibilita medir a tensão aplicada à bateria utilizando PB como referência.

Embora suficiente para aplicações simples ou emergenciais, o circuito não possui mecanismos ativos de controle. A ausência de regulação de tensão pode resultar em valores insuficientes para completar o carregamento ou superiores

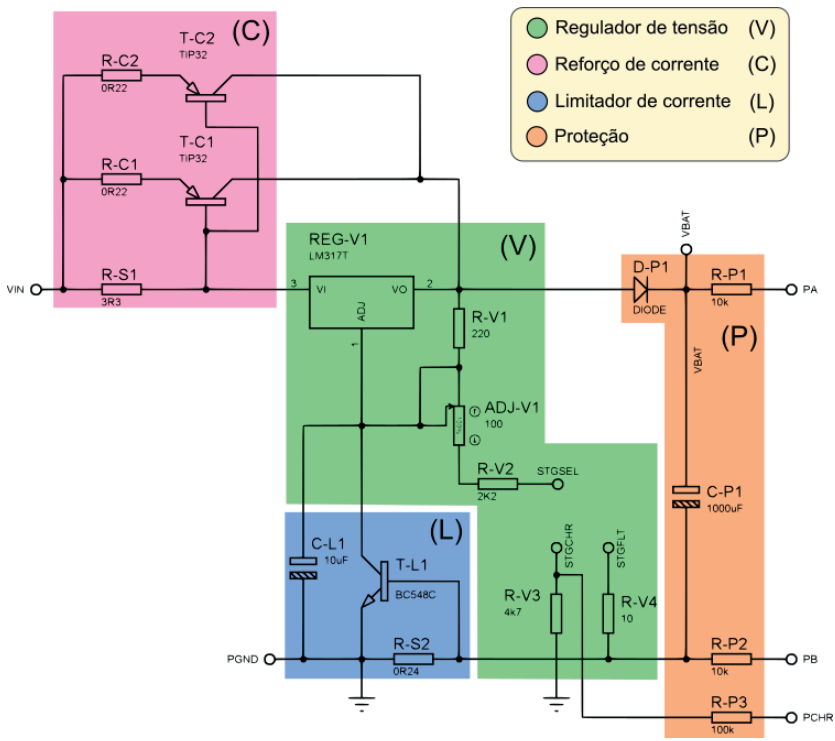
aos recomendados, favorecendo a degradação do eletrólito e reduzindo a vida útil da bateria.

Circuito principal do protótipo

Tomando como referência o circuito base apresentado anteriormente, foi desenvolvido o circuito principal da plataforma, responsável por substituir o bloco controlador de carga, conforme apresentado na Figura (3).

Para facilitar a compreensão do funcionamento, seus componentes foram organizados em quatro blocos funcionais, identificados por cores e letras: (V) regulador de tensão, (C) reforço de corrente, (L) limitador de corrente e (P) circuito de sensoriamento.

Figura 3 - Circuito principal do C2STGEDU.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Regulador de tensão

Uma das principais limitações do circuito base é a ausência de controle da tensão aplicada à bateria. Foi desenvolvido o bloco regulador de tensão, destinado a manter a tensão aplicada à bateria praticamente constante. Assim, as variações de corrente passam a depender predominantemente do estado de carga da bateria, e não das oscilações da fonte.

O LM317 foi selecionado por sua ampla disponibilidade, confiabilidade e extensa documentação, características que favorecem sua reprodução e aplicação didática.

No circuito desenvolvido, o bloco é composto por REG-V1, ADJ-V1, R-V1, R-V2, R-V3 e R-V4. REG-V1 corresponde ao LM317, enquanto R-V1 estabelece a corrente de referência necessária ao funcionamento do regulador. A tensão de saída é definida pelo divisor resistivo formado por ADJ-V1, R-V2 e, alternativamente, R-V3 ou R-V4. A seleção entre esses resistores permite obter dois níveis de tensão correspondentes aos estágios Bulk e Float, sem alterar a topologia do regulador. Essa configuração simplifica a implementação dos dois estágios, mantendo a estabilidade da tensão e reduzindo a complexidade do circuito.

Reforço de corrente

Embora o LM317 apresente bom desempenho como regulador de tensão, sua corrente máxima é limitada a aproximadamente 1,5 A, sendo insuficiente para os 2,5 A definidos para o carregador. Assim, foi necessário implementar um estágio adicional de reforço de corrente, mantendo o LM317 responsável pela regulação da tensão.

