

REVISTA ILHA DIGITAL

A REVISTA ILHA DIGITAL é uma publicação *on-line* do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), *Campus* Florianópolis, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC).

O conteúdo dos artigos publicados é de total responsabilidade de seus autores. Todos os artigos podem ser apropriados para fins que não sejam comerciais, resguardada a citação da fonte.

Contribuições para publicação na próxima edição devem ser feitas *on-line* através da página da revista na Internet: <http://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br>

Conselho Editorial	Corpo de Revisores	
Jony Laureano Silveira	Alexandre Leizor Szczupak	Luis Carlos Martinhago Schlichting
Leandro Schwarz	Anderson Alves	Matheus Leitzke Pinto
Luiz Alberto de Azevedo	Carlos Gontarski Speranza	Mauro Tavares Peraça
Marco Valério Miorim Villaça	Claudio Luis Ebert	Muriel Bittencourt de Liz
Paulo Ricardo Telles Rangel	Clovis Antonio Petry	Pedro Giassi
	Daniel Lohmann	Reginaldo Steinbach
	Flabio Alberto Bardemaker Batista	Renan Starke
	Golberi de Salvador Ferreira	Samir Bonho
	Hugo Marcondes	

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

Campus Florianópolis

Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN)

Avenida Mauro Ramos, 950 – Florianópolis/Santa Catarina

CEP: 88.020-300 – Telefones: (48) 3211-6065 e (48) 3211-6066

E-mail: ilhadigital@ifsc.edu.br

<http://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br/>



EDITORIAL

A Expansão da Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica e a sua iminente deterioração: um fato em vias de consolidação?

Este editorial tem por premissa realizar uma abordagem preliminar sobre a expansão contemporânea da Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica¹ do Ministério da Educação a qual se vincularam os 38 Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia - Institutos Federais (IFs), decorrente da publicação da Lei nº 11.892/2008 do presidente Luiz Inácio Lula da Silva (2003-2011), também conhecida como Rede Federal e afirmada ministerialmente como um contributo para o fortalecimento de um fazer educacional compreendido como Educação Profissional, Científica e Tecnológica.

Toda essa ação governamental por meio dessa norma legal imputou ao Estado brasileiro um (re)ordenamento de autarquias federais centenárias conhecidas como de educação profissional, cujas institucionalidades eram conhecidas, na época, como Escolas Agrotécnicas Federais, Escolas Técnicas Federais, Centros Federais de Educação Tecnológica e Escolas Técnicas vinculadas, porque, de acordo com o MEC², fazia-se necessário o estabelecimento de “um marco na ampliação, interiorização e diversificação da educação profissional e tecnológica no país”, e reafirma ainda que essa é “Reconhecida pela qualidade do ensino ofertado, pela diversidade de cursos e por sua relevante atuação junto à população e às empresas locais, [que] atua no sentido de potencializar o que cada região oferece de melhor em termos de trabalho, cultura e lazer”, como se estes tivessem direito àquela historicidade construída.

Dito isto, resgata-se que esse processo de expansão de autarquias de educação não era uma coisa nova em 2008, em face de que, ao final de 2006, de acordo com informações extraídas da página *web* do Instituto Federal de Santa Catarina³ em 2024, a autarquia já estava, em 2006, constituída pelas Unidades de Ensino de: São José, Continente, Chapecó, Jaraguá do Sul e Joinville. O professor Alcides Vieira de Almeida⁴, abordando a história da autarquia, informa que a Unidade Araranguá foi “a última da fase I desse Plano de Expansão, a iniciar suas atividades em Santa Catarina”. Há de se destacar que Florianópolis se caracterizava, naquela época, como sede do Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina.

Assim, o MEC, em decorrência do governo Lula ter publicado a Lei nº 11.195/2005 que proibia a criação de novas unidades de ensino profissional federais prevista na Lei nº 8.948/1994 do senhor Itamar Franco (1990-1995), o qual havia instituído o Sistema Nacional de Educação Tecnológica,

¹ https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/111892.htm

² <http://portal.mec.gov.br/rede-federal-inicial>

³ <https://www.ifsc.edu.br/en/historico>

⁴ https://www.ifsc.edu.br/documents/30701/523474/livro_100anos_2016.pdf/6c6b9d8b-d3ac-cb6e-bd3b-9fdb628a7419

publica a Lei nº 11.892/2008 e promove um derrame político⁵ de Institutos Federais por toda a territorialidade brasileira, mediante um processo de expansão da Rede Federal⁶.

Baseando-se em números de âmbito nacional, a Agência GOV⁷ informa que entre os anos de 2005 e 2016 foram criados 422 *campi* e que “também foram entregues ou incorporadas à Rede outras 92 unidades”, chegando-se à constituição da Rede Federal com 682 unidades. A agência ainda acrescenta “os novos 100 *campi*” recentemente anunciados pelo governo Lula no ano de 2024, de forma que “a Rede Federal passa [passará] a contar com 782 unidades, sendo 702 *campi* de Institutos Federais”, ou seja, em setembro de 2024 havia na rede 80 Institutos Federais, espalhados por 26 estados da federação e um Distrito Federal.

No caso de Santa Catarina, um estado que, de acordo com o IBGE, apresenta uma divisão por seis mesorregiões, há dois Institutos Federais que integram a Rede Federal: a) o IFSC, com uma estrutura *multicampi* constituída por 22 unidades, estando uma delas ainda na condição de *campus* avançado e com o compromisso de implantar o novo *campus* de Tijucas; e b) o IFC, com uma infraestrutura *multicampi* de 15 unidades e o compromisso de implantar os novos *campi* de Mafra e Campos Novos. Assim, Santa Catarina disporá de, nos próximos anos, dois Institutos Federais e uma rede *multicampi* constituída por 40 unidades para atender seis mesorregiões, ou seja, aproximadamente seis *campi* por mesorregião, a princípio um desrespeito com o dinheiro público.

Para se dispor de uma visão de como ocorre essa expansão, faz-se referência a uma entrevista com o reitor do IFRS⁸ em julho de 2023, o qual declarou que Camilo Santana “não deu números nem detalhes, mas manifestou formalmente que é um desejo do governo e deve acontecer nos próximos meses”; e que “Não foi apresentado aos reitores nenhum tipo de critério. Eu imagino que eles sejam técnicos. Também não sabemos sobre a qual instituto um *campus* vai ficar vinculado”; e quanto a condição de reitor frente a esse processo, declara que o “Nosso papel é meramente orientativo e de escuta. A gente participa das conversas também para monitorar o que está acontecendo, para ouvir as demandas, e acompanhar como estão as coisas, nada mais do que isso.”

Um outro debate que surge intrínseco a essa temática é sobre o que seria mais urgente e coerente para a Rede Federal: expandir ou consolidar? O periódico Metrôpoles⁹ comunicou, em 2023, que o “Governo Federal possui 342 obras de instituições de ensino paralisadas” e que “O valor já pago pelos empreendimentos chega a R\$ 854,4 milhões, e os contratos somam R\$ 2 bilhões”, caracterizando um déficit, em se tratando de obra pública, que converge para R\$ 1,5 bilhão. Para uma percepção mais criteriosa sobre todo esse descaso com a sociedade brasileira, recomenda-se uma visita ao “Painel do TCU¹⁰: obras na educação profissional e tecnológica”.

No que tange a recursos para consolidação, expansão e recomposição de orçamentos em 2024, o Conif¹¹ publicou a matéria em sua página *web*: “Impactos da Contenção Orçamentária na Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica”, em que se declara surpreso com a publicação do Decreto no 12.120/2024 que trata da contenção orçamentária imposta pelo novo arcabouço fiscal, cuja “ação afetará diretamente o custeio das instituições e a qualidade educacional, ao dificultar o pagamento de despesas básicas como luz, limpeza e segurança, bem como a manutenção de laboratórios, a atualização de equipamentos, execução e fomento de políticas estudantis, dentre outros”.

Feito estas considerações, avalia-se imprescindível e relevante para o coletivo de profissionais que integram todas essas institucionalidades da Rede Federal, assim como para pesquisadores que tem na educação o seu objeto de pesquisa, debruçarem-se sobre essa temática, em face de estar em

⁵ <https://ifrs.edu.br/consolidacao-e-expansao-da-rede-federal-estiveram-em-pauta-durante-reunioes-em-brasilia/>

⁶ <http://portal.mec.gov.br/setec-programas-e-acoos/expansao-da-rede-federal>

⁷ <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202403/governo-federal-anuncia-100-novos-campi-de-institutos-federais-1>

⁸ <https://ifrs.edu.br/consolidacao-e-expansao-da-rede-federal-estiveram-em-pauta-durante-reunioes-em-brasilia/>

⁹ <https://www.metropoles.com/brasil/governo-federal-tem-342-obras-de-instituicoes-de-ensino-paralisadas>

¹⁰ <https://paineis.tcu.gov.br/pub/?workspaceId=8bfbd0cc-f2cd-4e1c-8cde-6abfdffea6a8&reportId=013930b6-b989-41c3-bf00-085dc65109de>

¹¹ <https://portal.conif.org.br/geral/impactos-da-contencao-orcamentaria-na-rede-federal-de-educacao-profissional-cientifica-e-tecnologica>

curso não somente uma provável obsolescência e falência dessas institucionalidades, um empobrecimento salarial desse coletivo de profissionais e o futuro de suas carreiras de servidores públicos federais, mas também uma aplicação inapropriada de recursos do coletivo de contribuintes em nome de uma interiorização redundante.

Conselho Editorial



RESSONÂNCIA: UMA REVISÃO CONTEXTUALIZADA – SEGUNDA E ÚLTIMA PARTE

Marco Valério Miorim Villaça¹

Resumo: A ressonância é um fenômeno que ocorre em circuitos RLC, onde a impedância do circuito é puramente resistiva e os efeitos dos componentes reativos (indutores e capacitores) se cancelam. Na primeira parte deste artigo, partindo-se das primeiras observações da oscilação mecânica, apresentou-se uma sequência de eventos que permitiram a Hertz, em 1887, demonstrar a existência das ondas eletromagnéticas, fenômeno físico que permite a comunicação entre pessoas a qualquer hora e em qualquer lugar. Finalizando a história da ressonância, será descrito o esforço de Nikola Tesla para tornar viável a transferência de energia através do ar. Na época de Tesla, esta tecnologia mostrou-se inviável, passando para a obscuridade, mas universalização dos dispositivos portáteis justificou um outro olhar para a tecnologia. A análise quantitativa da topologia clássica RLC série apresentada na primeira parte do artigo é estendida por dualidade para a configuração paralela clássica. Como as características de impedância de resistores, capacitores e indutores utilizados nas topologias clássicas são assíntotas de baixa frequência das respostas de frequência desses componentes, apresentam-se modelos aprimorados dos componentes passivos, mais adequados para circuitos operando em altas frequências. Finalmente, para oferecer uma visão sobre o comportamento de topologia mais complexas, são apresentados o equacionamento, simulação e resultados experimentais de uma topologia ressonante híbrida, onde se avaliou o impacto da resistência dos enrolamentos do indutor na condição de ressonância um circuito RLC paralelo clássico

Palavras-chave: Ressonância. História da tecnologia. Teoria de circuitos elétricos.

Abstract: Resonance is a phenomenon that occurs in RLC circuits, where the circuit impedance is purely resistive, and the effects of reactive components (inductors and capacitors) cancel each other out. In the first part of this article, starting from the initial observations of mechanical oscillation, a sequence of events was presented that enabled Hertz, in 1887, to demonstrate the existence of electromagnetic waves – physical phenomenon that enables communication between people at any time and from anywhere. Concluding the history of resonance, Nikola Tesla's effort to make the transfer of energy through the air feasible will be described. During Tesla's time, this technology proved impractical and faded into obscurity, but the proliferation of portable devices justified a reconsideration of the technology. The quantitative analysis of the classical series RLC topology presented in the first part of the article is extended through duality to the classical parallel configuration. Since the impedance characteristics of resistors, capacitors, and inductors used in classical topologies represent low-frequency asymptotes of the frequency responses of these components, enhanced models of passive components are presented, more suitable for circuits operating at high frequencies. Finally, to provide insight into the behaviour of more complex topologies, the equations, simulations, and experimental results of a hybrid resonant topology are presented, evaluating the impact of inductor winding resistance on the resonance condition of a classic parallel RLC circuit.

Keywords: Resonance. History of technology. Electrical circuits theory.

¹ Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <mvillaca@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

Na primeira parte deste artigo, apresentou-se a construção histórica do conceito de ressonância elétrica, partindo-se das primeiras observações da oscilação mecânica e finalizando com a demonstração da existência

das ondas eletromagnéticas por Hertz, acontecimento que possibilitou, vários anos depois, a comunicação sem fio, a radiodifusão e a telefonia de longa distância. A Tabela 1 resume os acontecimentos históricos relacionados com o fenômeno da ressonância discutidos anteriormente. Na segunda seção do artigo, será descrito o esforço de Nikola Tesla¹ para tornar viável a transferência de energia através do ar utilizando a ressonância eletromagnética.

Tabela 1 – Acontecimentos históricos relacionados à ressonância.

Cronologia	Personagens	Fatos
Século V a.C.	Pitágoras	Demonstrado que a frequência natural de sistemas vibratórios é uma propriedade do sistema que não depende da magnitude da oscilação.
132	Zhang Heng	Construção de um sismômetro utilizando um pêndulo invertido.
1638	Galileu	Descrição do fenômeno da ressonância.
1738	Euler	Formulação da equação diferencial (não amortecida) do oscilador harmônico simples sob excitação harmônica.
1745	Ewald Georg von Kleist Pieter van Musschenbroek	Construção da Garrafa de Leyden, dispositivo precursor do capacitor que permitiu a elaboração de diversos experimentos essenciais para o desenvolvimento da ciência da eletricidade.
1807	Thomas Young	Demonstrado que um estímulo periódico senoidal adequado faz um pêndulo oscilar na frequência desejada.
1820	Hans Christian Ørsted André-Marie Ampère	Constatação da conexão entre eletricidade e magnetismo. Formulação da lei que relaciona a corrente ao campo magnético gerado.
1826	Felix Savary	Primeira observação da descarga oscilatória de uma garrafa de Leyden através um indutor.
1831	Michael Faraday	Demonstração do fenômeno da indução eletromagnética.
1842	Joseph Henry	Observação da descarga oscilatória de uma garrafa de Leyden ao investigar corrente induzida em condutores adjacentes ao condutor de descarga da garrafa de Leyden.
1847	Hermann von Helmholtz	Observação da descarga oscilatória da garrafa de Leyden em um ensaio sobre o princípio da conservação de energia.
1853	Lord Kelvin	Formulação de uma equação diferencial de segunda ordem com coeficientes constantes para representar a descarga de um capacitor através de um condutor.
1885	Anton Oberbeck	Primeira associação da palavra ressonância às oscilações eletromagnéticas e primeiro registro da curva de ressonância na forma de tabelas de dados.
1865	James Maxwell	Previsão da existência de ondas eletromagnéticas.
1887	Heinrich Hertz	Demonstração da existência de ondas eletromagnéticas que se comportam de maneira muito semelhante à luz e publicação das primeiras curvas de ressonância.

Conforme foi discorrido na primeira parte desse artigo, a frequência de oscilação resultante da conexão de um capacitor com um indutor depende apenas dos valores da capacitância e da indutância, não interessando a tensão (ou corrente) inicial a que foram submetidos, ou seja, o circuito LC possui uma frequência única e natural, independentemente da energia inicialmente armazenada. Expôs-se, também, que qualquer circuito elétrico composto por uma combinação de resistores, capacitores e indutores está propenso a apresentar um certo comportamento quando a frequência de uma fonte de alimentação alternada se aproximar da sua frequência natural ou característica. Se a frequência da fonte de alimentação coincidir com a frequência natural, que é própria da configuração do circuito, o circuito estará no estado de ressonância. Nesse estado, os elementos reativos trocam energia apenas entre si, ou seja, exceto pelas perdas resistivas do circuito, a fonte não precisa fornecer energia para nenhum deles. Assim, a ressonância foi exatamente definida como “a

¹ Engenheiro eletricitista naturalizado americano de etnia sérvia, que nasceu em 1856 na aldeia de Smiljan, na atual Croácia, quando a região fazia parte do Império Austro-Húngaro (Huys, 2004, p. 3). Enquanto os croatas acreditam que Tesla deve ser visto como um croata porque nasceu em Smiljan, os sérvios sentem que ele é um dos seus devido às suas raízes sérvias. Em um telegrama ao líder croata Dr. Vlatko Macek, Tesla escreveu: “Estou igualmente orgulhoso da minha origem sérvia e da minha pátria croata” (Tesla Memorial Society of New York, 2024, tradução nossa)

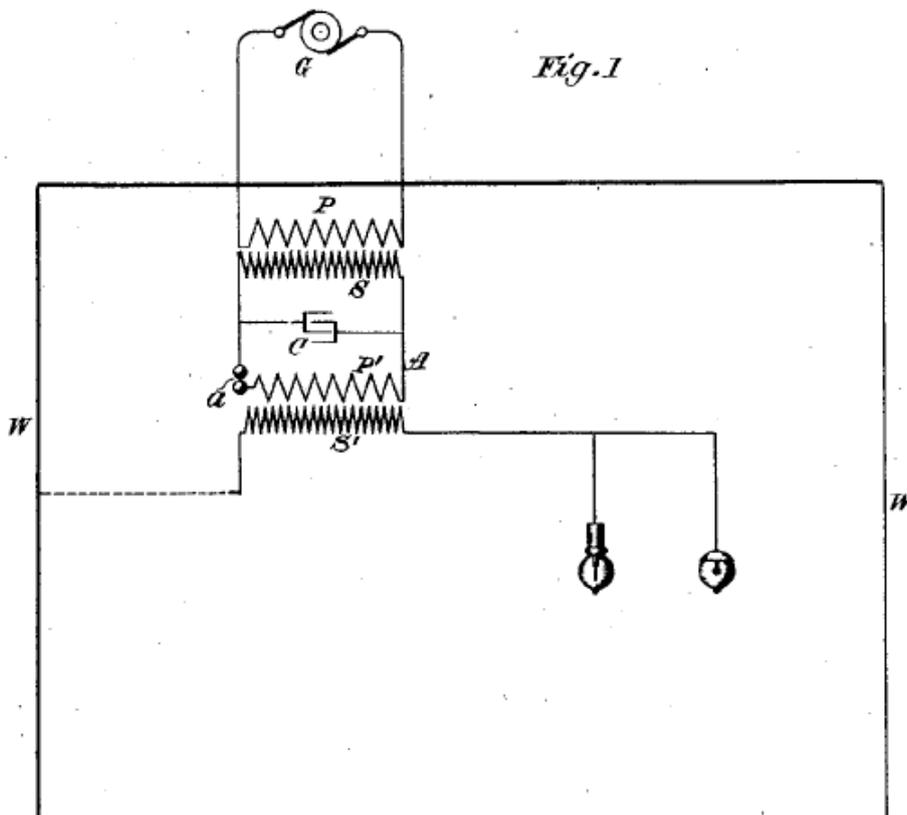
condição em um circuito RLC na qual corrente resultante está em fase com a tensão aplicada, ou seja, o circuito se apresenta para a fonte como uma impedância puramente resistiva” (Villaça, 2023, p.9).

2 A BOBINA TESLA E A TRANSMISSÃO SEM FIO DE ELETRICIDADE

Em junho de 1891, Tesla (1891a), na palestra “*Experiments with Alternate Currents of Very High Frequency and Their Application to Methods of Artificial Illumination*” perante o *American Institute of Electrical Engineers* no *Columbia College*, revelou uma de suas invenções mais importantes, a bobina Tesla, um transformador de alta frequência capaz de criar tensões muito altas com baixas correntes empregando o conceito de ressonância. Na palestra, Tesla apresentou algumas realizações importantes que estabeleceram um arcabouço para compreender e avançar na utilização de sistemas de iluminação sem fio e distribuição de energia de alta tensão e frequência. Ele demonstrou os benefícios potenciais da iluminação por indução, visando que essa promissora tecnologia se tornasse um meio viável de transferir energia através do ar. Na Figura 1 é apresentado o diagrama de um dos experimentos que Tesla utilizou para revelar a sua descoberta, diagrama que foi apresentado no pedido de patente realizado em abril de 1891 nos Estados Unidos, de número 454622 e intitulada *System of electric lighting*. Nessa figura,

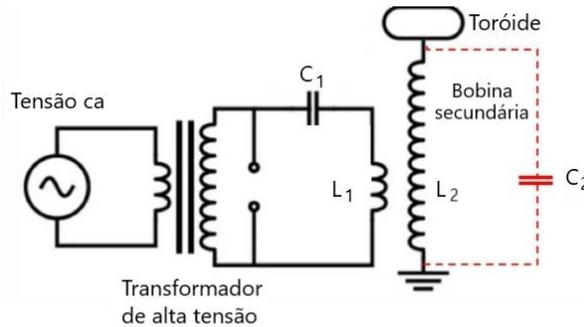
“G é a fonte primária de corrente ou energia elétrica, expliquei acima como várias formas de gerador podem ser usadas para este fim; mas no presente, por exemplo, assumo que G é um gerador de corrente alternada de força eletromotriz comparativamente baixa. Nessas circunstâncias, levanto o potencial da corrente por meio de uma bobina de indução com um primário P e um secundário S. Então pela corrente desenvolvida nesse secundário carrego um condensador C, e este condensador descarrega através ou em um circuito A, contendo um *gap a*, ou, em geral, meios para manter uma descarga disruptiva. Pelos meios acima descritos é produzida uma corrente de enorme frequência. Meu objetivo é converter isso em um circuito de trabalho, de altíssimo potencial, com esse propósito eu conecto no circuito A o primário P' de uma bobina de indução com um longo fio fino secundário S'. A corrente no P' primário desenvolve no secundário S' uma corrente ou efeito elétrico de frequência correspondente, mas de enorme diferença de potencial, e o secundário S' torna-se, assim, uma fonte de produção de luz. Os dispositivos luminosos podem ser ligados a qualquer terminal do secundário S'. Se desejar, um terminal pode ser conectado a uma parede condutora W de uma sala ou espaço a ser iluminado e o outro nas lâmpadas (Tesla, 1891b. p. 3, tradução nossa).

Figura 1 – Circuito utilizado por Tesla para a transferência de energia por indução. A bobina Tesla é o circuito formado por duas bobinas (P-S e P'-S'), pelo capacitor C e o circuito A (Tesla, 1891b).



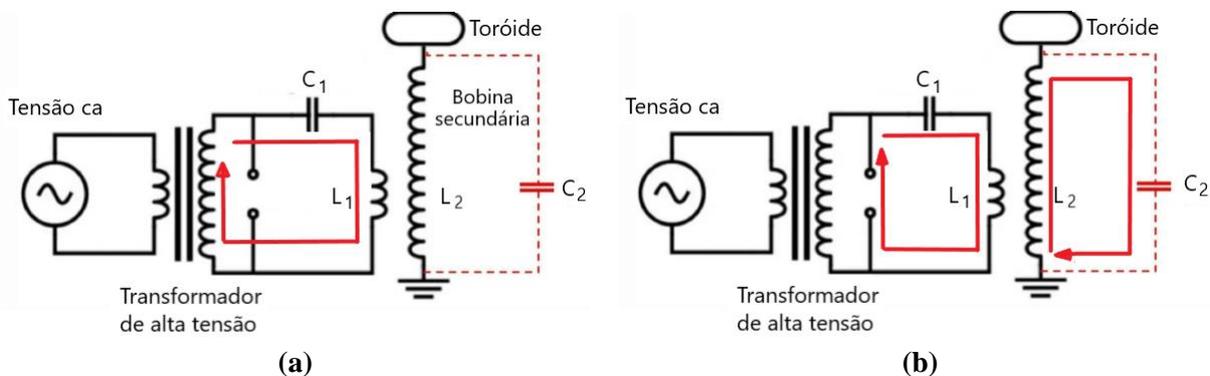
Na Figura 1, a bobina de Tesla é formada pelo centelhador *a*, que consiste em dois eletrodos com um *gap* curto entre eles; por um transformador ressonante composto pela bobina primária *P'*, pela bobina secundária *S'*, pelo capacitor *C*, que desempenha o papel de armazenamento de energia e forma um circuito ressonante LC com a bobina primária *P'* e pela capacitância equivalente formada pela capacitância parasita da bobina secundária e pela capacitância entre o bulbo da lâmpada e a parede *W* ligada à terra. Quando a tensão é suficientemente alta, haverá uma ruptura do ar e a corrente circulará pelo capacitor equivalente. Na Figura 2 se apresenta um esquema atualizado do circuito da Figura 1 com um toróide substituindo a lâmpada no topo do secundário da bobina de Tesla e o capacitor equivalente adicionado e representado por *C*₂. Aqui, o toróide é uma placa do capacitor, a outra placa é a terra. Um toróide tem uma grande área de superfície curva que impede a formação antecipada de arcos, permitindo que uma tensão mais alta seja alcançada, em comparação com o emprego de uma placa ou esfera plana.

Figura 2 – Esquemático moderno da bobina Tesla.



Em uma análise simplificada, o funcionamento da bobina de Tesla do circuito da Figura 2 pode ser assim descrito: em uma primeira etapa do funcionamento, representada pela Figura 3(a), o centelhador aparece inicialmente como um circuito aberto. A corrente fornecida pelo transformador de alta tensão carrega o capacitor *C*₁ até que a sua tensão provoque a ruptura da rigidez dielétrica do ar entre os eletrodos do centelhador, que se torna um bom condutor. Inicia, então, a segunda etapa do funcionamento (Figura 3 (b)), onde o capacitor fica conectando ao enrolamento primário do transformador ressonante através do centelhador, formando um circuito ressonante, onde a energia armazenada pelo capacitor é gradualmente transferida para o indutor *L*₁ na forma de uma oscilação amortecida de alta frequência. Quando a energia no capacitor se esgota, a energia no indutor começa a ser gradualmente transferida para o capacitor, ciclo que se repete, até que toda a energia armazenada no circuito LC seja dissipada no centelhador. A proximidade dos enrolamentos primário e secundário provoca o acoplamento magnético entre eles. Assim, a corrente oscilante de alta amplitude que flui no primário faz com que uma corrente oscilante semelhante seja induzida na bobina secundária próxima. A capacitância equivalente no secundário *C*₂ e a indutância do secundário *L*₂ formam um segundo circuito ressonante.

Figura 3 – (a) Primeira etapa de funcionamento da bobina Tesla: a corrente fornecida pelo transformador de alta tensão carrega o capacitor C1 e (b) Segunda etapa de funcionamento da bobina Tesla: ocorre uma oscilação de alta frequência no primário e no secundário do transformador ressonante.



A frequência ressonante do circuito primário é deliberadamente escolhida para ser a mesma que a frequência ressonante do circuito secundário, o que permite que a tensão no secundário alcance valores elevados. A energia é gradualmente transferida do circuito ressonante primário para o circuito ressonante

secundário. Ao longo de vários ciclos, a amplitude da oscilação primária diminui e a amplitude da oscilação secundária aumenta. Eventualmente a tensão secundária se torna tão alta que a superfície curva do toróide não pode mais reter a carga e faíscas são formadas à medida que a rigidez dielétrica do ar circundante se rompe, situação representada na Figura 4. Em algum momento, toda a energia do primário é transferida para o circuito secundário. Com um centelhador ideal, o centelhamento no circuito primário cessaria neste instante, permitindo o início de um novo ciclo de carregamento do capacitor. Mas isso não é o que ocorre: na prática, a energia do secundário começa a ser transferida para o primário de uma forma semelhante à descrita anteriormente, ou seja, a corrente e a tensão no secundário diminuíam, enquanto as do primário aumentariam, situação representada na Figura 5. Isso ocorre porque o ar quente ionizado entre os eletrodos do centelhador do circuito primário ainda é capaz de conduzir a energia um pouco reduzida que agora está sendo devolvida pelo secundário, mesmo quando a intensidade do campo cai abaixo do valor crítico. Isso pode fazer com que todo o ciclo de transferência de energia do primário para secundário ocorra novamente e, nos piores casos, até três ou quatro vezes. Após alguns ciclos de transferência de energia entre primário e secundário, a energia no primário torna-se suficientemente baixa e o gap do centelhador esfria. O centelhador para de conduzir, fazendo com que a energia restante fique presa e se dissipe no circuito secundário. Como o centelhador é, neste momento, um circuito aberto, o capacitor do circuito primário começa a carregar novamente a partir da fonte de alta tensão e todo o processo se repetirá.

Figura 4 – Faíscas surgem no ar circundante a bobina de Tesla.

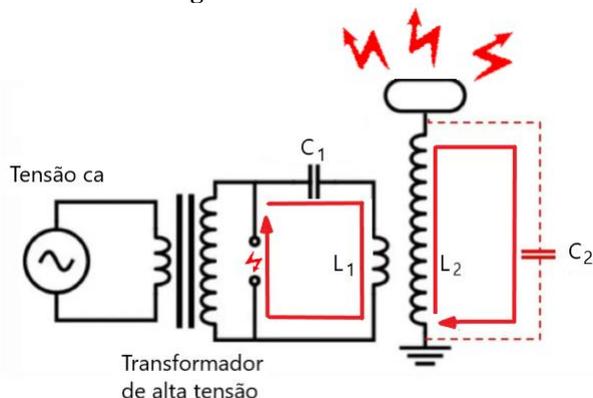
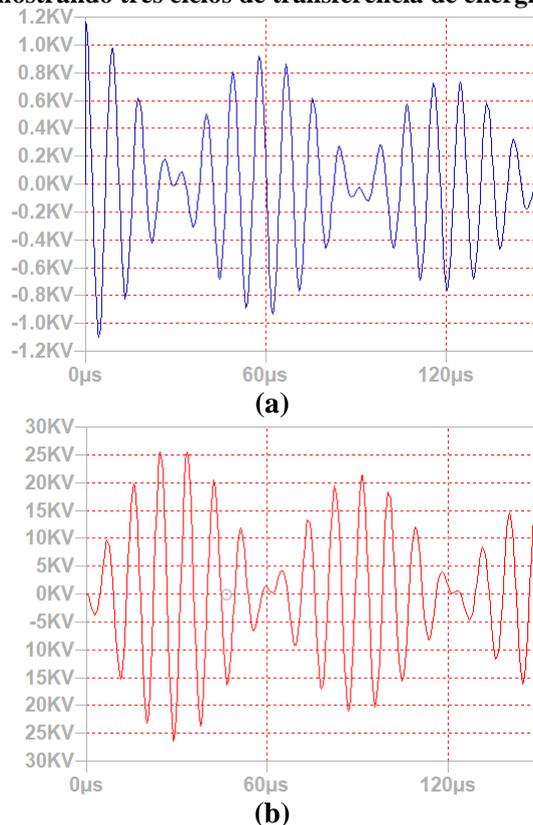


Figura 5 – Formas de onda da oscilação nos circuitos primário (a) e secundário (b) mostrando três ciclos de transferência de energia.



Um transformador padrão usa um núcleo de magnético que limita a sua frequência de operação, enquanto a bobina de Tesla possui um núcleo de ar que permite que ele opere em frequências muito mais altas. Enquanto um transformador padrão possui primário e secundário fortemente acoplados e uma relação de transformação de tensão devida à razão entre o número de espiras dos dois enrolamentos, uma bobina de Tesla usa um acoplamento relativamente fraco entre primário e secundário, sendo a tensão no secundário maximizada devido à ressonância. A constante de acoplamento K entre os dois circuitos é propositalmente mantida baixa, geralmente entre 0,05 e 0,20 (Burnett, 2024).