Foram utilizados dois transistores TIP32 em paralelo. A escolha atende à corrente requerida e favorece o caráter didático da plataforma, permitindo sua adaptação a diferentes capacidades de corrente mediante a alteração da quantidade de transistores e o redimensionamento dos componentes associados. Embora configurações com transistores NPN em Darlington sejam comuns, adotou-se uma configuração de reforçador de corrente com transistores PNP, baseada na configuração apresentada por Malvino (1997, v. 2, p. 439).

O estágio é composto por T-C1 e T-C2, pelos resistores R-C1 e R-C2 e pelo resistor sensor R-S1. Este último produz uma queda de tensão proporcional à corrente fornecida à bateria, polarizando progressivamente os transistores à medida que a corrente aumenta e permitindo que assumam o fornecimento de corrente à carga.

Os resistores R-C1 e R-C2, conectados aos emissores, promovem o balanceamento da corrente entre os transistores; aumentando a estabilidade e a confiabilidade do estágio de potência.

Limitador de corrente

Além da regulação da tensão, o carregador deve limitar a corrente em condições críticas, especialmente quando a bateria está profundamente descarregada e sua baixa tensão terminal favorece a circulação de correntes elevadas. O circuito reduz progressivamente a tensão, estabilizando a corrente próxima ao limite estabelecido, conforme o princípio de limitação de corrente apresentado por Malvino (1997, v. 2, p. 416).

A corrente é detectada por um resistor de baixo valor ôhmico conectado em série com a carga. Pela Lei de Ohm,

$$I = \frac{V}{R}$$

a queda de tensão sobre o resistor é proporcional à corrente que o atravessa, permitindo seu monitoramento sem sensores dedicados. Essa técnica apresenta baixo custo, linearidade e simplicidade de implementação.

A limitação é realizada pela alteração do potencial aplicado ao terminal ADJ do LM317. No circuito proposto, um transistor BC548 conectado ao ponto comum entre o resistor de referência, o divisor resistivo e o ADJ realizam essa função.

O bloco é composto por T-L1, R-S2 e C-L1, sendo R-S2 o elemento sensor e T-L1 o dispositivo de atuação. O capacitor C-L1 contribui para a estabilidade dinâmica, reduzindo oscilações decorrentes de variações rápidas da corrente.

Sensoriamento com proteção

Além das funções de carregamento, a plataforma incorpora um bloco de instrumentação que materializa o princípio de observabilidade, disponibilizando pontos de aquisição das principais grandezas elétricas sem interferir significativamente no funcionamento do carregador.

Os pontos PA, PB, PCHR e PGND permitem acompanhar o circuito durante os diferentes estágios de operação.

PGND estabelece a referência elétrica; PA disponibiliza a tensão da bateria; PB permite determinar indiretamente a corrente de carga pela queda de tensão no resistor sensor; e PCHR indica o estágio de operação, apresentando nível alto em Bulk e baixo em Float.

Para garantir a compatibilidade com instrumentos de medição e sistemas microcontrolados, as saídas incorporam elementos de proteção e condicionamento. Os resistores R-P1, R-P2 e R-P3 elevam a impedância dos pontos de medição, reduzindo a influência da instrumentação; o diodo D-P1 impede corrente reversa; e o capacitor C-P1 atua como filtro passa-baixas, atenuando transitórios e oscilações.

Essa configuração permite a utilização da plataforma com instrumentos convencionais ou sistemas embarcados de aquisição de dados, preservando a integridade do circuito e ampliando suas possibilidades experimentais.

Alternância entre os estágios de carga

Os blocos apresentados até aqui permitem regular a tensão e limitar a corrente de carga, mas não implementam, por si só, a operação em dois estágios.

A plataforma contempla duas formas de implementação: seleção manual do estágio, destinada a fins didáticos e à validação individual das condições de operação, e alternância automática por meio de um circuito comparador de tensão, reproduzindo o comportamento de um carregador convencional.

Alternância manual

A seleção manual do estágio de operação é realizada pela alteração da tensão de referência do LM317, permitindo avaliar separadamente os modos Bulk e Float durante a montagem, calibração e atividades didáticas.

A seleção modifica o valor equivalente do divisor resistivo conectado ao terminal ADJ por meio dos pontos STGSEL, STGCHR e STGFLT, destinados à conexão de uma chave SPDT (*Single Pole Double Throw*) na configuração *ON–ON*. O terminal comum é conectado a STGSEL, enquanto os terminais de seleção são ligados a STGCHR e STGFLT.