O ganho de tensão extremamente elevado da bobina de Tesla vem do fato de que a energia do grande capacitor do circuito primário é transferida para a capacitância parasita comparativamente pequena do circuito secundário. A energia armazenada no primário é descrita por

$$W_1 = \frac{1}{2} C_1 V_1^2 \quad (1)$$

, onde V_1 é a tensão de ruptura. Se for assumido que não há perda na transferência de energia para o secundário, pelo princípio da conservação de energia, chega-se a

$$\frac{1}{2} C_1 V_1^2 = \frac{1}{2} C_2 V_2^2 \quad (2)$$

, onde V_2 é a tensão no secundário quando a transferência de energia estiver completa. Da Equação 2 resulta que o ganho de tensão da bobina de Tesla é igual a raiz quadrada da razão entre as capacitâncias, ou seja,

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} \quad (3)$$

Como o circuito primário e secundário possuem a mesma frequência de ressonância, resulta que

$$\frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}} \quad (4)$$

ou

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{L_2}{L_1} \quad (5)$$

Substituindo-se a Equação 5 na Equação 3, obtém-se a expressão do ganho de tensão em função das indutâncias:

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \quad (6)$$

e

$$V_2 = V_1 \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \quad (7)$$

Na prática, a tensão no secundário nunca atingirá o valor determinado pela Equação 7 devido a energia que é perdida nas resistências dos enrolamentos, na forma luz, calor e som no *gap* do centelhador primário e por radiação eletromagnética em ambas as bobinas (Burnett, 2024). Outros dois fatores limitam o pico de tensão no secundário, a saber, a formação de arcos para objetos aterrados no topo da bobina secundária e o fato de que dificilmente o primário e o secundário possuirão exatamente a mesma frequência de ressonância.

A Figura 6 apresenta uma bobina de Tesla de aproximadamente 12 metros de altura exibida no pátio do *Clinton Presidential Center* localizado na cidade de Little Rock, estado de Arkansas, Estados Unidos.

Tesla inventou sua bobina com a intenção de transmitir eletricidade pelo ar, objetivo que perseguiu na maior parte de sua carreira. Ele teorizou que a eletricidade poderia ser transmitida sem fio pelo ar a longas distâncias através de uma série de torres estrategicamente posicionadas. Onde quer que a energia fosse necessária, seria necessário apenas uma bobina receptora para converter e utilizar a energia. Com a transmissão sem fio de energia no horizonte, Tesla planejou a construção das instalações de Wardencllyffe (Figura 7) em Long Island, obra iniciada em 1901, que incluía a edificação de uma torre de madeira com mais de 57 metros de altura (Huys, 2024, p. 19). Tesla planejava usar torres como essa para criar um sistema global de

comunicação sem fio, similar ao que atualmente a Internet oferece, ou seja, que poderia transmitir, ao redor do mundo, música, notícias, relatórios e imagens usando a própria Terra como condutora. Tesla imaginava um futuro no qual as pessoas poderiam se comunicar em tempo real, independentemente da sua localização geográfica. Para Tesla:

“Assim que concluído, será possível para um homem de negócios em Nova York ditar instruções, e fazê-las aparecer instantaneamente em seu escritório em Londres ou em outro lugar. Ele poderá ligar, de sua mesa, e falar com qualquer assinante de telefone do globo, sem qualquer alteração no equipamento existente. Um instrumento barato, não maior que um relógio, permitirá ao seu portador ouvir em qualquer lugar, no mar ou na terra, música ou canção, o discurso de um líder político, o discurso de um eminente homem de ciência, ou o sermão de um clérigo eloquente, proferido em algum outro lugar, por mais distante que seja. Da mesma forma, qualquer imagem, personagem, desenho ou impressão pode ser transferido de um lugar para outro. Milhões desses instrumentos podem ser operados a partir de apenas uma planta desse tipo. Mais importante do que tudo isso, no entanto, será a transmissão de energia, sem fios, que será mostrada em uma escala grande o suficiente para transmitir convicção” (Tesla, 1908, tradução nossa).

Figura 6 – Bobina tesla de 12 metros de altura construída pelo engenheiro eletricista californiano Greg Leyh (Museum of Discovery, 2024).



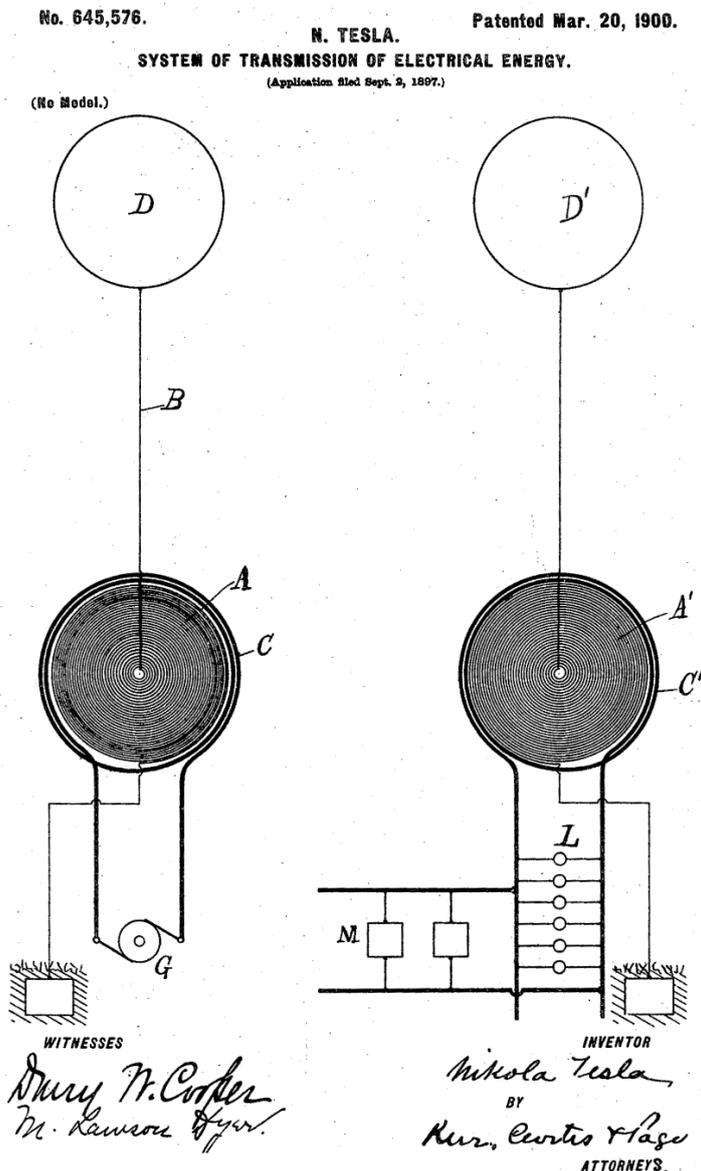
Figura 7 – Instalações de Wardencllyffe em Long Island (Tesla, 1908, p. 68).



Os planos grandiosos de Tesla para Wardenclyffe exauriram seus recursos e a paciência de seus investidores. Em 1906, Tesla e sua equipe tiveram que abandonar a construção de Wardenclyffe e, em 1917, a torre inacabada foi demolida e vendida como sucata para saldar dívidas da Tesla (Tesla Science Center at Wardenclyffe, 2024). Em dezembro de 1901, no mesmo ano do início da construção de Wardenclyffe, o italiano Guglielmo Marconi inaugura a era das telecomunicações de longa distância ao transmitir e receber sinais através do Atlântico Norte.

É importante registrar que, embora Marconi tenha recebido os créditos pela invenção do rádio, o pedido de patente de Tesla é anterior ao de Marconi. Tesla registrou seus pedidos de patente do rádio em 1897 e eles foram concedidos em 1900. O primeiro pedido de patente de Marconi na América, depositado em 10 de novembro de 1900, foi recusado. Entretanto, quatro anos mais tarde, o Escritório de Patentes dos EUA reverteu suas decisões anteriores e deu a Marconi uma patente pela invenção do rádio. As razões para isso nunca foram totalmente explicadas, mas o poderoso apoio financeiro a Marconi nos Estados Unidos sugere uma possível explicação. Em 1943, após a morte de Tesla, a Suprema Corte dos EUA confirmou o número de patente de rádio da Tesla 645.576 (Figura 8). Nesta época, o governo dos EUA estava sendo processado pela empresa de Marconi pelo uso de suas patentes na Primeira Guerra Mundial. A Corte simplesmente evitou a ação ao restaurar a prioridade da patente de Tesla sobre a de Marconi (Sarkar et al., 2006, p. 92-99). Sobre essa controvérsia, Brenner (2009, p. 1042, tradução nossa) é enfático: “Tesla foi o primeiro a inventar o rádio. Marconi realmente não inventou o rádio, ele apenas combinou, copiou e adaptou patentes de Tesla e outros e as comercializou como suas próprias patentes. Ele morreu com muita glória e riqueza, enquanto Tesla morreu como um homem pobre”.

Figura 8 – Ilustração da patente de rádio de Tesla (Tesla, 1900).



A bobina de Tesla foi originalmente concebida como um transmissor sem fio, e foi de fato utilizada em transmissores de rádio frequência no início do século XX. A ideia de se transmitir eletricidade sem fio à distância acabou se mostrando inviável e, com a evolução dos dispositivos de radiofrequência, a bobina Tesla entrou em desuso nessas aplicações. Desde os anos 1920, a maior parte do interesse no dispositivo tem se concentrado em sua capacidade de gerar altas tensões através da carga do circuito secundário. A bobina de Tesla prontamente serviu para “muitos experimentos, alguns interessantes em seu efeito, outros úteis em pesquisas científicas. Ondas para mensagens sem fio podem ser enviadas para o espaço, tubos de raios-X excitados, tubos Geissler² iluminados, belos efeitos de pincel mostrados e muitas outras coisas feitas” (Cunningham, 1920, p. 84, tradução nossa). O próprio Tesla usou versões de sua invenção para investigar fluorescência, raios X, efeitos biológicos e a natureza eletromagnética da Terra e sua atmosfera (PBS, 2024). Atualmente, as bobinas Tesla são usadas principalmente com finalidades didáticas ou para entretenimento, sendo exibidas como atrações em museus e utilizadas para demonstrar princípios de eletricidade de alta frequência em instituições de ensino.

O desenvolvimento dos semicondutores, permitiu a construção de bobinas Tesla de estado sólido, que apresentam semelhanças com a bobina tradicional e com os conversores chaveados do tipo *flyback*. A bobina de Tesla de estado sólido elimina o uso do centelhador, utilizando dispositivos semicondutores de potência, como tiristores e transistores (MOSFETs, IGBTs ou BJTs), para excitar o enrolamento primário, sem introduzir as desvantagens do centelhador: “Centelhadores produzem emissões de rádio de banda larga que interferem com os rádios a uma distância significativa. [...] são interruptores ineficientes [...] produzem sons altos, radiação UV, ozônio e outros perigos” (Soleyman, 2012, p.11, tradução nossa).

Depois da época de Tesla, a transmissão de energia sem fio permaneceu relativamente adormecida por várias décadas, pois mostrava-se uma tecnologia ineficiente, cara e insegura. Mas, com o uso generalizado de pequenos dispositivos portáteis com baterias que precisam de recarga constante, a atenção dos pesquisadores voltou-se novamente para a energia sem fio. Em 2007, um grupo de pesquisadores do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) transmitiu energia sem fio através da ressonância magnética para uma lâmpada de 60 watts a mais de oito metros de distância com eficiência de 40% e batizou essa tecnologia de *WiTricity - Wireless elecTricity* (BBC, 2024). No mesmo ano, a *WiTricity Corporation* foi criada para comercializar a nova tecnologia do MIT, “levando a energia sem fio para eletrônicos de consumo e uma série de outros dispositivos, incluindo carros elétricos, dispositivos médicos e, até mesmo, veículos submarinos remotos”. (MIT, 2024a, tradução nossa). Após 2007, segundo Joseph (2018, p. 145) vários avanços ocorreram na história da transferência de energia sem fio, com a eficiência aumentando de 70% para mais de 95% e a distância da transferência de alguns centímetros para vários metros. Por exemplo, em 2014, a tecnologia *WiTricity* carregava dispositivos a uma distância de até 30 cm com cerca 95% de eficiência – 12 W para dispositivos móveis e até 6,6 kW para automóveis (MIT, 2024b).

3 RESSONÂNCIA EM PARALELO IDEAL

A configuração analisada na primeira parte do artigo foi o circuito ressonante série, uma combinação série dos elementos resistor (R), indutor (L) e capacitor (C) com uma fonte de tensão senoidal de amplitude V_m , com impedância de entrada igual a

$$\hat{Z}(j\omega) = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (8)$$

As expressões matemáticas da Tabela 2, que descrevem o comportamento do circuito ressonante série ideal, foram deduzidas e apresentadas na primeira parte do artigo (Villaça, 2023, p. 13-18).

² Inventado pelo físico alemão Johann Heinrich Wilhelm Geissler em 1857, o tubo de Geissler é um cilindro de vidro selado com um eletrodo de metal em cada extremidade e foi o primeiros tubo de descarga de gás. Quando a tensão é aplicada ao aparelho, a corrente elétrica flui através do tubo fazendo com que seu conteúdo seja fluorescente (Science History Institute, 2024).

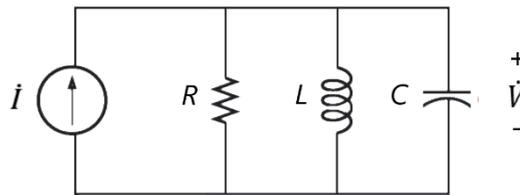
Tabela 2 – Relações matemáticas do circuito série ideal.

Grandeza Física	Equação
Resposta em frequência da amplitude da corrente $I = \dot{I}(j\omega) $ (A)	$\frac{V_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$ (9)
Amplitude da corrente na ressonância I_0 (A)	V_m/R (10)
Fator de qualidade Q	$\omega_o L/R$ (11)
	$1/\omega_o RC$ (12)
Largura de Banda B (rad/s)	$B = R/L$ (13)
Impedância em função de Q , $\dot{Z}(j\omega)$ (Ω)	$R \left[1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega} \right) \right]$ (14)
Resposta em frequência em termos de Q e ω_o , $I = \dot{I}(j\omega) $ (A)	$\frac{V_m}{R \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega} \right)^2}}$ (15)
Tensão de pico no capacitor ou no indutor na ressonância V_C, V_L (V)	$I_m Q$ (16)
Frequência de meia potência inferior em função dos parâmetros do circuito ω_1 (rad/s)	$-\frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \frac{1}{LC}}$ (17)
Frequência de meia potência superior em função dos parâmetros do circuito ω_2 (rad/s)	$\frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \frac{1}{LC}}$ (18)

O circuito ressonante paralelo mostrado na Figura 9, é uma combinação em paralelo dos elementos R , L e C e de uma fonte de corrente senoidal de amplitude I_m . Em um circuito série, a impedância era mínima na ressonância, produzindo uma corrente máxima que resultava em valores elevados de tensão sobre L e C . No circuito paralelo, a admitância é mínima na ressonância, produzindo uma tensão máxima que resulta em valores elevados de corrente em L e C . A admitância equivalente do circuito RLC paralelo é expressa por

$$\dot{Y}(j\omega) = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \quad (19)$$

Figura 9 – Circuito RLC paralelo.



A ressonância ocorre quando a susceptância \dot{B} é zero, ou seja, quando na Equação 9

$$\omega C - 1/\omega L = 0 \quad (20)$$

Resolvendo a Equação 20 para $\omega = \omega_0$, resulta

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC} \quad (21)$$

que é a mesma expressão utilizada para o cálculo da ressonância do circuito série. Observe que na ressonância, a associação LC em paralelo comporta-se como um circuito aberto ($\dot{B} = 0 \rightarrow \dot{X} = \infty$) e, portanto, toda a corrente da fonte flui através de R .

Explora-se a dualidade entre os circuitos série e paralelo, comparando as Equações 8 e 19. Assim, as expressões para o circuito paralelo são obtidas substituindo nas equações do circuito série R , L e C por $1/R$, C e L , respectivamente. Os resultados são apresentados na Tabela 3. Na Tabela 4 foram reunidas as expressões

que são válidas para os circuitos série e paralelo. Lembra-se que as expressões (34), (35) e (37) são aproximações válidas quando o fator de qualidade Q for elevado ($Q \geq 10$).

Tabela 3 – Relações matemáticas do circuito paralelo ideal.

Grandeza Física	Equação
Resposta em frequência da amplitude da tensão $V = \dot{V}(j\omega) $ (V)	$\frac{I_m}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} \quad (22)$
Amplitude da tensão na ressonância V_0 (V)	$I_m R \quad (23)$
Fator de qualidade Q	$\omega_o RC \quad (24)$
	$R/\omega_o L \quad (25)$
Largura de Banda B (rad/s)	$B = 1/RC \quad (26)$
Admitância em função de Q , $\dot{Y}(j\omega)$ (S)	$\frac{1}{R} \left[1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega} \right) \right] \quad (27)$
Resposta em frequência em termos de Q e ω_o , $V = \dot{V}(j\omega) $ (V)	$\frac{I_m R}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega} \right)^2}} \quad (28)$
Corrente de pico no capacitor ou no indutor na ressonância I_C, I_L (A)	$I_m Q \quad (29)$
Frequência de meia potência inferior em função dos parâmetros do circuito ω_1 (rad/s)	$-\frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \quad (30)$
Frequência de meia potência superior em função dos parâmetros do circuito ω_2 (rad/s)	$\frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \quad (31)$

Tabela 4 – Relações matemáticas válidas para os circuitos série e paralelo.

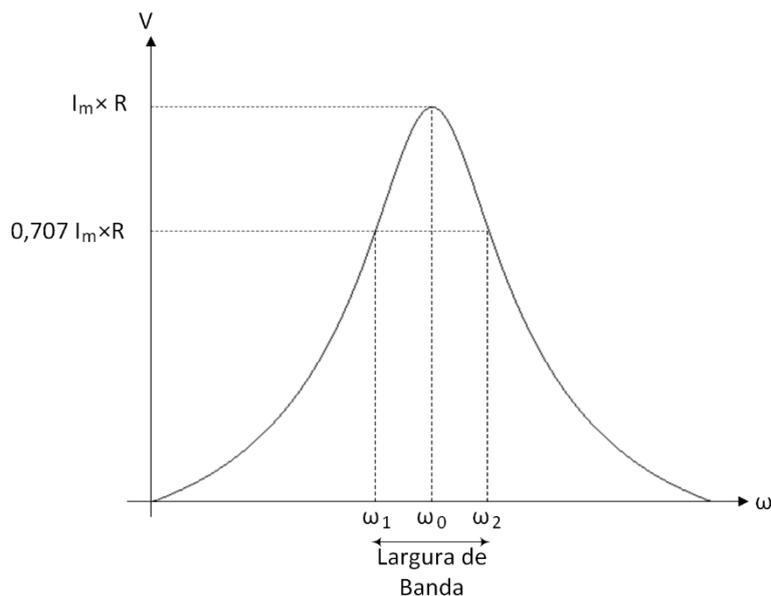
Grandeza Física	Equação
Frequência de meia potência inferior ω_1 (rad/s) para $Q \leq 10$	$-\frac{\omega_o}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{\omega_o}{2Q}\right)^2 + \omega_o^2} \quad (32)$
Frequência de meia potência superior ω_2 (rad/s) para $Q \leq 10$	$\frac{\omega_o}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{\omega_o}{2Q}\right)^2 + \omega_o^2} \quad (33)$
Frequência de meia potência inferior ω_1 (rad/s) para $Q > 10$	$\omega_o - \frac{B}{2} \quad (34)$
Frequência de meia potência superior ω_2 (rad/s) para $Q > 10$	$\omega_o + \frac{B}{2} \quad (35)$
Frequência de ressonância ω_o (rad/s) para $Q \leq 10$	$\sqrt{\omega_1 \omega_2} \quad (36)$
Frequência de ressonância ω_o (rad/s) para $Q > 10$	$\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \quad (37)$

A resposta em frequência do circuito paralelo da Figura 9, representada matematicamente pela Equação 22, é mostrada na Figura 10, onde se indica a amplitude da tensão na ressonância e nas frequências de meia potência inferior ω_1 e superior ω_2 , bem como a largura de banda B .

4 RESSONÂNCIA COM COMPONENTES REAIS

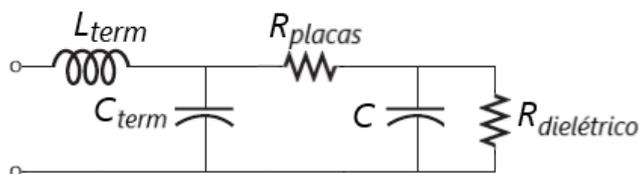
As características de impedância dos elementos passivos (resistores, capacitores, indutores) utilizados na teoria dos circuitos são assíntotas de baixa frequência das respostas de frequência desses componentes, modelos que são normalmente inadequados para altas frequências. Assim, os modelos dos componentes passivos devem ser aprimorados, a fim de modelar com precisão esses componentes na análise dos circuitos ressonantes.

Figura 10 – Resposta em frequência da amplitude da tensão do circuito paralelo.



O modelo equivalente de um capacitor real mostrado na Figura 11 inclui, além da capacitância do elemento, a impedância dos terminais, a resistência das placas condutoras e a resistência do dielétrico. A resistência dielétrica considera as perdas ôhmicas e de polarização no material dielétrico. A resistência dielétrica é geralmente tão grande que pode ser ignorada enquanto a capacitância dos terminais é normalmente muito pequena em comparação com a capacitância do elemento, de modo que a capacitância dos terminais pode ser desprezada.

Figura 11 – Circuito equivalente do capacitor real.

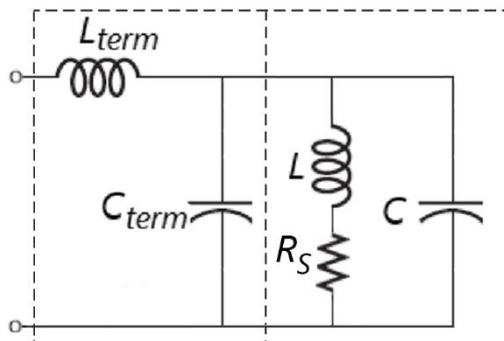


Essas aproximações produzem o modelo simples RLC série para o capacitor mostrado na Figura 12, o qual indica que o capacitor real é um circuito RLC série. Nesse modelo a indutância dos terminais é conhecida como indutância série equivalente (LSE) e a resistência das placas como resistência série equivalente (RSE). Esse modelo indica que o capacitor apresenta uma frequência de ressonância quando acionado por um sinal periódico. Em baixa frequência, a impedância fornecida pela capacitância é dominante e o capacitor apresentará um comportamento próximo do ideal. Em uma frequência suficientemente alta, a reatância indutiva se iguala à capacitiva, produzindo um efeito conhecido como auto ressonância, ou seja, quando excitados os capacitores tendem à ressonância em frequências específicas. Acima da frequência de ressonância a parcela indutiva do capacitor prevalece. O fenômeno da auto ressonância acontece também com os outros elementos passivos.

Figura 12 – Modelo equivalente simplificado do capacitor.



O esquema da Figura 13 apresenta o circuito equivalente de um indutor real, onde a resistência do enrolamento do indutor é representada por R_S . Essa resistência apresenta uma componente CC e uma componente CA que representa as perdas por correntes parasitas no enrolamento. As correntes parasitas são laços de corrente induzidos pela variação de campos magnéticos de acordo com a lei de Faraday e fluem nos condutores em planos perpendiculares aos campos magnéticos. Essas correntes causam os efeitos Skin e de proximidade, sendo que ambos aumentam com a elevação da frequência de operação do indutor.

Figura 13 – Modelo equivalente do indutor real.

O efeito de proximidade descreve a influência de campos magnéticos adjacentes nas correntes de um condutor. Quando dois ou mais condutores que transportam corrente alternada estão próximos um do outro, a distribuição da corrente em cada condutor é afetada devido à variação do campo magnético dos outros. O campo magnético variável produzido pela corrente alternada induz correntes parasitas nos condutores adjacentes. Devido a isso, quando os condutores próximos transportam corrente na mesma direção, a corrente se concentra no lado oposto dos condutores. Quando os condutores próximos transportam corrente em direções opostas entre si, a corrente se concentra nas partes mais próximas dos condutores. Este efeito de concentração da corrente reduz a seção transversal efetiva do condutor, aumentando a sua resistência elétrica.

O efeito Skin ou pelicular é a tendência da corrente alternada se concentrar próximo à superfície do condutor, reduzindo a sua seção transversal efetiva e, conseqüentemente, a exemplo do efeito de proximidade, aumentando a sua resistência efetiva. O efeito pelicular também envolve a indução de correntes parasitas, mas aqui elas são causadas pela corrente dentro do próprio condutor. Como o campo magnético atua em torno do eixo do condutor, as correntes parasitas são induzidas de tal forma que, próximo ao eixo do fio, elas fluem na direção oposta à corrente principal, diminuindo assim a densidade da corrente. Perto da superfície, a direção das correntes parasitas coincide com a corrente principal, aumentando a densidade da corrente local.

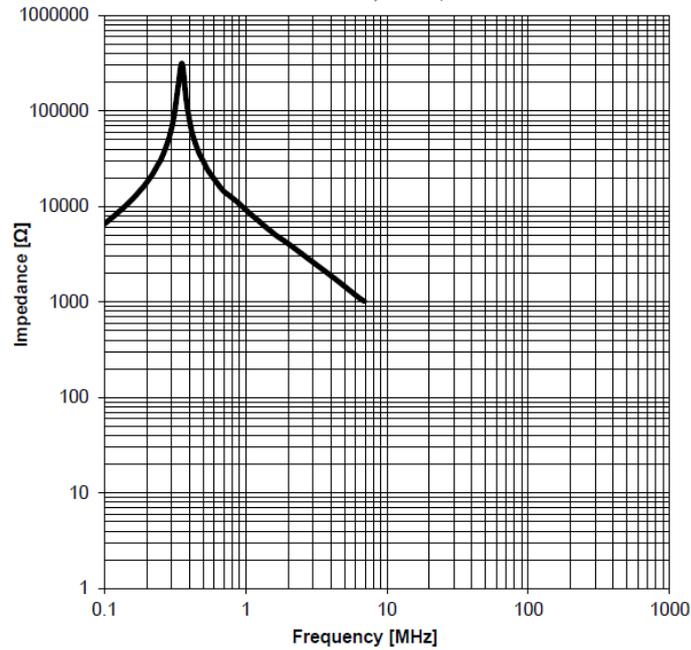
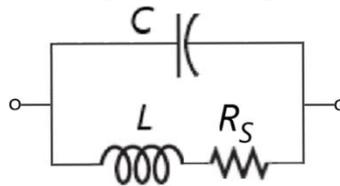
A descrição clássica para a capacitância parasita C é que ela representa a capacitância distribuída entre espiras do indutor (e entre espiras e núcleo etc.). Essa capacitância parasita aumenta significativamente quando são empregadas técnicas de economia de espaço de enrolamento, tais como múltiplas camadas de bobinas. Knigh (2016), porém, discorda da escola de pensamento que diz que a auto capacitância se deve

“às capacitâncias que se presume existem entre espiras adjacentes; e embora isso seja parcialmente verdade para bobinas multicamadas e espirais planas, a hipótese acaba sendo um preditor inútil da reatância de solenoides de camada única com Q elevado (...) Uma possível solução reside em reconhecer que a bobina é uma linha de transmissão; embora a linha em questão seja bastante complicada” (Knigh, 2016, p. 13, tradução nossa).

No entanto, não há discordância que em alguma frequência, designada por frequência auto ressonante ou SRF³, essa auto capacitância forma uma ressonância paralela com a indutância L e o indutor se torna um circuito sintonizado. A Figura 14 apresenta a resposta em frequência de um indutor comercial que apresenta uma frequência auto ressonante típica de 260 kHz.

A indutância dos terminais é normalmente muito menor que a indutância L do indutor podendo ser desprezada. Além disso, na maioria circunstâncias, a auto capacitância de um indutor típico é significativamente maior que a capacitância dos terminais. Assim, o modelo equivalente do indutor pode ser aproximado por uma combinação em série da indutância do indutor e da resistência R_S em paralelo com a capacitância parasita C do indutor. Observe que o efeito dos elementos dos terminais é muito menos crítico para o indutor do que para o capacitor. Uma versão simplificada do circuito equivalente do indutor é mostrada na Figura 15.

³ Na verdade, há inúmeras ressonâncias. A SFR é a frequência de ressonância mais baixa entre um indutor e sua auto capacitância, sendo chamada de primeira auto ressonância (Coilcraft, 2024).

Figura 14 – Resposta em frequência de um indutor comercial de 10 mH (Würth Elektronik, 2023).**Figura 15 – Modelo equivalente simplificado do indutor.**

Em indutores com núcleo de material magnético, o campo magnético alternado provoca perdas no material que podem ser modeladas razoavelmente acrescentando um resistor paralelo (R_p) ao modelo da Figura 15. As perdas totais do núcleo dependem do material do núcleo, da frequência e variação total de fluxo magnético e são compostas por três componentes principais: histerese, correntes parasitas e perdas anômalas. As perdas por histerese expressam a dificuldade que o campo magnético (H) terá para orientar os domínios de um material ferromagnético. As correntes parasitas ou de Foucault, por sua vez, são as correntes produzidas pelas forças eletromotrizes induzidas no interior do núcleo pelo fluxo magnético variável e dependem da resistividade do material. As perdas anômalas causadas pelo movimento das paredes dos domínios magnéticos (a região que separa os domínios) podem ser caracterizadas, de forma simplificada, como perdas excedentes, ou seja, as perdas que sobram após as perdas por histerese e por correntes parasitas serem deduzidas das perdas totais.

É importante ainda registrar que, a suposição de que a indutância dos indutores com núcleo de material magnético é um valor constante, é correta apenas se o indutor estiver operando muito abaixo do seu ponto de saturação, no qual a corrente do indutor e o campo magnético forçado por ela diminuirão a permeabilidade do núcleo magnético e, portanto, a indutância. Nas folhas de dados dos fabricantes, a corrente de saturação é definida como a corrente contínua aplicada na qual o valor da indutância cai um valor percentual especificado abaixo do seu valor medido sem corrente, ou seja, quando a corrente contínua no indutor atinge o valor da corrente de saturação, o valor da indutância diminui uma certa porcentagem, geralmente 30% (Texas Instruments, 2004). Existem dois tipos de saturação, saturação forte (*hard*) e saturação suave (*soft*). Na saturação forte, a indutância diminui abruptamente após a saturação, enquanto que na saturação suave a queda na indutância é gradual.

O modelo equivalente de um resistor real inclui uma capacitância C devido à fuga de carga ao longo do corpo do resistor e deve incluir os componentes de impedância associados à construção do resistor⁴ junto com

⁴ Principais tipos de resistores fixos: resistores de fio, resistores de carbono, resistores de filme de carbono, resistores de filme metálico, resistores de filme de óxido metálico, resistores de esmalte metálico e resistores de folha de metal.

o efeito dos seus terminais. No circuito equivalente típico de um resistor mostrado na Figura 16 e apresentado por Vishay (2024) é incluída uma indutância L devida ao comprimento do resistor e afetada pelo efeito pelicular. O efeito pelicular reduz o campo magnético no interior do resistor, pois o campo fica confinado em um volume menor à medida que a frequência aumenta, diminuindo assim a indutância. As capacitâncias dos terminais e de fuga podem ser associadas em paralelo para formar a capacitância do resistor, gerando a forma simplificada do circuito equivalente do resistor apresentado na Figura 17.

Figura 16 – Circuito equivalente do resistor real.

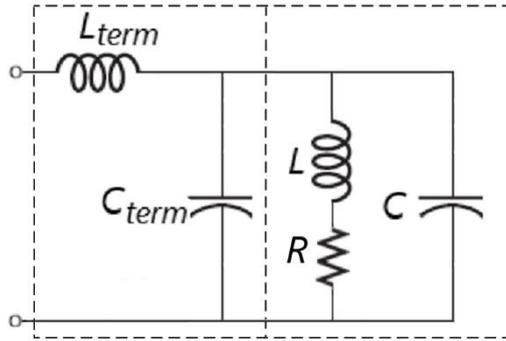
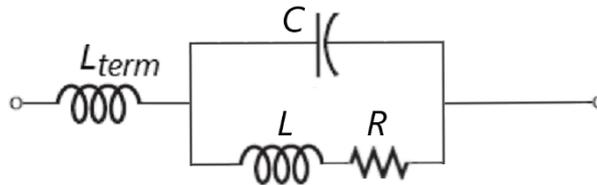
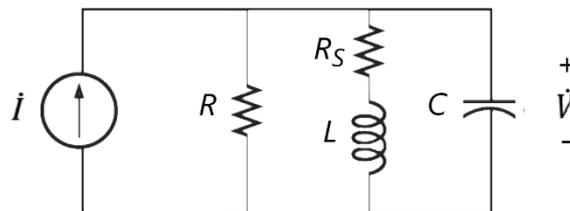


Figura 17 – Modelo equivalente simplificado do resistor.