O resistor R-V3 deve ser dimensionado para estabelecer a diferença entre as tensões correspondentes aos dois estágios.

Embora exija intervenção do operador, essa configuração apresenta valor didático por permitir a análise individual das condições de operação do carregador.

Alternância automática

Embora a seleção manual seja simples, a operação normal de um carregador requer que a transição entre os estágios ocorra automaticamente em função do estado de carga da bateria.

Na plataforma proposta, essa função é implementada por um comparador de tensão, um circuito de alimentação estabilizada e um estágio de acionamento responsável pela comutação entre os níveis de tensão dos modos Bulk e Float. A arquitetura é apresentada na Figura (4).

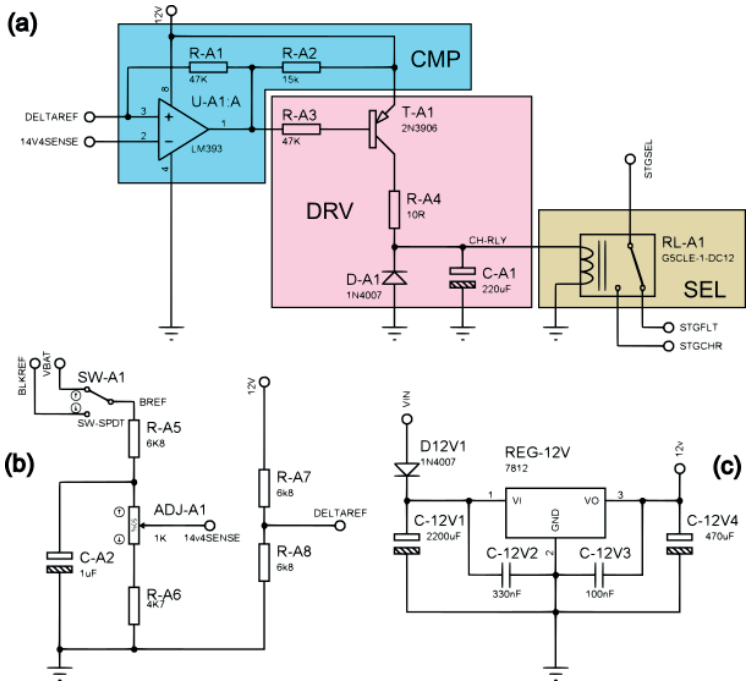
A parte (a) corresponde ao circuito comparador, responsável por monitorar a tensão da bateria e determinar a comutação entre os estágios. Esse circuito é subdividido em três blocos: CMP, responsável pela comparação da tensão; DRV, responsável pelo acionamento; e SEL, responsável pela seleção entre os modos Bulk e Float, acionado por DRV.

A parte (b) realiza a interface entre o comparador e o circuito principal, efetuando a comutação do estágio de carregamento.

A parte (c) fornece a tensão estabilizada utilizada na alimentação do comparador e na geração da tensão de referência para a comparação.

ISBN 978-65-6155-282-0 - Vol. 2 - Ano 2026 - www.cientificadigital.org

Figura 4 - Circuitos de alternância automática do C2STGEDU.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O comparador de tensão foi implementado com o LM393, escolhido pela simplicidade, disponibilidade comercial e ampla utilização em aplicações eletrônicas.

A histerese é introduzida por R-A1, deslocando o ponto de comutação após cada mudança de estado e evitando transições sucessivas provocadas por pequenas oscilações próximas ao limiar. O resistor R-A2 atua como *pull-up*, estabelecendo o nível lógico da saída.

A tensão de referência é obtida pelo divisor R-A7 e R-A8, alimentado por fonte estabilizada de 12 V. A tensão da bateria é aplicada à entrada do comparador por meio do divisor ajustável formado por R-A5, ADJ-A1 e R-A6.

A chave SW-A1 permite selecionar entre a operação conectada à bateria e a calibração por uma tensão externa. Durante a calibração, aplica-se uma tensão conhecida (14,4 V) à entrada e ajusta-se o potenciômetro até a comutação da saída, definindo o ponto de transição entre Bulk e Float.

O capacitor C-A2, conectado ao divisor ajustável, reduz oscilações decorrentes de pequenas variações de tensão durante a calibração e a operação normal.

Para garantir o funcionamento adequado do comparador, sua alimentação e tensão de referência devem permanecer estáveis. Para isso, foi incorporado o regulador linear LM7812, responsável por fornecer 12 V exclusivamente ao circuito de controle.