Em face ao exposto nesta seção, observa-se que as configurações dos circuitos ressonantes reais diferem das configurações RLC clássicas já discutidas. Para oferecer uma visão sobre o comportamento de topologia mais complexas, será discutido o equacionamento de uma topologia ressonante híbrida, onde se avaliará o impacto da resistência dos enrolamentos do indutor, representada por R_S , na condição de ressonância de um circuito RLC paralelo clássico. Esse circuito híbrido é mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Circuito RLC paralelo híbrido.



Considere o circuito RLC em paralelo da Figura 18. Sua admitância equivalente vale

$$\dot{Y}(j\omega) = \frac{1}{R} + jB_C + \frac{1}{R_S + jX_L} \quad (38)$$

Multiplicando, ambos, o numerador e o denominador do termo à direita da Equação 38 pelo complexo conjugado de seu denominador, resulta

$$\dot{Y}(j\omega) = \frac{1}{R} + jB_C + \frac{R_S - jX_L}{R_S^2 + X_L^2} \quad (39)$$

Decompondo a Equação 39 em suas partes real e imaginária, obtém-se

$$\dot{Y}(j\omega) = \frac{1}{R} + \frac{R_S}{R_S^2 + (\omega L)^2} + j \left(\omega C - \frac{\omega L}{R_S^2 + (\omega L)^2} \right) \quad (40)$$

Na ressonância, $\omega = \omega_0$ e $jB = 0$. Assim, a partir da Equação 40 resulta:

$$\omega_0 C = \frac{\omega_0 L}{R_S^2 + (\omega_0 L)^2} \quad (41)$$

Simplificando e prosseguindo,

$$R_S^2 + \omega_0^2 L^2 = \frac{L}{C} \quad (42)$$

Isolando-se ω_0^2 em (42), resulta

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R_S^2}{L^2}$$

Após mais algumas manipulações, obtém-se

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R_S^2}{Z_0^2}} \quad (\text{rad/s}) \quad (43)$$

onde

$$Z_0 = \sqrt{L/C} \quad (44)$$

A partir Equação 40, obtém a condutância na ressonância, ou seja,

$$\dot{G}(j\omega_0) = \frac{1}{R} + \frac{R_S}{R_S^2 + (\omega_0 L)^2} \quad (45)$$

Substituindo a Equação 42 na Equação 45, resulta:

$$\dot{G}(j\omega_0) = \frac{1}{R} + \frac{R_S C}{L} \quad (46)$$

Em $\omega = \omega_0$ a admitância de entrada de um circuito ressonante paralelo será próxima ao seu valor mínimo, mas não exatamente seu valor mínimo devido à dependência da frequência de \dot{G} . A frequência ω_m na qual ocorre a admitância mínima, portanto, a máxima amplitude da tensão, é um pouco maior que ω_0 , como pode ser demonstrado. A frequência ω_m , então, pode ser determinada igualando a zero a derivada da magnitude da admitância do circuito. A magnitude da admitância do circuito obtida a partir da Equação 40 vale:

$$|\dot{Y}(j\omega)| = \sqrt{\left(\frac{1}{R} + \frac{R_S}{R_S^2 + (\omega L)^2}\right)^2 + \left(\omega C - \frac{\omega L}{R_S^2 + (\omega L)^2}\right)^2} \quad (47)$$

Derivando a Equação 47, resulta:

$$\frac{d|\dot{Y}(j\omega)|}{d\omega} = \frac{\left(\frac{2L^3\omega^2}{(L^2\omega^2 + R_S^2)^2} - \frac{L}{L^2\omega^2 + R_S^2} + C\right)\left(C\omega - \frac{L\omega}{L^2\omega^2 + R_S^2}\right) - \frac{2L^2R\omega\left(\frac{R_S}{L^2\omega^2 + R_S^2} + \frac{1}{R}\right)}{(L^2\omega^2 + R_S^2)^2}}{\sqrt{\left(C\omega - \frac{L\omega}{L^2\omega^2 + R_S^2}\right)^2 + \left(\frac{R_S}{L^2\omega^2 + R_S^2} + \frac{1}{R}\right)^2}}$$

O Módulo da admitância será mínimo quando o numerador da expressão acima for zero. Nesse caso, $\omega = \omega_m$. Assim,

$$\left(\frac{2L^3\omega_m^2}{(L^2\omega_m^2 + R_S^2)^2} - \frac{L}{L^2\omega_m^2 + R_S^2} + C\right)\left(C\omega_m - \frac{L\omega_m}{L^2\omega_m^2 + R_S^2}\right) - \frac{2L^2R\omega_m\left(\frac{R_S}{L^2\omega_m^2 + R_S^2} + \frac{1}{R}\right)}{(L^2\omega_m^2 + R_S^2)^2} = 0$$

Expressão que pode ser simplificada, resultando em:

$$L^4 C^2 \omega_m^4 + 2L^2 C^2 R_S^2 \omega_m^2 + \left(C^2 R_S^4 - 2LCR_S - 2\frac{1}{R}L^2 R_S - L^2\right) = 0 \quad (48)$$

Substituindo ω_m^2 por y na Equação 48, obtém-se a equação de 2º grau

$$L^4 C^2 y^2 + 2L^2 C^2 R_S^2 y + \left(C^2 R_S^4 - 2LCR_S^2 - 2\frac{1}{R}L^2 R_S - L^2 \right) = 0$$

Cujo a solução, considerando apenas o valor positivo é

$$y = -\left(\frac{R_S}{L}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{R_S}{L}\right)^4 - \frac{\left(C^2 R_S^4 - 2LCR_S^2 - 2\frac{1}{R}L^2 R_S - L^2\right)}{L^4 C^2}} \quad (49)$$

Com $\omega_m = \sqrt{y}$, a Equação 49 torna-se:

$$\omega_m = \sqrt{-\left(\frac{R_S}{L}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{R_S}{L}\right)^4 - \frac{\left(C^2 R_S^4 - 2LCR_S^2 - 2\frac{1}{R}L^2 R_S - L^2\right)}{L^4 C^2}}} \quad (50)$$

Após algumas manipulações algébricas da Equação 50, obtém-se

$$\omega_m = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\left(\sqrt{2\left(\frac{R_S}{Z_0}\right)^2 + 2\frac{1}{R}R_S + 1 - \left(\frac{R_S}{Z_0}\right)^2} \right)} \quad (rad/s) \quad (51)$$

que representa a frequência onde a amplitude da tensão \dot{V} do circuito RLC paralelo da Figura 18 atinge seu valor máximo.

O fator de qualidade do circuito paralelo é a razão entre a susceptância capacitiva e a admitância do circuito em ω_0 (Equação 46). Assim, para o circuito da Figura 18:

$$Q = \frac{\omega_0 C}{\frac{1}{R} + \frac{R_S}{L}} \quad (52)$$

ou

$$Q = \frac{\omega_0}{\frac{1}{RC} + \frac{R_S}{L}} \quad (53)$$

Substituindo $\tau_P = RC$ e $\tau_S = L / R_S$ na Equação 53 resulta

$$Q = \frac{\omega_0}{\frac{1}{\tau_P} + \frac{1}{\tau_S}} \quad (54)$$

O denominador da Equação 54 representa a largura de banda do circuito ressonante híbrido da Figura 18, ou seja,

$$B = \frac{1}{\tau_P} + \frac{1}{\tau_S} \quad (55)$$

Por último, inspecionando a Equação 43, verifica-se que, para o circuito da Figura 18 apresentar uma frequência de ressonância, é necessário satisfazer a seguinte condição:

$$R_S < Z_0 \quad (56)$$

5 EXPERIMENTAÇÃO E SIMULAÇÃO DE UM CIRCUITO RESSONANTE HÍBRIDO

Com o objetivo de confirmar a análise feita na seção precedente, serão realizadas a simulação e testes em laboratório do circuito da Figura 18 utilizando $R = 990 \Omega$, $R_S = 32 \Omega$, $L = 10,08 \text{ mH}$ e $C = 4,62 \mu\text{F}$, cujos valores são os valores medidos dos componentes que serão utilizados nos testes de laboratório.

Empregando a Equação 44, calcula-se a impedância natural do circuito:

$$Z_0 = \sqrt{L/C} = \sqrt{10,08 \times 10^{-3} / 4,62 \times 10^{-6}} = 46,71 \Omega$$

valor que satisfaz a condição estabelecida por (56) para ocorrência da ressonância.

Substituindo o valor acima e os valores de R_S , L e C nas Equações 43 e 51 e dividindo por 2π , obtém-se, respectivamente, as frequências de ressonância e de máxima amplitude da tensão \dot{V} da configuração:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{10,08 \times 10^{-3} \cdot 4,62 \times 10^{-6}}} \cdot \sqrt{1 - \frac{32^2}{46,71^2}} = 737,51 \cdot 0,7285 = 537,25 \text{ Hz}$$

$$\omega_m = 737,51 \sqrt{2 \cdot \frac{32^2}{46,71^2} + 2 \cdot \frac{32}{990} + 1 - \frac{32^2}{46,71^2}} = 717,34 \text{ Hz}$$

onde 737,51 Hz seria a frequência de ressonância caso $R_S = 0$, ou seja, a frequência de ressonância do circuito RLC paralelo clássica.

Considerando-se uma fonte de corrente convenientemente escolhida de 1 A, a amplitude das tensões na ressonância, na frequência de máxima amplitude $f_m = 717,34 \text{ Hz}$ e nas frequências arbitrariamente escolhidas de $f_1 = 200 \text{ Hz}$, $f_2 = 1.000 \text{ Hz}$ e $f_3 = 2.000 \text{ Hz}$ serão calculadas utilizando o recíproco da admitância, ou seja, $|\dot{V}| = 1/|\dot{Y}|$. Assim, utilizando o recíproco da Equação 46, obtém:

$$|\dot{V}(j\omega_0)| = \left(\frac{1}{R} + \frac{R_S C}{L}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{990} + \frac{32 \cdot 4,62 \times 10^{-6}}{10,08 \times 10^{-3}}\right)^{-1} = 63,79 \text{ V}$$

Utilizando o recíproco da Equação 47 em f_1 , obtém-se:

$$|\dot{V}(j2\pi f_1)| = \sqrt{\left(\frac{1}{990} + \frac{32}{32^2 + (12,67)^2}\right)^2 + \left(5,806 \times 10^{-3} - \frac{12,67}{32^2 + (12,67)^2}\right)^2}^{-1}$$

$$|\dot{V}(j2\pi f_1)| = \sqrt{(0,0280269)^2 + (-0,0048887)^2}^{-1} = 31,15 \text{ V}$$

Substituindo os valores de f_m , f_2 e f_3 na mesma equação, chega-se, respectivamente, em

$$|\dot{V}(j2\pi f_m)| = 77,46 \text{ V}$$

$$|\dot{V}(j2\pi f_2)| = 55,48 \text{ V}$$

$$|\dot{V}(j2\pi f_3)| = 19,72 \text{ V}$$

Por sua vez, a fase da tensão \dot{V} na frequência f_1 pode ser obtida multiplicando-se a fase de \dot{Y} por (-1), ou seja,

$$\phi_V(j2\pi f_1) = -\text{arc tg} \left(\frac{\omega C - \frac{\omega L}{R_S^2 + (\omega L)^2}}{\frac{1}{R} + \frac{R_S}{R_S^2 + (\omega L)^2}} \right) = -\text{arc tg} \left(\frac{-0,0048887}{0,0280269} \right) = 9,9^\circ$$

Utilizando procedimento similar para as frequências f_m , f_2 e f_3 , obtém-se, respectivamente,

$$\phi_V(j2\pi f_m) = -28,3^\circ$$

$$\phi_V(j2\pi f_2) = -65,9^\circ$$

$$\phi_V(j2\pi f_3) = -86,7^\circ$$

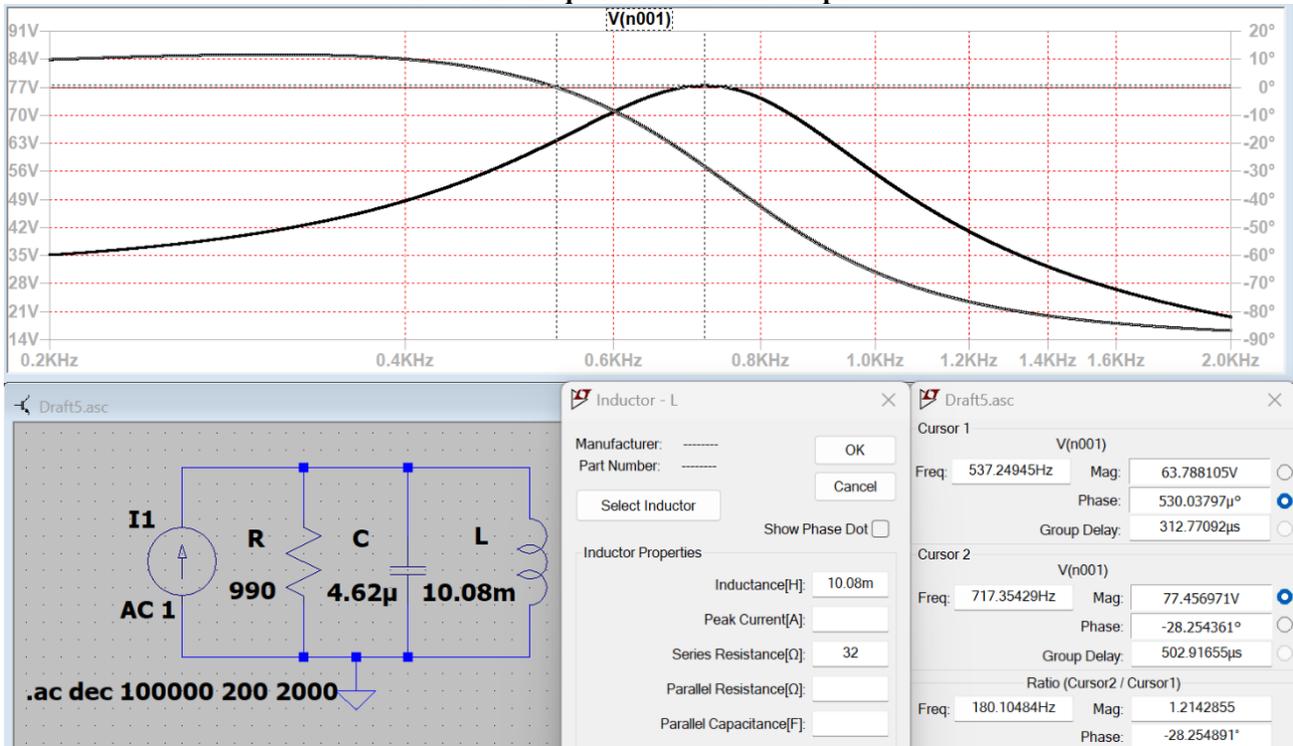
Para facilitar a comparação com resultados de simulação, reuniu-se os valores calculados na Tabela 5. Verifica-se que os valores calculados são confirmados pela simulação utilizando o software LTspice⁵. O circuito simulado, a resposta em frequência da tensão \dot{V} sobre circuito ressonante e as leituras dos cursores realizadas próximos à frequência de ressonância e de máxima amplitude são mostradas na Figura 19. A conformidade dos valores teóricos da Tabela 5 com os resultados da simulação validam a análise quantitativa apresentada para o circuito RLC paralelo híbrido da Figura 18. Chama-se a atenção que, no circuito paralelo RLC ideal, a ressonância e a máxima amplitude da tensão \dot{V} , cujo valor seria de 99 V, ocorreriam em 731,5 Hz, resultados obtidos pelo emprego das Equações 21 e 23.

⁵ LTspice[®] é um software simulador SPICE gratuito disponibilizado pela Analog Devices, multinacional norte americana que projeta, fabrica e comercializa circuitos integrados.

Tabela 5 – Alguns valores de tensão e frequência para o circuito ressonante da Figura 18.

Grandeza Física	Valor
Frequência de ressonância	537,25 Hz
Frequência de máxima amplitude da tensão	717,34 Hz
Amplitude da tensão sobre o circuito na ressonância	63,79 V
Amplitude máxima da tensão sobre o circuito	77,46 V
Amplitude da tensão sobre o circuito em 200 Hz	35,15 V
Fase da tensão em 200 Hz	9,9°
Amplitude da tensão sobre o circuito em 1 kHz	55,48 V
Fase da tensão em 1 kHz	-65,9°
Amplitude da tensão sobre o circuito em 2 kHz	19,72 V
Fase da tensão em 2 kHz	-86,7°

Figura 19 – Simulação do circuito da Figura 18 e a resposta em frequência da tensão \dot{V} sobre o circuito, onde o cursor 1 está posicionado na frequência de ressonância e o cursor 2 na frequência de máxima amplitude.



Em laboratório foi ensaiado o circuito da Figura 20 utilizando uma fonte de tensão no lugar da fonte de corrente e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6. Para comparar a resposta em frequência obtida por simulação com a resposta em frequência experimental e teórica, o ganho de tensão foi transformado em impedância de transferência multiplicando-se a coluna 4 por 990.

Figura 20 – Simulação do circuito da Figura 18 e a resposta em frequência da tensão \dot{V} sobre o circuito, onde o cursor 1 está posicionado na frequência de ressonância e o cursor 2 na frequência de máxima amplitude.

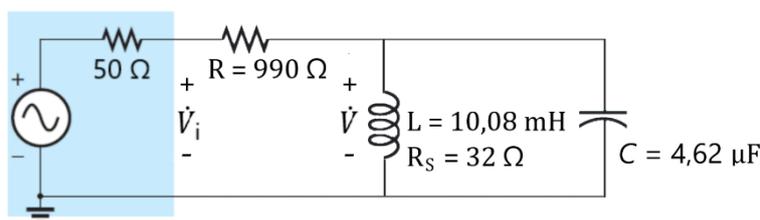


Tabela 6 – Resultados obtidos a partir do ensaio do circuito da Figura 19.

Frequência (Hz)	Tensão de Entrada V_i (V)	Tensão V sobre o circuito (mV)	Ganho $ \dot{H}(j\omega) \cdot 10^{-3}$	Ganho $ \dot{H}(j\omega) \cdot 10^{-3}$	Fase (°)
100	4,84	168	34,71	34,36	7,2
200	4,84	184	38,02	37,64	10,0
300	4,84	212	43,80	43,36	12,0
400	4,84	251	51,86	51,34	10,0
500	4,84	305	63,02	62,39	2,9
525	4,84	319	65,91	65,25	0,0
600	4,84	358	73,97	73,23	-9,0
650	4,84	378	78,10	77,32	-18,0
700	4,84	382	78,93	78,14	-26,0
720	4,84	384	79,34	78,55	-31,0
750	4,84	378	78,10	77,32	-35,0
800	4,84	362	74,80	74,05	-43,0
900	4,84	314	64,88	64,23	-56,0
1000	4,84	270	55,79	55,22	-63,0
1100	4,84	230	47,52	47,05	-69,0
1200	4,84	202	41,74	41,32	-72,0
1400	4,84	162	33,47	33,14	-76,0
1600	4,84	129	26,65	26,39	-78,0
1800	4,84	110	22,73	22,50	-79,0
2000	4,84	96	19,84	19,64	-80,0

Na Tabela 7, apresenta-se o desvio relativo percentual em valor absoluto entre os valores teóricos apresentados na Tabela 5 e os experimentais correspondentes. As diferenças observadas podem ser atribuídas à dificuldade de medir, com o equipamento utilizado, a fase da tensão para valores abaixo de 200 mV e aos fatores já listados na primeira parte deste artigo, tais como a dificuldade de realizar uma medida precisa do indutor e outros inerentes aos modelos adotados dos componentes passivos (Villaça, 2003, p. 22). Contudo, é importante salientar que, para alguns valores, o desvio foi menor ou igual a 1,0%.

Tabela 7 – Desvio relativo entre os valores teóricos e os experimentais.

Grandeza Física	Valor (%)
Frequência de ressonância	2,3
Frequência de máxima amplitude da tensão	0,4
Amplitude da tensão sobre o circuito na ressonância	2,3
Amplitude máxima da tensão sobre o circuito	1,4
Amplitude da tensão sobre o circuito em 200 Hz	7,1
Fase da tensão em 200 Hz	1,0
Amplitude da tensão sobre o circuito em 1 kHz	0,5
Fase da tensão em 1 kHz	4,4
Amplitude da tensão sobre o circuito em 2 kHz	0,4
Fase da tensão em 2 kHz	7,7

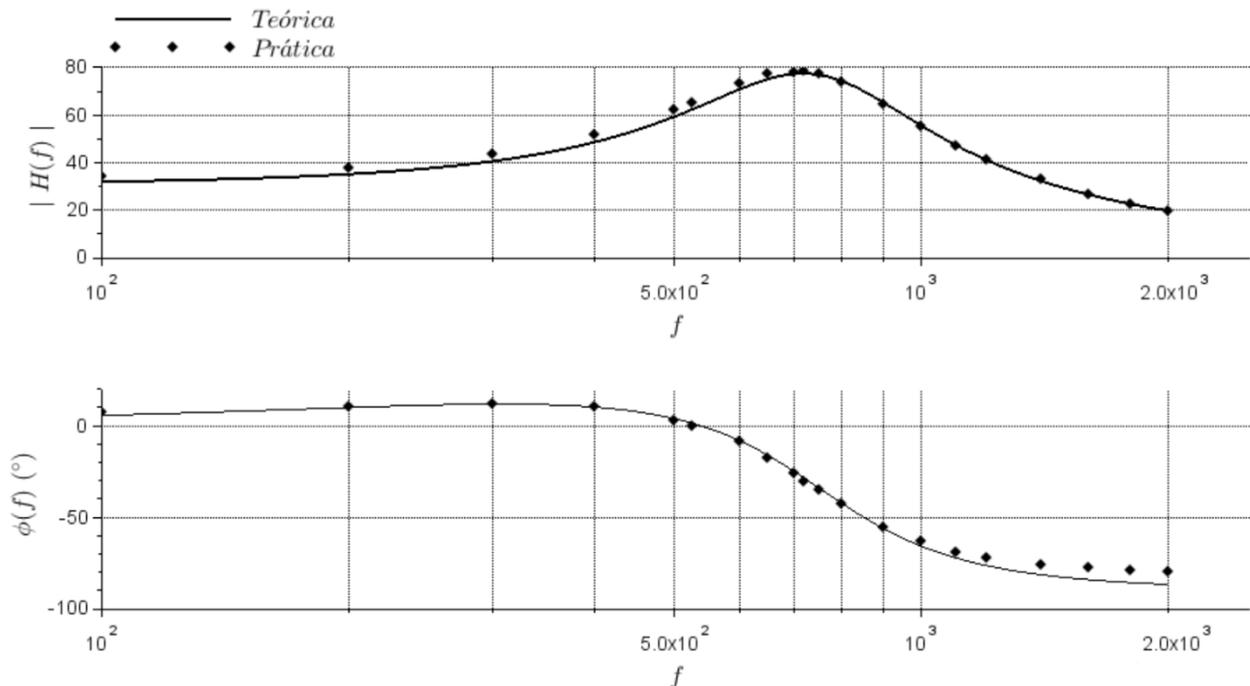
Utilizando o *script* Scilab⁶ do Quadro 1, foram traçadas e apresentadas na Figura 21, as respostas em frequência teórica e experimental (ganho e fase em graus versus frequência) da tensão \dot{V} , cujo a conformidade válida, mais uma vez, a análise teórica.

⁶ Criado por pesquisadores do INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique) e do ENPC (École Nationale des Ponts et Chaussées) e disponível como software gratuito e de código aberto desde 1994, o Scilab[®] é destinado a engenheiros e cientistas. Atualmente, é desenvolvido pela Dassault Systèmes.

Quadro 1 – Script Scilab® elaborado para traçar as respostas em frequência teórica e experimental do circuito da Figura 20.

```
f = 100:0.01:2000;
w = 2*pi*f;
R = 990;
L = 10.08d-3;
C = 4.62d-6;
RS = 32;
Y = 1/R + %i*w*C + 1./(RS + %i*w*L);
H = 1./Y;
subplot(211);
plot2d(f, abs(H), logflag = "ln");
xgrid;
fp = [100:100:500 525 600 650 700 720 750 800:100:1100 1200:200:2000];
G = 990 * [168 184 212 251 305 319 358 378 382 384 378 362 314 270 230 202 162 129 110
96] / 4840;
plot2d(fp, G, logflag = "ln", -4);
xlabel("\scalebox{1.8}{f}");
ylabel("\scalebox{1.8}{| H(f) |}");
a = get("current_axes");
a.labels_font_size = 3;
a.data_bounds = [100, 0; 2000, 80];
poly1 = a.children.children;
poly1.thickness = 2;
legend(['Teórica'; 'Prática'], pos = -5, boxed = %f);
gce().font_size = 4;
subplot(212);
plot2d(f, atand(imag(H), real(H)), logflag = "ln");
xgrid;
phi = [7.2 10 12 10 2.9 0 -9 -18 -26 -31 -35 -43 -56 -63 -69 -72 -76 -78 -79 -80];
plot2d(fp, phi, logflag = "ln", -4);
xlabel("\scalebox{1.8}{f}");
ylabel("\scalebox{1.8}{\phi (f) \ (\text{\circ})}");
a = get("current_axes");
a.data_bounds = [100, -100; 2000, 20];
a.labels_font_size = 3;
```

Figura 21 – Respostas em frequência teórica e experimental do circuito da Figura 20.



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ressonância, um fenômeno físico importante que pode ocorrer em circuitos eletroeletrônicos, apresenta muitas possibilidades de aplicação, ao mesmo tempo que apresenta riscos potenciais aos circuitos que os profissionais da área devem compreender. Uma aplicação apresentada nesse artigo é o seu emprego no carregamento sem fio de dispositivos eletrônicos, incluindo carros elétricos. O carregamento sem fio passou a ser uma possibilidade quando, em 1831, Faraday demonstrou que a energia eletromagnética poderia ser transmitida através do espaço. No final do século XIX, baseado nos estudos de Faraday e de outros cientistas, Nikola Tesla conduziu experimentos sobre transmissão de energia sem fio e propôs um sistema global de transmissão sem fio de eletricidade. Entretanto, um obstáculo fundamental para concretizar essa visão ambiciosa sempre foi a ineficiência da transferência de energia a longas distâncias.

Transcorridos mais de cem anos, mais exatamente em 2007, um grupo de pesquisadores do MIT transmitiu energia sem fio para uma lâmpada de 60 watts com eficiência de 40%. O sistema do MIT emprega basicamente a mesma tecnologia proposta por Tesla, ou seja, transfere energia entre duas bobinas operando na mesma frequência ressonante. As bobinas podem ser fracamente acopladas, mas exigem um alto fator de qualidade Q para a transferência de energia ser mantida ao longo de vários centímetros.

As características de impedância de resistores, capacitores e indutores apresentadas nos livros de circuitos elétricos são inadequadas para altas frequências, devendo ser aperfeiçoadas para representar mais fidedignamente o comportamento desses componentes nos circuitos ressonantes. Quando um resistor, um capacitor ou um indutor é usado em aplicações de alta frequência, ele pode causar uma ressonância não intencional em uma determinada frequência devido aos componentes parasitas que o constituem e que foram aqui discutidos.

Nesse trabalho, avaliou-se o impacto da resistência dos enrolamentos do indutor na condição de ressonância de um circuito RLC paralelo clássico, apresentando um estudo teórico que foi validado por simulação e em ensaio de laboratório.

Agradecimentos

O autor agradece ao colega Fernando Luiz Rosa Mussoi pela cuidadosa revisão do texto e suas valiosas contribuições.

REFERÊNCIAS

BBC. **Wireless energy promise powers up**. Disponível em: <<http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/6725955.stm>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

BRENNER, P. Tesla against Marconi: The dispute for the radio patent paternity. **IEEE EUROCON 2009**, St. Petersburg, Russia, 2009, pp. 1035-1042.

BURNETT, Richard. **Tesla coil operation**. Disponível em: <<http://www.richieburnett.co.uk/tesla.shtml>>. Acesso em: 3 mar. 2024.

COILCRAFT. **Measuring self resonant frequency**. Disponível em: <https://www.coilcraft.com/getmedia/8ef1bd18-d092-40e8-a3c8-929bec6adfc9/doc363_measuringsrf.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2024.

CUNNINGHAM, Elmer T. e HALLER George F. **The Tesla high frequency coil: its construction and uses**. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2010.

HUYS, Nick. **Tesla: master of lightning**. Nicky Huys, 2024. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=X1XpEAAAQBAJ>>. Acesso em: 4 mar. 2024.

JOSEPH, Peter K. e ELANGOVA, D. A review on renewable energy powered wireless power transmission techniques for light electric vehicle charging applications. **Journal of Energy Storage**, v. 16, 2018, p 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.est.2017.12.019>.

KNIGHT, D. **The self-resonance and self- capacitance of solenoid coils: applicable theory, models and calculation methods**. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1472.0887>>.

MIT. **Wireless power**. Disponível em: <<https://betterworld.mit.edu/wireless-power>>. Acesso em: 20 mar. 2024a.

MIT. **Making a wire-free future**. Disponível em: <<https://news.mit.edu/2014/making-wire-free-future-0710>>. Acesso em: 20 mar. 2024b.

MUSEUM OF DISCOVERY. **See world’s largest Tesla coil shoot 60-foot bolts of lightning at “Shock the rock”**. Disponível em: <<https://museumofdiscovery.org/see-worlds-largest-tesla-coil-shoot-60-foot-bolts-of-lightning-at-shock-the-rock>>. Acesso em: 4 mar. 2024.

PBS. **The Tesla Coil**. Disponível em: <https://www.pbs.org/tesla/ins/lab_tescoil.html>. Acesso em: 6 mar. 2024.

SARKAR, T.K.; MAILLOUX, R.; OLINER, A.A.; SALAZER-PALMA, M.; SENGUPTA, D.L. **History of Wireless**. Wiley, 2006.

SCIENCE HISTORY INSTITUTE. **Geissler tube**. Photograph, 2021. Disponível em: <<https://digital.sciencehistory.org/works/pty356d>>. Acesso em 4 mar. 2024.

SOLEYMAN, Sean. **Solid state Tesla coils and their uses**. Relatório técnico. University of California, Berkeley, 2012. Disponível em: <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2012/>. Acesso em: 4 mar. 2024.

TESLA, Nikola. Experiments with Alternate Currents of Very High Frequency and their Application to Methods of Artificial Illumination. **Transactions of the American Institute of Electrical Engineers**, v. 8, n. 1, pp. 266-319, mai. 1891a. doi: 10.1109/T-AIEE.1891.5570149.

TESLA, Nikola. **System of electric lighting**. Depositante: Nikola Tesla. Procuradores: Duncan, Curts & Page. US n. 454622. Depósito: 25 abr. 1891. Concessão: 23 jun. 1891b.

TESLA, Nikola. **System of transmission of electrical energy**. Depositante: Nikola Tesla. Procuradores: Duncan, Curts & Page. US n° 645576. Depósito: 2 set. 1897. Concessão: 20 mar. 1900.

TESLA, Nikola. The Future of the Wireless Art. In: **MASSIE, Walter W. e UNDERHILL, Charles R. Wireless telegraphy and telephony**. New York: D. Van Nostrand, 1908. p. 67-71.

TESLA MEMORIAL SOCIETY OF NEW YORK. **Tesla's Achievements and Recognitions (Part 3)**. Disponível em: <https://www.teslasociety.com/tesla_achievements3.htm>. Acesso em: 21 jun. 2024.

TESLA SCIENCE CENTER AT WARDENCLYFFE. **Tower dismantled**. Disponível em: <<https://teslasciencecenter.org/pivotalmoments/tower-dismantled>>. Acesso em: 4 mar. 2024.

TEXAS INSTRUMENTS. **Waveform audit: is your inductor saturated?** Disponível em: <<https://www.ti.com/document-viewer/lit/html/SSZTAV7>>. Acesso em: 6 mar. 2024.

VILLAÇA, Marco. Ressonância uma revisão contextualizada - primeira parte. **Revista Ilha Digital**, Florianópolis, v. 8, p. 5–25, 2023. Disponível em: <<https://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br/index.php/ilhadigital/article/view/172>>. Acesso em: 4 mar. 2024.

VISHAY INTERTECHNOLOGY. **Frequency response of thin film chip resistors**. Disponível em: <<https://www.vishay.com/docs/49427/vse-tn00.pdf>>. Acesso em: 6 mar. 2024.

WÜRTH ELEKTRONIK. **Folha de dados do componente 7447221103**. Disponível em: <https://www.w-online.com/en/components/products/WE-TI_2>. Acesso em: 31 out. 2023.



ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E BOAS PRÁTICAS DE DESENVOLVIMENTO EM PRODUTO ELETRÔNICO

Henrique de Souza Goldani¹, Luis Carlos Martinhago Schlichting²

Resumo: Este artigo apresenta a análise e o desenvolvimento de produto eletrônico tendo como base de aplicação um produto voltado para a área de portaria eletrônica. No decorrer do artigo é realizado um estudo de mercado de portaria eletrônica no Brasil, apresentando o diferencial do produto proposto em relação a maioria das soluções convencionais. A partir disto, o projeto é separado em duas etapas de desenvolvimento, inicialmente o artigo apresenta o protótipo de hardware e mecânica do produto, neste momento são analisadas algumas das boas práticas de desenvolvimento voltadas principalmente para as questões de compatibilidade eletromagnética e possíveis melhorias que foram aplicadas posteriormente. Por fim, é realizada a abordagem das etapas de testes e gravação do produto, processo de certificação e as normas a qual o mesmo deverá ser submetido.

Palavras-chave: Porteiro eletrônico. Projeto de produto. Boas práticas. Compatibilidade Eletromagnética.

Abstract: This article presents the analysis and development of an electronic product based on a product focused on the intercom device area. Throughout the article a study of the market of intercom device in Brazil is carried out, presenting the differential of the proposed product in relation to most conventional solutions. The project is separated into two stages of development, initially the article presents the prototype of hardware and mechanics of the product, at this moment some of the good development practices are analyzed, mainly focused on the issues of electromagnetic compatibility and possible improvements that were applied later. Finally, the testing and recording stages of the product, certification process and the standards to which it must be submitted are approached.

Keywords: Intercom device; Product project. Good practices. Electromagnetic Compatibility.

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <henriquegoldani@gmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <schlicht@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia visa simplificar o modo de vida dos seres, sendo assim, cada vez mais são gerados novos equipamentos que se tornam essenciais no cotidiano. Levando em consideração a contribuição da evolução tecnológica para facilitar a vida das pessoas, é interessante que produtos eletrônicos venham a contribuir para simplificar o modo de acesso a locais e tragam segurança aos usuários ao utilizarem sistemas de portaria eletrônica.

Relacionada a esta evolução, observa-se o mercado de portaria eletrônica no qual os sistemas tecnológicos, cada vez mais automatizados, vêm ocupando o espaço dos tradicionais porteiros convencionais. Sistemas de portaria que atrelam tecnologia, praticidade e segurança já são realidade no Brasil e devem crescer de forma significativa nos próximos anos. Porém, além dos receios dos usuários com as questões de segurança, um dos empecilhos encontrados no momento de mudança de arquitetura para estes novos dispositivos são as dificuldades de instalação. A interligação de muitos fios para levar cabos de um porteiro eletrônico até uma central que realiza o processamento dos dados se torna uma barreira para locais adotarem este modelo de portaria.

Sob esta premissa, nota-se a necessidade e a possibilidade do emprego de tecnologia para aplicação em determinados nichos de sistemas de portaria com controle de acesso. Um sistema seguro e prático que não exija mudanças drásticas em infraestrutura e arquiteturas prediais é interessante de ser analisado.

O trabalho proposto analisa as principais técnicas utilizadas durante o desenvolvimento de produto voltado para área de portaria eletrônica. As boas práticas durante a execução de projeto, desde a escolha dos componentes eletrônicos até o desenvolvimento do *layout* da placa de circuito impresso (PCI), contribuem muito para que este atenda a requisitos técnicos, respeite normas vigentes e tenha bom desempenho em campo.

2 O MERCADO

Conforme pesquisas apresentadas pelo Jornal do Comércio (2019), cumprimentar o porteiro na entrada de prédios e condomínios é um costume que deverá cair bastante no ano de 2020, esta medida não se dá por falta de educação dos cidadãos, mas sim por uma estimativa de crescimento significativo de 30% no mercado de portaria remota.

Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Sistemas Eletrônicos de Segurança (ABESE, 2020a), condomínios buscam a solução de portarias remotas para encontrar principalmente mais segurança, respaldo e equilíbrio do orçamento, uma vez que com a portaria remota não há necessidade de pessoas para trabalharem especificamente como porteiros. O estudo ainda é complementado com a análise dos profissionais de portaria que temem ficar sem emprego, a pesquisa mostra que 34,5% das empresas que atuam com portaria remota no Brasil já realizam a requalificação destes profissionais. Conforme o estudo, os profissionais podem passar a atuar em outros ramos como em áreas de atendimento, assistentes de manutenção, operadores remotos, ou até mesmo para compor portarias híbridas monitorando câmeras em condomínios.

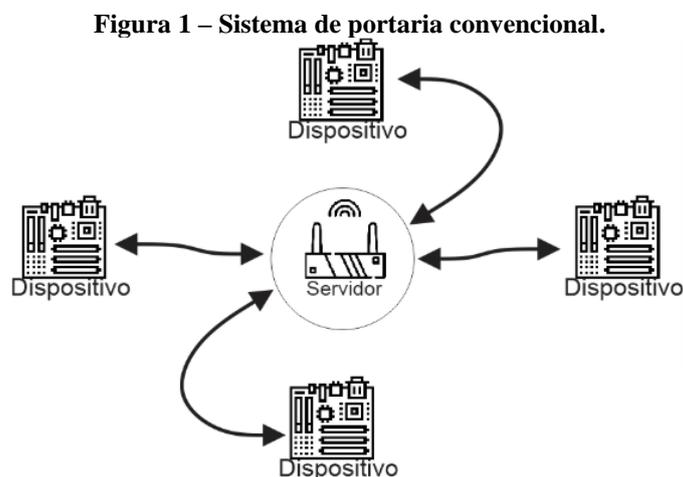
A ABESE complementa que a maior parte das empresas que desenvolvem produtos eletrônicos e soluções para sistemas de portarias remotas no Brasil estão centralizados nas regiões Sul e Sudeste, sendo que em São Paulo está concentrada a maior parte das empresas resultando em 43,5%, seguido do Paraná (13%) e Rio Grande do Sul (9,2%). Conforme dados apresentados, o faturamento total gerado por empresas que atuam com o desenvolvimento de soluções de segurança eletrônica no Brasil girou em torno de R\$ 7,17 bilhões no ano de 2019 (ABESE, 2020b).

Por mais que sistemas de portaria remota sejam muitas vezes considerados novidade no mercado, a grande maioria das empresas que atuam com este tipo de solução dizem trabalhar há mais de 10 anos no setor de segurança. Logo, a tendência do mercado está voltada para o desenvolvimento de produtos neste segmento e as empresas que não se adequarem poderão sofrer consequências por isto.

3 SOLUÇÃO PROPOSTA

Quando um porteiro eletrônico realiza tarefas como; lançar dados na nuvem ou num servidor, analisar informações de usuários habilitados no sistema, prover *logs* para administradores e, por fim, conceder a abertura de porta ou não, surgem além das dificuldades de instalação, custos elevados com infraestrutura e equipamentos. Portanto, além da dificuldade imposta aos operadores, estas soluções geralmente se tornam caras devido a necessidade de diversos dispositivos de *hardware* e, por vezes, alteração em construção civil.

Devido a maioria dos locais já possuírem fiação previamente cabeada e as tubulações em parte não terem sido construídas visando possíveis instalações de rede, implementar um sistema de portaria que possua muita fiação ou diversos dispositivos de hardware, acabam se tornando empecilhos no momento de se optar por uma solução de portaria remota. A Figura 1, demonstra a instalação de uma solução convencional de instalação com portarias remotas.

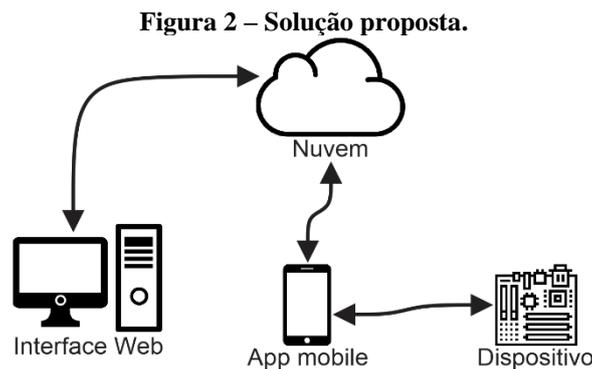


Nas instalações convencionais de portaria remota os dispositivos necessitam se comunicar via cabo (barramento físico) com central ou servidor para lançar as informações para a nuvem. A instalação destas soluções por muitas vezes acaba impactando em mudanças de infraestrutura nos locais de aplicação.

Outro fator também interessante de ser analisado nas atuais arquiteturas de portaria remota são as formas de acesso aos locais com restrições. Os sistemas em geral utilizam-se de tecnologia que não são tão seguras, pois dependem da geração e comunicação de senha de acesso e interação direta com o usuário. Tal situação cria uma grande brecha no sistema, pois permite que terceiros consigam ter acesso ao local em que há restrição sem grandes dificuldades. Atualmente três formas de autenticação dominam o mercado de dispositivos de portaria eletrônica, elas são obtidas através de algo que o usuário possui (cartões magnéticos e chaveiros RFID), algo que usuário é (reconhecimento de voz, face ou impressão digital) ou algo que o usuário sabe (senhas alfanuméricas). Cada uma destas maneiras possui suas desvantagens, pois cartões e chaveiros dependendo da tecnologia podem ser facilmente clonados e perdidos, reconhecimento do usuário requer interação direta com o dispositivo e erros no momento de leitura são recorrentes e, por fim, senhas são facilmente esquecidas e podem ser descobertas por terceiros.

Ao analisar a problemática apresentada e o crescimento de produtos neste segmento do mercado, surge a necessidade de um sistema de portaria com controle de acesso que possua segurança, que seja amigável aos usuários e com baixa complexidade de instalação. Visando o atendimento destas necessidades, este projeto busca uma solução que exija baixo custo com infraestrutura dos locais de aplicação e que o dispositivo que realiza esta interface para levar as informações para a nuvem esteja no “bolso” do usuário, facilitando a comunicação entre usuário e dispositivo e, também, a segurança das informações.

A solução proposta neste artigo é um dispositivo que realiza abertura de porta com controle de acesso, composto por quatro partes macros, sendo elas o dispositivo, o aplicativo móvel, a nuvem e a interface Web (Figura 2).



A interface Web do sistema é responsável por realizar a interação com a nuvem; nela o usuário responsável pelo supervisor do sistema fará a gestão dos dispositivos, liberando acessos, visualizando histórico de atividades e demais notificações.

O servidor em nuvem é o centro de toda a gestão do processo, nele são armazenadas informações do sistema, como; as atividades ocorridas, dispositivos logados e gerenciamento de usuários. Através do servidor serão autorizados os usuários com acesso ao local com restrição e o período que poderão acessar o dispositivo.

O aplicativo móvel tem a principal função de comunicação entre o dispositivo e a nuvem. Esta interação é dada através de comunicação sem fio *Bluetooth Low Energy* (BLE), o aplicativo utilizado no *smartphone* do usuário é responsável por registrar/atualizar o dispositivo e acionar abertura de porta, ou seja, além de realizar a comunicação direta com o dispositivo, o aplicativo móvel é responsável por enviar as informações para a nuvem.

O dispositivo por fim é o *endpoint* do sistema. Nesta solução, ele é a única peça que possui desenvolvimento de *hardware* prevista pela empresa, uma vez que a interface gráfica e o aplicativo móvel serão acessados através de equipamentos do próprio usuário. O dispositivo possui a função de comunicar-se com o aplicativo *mobile* (móvel), enviar as informações ocorridas no sistema e executar operações, seja ela a configuração do sistema ou realizar abertura de porta, por exemplo.

Ao ligar o dispositivo, para realizar a primeira conexão e cadastro de usuário, o administrador do sistema deverá estar conectado na rede de dados ou *wireless* e fazer as configurações através de aplicativo. Com o sistema configurado e instalações realizadas, ele está apto a ser utilizado.

A Figura 3 demonstra um sistema típico de aplicação onde a solução proposta pode ser utilizada. Sistemas típicos de aplicações para o produto são locais empresariais em escritórios corporativos compartilhados, ou em ambientes comuns a um grupo de pessoas como academias, por exemplo.

Figura 3 – Exemplo de aplicação da solução proposta. Adaptado de Khomp Indústria e Comércio (2020).



Por fim, a solução proposta também precisa de interação do usuário com o dispositivo e é dada através de um equipamento portado pelo usuário, porém, sem as desvantagens mencionadas anteriormente. As informações de acesso da proposta ficam armazenadas de forma segura no *smartphone* do próprio usuário, impedindo que seja copiada ou o esquecimento da mesma devido à alta dependência que as pessoas possuem de seus *smartphones*.

Devido ao foco principal deste trabalho estar ligado principalmente ao desenvolvimento técnico visando a parte de *hardware* e processos de fabricação do produto, algumas partes da solução não serão citadas neste artigo. Informações técnicas como o desenvolvimento de *software*, trocas de pacotes entre dispositivos (dispositivo, aplicativo móvel e nuvem), por exemplo, não serão abordadas pois informações desta magnitude são confidenciais.

4 DEFINIÇÕES PRELIMINARES

Para alcançar os resultados apresentados durante a proposta do produto alguns requisitos foram traçados. A seguir estão as principais características de *hardware* planejadas como requisitos de projeto.

- Acionamento por Bluetooth utilizando aplicativo móvel;
- Relé para acionamento com tempo de pulso parametrizável para diferentes tipos de fechaduras/atuadores;
- Interface para sensor de porta, possibilidade de monitoramento de arrombamento e mau funcionamento da fechadura;
- Botão capacitivo para acionamento da abertura da porta (botoeira);
- LED RGB (vermelho, verde e azul – três cores) e *buzzer* (sinal sonoro) para *feedback* (alerta) ao usuário.

Para chegar nestas definições e executá-las a equipe de projetos precisou colocar em prática as métricas de gestão de escopo, prazo e custo. De acordo com o Project Management Institute (2004), o escopo é definido como a soma dos produtos, serviços e resultados durante o projeto. Essa métrica deve ser dividida entre escopo do projeto, onde será levantado o trabalho que deve ser realizado para entregar o produto, serviço ou resultado com as características e funções específicas, e o escopo de produto, onde são definidas as características e funções que descrevem o produto.

As métricas de prazo estão ligadas ao processo de planejamento e programação das atividades do projeto com a utilização de cronograma. De acordo com Dinsmore (1992), o planejamento de prazo é a chave do sucesso em administração de projetos, pois são neles que estão evidenciados os objetivos, previsão de recursos, prevenção de dificuldades e o esboço de soluções.

As gestões de custos do projeto abrangem as métricas citadas anteriormente, nela estão os aspectos de estimativa de recursos desde a concepção da ideia até a finalização do produto. De acordo com Dinsmore (1992), a meta que se deseja atingir durante a administração de um projeto é tentar minimizar os custos e maximizar os lucros, atendendo ou excedendo as exigências do cliente. Para alcançar tais objetivos é necessário saber balancear custo, desperdício e lucro.

5 O PROJETO

O projeto foi iniciado ao definir as atividades de execução, o cronograma com as datas a serem entregues e ao se traçar as metas de custos. Devido à solução proposta ser bastante complexa, o desenvolvimento do dispositivo foi dividido em duas etapas. A primeira delas foi realizada a validação conceitual do produto, e em segundo momento, o projeto foi elaborado com intuito de realizar testes de campo.

Para validação da proposta, interação de aplicativo móvel com o dispositivo, troca de pacotes de dados e viabilidade da solução, a primeira versão de *hardware* e parte mecânica do dispositivo tiveram o prazo de entrega como a principal métrica a ser atendida. As placas de circuito impresso e gabinetes foram desenvolvidas em pequenas quantidades, buscando validar inicialmente a concepção do produto. Ao desenvolver o protótipo funcional do projeto, algumas melhorias foram identificadas, e a partir disto, mudanças foram realizadas buscando melhorar o desempenho, segurança, simplificação nos processos de reprodutibilidade, praticidade de instalação e interação com o usuário.

Tendo em vista as melhorias previstas para a segunda versão de *hardware* do produto, a análise de compatibilidade eletromagnética (CEM) foi um dos fatores verificados com atenção desde a concepção do produto. Logo, além das melhorias previstas já mencionadas, os aspectos de CEM e interferência eletromagnética também foram analisados com atenção durante todo o projeto.

5.1 Fundamentação Teórica

A interferência eletromagnética se tornou um grande problema para os projetistas de circuitos eletrônicos, o avanço de diversas tecnologias operando em frequências cada vez mais altas e com potências maiores devem agravar ainda mais estas situações.

Segundo Montrose (2000), Compatibilidade Eletromagnética é a capacidade que dispositivos, equipamentos, sistemas elétricos e eletrônicos têm de operar em um determinado ambiente eletromagnético dentro de uma margem de segurança pré-definida, com a performance para a qual foi projetado, sem sofrer ou causar níveis inaceitáveis de degradação como resultado de interferência eletromagnética.

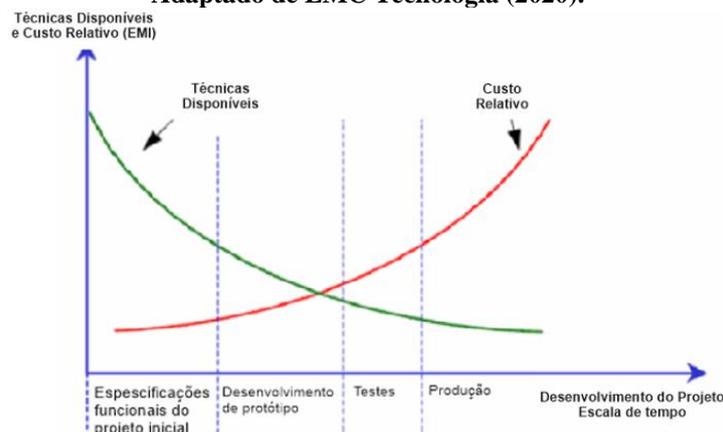
A compatibilidade eletromagnética pode ser dividida em duas categorias: **Interferência Eletromagnética** e **Susceptibilidade Eletromagnética**. Ambos os fenômenos podem ocorrer de forma conduzida ou radiada.

Segundo Montrose (2000), emissões conduzidas são “a componente da energia de rádio frequência (RF) que é transmitida através de um meio na forma de propagação de ondas, geralmente através de um fio ou cabos de interconexão” e emissões radiadas são “a componente da energia de rádio frequência (RF) que é transmitida através de um meio na forma de campo eletromagnético. A energia de RF é comumente transmitida através do espaço livre; contudo, outras formas de transmissão de campo podem ocorrer”.

Em teoria, um sistema ideal não pode causar interferência em outros sistemas, não deve ser susceptível a emissões de outros sistemas e, por fim, não pode causar interferências a si próprio. Devido a estes fatores ao projetar um circuito eletrônico é importante que cautelas sejam tomadas e técnicas sejam aplicadas visando minimizar os efeitos de interferências eletromagnéticas desde o início do projeto.

Na Figura 4, é demonstrada a relação da quantidade de técnicas disponíveis voltadas a CEM (verde) e seu custo relativo (vermelho) conforme a evolução de um projeto. Conforme apresentado no gráfico, à medida que o projeto evolui a aplicação de técnicas se tornam mais caras e a variedade de técnicas possíveis diminuem. Desta forma, quanto mais tarde as técnicas de CEM forem aplicadas, maiores serão os custos relativos com recursos, filtros e métodos para minimizar problemas de interferência eletromagnética em um projeto.

Figura 4 – Custos x Fase da aplicação de técnica de Compatibilidade Eletromagnética.
Adaptado de EMC Tecnologia (2020).



6 PROTÓTIPO DO PRODUTO

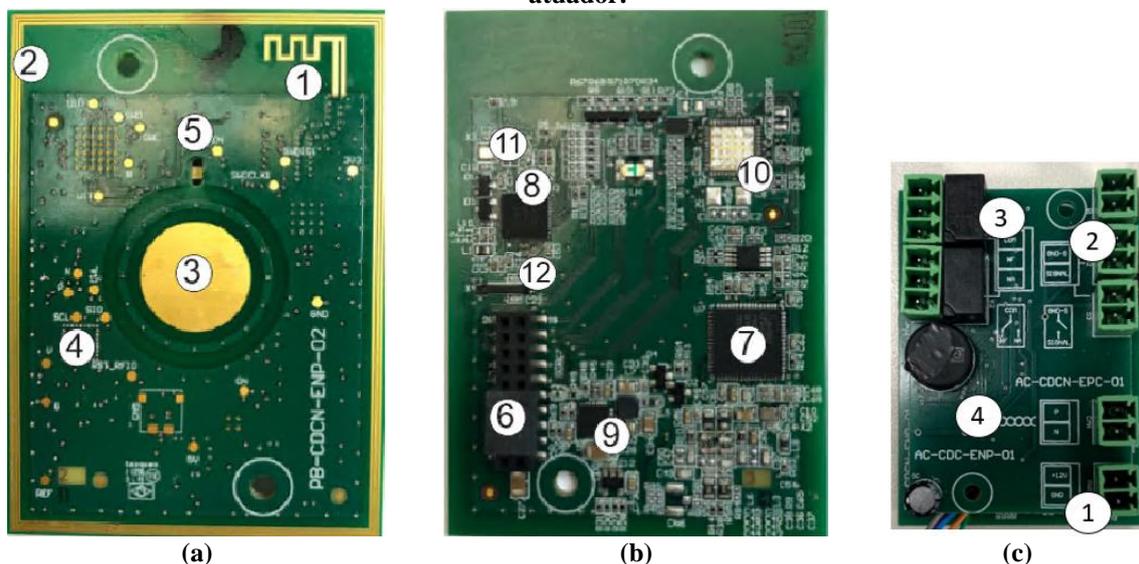
Para realizar projetos de placas de circuito impresso, além do conhecimento técnico de circuitos eletrônicos e da tecnologia que está em desenvolvimento, é essencial que projetistas possuam conhecimento sobre processos de fabricação, compatibilidade eletromagnética, parte mecânica, normas e diversos outros fatores que são fundamentais para o desenvolvimento de produtos eletrônicos. Circuitos bem projetados podem minimizar a susceptibilidade eletromagnética do produto, reduzir custos de fabricação, fazer com que os mesmos atendam a normas vigentes e, por fim, garanta a integridade do produto e usuário.

Devido a isto, nesta seção serão analisadas algumas das boas práticas que foram adotadas durante o desenvolvimento do produto eletrônico. Em seguida serão demonstradas melhorias que foram implementadas na segunda etapa do projeto.

6.1 Esquemático e Processos de Fabricação

O *hardware* do produto é composto por duas placas. A primeira placa é a CPU do sistema e possui a função global de realizar a comunicação com o dispositivo, processar os dados e enviar comandos para a segunda placa. Dentre os principais circuitos projetados na placa CPU estão as antenas traçadas na própria placa de circuito impresso, sensor capacitivo, led RGB, circuitos osciladores e demais circuitos periféricos. A Figura 5(a) e Figura 5(b) demonstram os principais itens de *hardware* distribuídos na placa na placa CPU.

Figura 5 – Placa (a) protótipo CPU – frente, (b) protótipo CPU – verso e (c) sensor e atuador.



Os números identificados na placa das Figura 5(a) e Figura 5(b) referem-se aos respectivos circuitos: (1) Antena BLE, (2) Antena RFID, (3) Sensor capacitivo, (4) Vias na placa, (5) Led RGB, (6) Conector de interface, (7) Circuito RFID, (8) Microcontrolador, (9) Conversor de tensão, (10) Memória Flash, (11) Oscilador de comunicação Bluetooth e (12) Oscilador do microcontrolador.

A placa CPU possui duas antenas projetadas na própria placa de circuito impresso, a antena (1) opera na frequência de 2,4 GHz, e é responsável pela comunicação BLE com o *smartphone*, e a antena (2) foi desenvolvida para aplicação futura de leitor de chaveiro por radiofrequência (RFID), operando na frequência de 13,56 MHz.

Ao analisar o esquemático da placa CPU, nota-se que foram utilizados apenas componentes do tipo *Surface Mount Devices* (SMD), o que ajuda a manter a integridade dos sinais, pois componentes do tipo *Through-Hole Technology* (THT) possuem terminais maiores e tendem a aumentar a susceptibilidade dos circuitos, tanto para emitir quanto para receber interferências eletromagnéticas. Outro fator benéfico para o projeto ao utilizar componentes apenas do tipo SMD estão vinculados aos processos de solda da placa, os processos de montagem são simplificados ao utilizar componentes com apenas um dos tipos de componentes (SMD ou THT). Além disto, apenas uma das faces da placa possui componentes montados, simplificando ainda mais o processo de montagem ao realizar o serviço de inserção e solda dos componentes.

A segunda placa é responsável por alimentar o sistema, na primeira versão do projeto a mesma é alimentada através de fonte externa 12 V_{CC}. A placa possui ainda um emissor sonoro (*buzzer*) com função de gerar retorno sonoro ao usuário, entrada para sensor e saída para acionamento de fechaduras/acionadores. A Figura 5(c) apresenta a primeira versão de *hardware* da placa sensor e atuador desenvolvida para o produto.

A relação dos números e a identificação dos itens que compõem a placa são as respectivas: (1) Entrada de alimentação 12 V_{CC}, (2) Sensor de porta aberta, (3) Acionador de fechadura/atuador e (4) Atuador sonoro (*buzzer*).

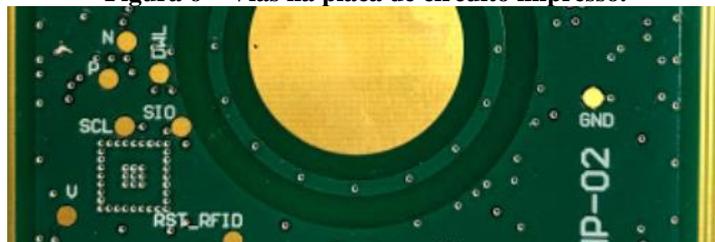
A seguir são demonstradas algumas das técnicas e métodos que foram utilizados durante o desenvolvimento do esquemático das placas de protótipo.

6.1.1 Inserção de Pontos de Testes

Um fator importante ao projetar e desenvolver produtos eletrônicos é pensar em suas etapas de testes e gravação. Além disso, a inserção de vias com pontos de tensão e sinais importantes de serem analisados contribuem para um teste robusto e facilita a forma de gravação de *firmware* de produto.

Conforme apresentado na Figura 6, os pontos de testes foram distribuídos com certa irregularidade na placa, estes pontos apresentados são locais que serão utilizados para gravação do *firmware* do produto, análise de níveis de tensão e sinal de *clock*. Desta forma, uma das melhorias analisadas do protótipo é a melhor distribuição dos pontos de testes no *layout* da placa, pois a distribuição destes pontos de testes de forma uniforme simplificaria a conexão da placa com camadas de pregos para testes e gravação do equipamento.

Figura 6 – Vias na placa de circuito impresso.

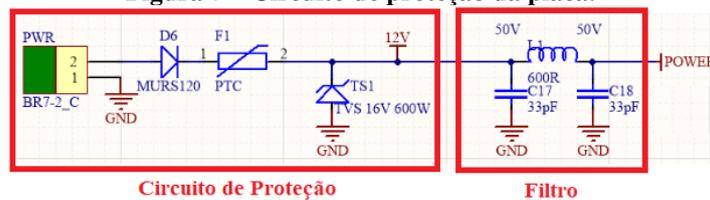


6.1.2 Proteção Contra Transientes e Surtos

A utilização de circuitos sensíveis a variação de tensão e/ou corrente exigem cuidados especiais na proteção contra transientes e surtos que podem chegar através da linha de alimentação. Desta forma, é interessante utilizar técnicas que visam proteger os componentes utilizados na placa de circuito impresso. Circuitos eletrônicos como supressores de transientes de tensão, fusíveis, capacitores de desacoplamento e diversos outros circuitos e técnicas são comumente utilizados em projetos.

A Figura 7 demonstra algumas técnicas de proteção utilizadas na entrada de alimentação do produto eletrônico. O circuito apresentado possui duas partes em destaque, o circuito de proteção e filtro passa baixa. Bem próximo à entrada de alimentação da placa foi inserido para proteger os demais circuitos utilizados no projeto. Sua composição é dada através dos respectivos componentes; um diodo, um *positive temperature coefficient* mais conhecidos como termistores cerâmicos ou PTC e um supressor de transientes de tensão – TVS (LITTLEFUSE, 2020).

Figura 7 – Circuito de proteção da placa.

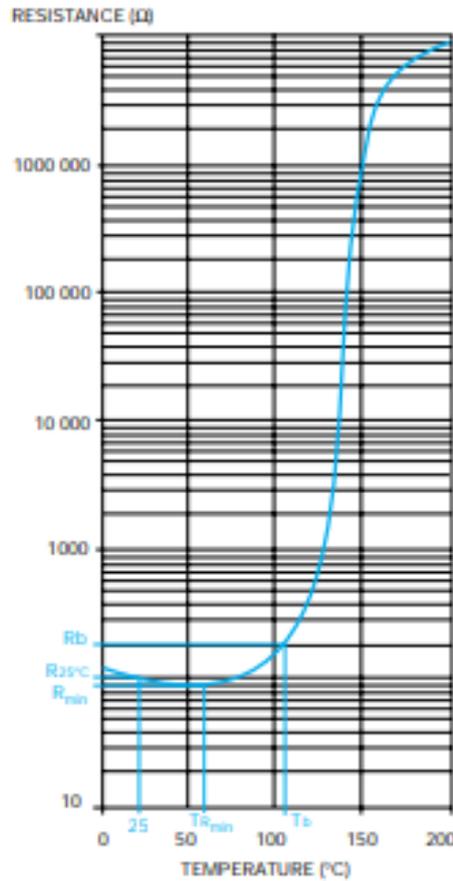


O diodo (D6) utilizado logo na entrada do dispositivo possui a finalidade de proteger o circuito eletrônico de alimentação reversa, ou seja, caso a polaridade de alimentação seja colocada de forma invertida ao ligar o produto, impedindo a circulação de corrente elétrica e evitando a possível queima de componentes.

O PTC (F1) utilizado em série ao diodo na entrada da alimentação do circuito é um resistor com coeficiente positivo de temperatura, conforme maior a variação de temperatura, maior será a resistência do componente. A utilização do PTC visa proteger o equipamento a possíveis sobrecargas, como curto-circuito ou consumo de corrente maior que o projetado. Sua função no circuito é atuar como um fusível, aumentando a resistência devido ao aumento da temperatura, desta forma uma vez que a sobrecorrente desapareça, ele volta a sua condição normal de funcionamento.