A implementação, baseada na configuração recomendada pelo fabricante, é composta por REG-12V, D-12V1, C-12V1, C-12V2, C-12V3 e C-12V4. O diodo D-12V1 impede a descarga de C-12V1 durante a conexão da bateria, evitando perturbações na alimentação do comparador. Os demais componentes realizam a filtragem e estabilização da tensão.

A alimentação regulada torna o ponto de comutação menos suscetível às oscilações da fonte principal, aumentando a repetibilidade da transição entre os estágios de carga.

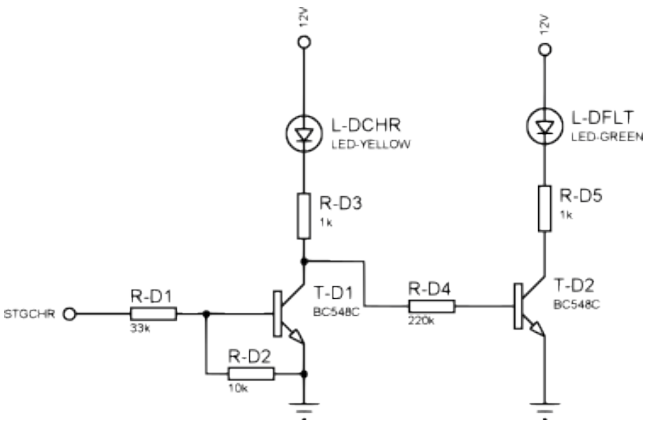
A mudança entre os níveis de tensão do regulador é realizada por um relé eletromecânico, cuja função equivale à de uma chave SPDT, porém com acionamento elétrico. Sua escolha deve-se à sua simplicidade, baixo custo e disponibilidade comercial, além de favorecer a compreensão didática da relação entre o sinal de controle e a comutação dos contatos. Seus contatos são conectados aos pontos STGSEL, STGCHR e STGFLT do circuito principal, reproduzindo a função da chave de seleção manual.

Como a corrente necessária à bobina excede a capacidade de acionamento do LM393, foi incorporado um estágio driver composto por R-A3, R-A4, T-A1, D-A1, C-A1 e RL-A1. O transistor T-A1 (2N3906) fornece a corrente para a bobina, enquanto D-A1 protege o circuito contra a tensão induzida durante seu desligamento.

Indicação visual do estágio de operação

Durante a operação automática, é necessário disponibilizar ao usuário uma indicação visual do estágio de funcionamento do carregador. Para isso, foi desenvolvido um circuito sinalizador com dois LEDs, permitindo identificar as etapas Bulk e Float, conforme apresentado na Figura (5).

Figura 5 - Circuito de indicação visual do estágio de operação do C2STGEDU.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O circuito é composto pelos resistores R-D1 a R-D5, pelos transistores T-D1 e T-D2 e pelos LEDs L-DCHR e L-DFLT. Na etapa Bulk, L-DCHR permanece aceso, indicando o carregamento principal. Após a comutação do relé pelo comparador, o sistema passa para Float, apagando L-DCHR e acendendo L-DFLT para indicar o regime de manutenção.

Além de facilitar a utilização da plataforma em laboratório, a indicação visual permite relacionar o estado do circuito de controle ao comportamento elétrico observado nos pontos de instrumentação, reforçando a função didática e a observabilidade da plataforma.

Implementação física da plataforma

Após a definição dos blocos funcionais e a validação do circuito esquemático, foi realizada a implementação física da plataforma em uma placa de circuito impresso (PCB).

Embora componentes SMD permitam reduzir as dimensões da placa, sua montagem exige técnicas e ferramentas específicas. Considerando os objetivos didáticos do trabalho, optou-se por componentes convencionais (*through-hole*), que facilitam a montagem, identificação, manutenção e substituição.

O leiaute ocupa aproximadamente 10 cm × 10 cm, dimensão suficiente para acomodar os componentes com espaçamento adequado e favorecer sua

identificação durante as atividades experimentais, mantendo a correspondência com o diagrama esquemático.

A estratégia de observabilidade também foi preservada na implementação física. Os pontos de instrumentação foram posicionados de forma acessível, permitindo a conexão simultânea de instrumentos de medição ou sistemas de aquisição sem intervenções no circuito principal. Dessa forma, a própria PCB integra a proposta didática, favorecendo atividades de análise, calibração e experimentação.

Validação experimental da plataforma

Após a implementação física, foram realizados ensaios para verificar o funcionamento dos blocos e do carregador nas diferentes etapas de operação. Durante essa etapa, foram ajustadas as tensões de flutuação e comutação para 13,7 V e 14,1 V, respectivamente. Os ensaios avaliaram o comportamento elétrico do carregamento e a estratégia de observabilidade, utilizando um multímetro convencional e um sistema microcontrolado de aquisição de dados, permitindo comparar diferentes formas de monitoramento com a mesma infraestrutura de instrumentação.

Validação por meio de simulação de carga com lâmpadas incandescentes

A primeira etapa da validação utilizou lâmpadas incandescentes de 21 W e 5 W como cargas simuladas, associadas em paralelo para obter quatro condições de potência: 31 W, 21 W, 10 W e 5 W. A maior potência foi utilizada para representar a condição de maior corrente, enquanto as demais permitiram avaliar o comportamento do carregador com a redução progressiva da carga.

Antes dos ensaios, o circuito foi mantido em operação por 10 minutos com uma lâmpada de 5 W para estabilização térmica. Em seguida, a carga de 31 W foi conectada com os filamentos ainda frios, permitindo avaliar o comportamento do circuito diante da corrente inicial elevada. As demais condições foram aplicadas com os filamentos aquecidos.

As tensões foram aferidas nos pontos PA e PB. A tensão aplicada à carga foi obtida por $V_{BAT}=PA - PB$, enquanto a corrente foi determinada pela relação

ISBN 978-65-6155-282-0 - Vol. 2 - Ano 2026 - www.cientificadigital.org

$I_{BAT}=PB/R_{S2}$, considerando $R_{S2}=0{,}24\,\Omega$. Os valores obtidos são apresentados na seção de resultados.

Esse ensaio permitiu verificar o comportamento do carregador sob diferentes condições de carga e avaliar a atuação da comutação entre os estágios, utilizando os pontos de instrumentação disponibilizados pela plataforma.

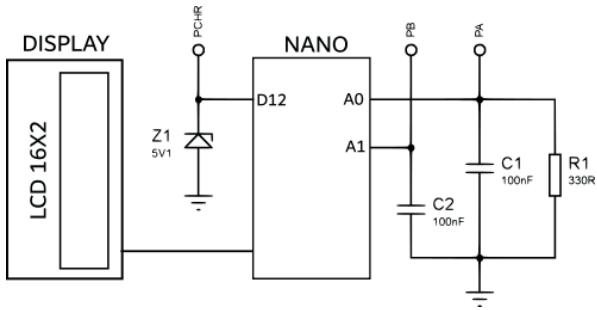
Validação do circuito com uma carga real de bateria e observabilidade com Arduino e multímetro

Após a validação com lâmpadas, foi realizado um ensaio de carregamento com uma bateria real, visando avaliar o funcionamento do circuito e demonstrar a utilização da infraestrutura de observabilidade por meio de multímetro e sistema microcontrolado.

Para a aquisição das grandezas, utilizou-se um Arduino Nano, programado para reproduzir o comportamento de um voltímetro e apresentar as leituras em um *display* 16 × 2. O sistema utilizou as entradas analógicas A0 e A1 para monitorar os pontos PA e PB e a entrada digital D12 para identificar os estágios de carga e flutuação. Devido aos limites de tensão das entradas do Arduino, foram empregados circuitos de condicionamento, conforme apresentado na Figura (6). A entrada D12 utilizou o diodo Zener Z1 de 5 V, enquanto A0 utilizou o divisor formado por R1 e R-P1. Os capacitores C1 e C2 foram empregados para reduzir ruídos nas leituras analógicas.

O ensaio utilizou uma bateria de 40 Ah, previamente submetida a descarga controlada até 10,8 V sob carga. Após 8 horas de repouso, a tensão em vazio era de 11,9 V. Antes do carregamento, o carregador, o Arduino Nano e o multímetro permaneceram ligados por 10 minutos para estabilização das condições de medição. A aquisição das grandezas foi realizada manualmente em intervalos de 5 minutos, utilizando simultaneamente o multímetro e o sistema microcontrolado.

Figura 6 - Diagrama de conexão e circuitos de condicionamento dos sinais do carregador para o Arduino Nano.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

RESULTADOS

Implementação Física

A implementação física da plataforma apresentou baixa complexidade de montagem, não exigindo técnicas ou equipamentos especializados. A montagem envolveu principalmente a identificação dos componentes e sua soldagem na placa de circuito impresso, podendo ser realizada com ferramentas básicas, como ferro de solda, alicates e chaves de fenda e Philips. O multímetro foi suficiente para a verificação dos valores e das condições de funcionamento dos componentes durante a montagem.