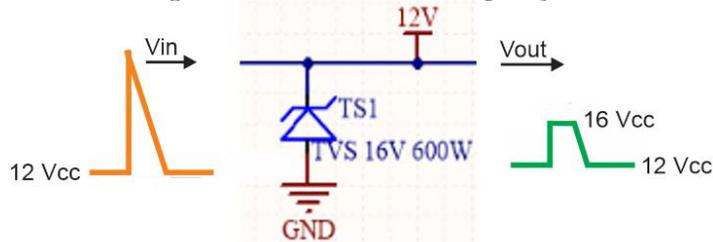
A Figura 8, demonstra que conforme a temperatura no componente é elevada, maior sua resistência para passagem de corrente elétrica. Sob esta premissa, é interessante analisar que a temperatura até aproximadamente 70 °C, o PTC atua com menor resistência, pois por padrão, os circuitos eletrônicos tendem a funcionar nesta faixa de temperatura.

Figura 8 – Curva característica de um PTC (AVX CORPORATION, 2020).



Por fim, o supressor de transientes de tensão (TS1) que possui a finalidade de evitar que surtos/pulsos de tensões vindo da rede de energia cheguem aos demais circuitos alimentados. A Figura 9 demonstra um circuito TVS em operação; ao chegar no nível de tensão de surto, no caso deste projeto, 16 volts, o TVS entra em condução evitando que estes transientes causados pela fonte de tensão sejam transmitidos para o restante dos circuitos eletrônicos.

Figura 9 – Circuito TVS em operação.



O filtro composto pelos capacitores C17, C18 e indutor L1 na entrada do circuito eletrônico possui a função de reduzir a contaminação harmônica de corrente elétrica nos demais circuitos do produto. O filtro passivo passa baixas projetado, possui a característica de eliminar as altas frequências oriundas e derivadas da fonte de tensão.

Além dos circuitos de proteção contra surtos e transientes apresentados na Figura 7 foram utilizados também no projeto capacitores de desacoplamento. Capacitores de desacoplamento são utilizados como filtros para que os transientes em alta frequência ocorridos em barramentos sejam minimizados. Estes eventos inesperados e indesejados pelo sistema são minimizados com capacitores que carregam e descarregam em uma frequência muito alta a fim de eliminar esses “ruídos para o sistema”.

Conforme descrito pela EMC Tecnologia (2020), os capacitores de desacoplamento devem suprir correntes de alta frequência, portanto devem operar em altas frequências, possuir baixa indutância e baixa resistência série equivalente. Por esta razão, os capacitores mais comuns utilizados para circuitos com esta finalidade são os capacitores cerâmicos de disco ou multicamadas. A Tabela 1 demonstra o material dos capacitores e frequências de operação.

Tabela 1 –Capacitores: Material x Frequência (EMC Tecnologia, 2020).

Tipo	Frequência de Operação Máxima
Eletrolítico de Alumínio	100 kHz
Eletrolítico de Tântalo	1 MHz
Papel	5 MHz
Mylar	10 MHz
Poliestireno	500 MHz
Mica	500 MHz
Cerâmico	> 1 GHz

Capacitores de média e baixa frequência, como Mylar não são aceitáveis para filtros de alta frequências e capacitores eletrolíticos de baixa frequência são bons apenas para armazenamento de energia. Para filtros em alta frequência utiliza-se tipicamente os capacitores de cerâmica pois operam de forma satisfatória em frequências de aproximadamente até 1 GHz.

É importante ressaltar que quanto mais próximo os circuitos de proteção da placa estiverem de suas fontes de alimentação e possíveis geradores das perturbações nos dispositivos, mais rápida será a resposta a um possível surto de tensão ou corrente. Desta forma, é interessante que os circuitos de proteção fiquem o mais próximo possível dos conversores de energia e/ou daqueles que podem ser possíveis geradores de distúrbios no circuito.

Devido a isto, os circuitos de proteção utilizados no projeto (como exemplo os da Figura 7) foram implementados o mais próximo dos circuitos mais sensíveis e daqueles que poderiam ser os causadores de eventuais interferências eletromagnéticas no produto.

6.1.3 Distribuição dos Circuitos

A distribuição dos circuitos que possuem interação física com usuário, bem como a parte na qual estão os sensores e atuadores do sistema foram projetadas em placas distintas. Desta forma, os circuitos mais susceptíveis e sensíveis a receberem interferências eletromagnéticas e descargas eletrostáticas ficam mais protegidos devido a não ficarem tão expostos ao meio externo.

6.1.4 *Layout* das Placas de Circuito Impresso

Ao analisar boas práticas de desenvolvimento de produtos eletrônicos, muitas das técnicas que visam minimizar os problemas de interferências eletromagnéticas estão ligadas aos processos de *layout* das placas de circuito impresso. Uma placa com diversas técnicas aplicadas em *layout* atenua e por muitas vezes evita interferências eletromagnéticas nos circuitos.

Nesta seção serão abordadas algumas das boas práticas de layout utilizadas durante o processo de fabricação do produto, bem como os processos e materiais utilizados para fabricação das PCIs.

Padronização na Elaboração do *Layout* e Confecção da Placa de Circuito Impresso

Um fator importante de se analisar durante o projeto de *layout* de placa de circuito impresso são as questões relacionadas à fabricação. Desenvolver uma placa em que os principais prestadores deste serviço consigam atender aos requisitos projetados é fundamental para se viabilizar o projeto.

Portanto, as especificações aplicadas ao desenvolvimento do *layout* das placas apresentadas durante este artigo atendem ao detalhamento técnico dos requisitos de empresas que fabricam PCIs, como Circuibras, Lauquen, Micropress, Icape e Prevent PCB.

O tipo de laminado utilizado nas placas é a FR4 - Resina epóxi e tecido de fibra de vidro (MICROPRESS, 2020). As principais características dos laminados deste tipo são:

- alta resistência à flexão, calor e umidade;
- propriedades elétricas e físicas excelentes sob umidade;
- excelente estabilidade dimensional;
- baixa absorção de água;
- utilizada na indústria automotiva;
- utilizada em equipamentos eletrônicos em geral;
- laminado mais utilizado para placas com furos metalizados;
- aplicável para placas dupla-face e multicamada.

As metalizações dos furos das placas são realizadas por cobre depositado, o método utilizado para a realização deste processo é por eletrodeposição de cobre. A Tabela 2 apresenta um panorama geral das camadas da placa CPU, demonstrando os materiais utilizados na composição de cada uma delas, espessura e suas descrições na placa.

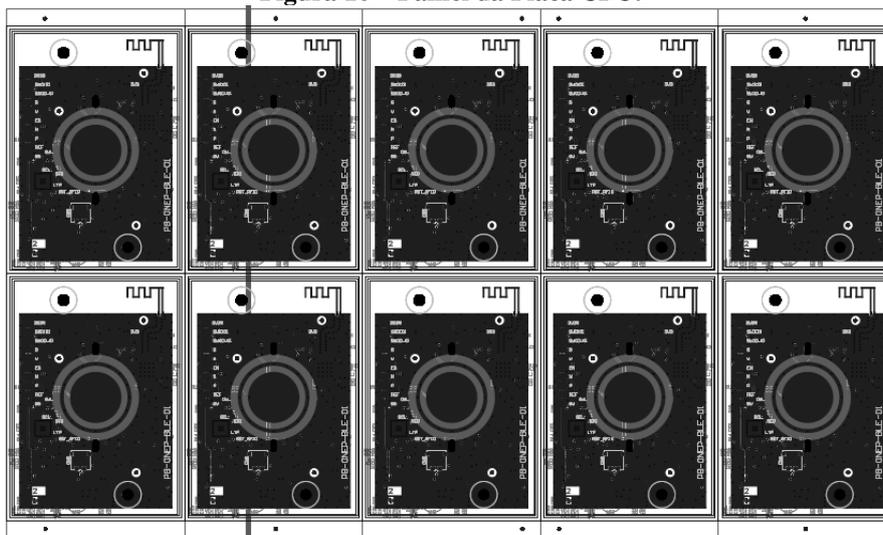
Tabela 2 – Camadas da placa CPU.

Camada	Nome	Material	Espessura	Constante
1	<i>Top Overlay</i>			
2	<i>Top Solder</i>	<i>Solder Resist</i>	8 μm	3,5
3	<i>Component Side</i>	Cobre	17 μm	
4	<i>Dielectric 1</i>	FR-4 2113	100 μm	4,2
5	<i>Signal Layer 1</i>	Cobre	35 μm	
6	<i>Dielectric 5</i>	UT 1.6 1 oz	1,6 mm	4,2
7	<i>Ground Plane</i>	Cobre	35 μm	
8	<i>Dielectric 4</i>	FR-4 2113	100 μm	4,2
9	<i>Solder Side</i>	Cobre	17 μm	
10	<i>Bottom Solder</i>	<i>Solder Resist</i>	8 μm	3,5
11	<i>Bottom Overlay</i>			

Ambas as placas do sistema foram projetadas para desenvolvimento em processo de fotopltagem e seus acabamentos devem ser em HAL livre de chumbo ou ENIG.

Ao definir os processos de confecção das placas, outro fator importante a ser levado em consideração no momento de se projetar uma placa de circuito impresso é o painel em que ela será montada. Visando aproveitar ao máximo a matéria prima utilizada na confecção dos painéis em que as placas do porteiro eletrônico são confeccionadas, as dimensões das placas foram projetadas para serem produzidas com a quantidade de dez placas por painel, conforme demonstrado o painel da placa CPU na Figura 10.

Figura 10 – Painel da Placa CPU.



Os mesmos critérios de desenvolvimento utilizados para elaboração da placa CPU foram utilizados para a placa com sensor e atuador do sistema. As PCIs fabricadas passaram por processo de solda dos componentes eletrônicos. A placa CPU do sistema passou pelo processo de passagem de pasta de solda, inserção de componentes através de máquina de inserção de componentes do tipo *pick and place* e, logo após, por solda dos componentes em forno. A placa sensor e atuador, possui processos de solda muito similares ao da placa CPU, porém, ela conta também com componentes do tipo de THT. Neste processo os componentes foram inseridos de forma manual devido à baixa quantidade de componentes na placa e ao baixo volume de fabricação.

Condicionamento de Sinal em Circuitos Sensíveis a Perturbações

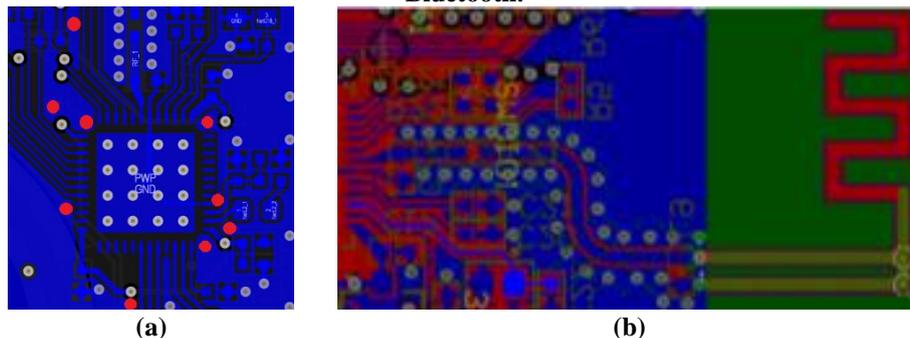
Manter a integridade dos sinais é um dos fatores predominantes para o bom funcionamento de um produto eletrônico. A leitura errada ou envio de dados alterados podem ocasionar em mal funcionamento ou até mesmo gerar falsos verdadeiros para o produto. Devido a isto, a aplicação de técnicas em *layout* que visem minimizar os problemas de interferência eletromagnética possui especial interesse.

Uma técnica utilizada durante o projeto a fim de minimizar estes problemas foi a inserção de vias para o GND próximas aos circuitos considerados sensíveis. Com a inserção destas vias, pretende-se melhorar o condicionamento dos sinais, reduzindo as chances de problemas ao circuito receber interferências eletromagnéticas.

A Figura 11(a) demonstra o microcontrolador e ao seu redor alguns pontos em vermelho nos quais poderiam ser inseridas vias para GND. Como esta parte do circuito está próxima das trilhas dos circuitos de rádio transmissão, a eliminação de possíveis perturbações nesta região é de extrema importância. As mesmas vias para o plano de referência são utilizadas ao redor da trilha da antena Bluetooth (Figura 11(b)) projetada na própria PCI.

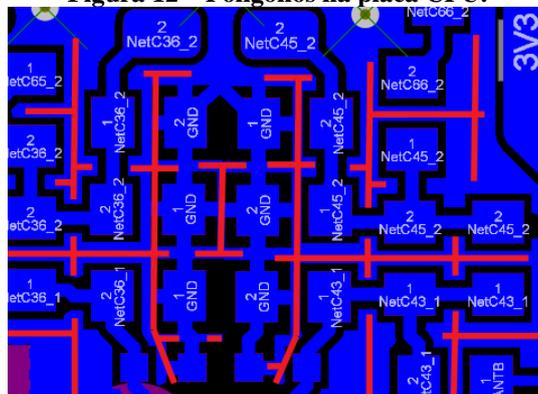
As vias projetadas ao redor da antena tendem a minimizar as interferências eletromagnéticas ao circuito BLE devido ao fato de possuírem um caminho de menor impedância para o plano de referência.

Figura 11 – Vias para GND ao redor (a) do microcontrolador e (b) da antena Bluetooth.



Outra técnica interessante utilizada para minimizar as interferências eletromagnéticas e buscar controlar as capacitâncias parasitas nos circuitos é através de polígonos. Polígonos bem projetados tendem a proteger os circuitos ao qual estão envolvidos. Porém, ao inserir polígonos em regiões da placa que possuem circuitos considerados sensíveis, viabiliza-se que correntes de retorno e ruídos gerados por outros circuitos possam adentrar na placa por estes canais/caminhos. A Figura 12 demonstra alguns dos polígonos utilizados na primeira versão da placa CPU.

Figura 12 – Polígonos na placa CPU.

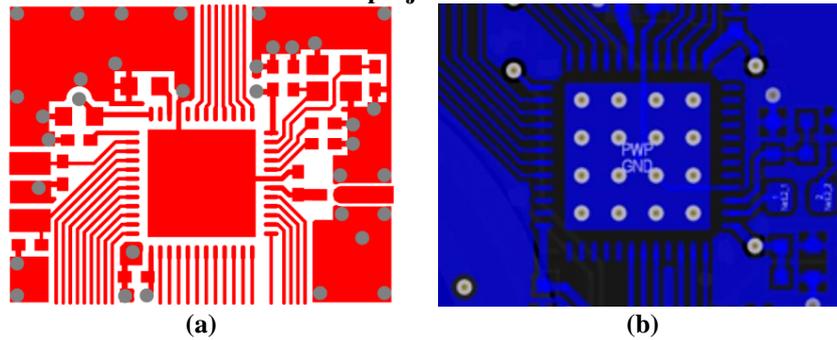


Conforme demonstrado na Figura 12, as linhas em vermelho destacam os polígonos existentes na placa. A fim de minimizar eventuais problemas, decidiu-se retirar os polígonos utilizados nestas regiões e confinar os circuitos desta área da placa, tentando desta forma, possuir maior controle das capacitâncias parasitas existentes próximas aos circuitos de RF.

Além destas técnicas, outra boa prática durante o desenvolvimento do *layout* de placas é tentar adotar as recomendações fornecidas pelos fabricantes dos circuitos integrados. A Figura 13 apresenta a comparação entre a recomendação de *layout* fornecida pelo fabricante Nordic Semiconductors (2020) e ao lado o que realmente foi projetado.

Devido às particularidades do circuito projetado, nem sempre é possível seguir fielmente as recomendações passadas pelos fabricantes. De qualquer forma, a princípio, quanto mais próximo do recomendado estiver o *layout*, melhores serão as respostas do circuito em relação às interferências eletromagnéticas.

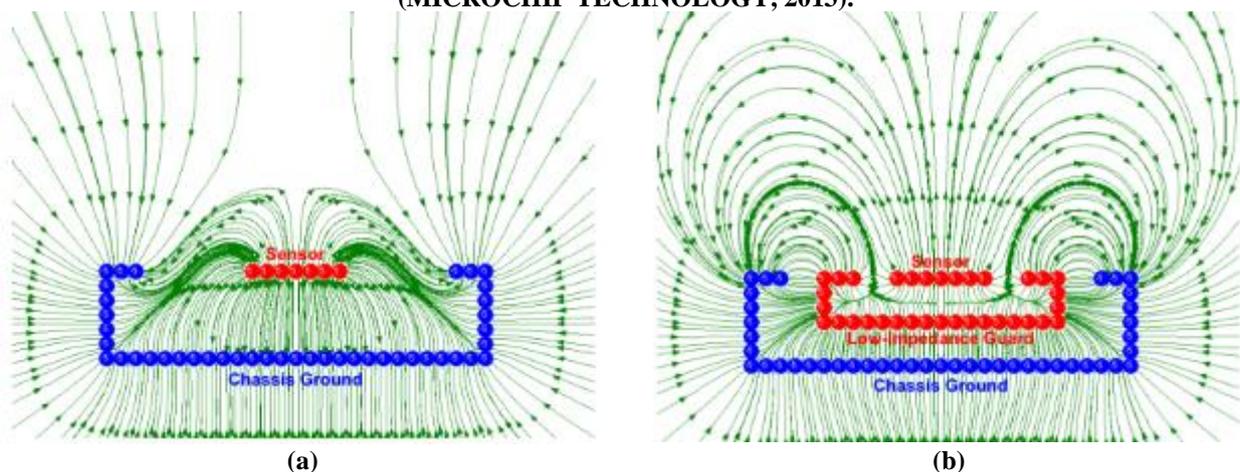
Figura 13 – Layout (a) indicado pelo fabricante Nordic Semiconductors (2020) e (b) projetado.



Anel de Guarda no Sensor Capacitivo

Obter um maior alcance das ondas eletromagnéticas do sensor capacitivo significa um aumento da sensibilidade do sensor. As ondas eletromagnéticas do sensor fluem do sensor para o sinal de menor impedância, neste caso, o plano de GND projetado ao redor do sensor. A Figura 14 demonstra uma aplicação típica de sensor projetado em placa de circuito impresso. Na Figura 14(a), as ondas propagadas através do sensor capacitivo possuem um baixo alcance devido o plano de referência estar muito próximo do sensor. Uma maneira de aumentar a propagação do campo eletromagnético gerado pelo sensor capacitivo é a utilização de um anel de guarda entre o sensor e o plano de referência. Desta forma, a sensibilidade do sensor é ampliada conforme demonstrado na Figura 14(b).

Figura 14 – Sensor capacitivo (a) sem anel de guarda e (b) com anel de guarda. (MICROCHIP TECHNOLOGY, 2013).



A Figura 15 demonstra na prática o sensor projetado com o anel de guarda ao seu redor, facilitando a leitura ao usuário tocar no dispositivo. O círculo em vermelho centralizado na placa de circuito impresso é o sensor capacitivo, o círculo em vermelho externo é o anel de guarda e em verde está o plano de referência.

Figura 15 – Sensor capacitivo projetado.

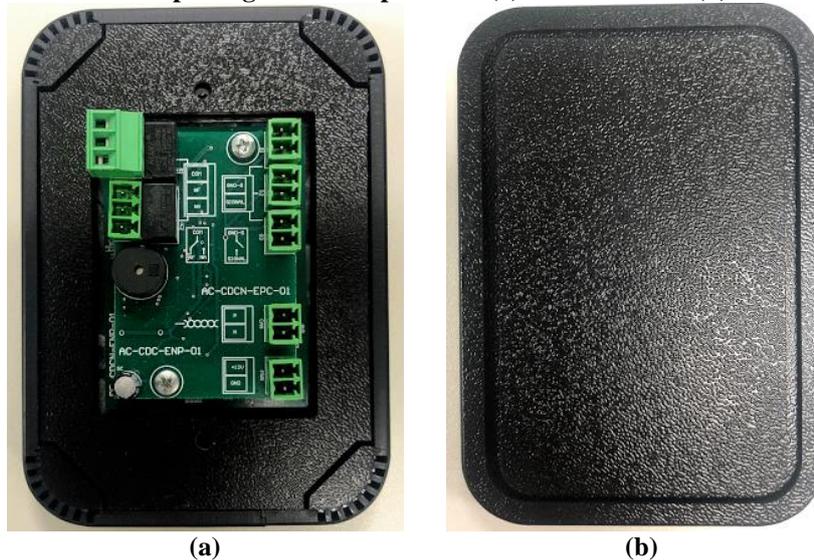


6.2 Gabinete Mecânico

Dois fatores importantes durante o desenvolvimento do projeto mecânico de um produto eletrônico são analisar sob qual ambiente ele ficará exposto e a sua interface com o usuário. Produtos que possuem interfaces amigáveis, que induzem o usuário a tomar decisões corretas e que deem *feedbacks* claros geralmente são bem-vistos no mercado.

Sob esta análise, é interessante que a parte mecânica do produto seja projetada visando estas questões. O porteiro eletrônico projetado possui interface com o usuário através de LED RGB, *buzzer* e botão capacitivo, além dos conectores de interface para alimentação, ligação do produto em fechadura eletrônica e sensor de estado que são dadas através de bornes de encaixe. A Figura 16 demonstra a primeira versão do gabinete do protótipo do produto; projetado com tamanho e dimensões para ser aplicado nas caixas de passagem embutidas na parede, conforme as dimensões previstas na norma brasileira ABNT NBR 5431 (ABNT, 2008). Desta forma, a instalação do produto é simplificada e reduz possíveis mudanças em arquiteturas prediais.

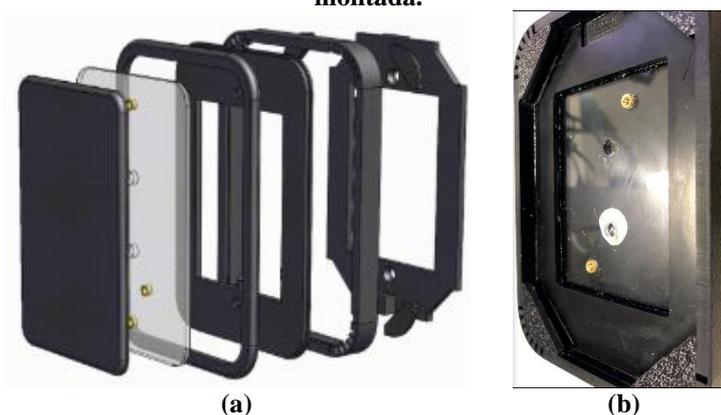
Figura 16 – Protótipo do gabinete do produto: (a) vista interna e (b) vista externa.



Outro fator importante de analisar no momento de instalação é a forma de conexão dos cabos de alimentação, sensor e acionador. Todas estas conexões são dadas através de bornes de encaixe que facilitam a maleabilidade dos fios dentro da caixa de secção.

A parte frontal do gabinete é composta de diversas peças plásticas e um acrílico de material translúcido para prover *feedback* ao usuário através do LED RGB. A Figura 17 demonstra as peças da parte frontal do gabinete. As peças demonstradas na Figura 17(a) são interligadas através de processos de colagem, este processo por muitas vezes acaba não sendo o ideal, pois o processo de colagem é realizado manualmente e a mudança de operador por vezes pode comprometer a qualidade do processo.

Figura 17 – Parte frontal do gabinete: (a) peças da montagem e (b) parte frontal montada.



A parte frontal do equipamento possui pontos para fixação das placas e um ponto de cola central para junção das peças. Ao analisar os primeiros testes no produto notou-se que a retroiluminação através do acrílico não ficou homogênea. Isto foi causado por duas questões: pelo ponto de colagem em local não ideal e pela presença de apenas um LED RGB no *hardware* do produto.

É importante ressaltar que existem outros métodos de montagem que garantiriam um processo mais robusto e automatizados com maior garantia de qualidade, como os de gabinetes injetados por exemplo. Porém, até o momento da execução deste projeto, não havia estimativa de venda que justifique o investimento para a automatização e melhorias nos processos como este. Devido a isto, as melhorias previstas na parte mecânica

são condizentes ainda a um processo de corte e dobra (mesmo utilizado no protótipo do produto) e com etapa de colagem das peças.

6.3 Ensaios CEM

Ao analisar o mercado que o produto será inserido, bem como a realização de um estudo das normas vigentes, notou-se que o produto em questão se enquadra em equipamentos do tipo classe B.

Segundo o Ato nº 1120, de fevereiro de 2018, publicado pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL, 2018a):

“Equipamento Classe B: equipamento destinado ao uso em ambiente doméstico ou residencial com características próprias para as instalações do usuário, para a instalação em redes de acesso ou para situações de local não fixo de uso (exemplos: equipamento portátil alimentado por baterias). Estes equipamentos podem ser utilizados em estações de telecomunicações” (ANATEL, 2018a)

Para utilização do produto em questão não é exigido do usuário conhecimentos técnicos e práticos prévios à instalação. A leitura do manual e guia rápido em tese são suficientes para se realizar uma instalação bem-sucedida do produto. Porém, para viabilizar-se a venda de produtos ao mercado, ele deve atender a uma série de normas e algumas destas estão relacionadas aos ensaios de emissão conduzida e radiada.

O Ato nº 1120 da ANATEL define que os testes de Emissão Conduzida e Emissão Radiada devem seguir os métodos descritos na norma internacional “*CISPR 22 (2005) - Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of information technology equipment*” (ANATEL, 2018a).

As seções a seguir demonstram os ensaios de emissão conduzida e radiada realizados nas placas de protótipo do equipamento bem como os limiares previstos pela norma CISPR 22 (IEC, 2002).

6.3.1 Ensaios de Emissão Radiada

Para realizar os ensaios de emissão radiada no protótipo do produto o equipamento foi colocado em câmara GTEM (Figura 18). A câmara GTEM por sua vez estava conectada a um *receiver* ligado ao computador realizando as aquisições das respostas do produto e emitindo sinais através de antena gerados através do software EMC32 V10.20.01.

Figura 18 – Câmara GTEM.



O *setup* de testes foi realizado em três etapas na câmara GTEM, cada uma delas com o equipamento posicionado em eixo diferente (X, Y e Z), conforme demonstrado na Figura 19.

Figura 19 – Produto eletrônico em teste posicionado nos eixos X, Y e Z.



Para executar o teste foi necessário aguardar a aplicação do produto se estabilizar e iniciar o procedimento. Para buscar uma resposta ideal do produto, tentou-se minimizar ainda mais as interferências geradas por fatores externos, como o cabo da fonte de alimentação por exemplo. Para isto, foi utilizado um núcleo toroidal no fio da saída da fonte do produto. O núcleo toroidal visa minimizar os efeitos de acoplamento e susceptibilidade do produto, minimizando assim os efeitos que o cabo pode gerar no produto, como se fosse uma antena emitindo radiação eletromagnética por exemplo.

Figura 20 – Fio enrolado em núcleo toroidal.



6.3.2 Ensaio de Emissão Conduzida

Os ensaios de emissão conduzida foram realizados em duas etapas, em primeiro momento o núcleo toroidal foi utilizado na saída da fonte e, logo após, o mesmo ensaio foi realizado sem o núcleo toroidal. Para realização dos ensaios de emissão conduzida, o porteiro eletrônico foi inserido sobre mesa de madeira sobreposto de superfície metálica (plano de terra) de 2x2 m. A fonte de alimentação do produto foi conectada à Rede de Estabilização de Impedância de Linha (LISN) que por sua vez foi conectada ao *receiver* ligado ao computador onde o *software* HM PreCOM EMC 2.02 foi utilizado para fazer as aquisições dos dados do *receiver*. A Figura 21 demonstra o produto em ensaio de emissão conduzida com núcleo toroidal na saída da fonte. Para executar o teste foi necessário aguardar a aplicação do produto se estabilizar e iniciar o procedimento. Após este procedimento o mesmo *setup* foi realizado sem o núcleo toroidal na saída da fonte.

Figura 21 – Ensaio de emissão conduzida com núcleo toroidal na saída da fonte.

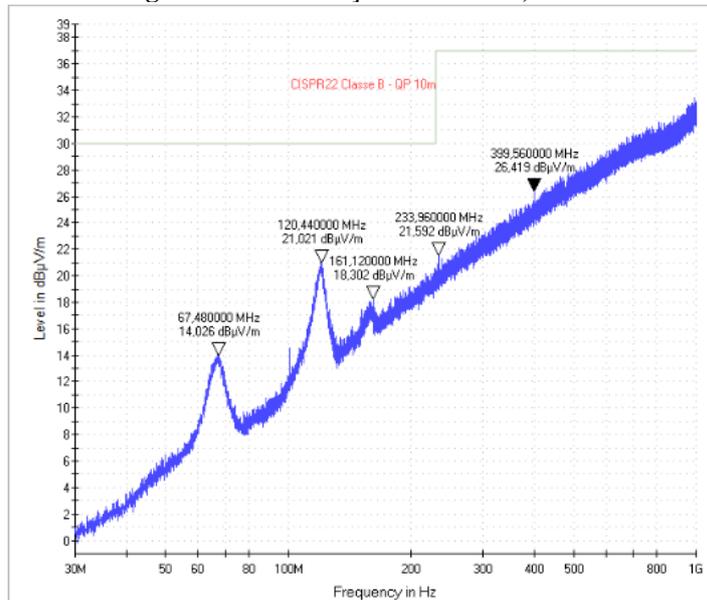


6.3.3 Análise de Resultados de Ensaio de Emissão Radiada

O gráfico da Figura 22 apresenta os resultados dos testes de emissão radiada. O gráfico apresenta a potência radiada do sinal (0 a 40 dB μ V/m) pela frequência (30 MHz a 1 GHz). A linha em azul apresenta a resposta de quase pico da correlação dos eixos X, Y e Z do equipamento, a linha em verde apresenta os limites máximos da norma.

Conforme analisado, todos os limiões estão dentro do limite da norma CISPR22. Em algumas frequências, como 120 MHz, 161 MHz e 399 MHz, os sinais tiveram grau de amplitude um pouco elevado em relação às suas frequências próximas. Uma das suspeitadas destes resultados, é que estes picos podem ter sido gerados através de harmônicas dos osciladores utilizados no circuito.

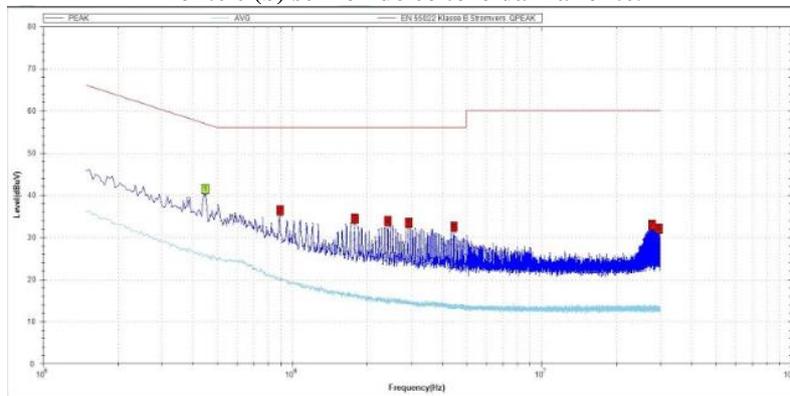
Figura 22 – Correlação dos eixos X, Y e Z.



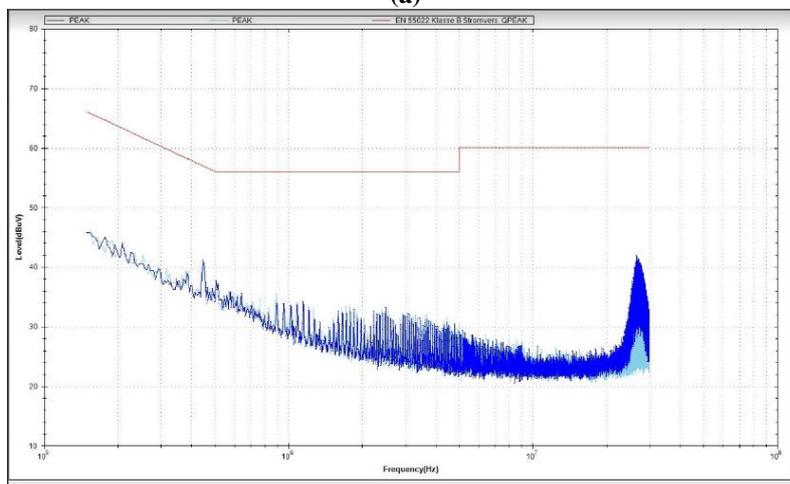
6.3.4 Análise de Resultados de Ensaios de Emissão Conduzida

O gráfico da Figura 23(a) apresenta os resultados obtidos nos testes de emissão conduzida com o núcleo toroidal na saída da fonte de alimentação do produto.

Figura 23 – Respostas do ensaio de emissão conduzida (a) com o núcleo toroidal na fonte e (b) sem o núcleo toroidal na fonte.



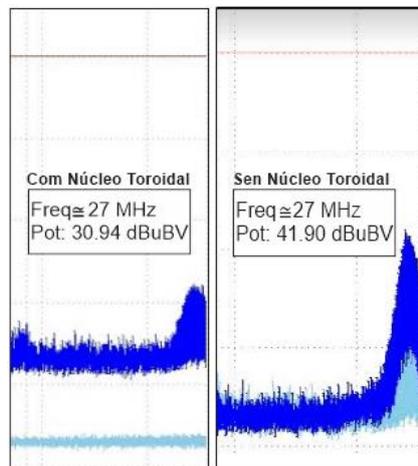
(a)



(b)

A Figura 24 demonstra a comparação entre os ensaios de emissão conduzida realizados no produto. De posse dos resultados, nota-se que o núcleo toroidal atenua em grande parte os sinais que compõem as faixas de frequência entre 25 MHz e 30 MHz.

Figura 24 – Comparação entre ensaio de emissão conduzida com o núcleo toroidal e sem o núcleo toroidal.



Por fim, como pode-se perceber, o protótipo do produto passaria tanto nos ensaios de emissão conduzida quanto nos ensaios de emissão radiada ao ser vendido com a fonte externa. Além disto, é interessante ressaltar que os ensaios foram realizados com a métrica em quase pico, ou seja, caso os mesmos fossem realizados em *average* que faz a varredura e média do sinal por frequência, os resultados tenderiam a ser ainda mais satisfatórios.

7 NOVA VERSÃO DO PRODUTO

Ao validar etapas e comunicação entre módulos com o protótipo do produto, o mesmo passou por uma nova revisão. Nesta nova versão do produto buscou-se melhorar quesitos técnicos como a integridade dos sinais e CEM, mas além disto, quesitos como reprodutibilidade, interface com o usuário e simplificação no processo de instalação.

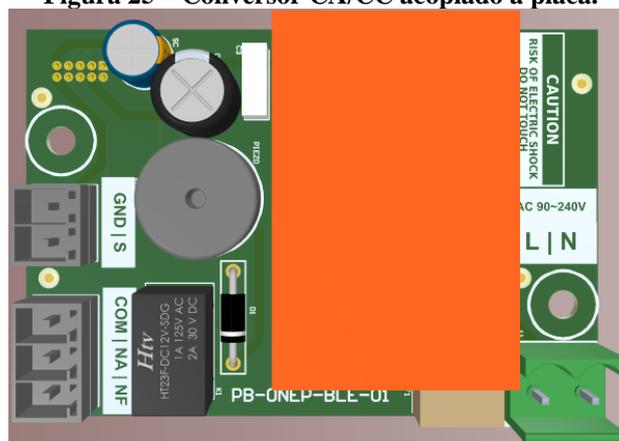
7.1 Hardware

Nesta seção serão analisadas as melhorias realizadas no *hardware* como um todo, sem a distinção de esquemático e *layout*. A seguir são demonstradas algumas das mudanças.

7.1.1 Conversor de Energia CA/CC Acoplado na PCI

Uma das principais mudanças das características do produto está relacionada a forma de alimentar o produto. Na segunda versão de *hardware* foi inserido um conversor de tensão *full range* 90 – 240 V_{CA} para 12 V_{CC} na própria placa de circuito impresso, conforme demonstrado na Figura 25. O fator primordial para esta mudança é devido a praticidade e simplificação do processo de instalação do produto em campo. Tendo em vista que o porteiro eletrônico foi desenvolvido para sobrepor caixas e pontos de energia, a inserção de uma fonte externa (conversor CA/CC) dificultaria os processos de instalação.

Figura 25 – Conversor CA/CC acoplado à placa.



7.1.2 Serigrafia na Placa de Circuito Impresso

Devido ao usuário final realizar instalações do produto em campo, ou seja, alimentar o produto, acoplar fechadura/atuador e sensor de estado de porta, uma das maneiras de simplificar o entendimento dos locais de conexão é dada através da serigrafia da placa. Na nova revisão do produto as informações contidas na serigrafia visam demonstrar de forma simplificada qual o local de conexão de cada um dos bornes. É claro que além das informações contidas na serigrafia, todas as instruções de instalação estão disponíveis no guia rápido do produto, *datasheet* e manual do usuário.

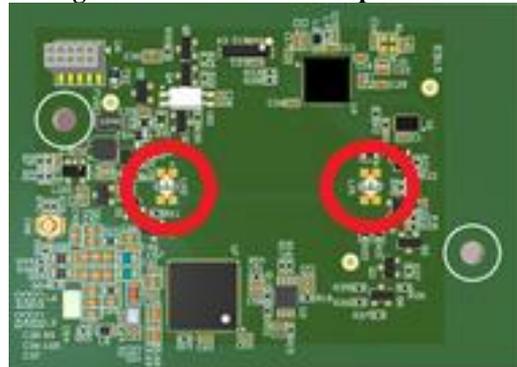
7.1.3 Conectores com Polaridade e Formas de Encaixe Diferentes

Conectores com formas de encaixe e quantidades de vias diferentes ajudam a induzir o usuário a realizar as conexões externas do produto de forma correta. Devido a isto, foram utilizados conectores com diferentes quantidades de vias e formas de conexão dos bornes na placa, principalmente no borne de alimentação do produto, que recebe a alimentação diretamente da rede elétrica.

7.1.4 Adição de um Segundo LED RGB

Uma das alterações no esquemático da placa CPU foi a inserção de mais um LED RGB. O novo LED inserido possui a mesma finalidade do LED até então já projetado, porém, para que o espalhamento da iluminação através do acrílico do equipamento fosse realizado de forma homogênea, uma das soluções encontradas foi a adição de um segundo LED no produto. Os círculos em vermelho destacados na Figura 26 apresentam os LEDs RGBs utilizados para *feedback* ao usuário.

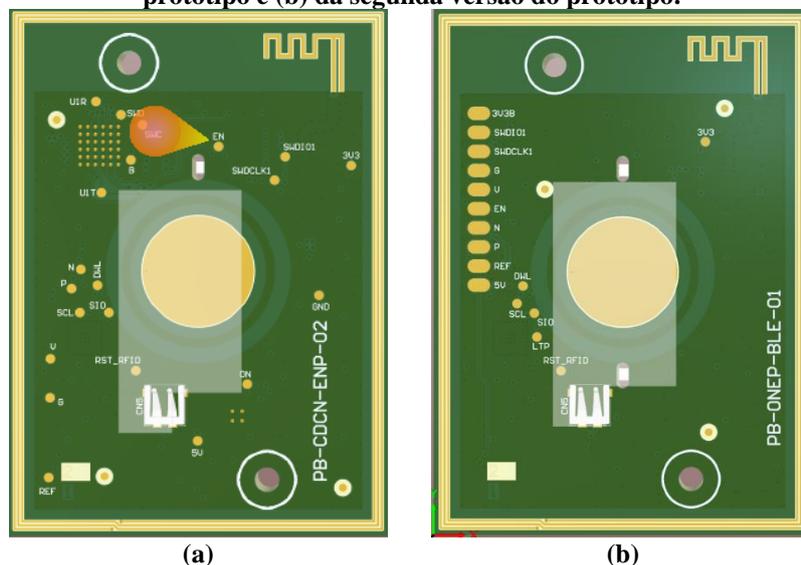
Figura 26 – LEDs RGB na placa CPU.



7.1.5 Melhor Distribuição dos Pontos de Teste

Conforme apresentado na Seção 6, uma das melhorias prevista para a placa CPU do produto é a melhor distribuição dos pontos de testes. Esta melhoria visa simplificar processos de testes assim como processos de gravação do *firmware* do produto. A Figura 27 demonstra a comparação entre a placa protótipo e a segunda versão de placa CPU projetada.

Figura 27 – Disposição dos pontos de testes na PCI (a) da primeira versão do protótipo e (b) da segunda versão do protótipo.

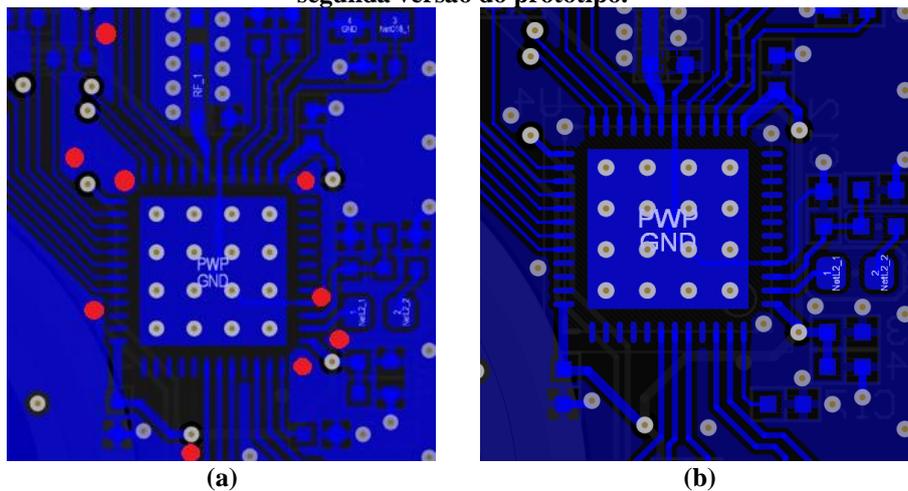


A imagem da Figura 27(a) representa a placa protótipo, enquanto a imagem da Figura 27(b) representa a nova versão da placa CPU. A redistribuição dos pontos de testes aplicados a placa visa simplificar vários processos, principalmente aqueles aplicados aos testadores e gravação de *firmware*, que serão abordados com maiores detalhes na Seção 8.

7.1.6 Inserção de Vias para o GND em Circuitos Próximos à Antena BLE

A quantidade de vias para o GND próximas aos circuitos de radiotransmissão do projeto foram ampliadas. Com o aumento da quantidade destas vias para o plano de referência busca-se minimizar os efeitos gerados por interferência eletromagnética nos circuitos considerados mais sensíveis do projeto. A Figura 28 apresenta a comparação entre o protótipo do produto e a sua segunda versão, onde a quantidade de vias foi aumentada de forma significativa. Esta mudança busca principalmente obter maior controle sobre eventuais interferências eletromagnéticas no circuito.

Figura 28 – Disposição das vias na PCI (a) da primeira versão do protótipo e (b) da segunda versão do protótipo.

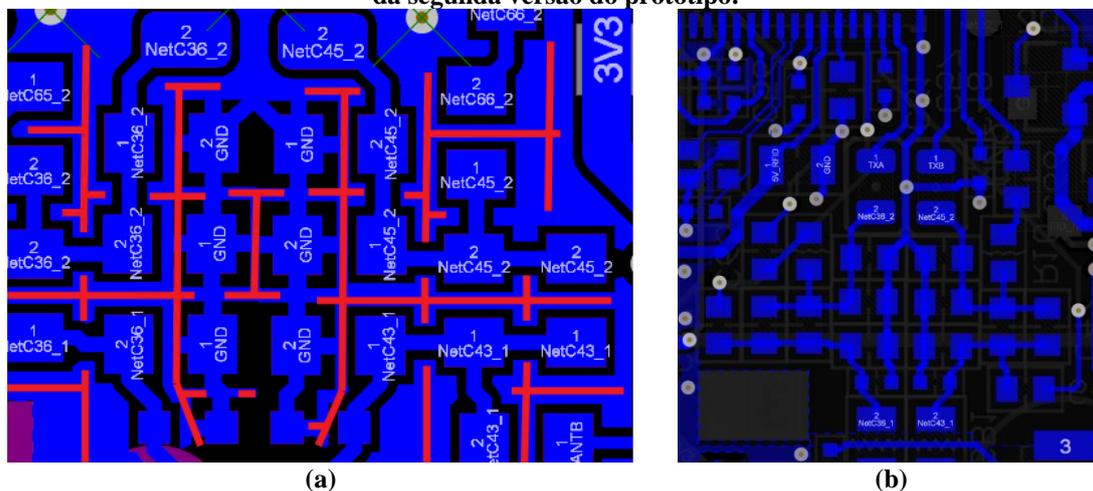


7.1.7 Retirada dos Polígonos em Regiões Sensíveis

Ao analisar os polígonos apresentados na Seção 6, de certa forma, os mesmos tendem a se tornar caminhos para possíveis correntes de retorno, caminhos de penetração (de forma não controlada) e de interferência eletromagnética. Por fim, a sua aplicação tende a agir de forma contrária à planejada ao projetar a PCI inicialmente. Devido a isto, os polígonos foram retirados do circuito, conforme demonstrado na Figura 29.

A Figura 29(a) demonstra a primeira versão da placa com os polígonos em GND. A segunda versão da placa (Figura 29(b)) não possui os polígonos entre as trilhas e circuitos, esta mudança visa evitar que estes polígonos/trilhas, até então projetadas sirvam como capacitâncias parasitas e caminho de retorno de outros circuitos. A retirada dos polígonos visa confinar os circuitos e sinais próximos as antenas apenas nesta região, visando minimizar a emissão e susceptibilidade de interferência eletromagnética de outros circuitos.

Figura 29 – Disposição dos polígonos na PCI (a) da primeira versão do protótipo e (b) da segunda versão do protótipo.



7.2 Ensaio de Emissão Conduzida no Protótipo Sem Conversor de Energia Externo

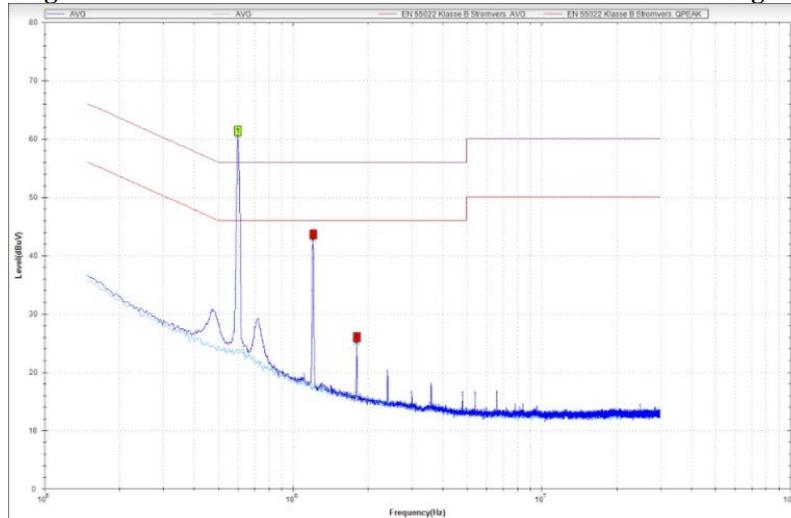
A fim de analisar a resposta do produto sem os efeitos que a fonte de alimentação exerce, foi realizado um novo ensaio de emissão conduzida no protótipo do produto. Neste novo ensaio uma fonte regulável de tensão tratou de alimentar a LISN que por sua vez alimentou o porteiro eletrônico. A aplicação pode ser analisada em bancada conforme demonstrado na Figura 30.

Figura 30 – Ensaio de emissão conduzida sem conversor de energia.



O *setup* realizado no porteiro eletrônico foi o mesmo programado anteriormente, ou seja, após aplicação do produto estar estabelecida o teste foi iniciado. Os resultados obtidos são demonstrados na Figura 31.

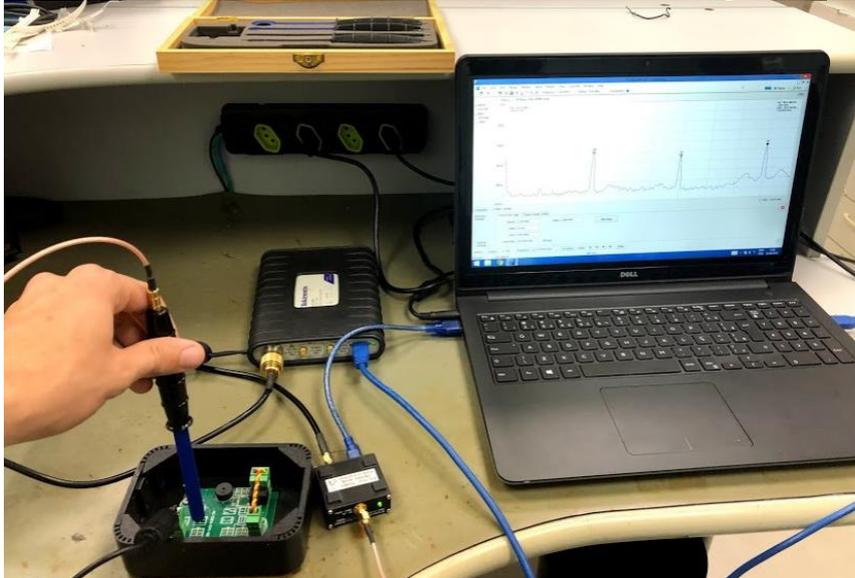
Figura 31 – Ensaio de emissão conduzida sem conversor de energia.



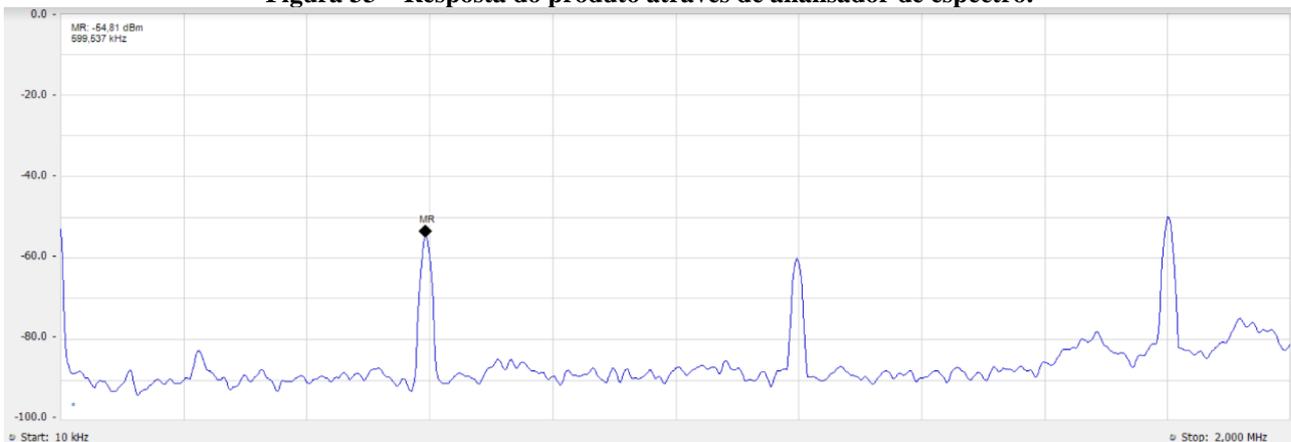
Ao realizar o ensaio de emissão conduzida sem considerar os efeitos do conversor de energia sobre o produto os resultados tiveram uma resposta diferente daquelas que eram esperadas. Uma frequência em 600 kHz com harmônicas em níveis consideráveis apareceu no produto e as demais frequências próximas a 30 MHz foram atenuadas de forma que ficaram bem similares ao sinal de ruído de fundo.

De posse do resultado deste ensaio foi utilizado um analisador de espectro para encontrar o circuito gerador desta frequência. Através do equipamento RSA306 da Tektronix, ao aproximar a ponteira de campo próximo do produto a frequência em 600 kHz logo apareceu.

Conforme demonstrado na Figura 32, ao aproximar a ponteira de campo próximo do produto, a frequência em 600 kHz e suas harmônicas em 1.200 kHz e 1.800 kHz vieram à tona. O *software* utilizado para realizar as aquisições dos sinais foi Tek SignalVu-PC.

Figura 32 – Produto analisado através de analisador de espectro.

A Figura 33 apresenta o gráfico da potência radiada do sinal (0 a 100 dB μ V) pela frequência em (0 a 2 MHz), o potencial encontrado em frequência radiada foi de 54,81 dB μ V. Ao analisar uma das fontes chaveadas utilizada no produto (na qual a ponteira do analisador de espectro foi direcionada), notou-se que a mesma é a geradora da frequência de 600 kHz. De posse do *datasheet* do CI, foi constatado que sua frequência de operação pode variar de 350 kHz a 800 kHz. A frequência de operação é estabelecida através da relação das tensões de entrada e saída em que o conversor de energia atua, no caso deste projeto, 600 kHz.

Figura 33 – Resposta do produto através de analisador de espectro.

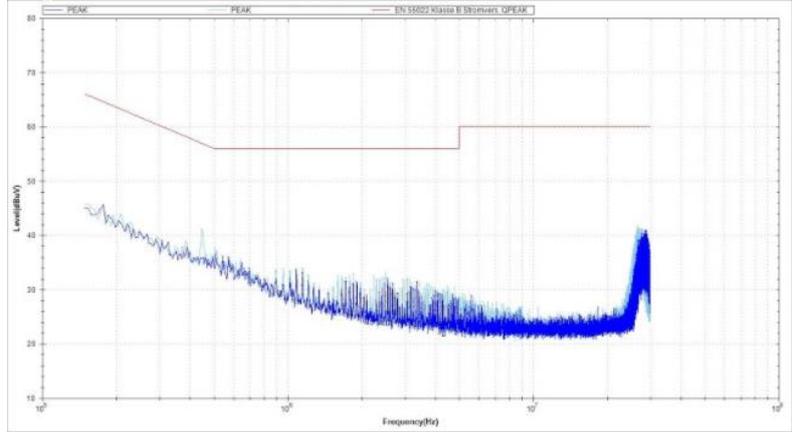
Outro fator interessante de ser analisado são as frequências próximas a 30 MHz. No ensaio de emissão conduzida em que foi desconsiderada a fonte de alimentação do produto estas frequências foram completamente atenuadas. Logo, os resultados obtidos nos ensaios anteriores possuem completa influência da fonte de alimentação do produto. A fim de se analisar esta questão, foi realizado o ensaio de emissão conduzida na fonte de alimentação que seria utilizada inicialmente no produto.

A Figura 34 apresenta em azul escuro os resultados do ensaio de emissão conduzida da fonte de alimentação 12 V_{CC} em aberto, sem a presença de carga. Em azul claro está o resultado do ensaio do produto em operação com a fonte sem núcleo toroidal em sua saída.

Ao realizar ambos os ensaios de emissão conduzida (produto alimentado diretamente pela LISN e da fonte 12 V_{CC} em aberto), nota-se dois pontos interessantes no produto. Primeiramente a fonte de alimentação externa utilizada no produto possui um bom filtro de baixas frequências, pois as mesmas foram minimizadas de forma que não impactaram nos resultados dos ensaios, ou seja, foram atenuadas. Outro ponto interessante de se analisar é que as frequências de maior amplitude próximas de 30 MHz são oriundas da fonte de alimentação.

Por fim, para o novo versionamento de *hardware* do produto será interessante realizar os ensaios de emissão conduzida e radiada e, analisar o comportamento e impactos que o conversor CA/CC projetado para ser utilizado na placa de circuito impresso causará no produto.

Figura 34 – Ensaio de emissão conduzida da fonte 12V_{CC} em aberto.



7.3 Nova Revisão de Gabinete Mecânico

As melhorias em mecânica no projeto também foram realizadas, buscando melhorar principalmente os processos de instalação bem como as questões de interação com o usuário.

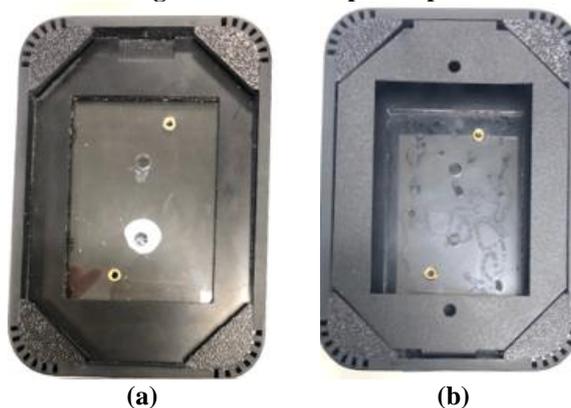
7.3.1 Fonte Acoplada à Placa do Circuito

O conversor de energia acoplado na placa de circuito impresso simplifica de forma significativa a etapa de instalação. Tendo em vista que o produto eletrônico foi projetado para inserção em caixa de passagem, ao utilizar uma fonte externa para alimentar o produto, o processo de instalação seria dificultado.

7.3.2 Colagem do Acrílico

Na segunda versão do gabinete, notou-se que não é necessário o ponto de colagem do acrílico translúcido para emissão de luz, apenas o encaixe das peças mecânicas garante a fixação da peça no gabinete. Desta forma, o ponto de cola foi retirado da peça acrílica. A Figura 35 demonstra a comparação entre as peças com e sem cola. O ponto de colagem na região central do acrílico na parte plástica do gabinete foi retirado. Esta mudança impacta diretamente no espalhamento da luz emitida pelos LEDs RGB. Além desta melhoria, a inserção de mais um LED no produto também contribuiu de forma significativa para o espalhamento homogêneo da luz no gabinete.

Figura 35 – Imagem dos gabinetes (a) da primeira versão do protótipo e (b) da segunda versão do protótipo.



7.4 Tampografia no Gabinete

Na nova versão do gabinete foi inserido através de processo de tampografia o nome comercial do produto e um ícone indicando o local do botão capacitivo. O processo de tampografia consiste na transferência de tinta de uma peça matriz para impressão do desenho desejado no gabinete.

A Figura 36 demonstra o resultado da tampografia no gabinete, indicando ao usuário o nome do produto centralizado na peça mecânica (borrado devido aos direitos comerciais do produto) e o local do produto sensível ao toque, induzindo-o a acionar o botão capacitivo no local correto.

Figura 36 – Gabinete com tampografia.



7.5 Embalagem do Produto

A primeira impressão que o usuário possui com o produto em mãos é dada através de sua embalagem. Portanto, causar uma boa impressão e experiência logo ao se abrir a caixa do produto é um passo importante para a sua aceitação. A caixa projetada para o porteiro eletrônico possui as dimensões exatas do tamanho do dispositivo com rasgos nas laterais para facilitar a inserção ou retirada do produto da caixa. A Figura 37 demonstra o produto em sua caixa. Como pode-se analisar a caixa foi projetada especialmente para o produto. O guia rápido e acessórios que acompanham o porteiro eletrônico são inseridos logo abaixo do berço que é utilizado para acomodar o produto na caixa.

Figura 37 – Embalagem do porteiro eletrônico.



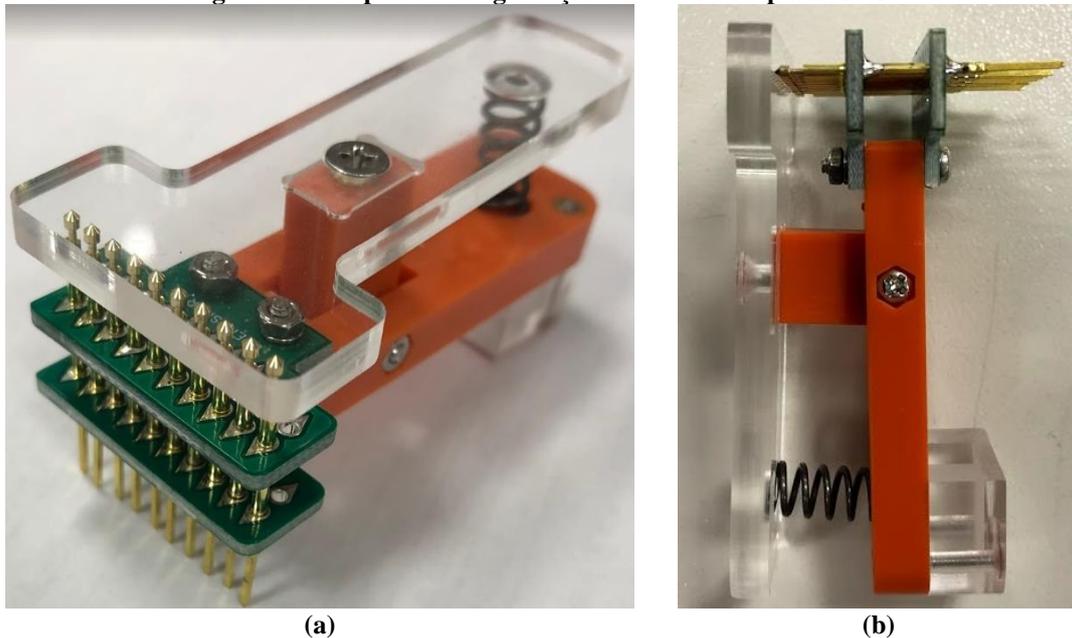
8 GRAVAÇÃO

Duas etapas de suma importância durante o desenvolvimento de produtos eletrônicos são a gravação e os testes. Garantir que o produto chegue testado e funcionando corretamente no cliente final são etapas que devem ser analisadas desde o início do projeto.

Devido a isto, realizar testes robustos que garantam a qualidade do produto é algo fundamental em linha de produção. É importante neste momento de gravação de *firmware* e testes atrelar simplicidade e robustez aos processos, pois um processo complexo e lento resulta em custos em ambiente de produção.

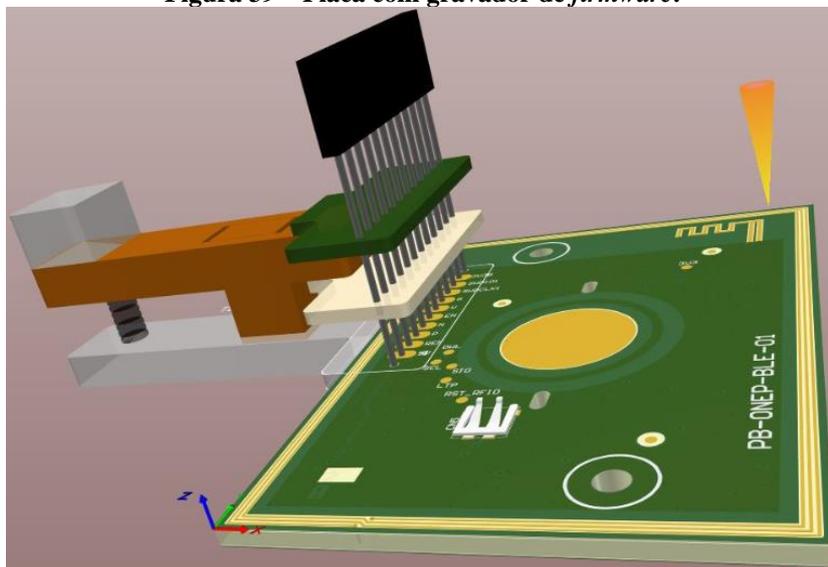
A redistribuição das vias de interface da placa CPU permite a simplificação das etapas de gravação e testes do produto. Para facilitar tais processos foi desenvolvido um equipamento especificamente para realizar a gravação do *firmware* e realizar o autoteste da placa CPU. A Figura 38 a seguir demonstra o dispositivo desenvolvido.

Figura 38 – Dispositivo de gravação e autoteste da placa CPU.



O dispositivo elaborado possui agulhas que são interligadas em um *hardware* que ao ser executada função de gravação e autoteste inicia o processo de gravação de placa. Este processo de gravação é realizado de forma unitária, pois até o momento de realização deste artigo, o projeto não justificou demanda para um processo automatizado com gravação de placas simultâneas ou até mesmo no próprio painel por exemplo. A Figura 39 simula o produto eletrônico em processo de gravação.

Figura 39 – Placa com gravador de *firmware*.