Simulação de carga com lâmpadas incandescentes

O Quadro (1) apresenta os valores obtidos para as quatro condições de carga, mantidas por 20 minutos, com aferições realizadas no início (T1) e ao final (T2) de cada etapa. As tensões foram medidas nos pontos PA, PB e PCHR, tendo o GND como referência, enquanto V_{BAT}e a corrente foram obtidos a partir das relações definidas na metodologia.

Na condição de **31 W**, correspondente à maior corrente de carga, o circuito permaneceu em Bulk, com PCHR em nível alto. Entre T1 e T2, observou-se redução de 0,20 V na tensão da bateria e de 0,04 A na corrente. Essa variação pode estar relacionada à operação próxima ao limite de corrente e ao consequente aquecimento dos componentes; entretanto, como a temperatura não foi medida, essa relação permanece como hipótese.

ISBN 978-65-6155-282-0 - Vol. 2 - Ano 2026 - www.cientificadigital.org

Quadro 1 - Resultados simulação com lâmpadas incandescentes.

	31W		21W		10W		5W	
Variáveis	**T1**	**T2**	**T1**	**T2**	**T1**	**T2**	**T1**	**T2**
PA (*V*)	11,39	11,18	13,36	13,41	13,77	13,76	13,67	13,66
PB (*V*)	0,58	0,57	0,43	0,43	0,20	0,20	0,09	0,09
PCHR	1	1	1	1	0	0	0	0
V_{BAT}**(V)**	10,81	10,61	12,93	12,98	13,57	13,56	13,58	13,57
I_{BAT}**(A)**	2,42	2,38	1,79	1,79	0,83	0,83	0,38	0,38

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Com **21 W**, o circuito também permaneceu em Bulk e apresentou pequena elevação da tensão, de 12,93 V para 12,98 V, enquanto a corrente permaneceu em 1,79 A. A variação de tensão pode estar associada à menor dissipação de potência e ao comportamento térmico dos componentes, embora sua causa não possa ser determinada apenas a partir deste ensaio.

Na condição de **10 W**, o circuito comutou automaticamente para Float, identificado pelo nível baixo de PCHR. A tensão permaneceu praticamente constante, variando de 13,57 V para 13,56 V, enquanto a corrente se manteve em 0,83 A. A diferença de 0,01 V foi considerada compatível com a variação de leitura do multímetro.

Com **5 W**, o circuito permaneceu em Float, apresentando comportamento semelhante ao observado em 10 W, com tensão praticamente constante e corrente de 0,38 A.

Os resultados demonstram que a redução progressiva da carga provocou a transição automática de Bulk para Float, acompanhada pela redução da corrente e estabilização da tensão em aproximadamente 13,6 V. Dessa forma, o ensaio confirmou o funcionamento da regulação e da comutação entre os estágios sob diferentes condições de carga.

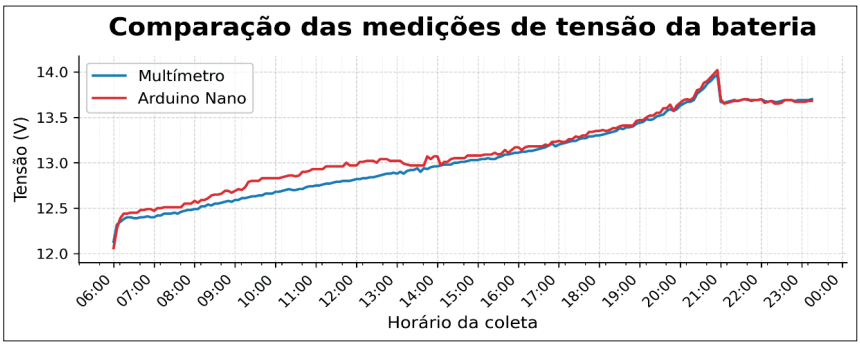
Carga real de bateria e observabilidade com Arduino e multímetro

A carga da bateria foi concluída após 17 horas e 15 minutos, com aquisição das amostras em intervalos de 5 minutos, totalizando 208 amostras. Os resultados são apresentados nas Figuras (7) e (8), que permitem comparar, respectivamente, as medições de tensão e corrente realizadas pelo multímetro e pelo Arduino Nano.

As medições de tensão realizadas pelos dois instrumentos apresentaram comportamento semelhante ao longo do ciclo de carga. A tensão aumentou gradualmente até aproximadamente 14,1 V, momento em que ocorreu a comutação para o modo Float, mantendo-se posteriormente em torno de 13,7 V.