A redistribuição dos pontos de testes utilizados para gravação da placa e testes permitiu a conexão entre placa e módulo de gravação e testes de forma simples. Além disto, depois do projeto elaborado a replicação da jiga de gravação e testes pode ser facilmente realizada, permitindo que haja diversos gravadores e testadores do produto sem um grande empenho e envolvimento da equipe de projetos.

9 NORMAS

Para que um produto eletrônico possa ser comercializado, o mesmo deve respeitar uma série de parâmetros e definições geradas pelas normas vigentes ao qual se aplica. Segundo a Associação Brasileira de

Normas Técnicas (ABNT, 2020), a normatização é o processo de formulação e aplicação de regras para a solução ou prevenção de problemas, com a cooperação de todos os interessados, e, em particular, para a promoção da economia global. No estabelecimento dessas regras recorre-se à tecnologia como o instrumento para estabelecer, de forma objetiva e neutra, as condições que possibilitem que o produto atenda às finalidades a que se destina, sem se esquecer dos aspectos de segurança.

Segundo ainda a ABNT (2020), as normas tornam o desenvolvimento, a fabricação e o fornecimento de produtos e serviços mais eficientes, seguros e limpos; facilitam o comércio entre países tornando-o mais justo; fornecem aos governos uma base técnica para saúde, segurança e legislação ambiental, e avaliação da conformidade; compartilham os avanços tecnológicos e a boa prática de gestão; disseminam a inovação; protegem os consumidores e usuários em geral de produtos e serviços; e tornam a vida mais simples provendo soluções para problemas comuns.

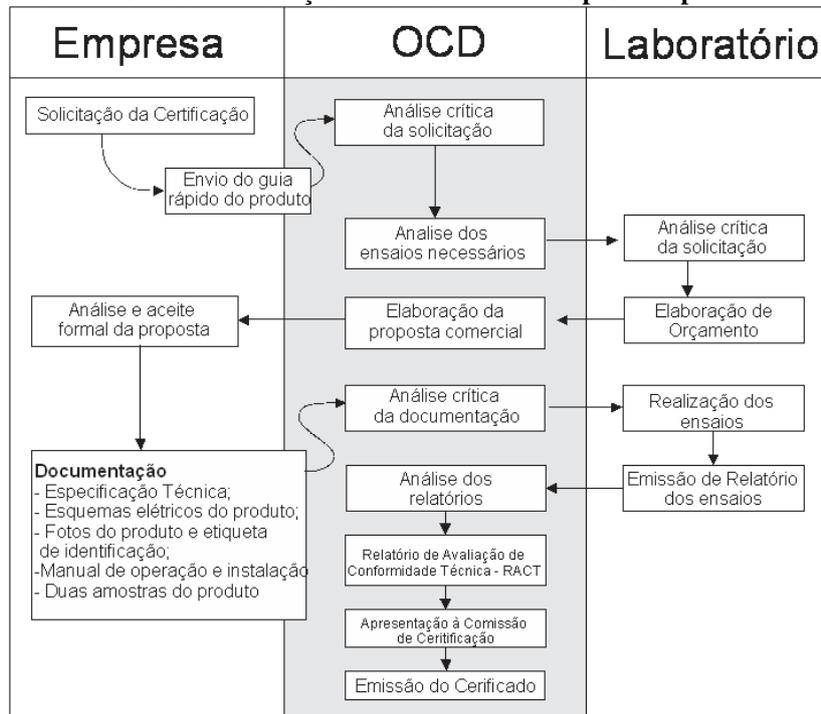
Devido a todas estas questões é de fator primordial ao desenvolver um produto eletrônico que ele atenda suas normas vigentes.

9.1 Processo de Certificação

Para se realizar a certificação de um produto eletrônico é necessário saber a quais normas ele será submetido. Cada produto possui suas particularidades, bem como sua classe e tipo de categoria. Os ensaios a se realizar em cada produto variam de acordo com suas especificidades, público e tipo de mercado que atuará. Para a realização de certificação dos produtos, empresas geralmente contatam com algum Organismo de Certificação Designado (OCD) que viabilizam o processo de certificação dos produtos.

Para que o produto receba certificação do órgão regulamentador, o mesmo deve passar por uma série de etapas e processos que exigem das empresas tempo, dedicação e orçamento financeiro para viabilizar a certificação. Desta forma, fica claro que quanto mais técnicas e cautelas voltadas para interferências eletromagnéticas forem aplicadas durante o desenvolvimento do projeto, menos custoso será o processo para obtenção do certificado. De forma geral, os processos de certificação relacionados ao produto eletrônico desenvolvido neste artigo são ilustrados no Quadro 1.

Quadro 1 - Processo de avaliação de conformidade do produto para certificação.



9.2 Normas Aplicadas ao Porteiro Eletrônico

Ao realizar estudos prévios e entrar em contato com OCD, alguns dos requisitos necessários para o produto ser comercializado foram identificados. Conforme informado pelo organismo, o dispositivo se enquadra na categoria “II” e tipo de “Transceptor de Radiação Restrita – Espalhamento Espectral”.

Os produtos na categoria II devem passar por avaliação periódica após 24 meses da data de emissão do certificado de conformidade técnica do OCD, ou seja, os custos operacionais são recorrentes para empresa a

cada dois anos para manter o produto no mercado. Após este período, caso o produto não seja submetido aos ensaios necessários, a empresa perde a certificação do produto eletrônico.

O tipo do produto eletrônico em questão “Transceptor de Radiação Restrita – Espalhamento Espectral” o vincula a alguns testes específicos que devem ser realizados para que o mesmo possa ser comercializado.

Conforme apresentado na Seção 6, o produto se enquadra a um equipamento da Classe B. Os ensaios de emissão conduzida e radiada devem ser realizados também na nova versão de *hardware* do produto. Porém, como os resultados do protótipo com fonte externa foram extremamente satisfatórios, acredita-se que os ensaios com as novas versões de placas também estarão dentro dos limiares da CISPR22. Por mais que os ensaios apresentados na Seção 6 tiveram o limiar da norma excedido, os filtros utilizados no conversor que será utilizado na placa de circuito impresso deverão atenuar a frequência de 600 kHz. Além disto, até o momento de escrita deste artigo a segunda versão das placas não foram efetivamente fabricadas e, caso necessário, circuitos de filtros e desacoplamento ainda podem ser implementados.

Devido ao porteiro eletrônico utilizar radiotransmissão através de comunicação Bluetooth, o produto deve atender a “Requisitos Técnicos para a avaliação da conformidade de equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita”, conforme o Ato n° 14448 de 4 dezembro 2017, publicado pela Anatel (ANATEL, 2017). Enquadrando-se neste Ato, o mesmo precisa atender uma série de exigências, conforme o item 10 do Ato que se refere a “Equipamentos utilizando tecnologia de espalhamento espectral ou outras tecnologias de modulação digital”. Nesta seção do Ato publicado pela Anatel, estão os quesitos que o produto deverá atingir em relação ao seu módulo de radiotransmissão, o Bluetooth. Itens como a potência máxima de transmissão, saltos de faixa de frequência durante a comunicação, largura de faixa, tempo médio de ocupação de rádio frequência e diversos outros quesitos estão previstos durante a seção.

Por fim, o produto deve atender quesitos de segurança; o Ato n° 950, de 8 de fevereiro de 2018, publicado pela Anatel (ANATEL, 2018b) que trata dos “Requisitos técnicos de segurança elétrica para avaliação da conformidade de produtos para telecomunicações”. Enquadrando-se neste Ato, o produto deve atender aos itens 7, 9 e 10 do mesmo, que se referem a verificação de requisitos, proteção contra choques elétricos em condição de sobretensão na porta externa de energia elétrica e proteção contra aquecimento excessivo.

10 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de produto eletrônico é uma tarefa árdua e complexa. O envolvimento de diversos setores em uma empresa e a análise de vários quesitos que justifiquem a viabilidade para iniciar-se um projeto, demanda de gestores o estudo de mercado, conhecimento do potencial de sua equipe e noção de diversos processos internos e externos a empresa.

Uma vez tomada a decisão de desenvolver um produto eletrônico, montar uma estratégia de execução das etapas é fundamental para buscar o sucesso do projeto bem como do produto. Por muitas vezes, devido a pressa e ânsia em finalizar o projeto, a vontade de negligenciar algumas etapas pode ser tentadora. Porém, conforme demonstrado ao decorrer do artigo, ao desenvolver o produto eletrônico com boas práticas e técnicas desde sua concepção faz com que os possíveis problemas com interferências eletromagnéticas sejam minimizados. As boas práticas desde a escolha dos componentes, elaboração dos circuitos e *layout* permitiram que os resultados dos ensaios de emissão conduzida e radiada fossem satisfatórios já no protótipo do produto.

Além dos quesitos técnicos voltados para o desenvolvimento de *hardware* é fundamental que a usabilidade do produto também seja analisada. Prover uma experiência agradável ao usuário desde abertura da caixa do equipamento, instalação, até o mesmo estar efetivamente em operação em campo é essencial para o sucesso do produto.

Tendo em vista as técnicas aplicadas ao produto, os resultados dos ensaios e análise das normas ao qual produto se aplicará, o mesmo encontra-se no caminho para obtenção de certificado e posteriormente ser liberado comercialmente.

REFERÊNCIAS

ABESE. 2020a. **Mercado de portaria remota prevê crescimento em 2020**. Disponível em: <<https://www.abese.org.br/index.php/445-mercado-de-portaria-remota-preve-crescimento-em-2020>> Acesso em: 22 mar. 2020.

ABESE. 2020b. **Mercado de segurança eletrônica no Brasil faturou R\$ 7,17 bilhões em 2019; previsão é de crescimento de 12% em 2020**. Disponível em: <<https://www.abese.org.br/index.php/456-mercado-de-seguranca-eletronica-no-brasil-faturou-r-7-17-bilhoes-em-2019-abese-preve-crescimento-de-12-em-2020>> Acesso em: 22 mar. 2020.

ABNT. **NBR 5431 - Caixas e invólucros para acessórios elétricos para instalações elétricas fixas domésticas e análogos - Dimensões**. Publicada em 21/04/2008.

ABNT. **Sobre a Normalização**. Disponível em: <<https://abnt.org.br/normalizacao/sobre-a-normalizacao/>> Acesso em: 14 mai. 2020.

ANATEL. 2017. **Ato nº 14448, de 4 dezembro 2017**. Disponível em: <<https://www.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-certificacao-de-produtos/2017/1139-ato-14448>> Acesso em: 14 jul. 2020.

ANATEL. 2018a. **Ato nº 1120, de 19 de fevereiro de 2018**. Disponível em: <<https://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/95-atos-de-requisitos-tecnicos-de-certificacao/2018/1181-ato-1120>>. Acesso em: 8 jun. 2020.

ANATEL. 2018b. **Ato nº 950, de 8 de fevereiro de 2018**. Disponível em: <<https://www.anatel.gov.br/legislacao/es/atos-de-requisitos-tecnicos-de-certificacao/2018/1193-ato-950>> Acesso em: 14 jul. 2020.

AVX CORPORATION. **TPC NTC/PTC Thermistors**. Disponível em: <https://www.mouser.com/catalog/supplier/library/AVXNTC_PTCThermistors.pdf> Acesso em: 30 mai. 2020.

DINSMORE, P. C. **Gerência de programas e projetos**. São Paulo, Editora PINI, 1992. 176 p.

EMC TECNOLOGIA. **Apostila de Curso de Projeto de Circuitos Eletrônicos e a Compatibilidade Eletromagnética**, 2020.

IEC. **CISPR 22 - Information technology equipment - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement**. 2002.

JORNAL DO COMERCIO. 2019. **Mercado de portaria remota prevê alta de 30% no Brasil até o próximo ano**. Disponível em: <https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/economia/2019/10/708296-mercado-de-portaria-remota-preve-alta-de-30-no-brasil-ate-o-proximo-ano.html> Acesso em: 22 mar. 2020.

KHOMP INDÚSTRIA E COMÉRCIO. Disponível em: <<https://www.khomp.com/pt/>> Acesso em: 27 out. 2020.

LITTELFUSE. **Circuit Protection Solutions**. Disponível em: <<https://www.littelfuse.com/products/tvs-diodes.aspx>> Acesso em 07 nov. 2020.

MICROCHIP TECHNOLOGY. **Application Note - AN1478: mTouch Sensing Solution Acquisition Methods Capacitive Voltage Divider**. 2013. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/Appnotes/01478B.pdf>> Acesso em: 27 mai. 2020.

MICROPRESS. **Comparação de laminados**. Disponível em: <<https://www.micropress.com.br/comparacao-de-laminados/>> Acesso em: 17 mai. 2020.

MONTROSE, M. I. **Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance**. 2nd ed. Hoboken, Nova Jersey, EUA: Wiley-Blackwell, 2000.

NORDIC SEMICONDUCTORS. **Reference Circuit**. Disponível em: <https://docs.nordicsemi.com/bundle/ps_nrf52840/page/ref_circuitry.html> Acesso em: 10 mai. 2020.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge: (PMBOK Guide)**, Project Management Institute, 3rd ed, 2004.



CENTRAL DE CONTROLE DE SENSORES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Bárbara Coelho¹, Daniel Lohmann², Renan Augusto Starke³

Resumo: A aquicultura no Brasil é um mercado que apresentou um grande crescimento nos últimos anos, sendo a tilápia uma espécie relevante para esse crescimento. A principal exigência do cultivo de peixes é o controle da quantidade de oxigênio dissolvido na água. Com o controle adequado desse parâmetro, visa-se obter um aumento de produtividade, diminuição de riscos de perda e otimização dos usos de energia e de ração, proporcionando uma maior eficiência nas produções aquícolas. Assim, esse artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um sistema automático para o monitoramento, controle e acionamento de medidas preditivas, preventivas e emergenciais para o cultivo de camarões e peixes em cativeiro controlando continuamente o nível de oxigênio dissolvido nos tanques de produção aquícola.

Palavras-chave: Central de controle. Sensor de oxigênio dissolvido. Comunicação de dados. Internet das coisas (IoT).

Abstract: *The aquaculture market in Brazil has experienced significant growth in recent years, with tilapia being a prominent species driving this expansion. A crucial aspect of successful fish cultivation is maintaining optimal dissolved oxygen levels in the water. By effectively controlling this parameter, producers can enhance productivity, optimize energy and feed usage, and ultimately increase overall aquaculture output. This article introduces a product designed to continuously monitor and regulate dissolved oxygen levels in aquaculture production tanks. The system automatically activates aerators and enables remote monitoring through IoT technology, ensuring optimal water quality and maximizing fish health and growth.*

Keywords: *Control center. Dissolved oxygen sensor. Data communication. Internet of things (IoT).*

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <barbaracoelho1995@gmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <daniel.lohmann@ifsc.edu.br>.

³ Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <renan.starke@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

Esse artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema embarcado comercial que consiste em trazer para o setor de aquicultura, em especial o cultivo de peixes em cativeiro, um sistema automático de monitoramento, controle e acionamento de medidas preditivas, preventivas e emergenciais. Visa-se a capacidade de reduzir custos, aumentar produtividade, além de ter um monitoramento e rastreabilidade das variáveis para planejamento futuro da produção.

De acordo com Coddington e Green (1993), aplicando o controle da aeração em viveiros, observou-se melhorias de 18% a 21% no crescimento, 3% a 5% na sobrevivência e de 21% a 25% na produção de tilápias. Além das melhorias em suas produções, ao adotar um controle de aeração, os produtores poderão ter acesso remoto das informações obtidas pelo sistema para a verificação das condições dos ambientes de produção. Esses dados também servirão como registro histórico para análises e planejamentos de produções futuras.

Segundo piscicultores e vendedores de produtos aquícolas de Santa Catarina, atualmente o controle de oxigênio dissolvido nos tanques de produção é realizado de modo manual ou com o auxílio de temporizadores (*timers*). Os aeradores são acionados em determinados horários ao longo do dia para garantir a oxigenação dos tanques.

O modelo de projeto utilizado como base no desenvolvimento deste trabalho é o PRODIP (Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos) sendo um modelo desenvolvido inicialmente pelo Núcleo de

Desenvolvimento Integrado de Produto (NEDIP) (BACK *et al.*, 2008). Mais especificamente a etapa de projeto.

Este artigo está dividido da seguinte forma: apresenta-se o projeto informacional na Seção 2, a Seção 3 trata do projeto conceitual, o projeto preliminar do produto na Seção 4, o desenvolvimento do protótipo na Seção 5 e por fim, na Seção 6, a conclusão.

2 PROJETO INFORMACIONAL

Nesta seção é definido o problema, em seguida é apresentada a definição do problema, a pesquisa de mercado, os concorrentes, os requisitos e restrições do projeto e, por fim, uma breve definição do produto.

2.1 Definição do Problema

Na piscicultura são utilizados tanques para a produção de peixes, onde há a necessidade de se fazer a reposição de oxigênio. O oxigênio dissolvido na água, além de ser usado na respiração do peixe, também ajuda na decomposição dos materiais orgânicos (FIORUCCI; FILHO, 2005) que estão presentes no tanque, como restos de alimentos e fezes do peixe. Para se realizar essa reposição de oxigênio são utilizados os aeradores nos tanques.

Segundo Kubitza (2017), o oxigênio é essencial para a respiração dos peixes, quanto maior a concentração de oxigênio na água melhor será o processo de respiração. Essa concentração de oxigênio nos tanques de produção depende de diversos fatores como: temperatura, salinidade, fotossíntese, respiração dos peixes, altitude, pressão atmosférica, luminosidade, vento, chuva, biomassa estocada, taxa de alimentação, qualidade do alimento etc. Essas características tornam cada tanque ou viveiro de cultivo único, tendo seu próprio regime e níveis de oxigênio que necessitam de monitoramento individual.

A tilápia é a espécie de peixe em cultivo mais produzida no Brasil. Essa espécie é extremamente tolerante a baixas concentrações de oxigênio dissolvido, podendo suportar níveis próximo de zero por horas sem morrer. Contudo, quando exposta a níveis baixos de oxigênio, ela apresenta prejuízo no crescimento e na conversão alimentar e, se exposta frequentemente, fica mais susceptíveis a doenças.

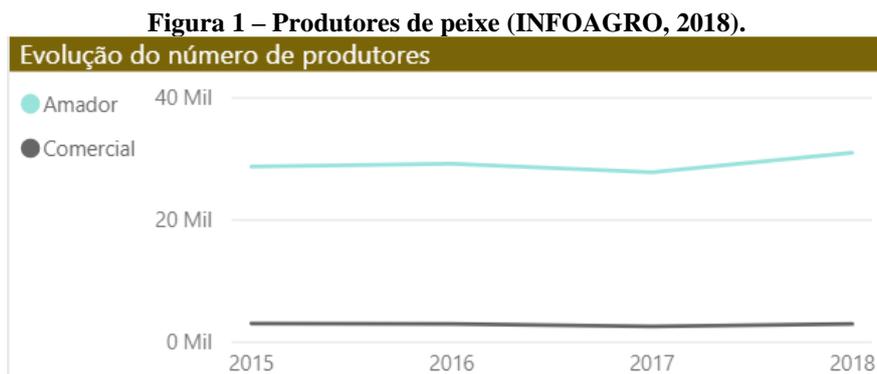
2.2 Mercado

Segundo a Associação Brasileira de Piscicultura (PEIXE BR, 2020). O mercado brasileiro de piscicultura gera cerca de 1 milhão de empregos diretos e indiretos e em 2018 produziu cerca de 772.560 toneladas de peixe. O Brasil é o quarto maior produtor mundial de tilápia, o que representa 55,4% da produção nacional de peixes de cultivo.

Com base nas informações fornecidas pelo Infoagro (2018), os dados são coletados anualmente pelos extensionistas da Epagri, os quais atuam nos 295 municípios do estado. Essas coletas de dados são realizadas pelos técnicos da Epagri, por meio de consultas aos produtores. Para os produtores de peixes, o levantamento de dados é separado em produtores profissionais e amadores. Os profissionais são os que produzem regularmente para meios comerciais, usando técnicas e equipamentos, com o intuito de aumentar a produtividade. E os amadores, os que produzem para autoabastecimento, lazer e vendas eventuais. Desse modo, os produtores comerciais são os potenciais usuários do sistema apresentado nesse artigo.

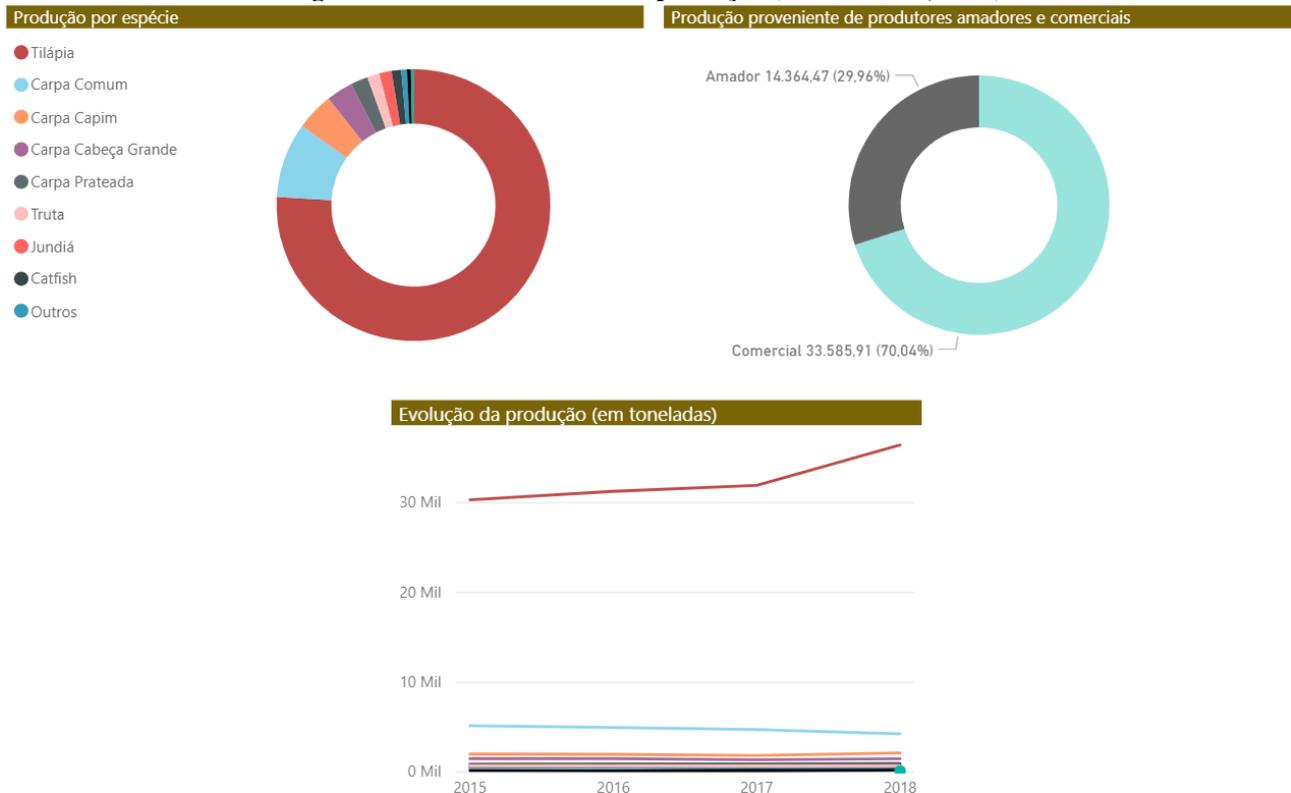
No site do Infoagro (2018) é apresentado um mapa interativo com os dados coletados pelos extensionistas da Epagri. Até o momento em que foi escrito esse artigo, a última atualização do site é do ano de 2018.

A Figura 1 apresenta o gráfico de evolução do número de produtores, comerciais e amadores, no estado de Santa Catarina. Para o ano de 2018, havia 31.009 produtores amadores e 2.985 produtores comerciais. Os produtores comerciais, mesmo representando apenas 8,8% do total de produtores, produzem 70,04% da produção de peixes no estado.



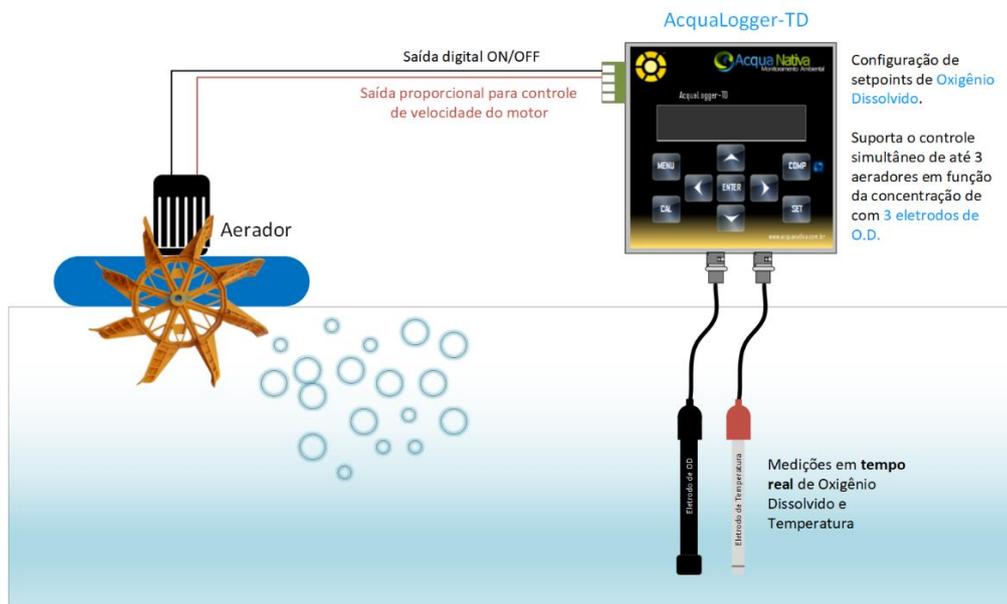
A Figura 2 apresenta um gráfico com a produção por espécie, onde a tilápia representa 75,98% e o gráfico de produção proveniente de produtores amadores e comerciais, sendo 29,96% amadores e 70,04% comerciais.

Figura 2 – Gráficos e tabelas de produção (INFOAGRO, 2018).



O concorrente que possui o produto mais semelhante ao desenvolvido neste trabalho é a empresa Acqua Nativa Monitoramento Ambiental. O produto desenvolvido é o AcquaLogger-TD (Figura 3), um Controlador de Oxigênio Dissolvido para monitoramento de qualidade da água, controle e acionamento de dispositivos. O produto usa a sonda de oxigênio dissolvido eletroquímica da empresa Atlas Scientific, com o custo para uma unidade de US\$ 218,00 dólares, valor obtido no site oficial da empresa no dia 14 de julho de 2020 (ATLAS SCIENTIFIC, 2020). Foi solicitado o orçamento, com a empresa Acqua Nativa, dos produtos Controlador de Oxigênio Dissolvido e do Eletrodo galvânico de Oxigênio Dissolvido e foi obtido os valores respectivos de R\$ 1.750,00 e R\$ 1.325,00.

Figura 3 – Controlador AcquaLogger-TD (ACQUA NATIVA MONITORAMENTO AMBIENTAL, 2020),



Especificações do produto AcquaLogger-TD:

- leituras de oxigênio dissolvido (OD) entre 0 e 100 mg/l com precisão de $\pm 0,05$ mg/l;
- leituras de Temperatura entre -55 e 125 °C com precisão de $0,1$ °C;
- 4 saídas digitais a relé;
- 4 entradas digitais;
- 2 saídas analógicas 0 a 10 V com 12 bits de resolução;
- 4 entradas analógicas 0 a 10 V com 12 bits de resolução;
- *display* LCD alfanumérico para visualização local;
- memória não-volátil para armazenamento de até 1.000 registros;
- transmissão e conectividade: EIA-485 com protocolo Modbus RTU;
- telemetria de dados via GPRS, Ethernet;
- alimentação $24 V_{CC}$ (customizável para $110 V_{CA}$ ou $220 V_{CA}$).

2.3 Requisitos e Restrições de Projeto

Os requisitos e as restrições do projeto consideraram as necessidades imediatas dos futuros usuários bem como especificações de sensores, interfaces de comunicação e custos. Tais requisitos e restrições são sintetizadas abaixo:

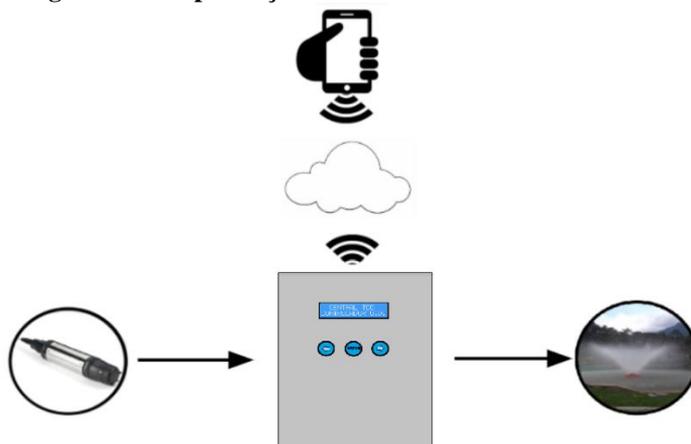
- Requisitos:
 - entradas para comunicação com as sondas;
 - saídas de acionamento dos atuadores;
 - botões para entrada de dados, para a Interface Homem Máquina (IHM);
 - um *display* para a IHM;
 - um conversor de tensão: para alimentar o sistema, de entrada $220 V_{AC}/60$ Hz;
 - conectividade para transmitir os dados para o servidor na nuvem;
 - Bluetooth para conectar com dispositivos móveis;
 - servidor MQTT, usado receber os dados transmitidos pelo produto;
 - aplicativo Wi-Fi, para configurar Wi-Fi;
 - aplicativo para configurar os parâmetros da sonda quando a membrana é trocada.
- Restrições:
 - ter alto grau de proteção contra poeira e água;
 - o projeto não deve ultrapassar o orçamento de produção de R\$ 400,00;
 - o projeto do *hardware* deve ser executado paralelamente ao projeto de *software*.

2.4 O Produto

O sistema embarcado consiste em uma central de controle de oxigênio dissolvido para tanques de produção aquícola. A central fará o monitoramento dos tanques usando sondas de oxigênio dissolvido e, com base nos parâmetros estabelecidos previamente pelo usuário, irá acionar os aeradores.

Este sistema deverá permitir a entrada de mais de uma sonda, as quais transmitirão os valores de temperatura e oxigênio dissolvido da água para a central, IHM e, dependendo no nível de oxigenação recebido pela sonda, a central irá acionar os aeradores conforme ilustrado pela Figura 4.

Figura 4 – Simplificação das entradas e saídas do sistema.



O cenário de aplicação onde esse sistema atuará é formado pelos tanques de produção de peixe. Esses tanques localizam-se em ambientes abertos e apresentam postes de energia do seu lado para alimentar os aeradores. O sistema ficará exposto às intempéries climáticas, como ilustrado pela Figura 5.

Figura 5 – Cenário de aplicação.



3 PROJETO CONCEITUAL

No projeto conceitual, primeiramente foram determinadas as funções do produto, a matriz morfológica e o projeto arquitetural.

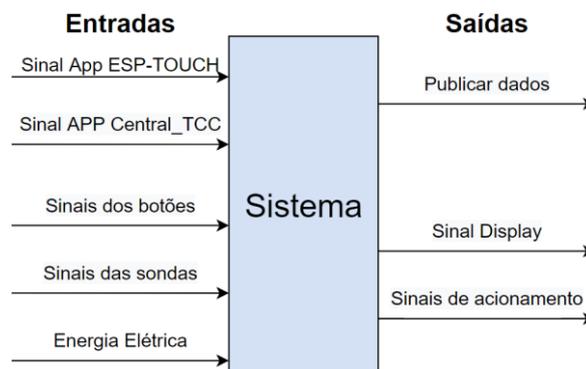
3.1 Funções do Produto

Nesta seção é apresentada a função global e as subfunções. A função global é dividida em partes, criando as subfunções, dessa maneira cada uma dessas partes poderá ser resolvida separadamente simplificando o processo de solução do problema.