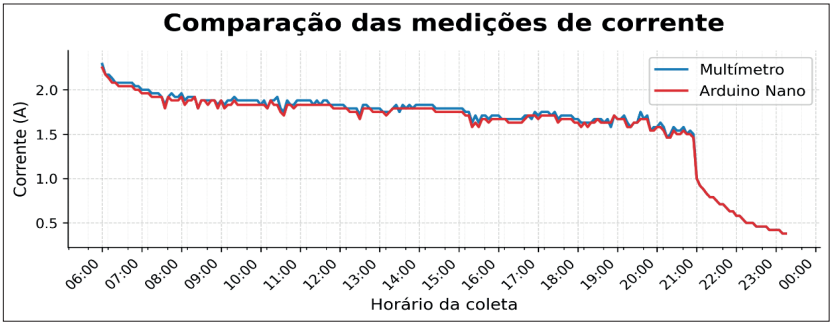
Durante a operação sob corrente elevada, observou-se um desvio crescente entre as medições, atingindo aproximadamente 0,2 V (1,56%), seguido de redução gradual. Esse comportamento é compatível com a hipótese de influência térmica do resistor *shunt* sobre o circuito de medição, devido à proximidade física entre os componentes. Apesar do desvio, as duas medições apresentaram comportamento temporal semelhante, indicando que o Arduino foi capaz de reproduzir adequadamente a evolução da tensão, embora com erro de medição dependente da condição de operação.

Figura 7 - Comparação das tensões aferidas por multímetro e pelo Arduino Nano durante o carregamento da bateria.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 8 - Comparação das correntes aferidas por multímetro e pelo Arduino Nano durante o carregamento da bateria.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

As curvas de corrente também apresentaram comportamento semelhante. A corrente iniciou em aproximadamente 2,3 A e reduziu-se gradualmente até 1,5 A, quando ocorreu a transição para Float. Nesse momento, houve uma redução mais acentuada, para aproximadamente 1 A, seguida de nova redução gradual até 0,38 A. O maior desvio entre as medições foi de aproximadamente 0,08 A. Considerando que o sistema microcontrolado foi implementado em *protoboard*, com conexões por fios e componentes com tolerância de 5%, esses desvios foram considerados aceitáveis para o objetivo do ensaio, que era avaliar a observabilidade e não obter elevada precisão metrológica.

Os resultados demonstram a estabilidade do carregador durante o ciclo completo de carga e confirmam a utilização do sistema microcontrolado como recurso de observabilidade das grandezas elétricas. A aquisição realizada pelo Arduino também estabelece a base para posterior transmissão dos dados por IoT. Além disso, o ensaio permitiu identificar uma limitação da implementação e indicar uma melhoria concreta: afastar os pontos de medição de componentes sujeitos a maior aquecimento, reduzindo sua influência sobre as medições.

CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs, implementou e validou o C2STGEDU, um carregador de baterias com finalidade didática, concebido para experimentações em instrumentação e IoT. A plataforma priorizou a observabilidade das principais grandezas e estados de operação, além da previsibilidade, do caráter didático e da utilização de componentes de fácil aquisição.

A validação foi realizada progressivamente, inicialmente com lâmpadas incandescentes em diferentes condições de carga e, posteriormente, com uma bateria real de 40 Ah. Os ensaios demonstraram o funcionamento esperado do carregador, incluindo a elevação gradual da tensão, a redução da corrente e a transição automática entre os modos Bulk e Float.

A observabilidade foi avaliada por meio de um multímetro e de um Arduino Nano, que permitiu acompanhar o comportamento das grandezas durante o ciclo de carregamento. Os resultados apresentaram boa correspondência entre os instrumentos, demonstrando que os pontos de medição podem ser

utilizados tanto para aferição convencional quanto para aquisição por sistemas microcontrolados.

O ensaio também permitiu identificar um desvio gradual na medição de tensão durante a operação sob maior corrente, compatível com a hipótese de influência térmica do resistor *shunt* sobre o circuito de medição. Esse resultado evidencia que a observabilidade pode auxiliar não apenas no acompanhamento do sistema, mas também na identificação de limitações da implementação. Como melhoria, recomenda-se o reposicionamento dos pontos de aferição em relação aos componentes sujeitos a aquecimento.

Diante dos resultados, o protótipo mostrou-se adequado como plataforma didática para o estudo de grandezas elétricas, comportamento dinâmico e instrumentação. Sua arquitetura permite ainda a utilização de diferentes plataformas de aquisição e processamento, possibilitando a evolução para aplicações de IoT, incluindo transmissão de dados e desenvolvimento de interfaces para acompanhamento remoto. Como trabalhos futuros, propõe-se uma nova implementação física com o reposicionamento dos pontos de aferição e a investigação de plataformas como ESP32 e Raspberry Pi.

REFERÊNCIAS

GARCIA, F. S.; FERREIRA, A. A.; POMILIO, J. A. Plataforma de ensino de eletrônica de potência versátil e de baixo custo. **Eletrônica de Potência**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 85-90, maio 2008.

HOROWITZ, Paul; HILL, Winfield. **The art of electronics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

JORDA JR., R. *et al.* **Automated smart wick system-based microfarm using Internet of Things**. [S. l.]: arXiv, 2019. arXiv:1912.01234. Disponível em: https://arxiv.org. Acesso em: 3 set. 2026.

LINDEN, David; REDDY, Thomas B. Basic concepts. *In*: REDDY, Thomas B. (ed.). **Linden's handbook of batteries**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2011. cap. 1, p. 1.3-1.17.

MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica**. 4. ed. São Paulo: Makron Books, 1997. v. 1.

MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica**. 4. ed. São Paulo: Makron Books, 1997. v. 2.

NOWAKOWSKI, Rich; TAYLOR, Robert. Linear versus switching regulators in industrial applications with a 24-V bus. **Analog Applications Journal**, [s. l.], 3Q, p. 9-13, 2013.

PIRES, V. F.; PIRES, A. J.; DIAS, O. P. Self-learning as a tool for teaching power electronics. *In*: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON E-LEARNING IN INDUSTRIAL ELECTRONICS (ICELIE), 5., 2011, Melbourne. **Anais** [...]. Melbourne: IEEE, 2011. p. 104-108.

POMILIO, J. A. Atividades didáticas experimentais em eletrônica de potência: convergindo conhecimentos e tecnologias. **Eletrônica de Potência**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 146-153, jun. 2020.

REDDY, Thomas B. An introduction to secondary batteries. *In*: REDDY, Thomas B. (ed.). **Linden's handbook of batteries**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2011. cap. 15, p. 15.3-15.20.

RODRIGUES, Rúbens Antônio; PEREIRA JÚNIOR, Lourenço Alves. Benchmark para análise comportamental do sistema de memória virtual do Linux. *In*: MARTINS, Ernane Rosa (org.). **Ciência da computação**: tecnologias emergentes em computação. Guarujá: Editora Científica, 2020. v. 1, p. 44-61.

SALKIND, Alvin; ZGURIS, George. Lead-acid batteries. *In*: REDDY, Thomas B. (ed.). **Linden's handbook of batteries**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2011. cap. 16, p. 16.1-16.87.

SUJITHA, N.; KRITHIGA, S. RES based EV battery charging system: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 75, p. 978-988, ago. 2017.

VELASCO, Jessica *et al.* Internet of things-based (IoT) inventory monitoring refrigerator using Arduino sensor network. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 508-515, abr. 2020.

SOBRE O ORGANIZADOR

Guilherme Fernando Ribeiro

Guilherme Fernando Ribeiro é doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Ponta Grossa, onde atua na Linha de Pesquisa de Gestão do Conhecimento e Inovação e no Grupo de Pesquisa de Desenvolvimento de Produtos e Processos de Manufatura, com área de concentração em Gestão Industrial. Possui graduação em Matemática (2012) e Engenharia de Produção Agroindustrial (2015) pela Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR), Câmpus Campo Mourão (FECILCAM). É mestre em Engenharia de Produção (2016) pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Ponta Grossa.

Lattes: http://lattes.cnpq.br/3122241592407637

ÍNDICE REMISSIVO

C

C2STGEDU: 25, 26, 27, 33, 38, 40, 46

Carregador de Baterias: 26, 31, 46

E

Educação em Engenharia: 8, 11, 23

Ensino de Física: 8, 12, 22, 23, 24

F

Física Moderna e Contemporânea: 7, 8, 9, 12, 16, 18, 21, 22, 23, 24

I

Internet das Coisas: 25, 26, 27, 29

O

Observabilidade: 26, 27, 29, 30, 36, 40, 41, 42, 44, 46, 47

P

Plataforma Didática: 26, 47

científica digital

ISBN 978-656155282-0

VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS

www.cientificadigital.org | contato@cientificadigital.org