3.1.1 Função Global

A função global de um sistema é o resumo da principal ação realizada. Neste caso, a função global é controlar oxigênio dissolvido e, para isso, é necessário receber os dados da sonda, os sinais vindos da interface do usuário e acionar os aeradores. Na Figura 6 é apresentado um resumo das entradas e saídas do sistema.

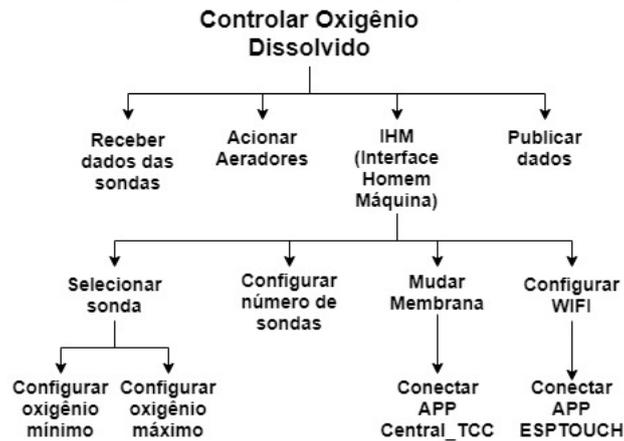
Figura 6 – Entradas e saídas do sistema.



3.1.2 Subfunções do Produto

Após ser estabelecida a função global do sistema, ela é dividida em subfunções com o intuito de facilitar a resolução do problema conforme a Figura 7. Para realizar o controle de oxigênio dissolvido, é necessário receber os dados fornecidos pela sonda, fazer o acionamento dos aeradores, publicar os dados na nuvem e permitir a configuração através da IHM.

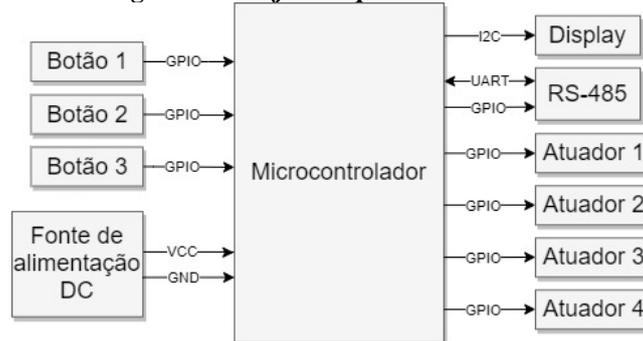
Figura 7 – Síntese de função do produto.



3.2 Projeto Arquitetural

O sistema deve enviar dados para a nuvem através de um *gateway* Wi-Fi e fazer a comunicação via Bluetooth com os aplicativos usados para a configuração. Para a interface homem-máquina, serão usados três botões (três pinos de entrada) e um *display* LCD 16x2 usando o protocolo de comunicação I²C. Para a comunicação com as sondas, será utilizado a comunicação RS-485 para leitura da temperatura e oxigênio dissolvido na água, utilizando a interface UART do microcontrolador. Serão necessários quatro pinos de saída para enviar o sinal de acionamento dos aeradores. A Figura 8 ilustra a arquitetura interna indicando as principais características necessárias para o funcionamento da central.

Figura 8 – Projeto arquitetural interno.



A Figura 9 ilustra o funcionamento completo do sistema. Há a central de controle de oxigênio dissolvido comunicando-se via Bluetooth com um *smartphone* e uma infraestrutura Wi-Fi que permite conexão com a Internet para publicação dos dados na nuvem.

Figura 9 – Representação o funcionamento completo do sistema.



4 PROJETO PRELIMINAR

No projeto preliminar é apresentado o painel do produto, a matriz morfológica, a escolha dos componentes e o projeto da interface do produto.

4.1 Painel do Produto

O painel semântico, também chamado *mood board* (em português significa “quadro de humor”), de uma forma abstrata reflete as emoções provocadas pelos produtos.

4.1.1 Painel do Estilo de Vida

O painel do estilo de vida tem como objetivo de refletir a rotina e estilo de vida do usuário do produto. Na Figura 10, é apresentado esse painel, inspirando o desenvolvimento de um produto simples e robusto. Desse modo optou-se pela utilização de apenas três botões e um *display* na interface física do produto.

Figura 10 – Painel de estilo de vida.



4.1.2 Painel das Expressões do Produto

Este painel tem o objetivo de definir uma expressão do produto que representa a emoção transmitida ao usuário. Na Figura 11, é apresentado o painel das expressões do produto, que são definidas como: conectividade, segurança, automação, confiabilidade e integração.

Figura 11 – Painel de expressões do produto (Extraído do Banco de imagens da Internet).



4.1.3 Painel do Tema Visual

A partir das expressões do produto definidas anteriormente (conectividade, segurança, automação, confiabilidade e integração), o painel de tema visual busca colocar produtos que passem com propriedade os conceitos das expressões definidas para o produto. Na Figura 12 é apresentado o painel do tema visual do produto, inspirando a desenvolver um produto com traços simples, mas que traga segurança ao usuário.

Figura 12 – Painel de expressões do produto (Extraído do Banco de imagens da Internet).



4.2 Matriz Morfológica

A metodologia utilizada para solucionar os problemas identificados e para gerar possíveis soluções foi por meio de pesquisas em campo e por pesquisas bibliográficas. Estas possíveis soluções e os problemas estão apresentados na Tabela 1, junto com a escolha das opções em negrito.

Tabela 1 – Matriz morfológica do produto.

	Opção 1	Opção 2	Opção 3
Acionamento	Triac	Relé	-
Conectividade	Wi-Fi	Cabo	Redes Móveis
Energia	Cabo	Bateria	-
Configuração	IHM	Serial	Interface Web
Histórico	Local	Nuvem	-

As duas principais opções a serem escolhidas para o acionamento dos aeradores são: relé e Triac. O Triac, sigla do termo em inglês *Triode for Alternating Current* é um dispositivo do tipo triodo bidirecional, possibilitando que ele controle a onda completa CA (Corrente Alternada). E o relé é um componente eletromecânico, ou seja, nele consta uma parte mecânica de contato e uma bobina, que através da corrente elétrica aciona a chave de contato. Desse modo, para o acionamento optou-se pelo Triac, pois o semicondutor apresenta um ciclo de vida maior em relação às partes mecânicas do relé.

No caso da conectividade, escolheu-se a comunicação sem fio para evitar cabos no ambiente de produção.

A alimentação do sistema escolhida é a cabo, porque, mesmo que a central possuísse bateria mantendo-a ligada, os aeradores e o roteador não irão funcionar sem energia tornando desnecessária a central manter-se ligada.

O histórico armazenado na nuvem permite que os dados obtidos sejam usados para rastreabilidade e aprimoramento da produção.

4.3 Seleção de Material

Após a definição das funcionalidades do produto, os painéis de produto e a matriz morfológica, são definidos quais especificações os componentes usados deverão possuir.

4.3.1 Tecnologia de Processador

Esse produto requer conexão à Internet para publicar os dados na nuvem. Ele também irá necessitar da interface Bluetooth para parametrizar as sondas por meio do aplicativo *mobile*. Além disso, o microprocessador utilizado precisará de pinos de saída para os atuadores, pinos de entrada para os botões, uma interface UART com controle de fluxo para enviar e receber dados para a sonda e interface I²C para a enviar dados ao *display* da IHM.

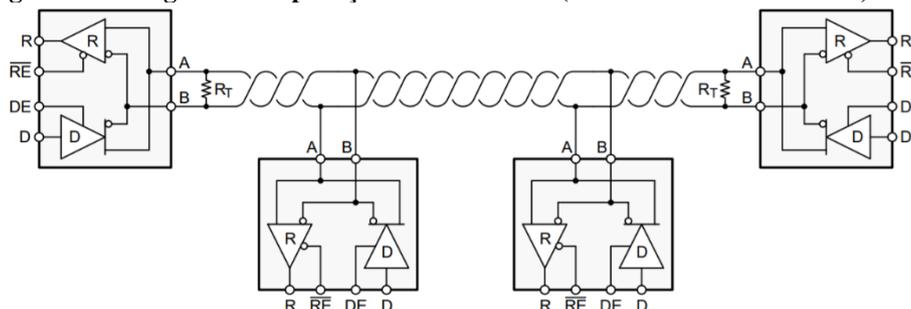
Na busca por um dispositivo que suprisse os requisitos apresentados no parágrafo anterior, chegou-se no módulo ESP32-WROM-32E, por US\$ 2,50 com as seguintes especificações (ESPRESSIF SYSTEMS, 2020a):

- ESP32-D0WD-V3 embarcado, Xtensa® dual-core;
- microprocessador 32 bits LX6, máximo de 240 MHz;
- 448 KB ROM para inicialização e funções básicas;
- 520 KB SRAM para dados e instruções;
- 16 KB SRAM em RTC;
- *wireless* padrão 802.11b/g/n
- conexão Wi-Fi 2,4 GHz (máximo de 150 Mbps);
- Bluetooth v4.2 BR/EDR e Bluetooth LE;
- Interfaces: cartão SD, UART, SPI, SDIO, I²C, LED;
- PWM, Motor PWM, I²S, IR, contador de pulso, GPIO, sensor capacitivo de toque, ADC, DAC;
- cristal oscilador de 40 MHz;
- antena embutida;
- 16 MB SPI Flash;
- tensão de operação: 3,0 – 3,6 V.

4.3.2 Periféricos Necessários

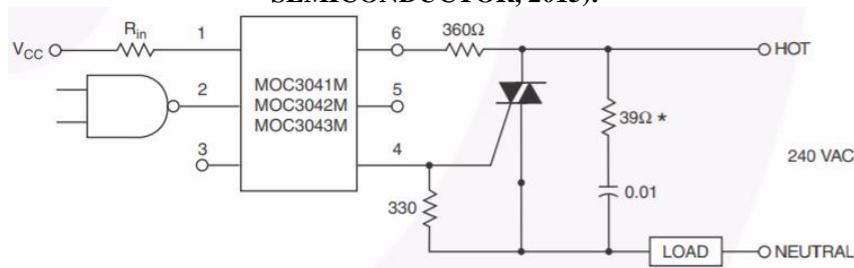
Na IHM do produto, serão usados três botões à prova d'água e um *display* I²C. Para a comunicação com as sondas, que usam o padrão RS-485, foram selecionados dois componentes: MAX3485, por US\$ 3,05, e o SN65HVD72DR, por US\$ 2,57. Ambos os *transceivers* são semelhantes e adequados ao projeto optando-se pelo SN65HVD72DR com menor custo. O diagrama de aplicação da comunicação RS-485 é ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Diagrama de aplicação SN65HVD72x (TEXAS INSTRUMENTS, 2019).



Para o acionamento dos aeradores, há duas opções optoacopladas de saída Triac: MOC3023M, por US\$ 0,41, e o MOC3043M, por US\$ 0,98. O componente escolhido foi o MOC3043M (Figura 14), pois ele possui, integrado ao sistema, um circuito de detecção de cruzamento de tensão de zero.

Figura 14 – Circuito de Chaveamento MOC303xM e MOC304xM (FAIRCHILD SEMICONDUCTOR, 2015).



4.3.3 Alimentação do Sistema

O sistema utiliza uma fonte externa de 220 V_{AC}/60 Hz para 12 V_{CC} para alimentar as sondas, o circuito Triac e o circuito do regulador LM7805 (TEXAS INSTRUMENTS, 2016), que alimenta o Módulo ESP32 e o *display*.

4.3.4 Sensor

O sensor de oxigênio dissolvido ainda se encontra em fase de testes e validação. Para a validação do *software* da sonda, desenvolveu-se um sistema microcontrolado que simula o comportamento da sonda através de um microcontrolador que adquire dados de temperatura e luminosidade (sensor óptico). Os dados são tratados e transmitidos por RS-485 conforme o protocolo de comunicação implementado pela sonda.

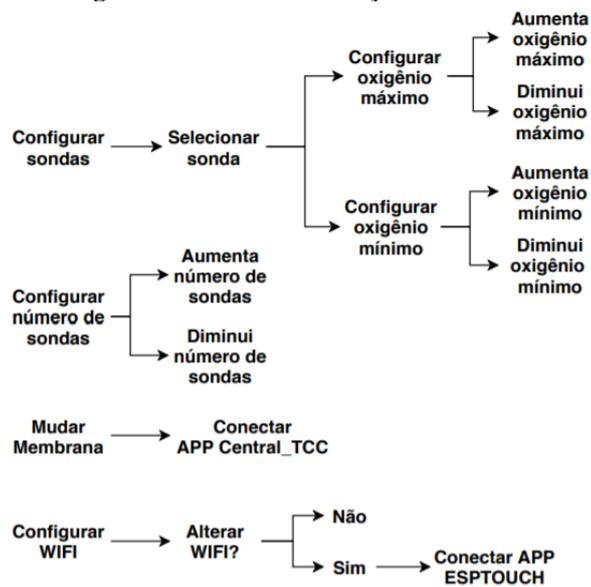
4.4 Projeto de Interface do Produto

O esboço do projeto ilustra a interação do usuário com o sistema. No caso deste projeto, será desenhada a interface física e a digital. Na interface humano-máquina, optou-se pela utilização de um LCD 16x2 e três botões. Para se obter uma interface simples e que possua todos os dados necessários para o controle adequado do sistema, foram estabelecidas as seguintes configurações:

- configuração das sondas;
- configuração do número de sondas;
- configuração membrana;
- configurar Wi-Fi.

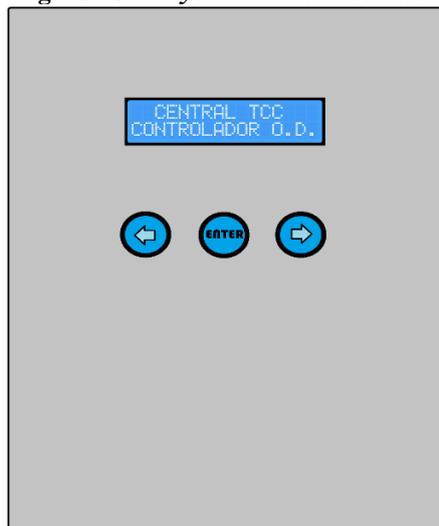
Assim, desenvolveu-se a árvore de funções do menu, apresentada na Figura 15.

Figura 15 – Árvore de funções do menu.



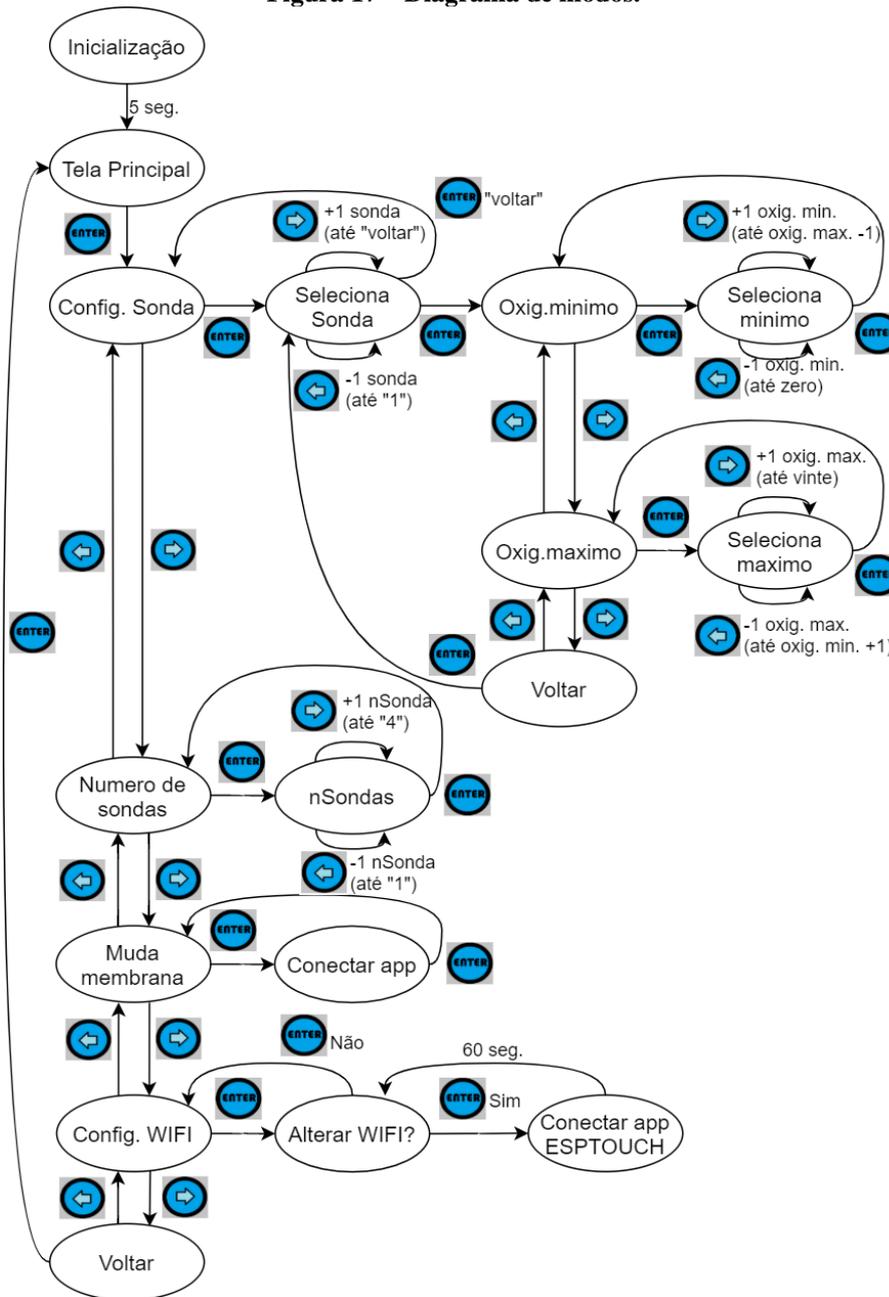
No *layout* da interface física, optou-se pela utilização de um LCD central na parte superior do produto, com suas funções e ajustes selecionados por meio dos botões, dispostos de forma simétrica, conforme pode ser observado no *layout* apresentado na Figura 16.

Figura 16 – *Layout* da interface física.



Definidos a árvore de funções do menu e o *leiaute* do produto, podem-se traçar as interações entre usuário e dispositivo através de um diagrama de modos conforme a Figura 17. Definem-se rotas e caminhos de retorno, maximizando a eficiência do projeto e reduzindo as transições de estados ilegais.

Figura 17 – Diagrama de modos.



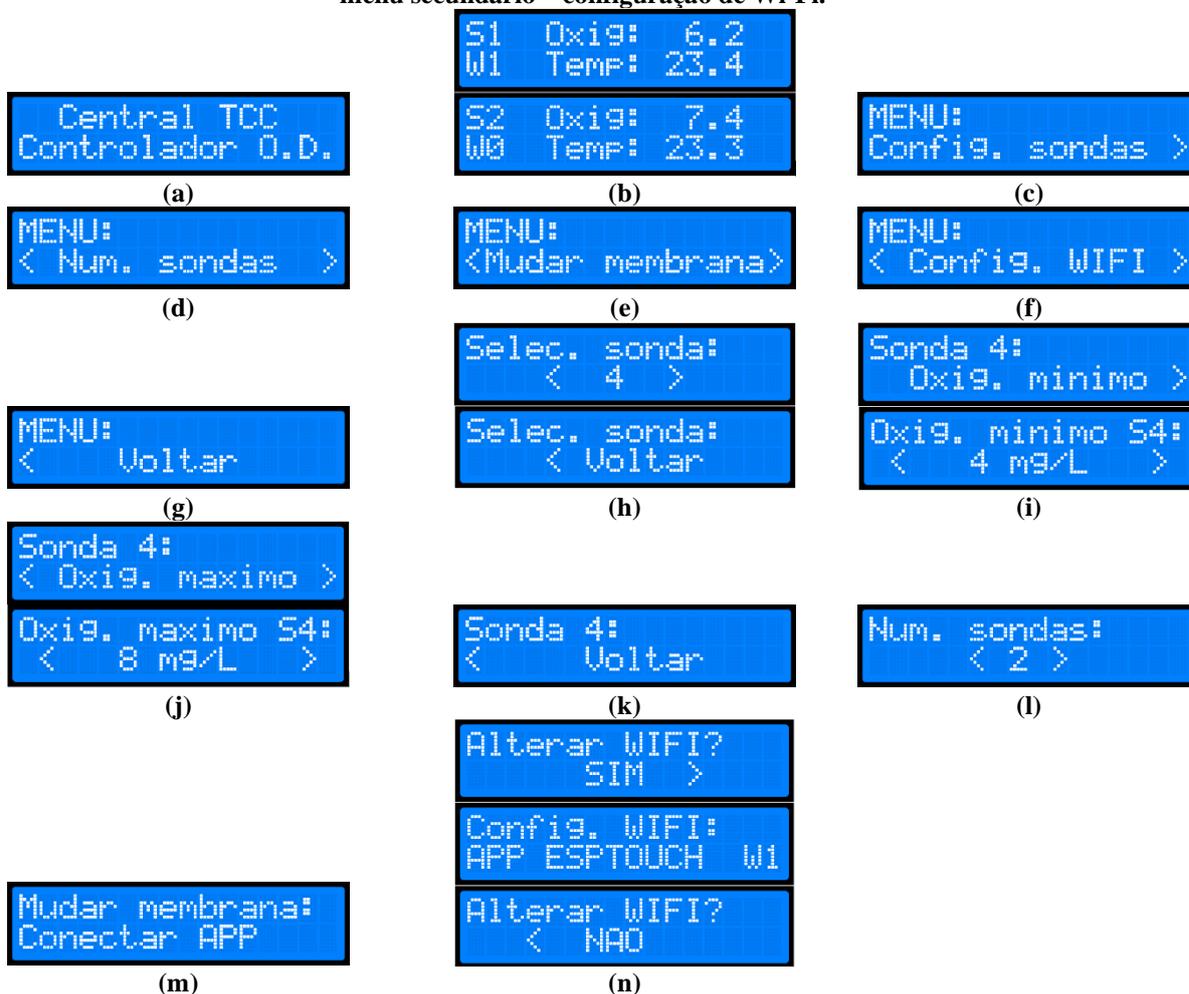
Com o diagrama de modos finalizado e definidas as possíveis interações permitidas entre usuário e dispositivo para a navegação entre as funções, cria-se um *storyboard* contendo todos os modos com que o dispositivo irá interagir visualmente com o usuário.

Para um melhor entendimento do uso da interface do produto, será apresentada cada uma das etapas:

- **Inicialização:** Essa etapa ocorre apenas quando o sistema é inicializado, apresentando por cinco segundos a tela apresentada na Figura 18(a).
- **Tela Principal:** Ao ligar o produto pela primeira vez, na configuração básica do produto, apenas a sonda 1 (S1) é cadastrada. Na Figura 18(b), apresentam-se configuradas as sondas 1 e 2, com intercalação das telas a cada cinco segundos. No topo esquerdo da tela temos a identificação, onde S1 é a sonda 1, S2 a sonda 2 e assim por diante, abaixo da identificação da sonda indica se o Wi-Fi está ou não conectado (W1 conectado e W0 desconectado). O oxigênio dissolvido é dado em miligramas por litro (mg/L) e a temperatura em graus celsius (°C).
- **Menu Principal:** Será dividido em telas.
 - Tela 1: a tela na Figura 18(c) apresenta a opção de menu de configuração de sondas.
 - Tela 2: a tela na Figura 18(d) apresenta a opção de menu de cadastro do número de sondas que serão usadas.

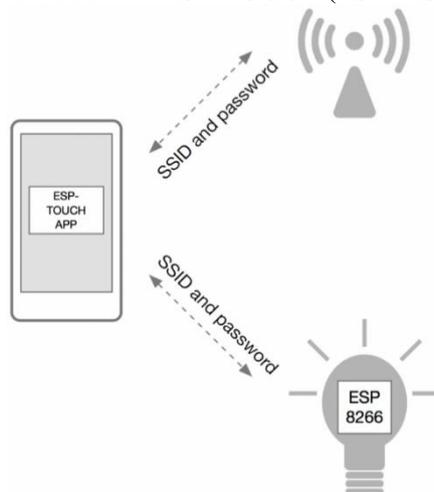
- Tela 3: a tela (Figura 18(e)) apresenta a opção de menu de troca de membrana.
- Tela 4: a tela (Figura 18(f)) apresenta a opção de menu de configuração de Wi-Fi.
- Tela 5: a tela (Figura 18(g)) apresenta a opção de menu de voltar à tela principal.
- **Menus Secundários:** Os menus secundários são as continuidades das telas do menu principal.
 - Configuração das sondas: primeiramente deve-se selecionar no menu principal a opção “Config. sondas” (Tela 1) e, em seguida, selecionar qual das sondas deseja-se configurar ou voltar ao menu principal (Figura 18(h)). Após se selecionar uma sonda, será aberto o menu de configuração da sonda escolhida, com as opções de escolher o limite mínimo (Figura 18(i)) e máximo (Figura 18(j)) de oxigênio dissolvido e voltar (Figura 18(k)) para a tela de seleção de sondas.
 - Número de sondas: primeiramente deve-se selecionar no menu principal a opção “Num. sondas” (Tela 2) e, em seguida, selecionar o número de sondas ligadas à central (Figura 18(l)).
 - Trocar membrana: primeiramente deve-se selecionar no menu principal a opção “Mudar membrana” (Tela 3), onde aparecerá uma mensagem indicando para se conectar ao aplicativo da central, chamado “Central_TCC” (Figura 18(m)).
 - Configuração de Wi-Fi: para configurar o Wi-Fi, deve-se selecionar no menu principal a opção “Config. WIFI” (Tela 4), onde aparecerá a pergunta “Alterar WIFI?”, se não se deseja alterar deve-se selecionar o “NAO”, caso o contrário “SIM”. Ao selecionar a opção “SIM” aparecerá na tela “APP ESPTOUCH” (Figura 18(n)) onde o usuário deverá usar o aplicativo ESP-TOUCH da Espressif para fazer a configuração do Wi-Fi, o usuário terá até sessenta segundos para fazer a alteração.

Figura 18 – Telas do sistema: (a) inicialização, (b) tela principal, (c) menu principal – tela 1, (d) menu principal – tela 2, (e) menu principal – tela 3, (f) menu principal – tela 4, (g) menu principal – tela 5, (h) menu secundário – seleção de sonda, (i) menu sonda – limite mínimo, (j) menu sonda – limite máximo, (k) menu sonda – voltar, (l) menu secundário – número de sondas, (m) menu secundário – troca de membrana e (n) menu secundário – configuração de Wi-Fi.



Para a configuração da rede Wi-Fi no dispositivo, será utilizado o aplicativo para smartphone “ESP-TOUCH”, da Espressif, disponível Android e IOS. O aplicativo permite a configuração da infraestrutura Wi-Fi enviando o usuário e senha através de pacotes ao ponto de acesso Wi-Fi (AP) e codifica o SSID e a senha no campo comprimento de uma sequência de pacotes UDP (Figura 19).

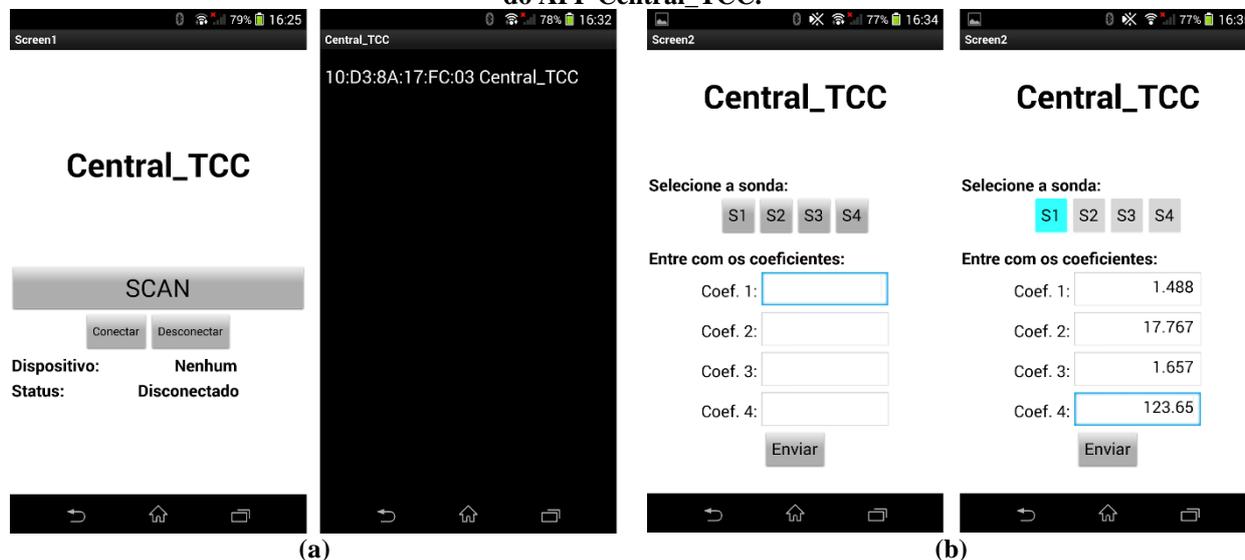
Figura 19 – Funcionamento do APP ESP-TOUCH (ESPRESSIF SYSTEMS, 2020b).



Para a configuração dos parâmetros do sensor de oxigênio, o aplicativo a ser usado será o “Central_TCC”, desenvolvido pela autora deste trabalho com o auxílio do site “https://appinventor.mit.edu/” e do aplicativo para Android “MIT AI2 Companion”.

Para conectar e configurar a central, primeiramente o usuário deverá conectar o dispositivo móvel com a central como demonstra a Figura 20(a). Após mapear a conexão Bluetooth deve-se apertar no botão “conectar”. A próxima tela do aplicativo permite configurar os parâmetros do sensor de oxigênio (Figura 20(b))

Figura 20 – Telas do aplicativo: (a) conexão do APP Central_TCC e (b) modo de uso do APP Central_TCC.

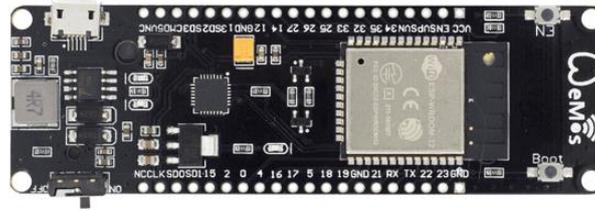


Utilizou-se sensores de oxigênio dissolvido ópticos e, para tais sensores, a membrana deve inspecionada e trocada caso exista acúmulo de impurezas. Os valores dos coeficientes de cálculo para a conversão de tensão para mg/L devem ser alterados conforme a especificação do fabricante da membrana.

5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

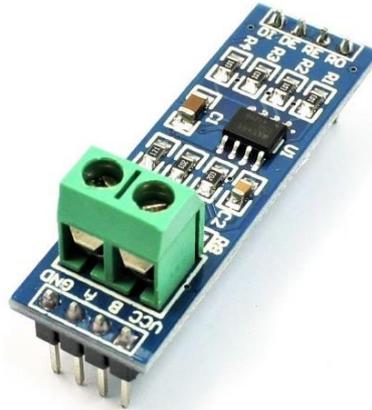
Para o desenvolvimento protótipo do produto, optou-se por utilizar módulos com o intuito de acelerar o processo de testes. Uma vez pré-definidos os periféricos do sistema, são definidos os módulos para a elaboração do *layout* do circuito da central. O primeiro módulo selecionado é o do ESP32 neste caso optou-se por utilizar o módulo WiFi ESP32 com suporte de bateria, apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Módulo WiFi ESP32 com Suporte de Bateria.



O segundo módulo selecionado é o RS-485, contudo neste caso foi removido o componente MAX485 do módulo e soldado no lugar o MAX3485 que é equivalente ao SN65HVD72DR, apresentado na Figura 22.

Figura 22 – Módulo RS-485.



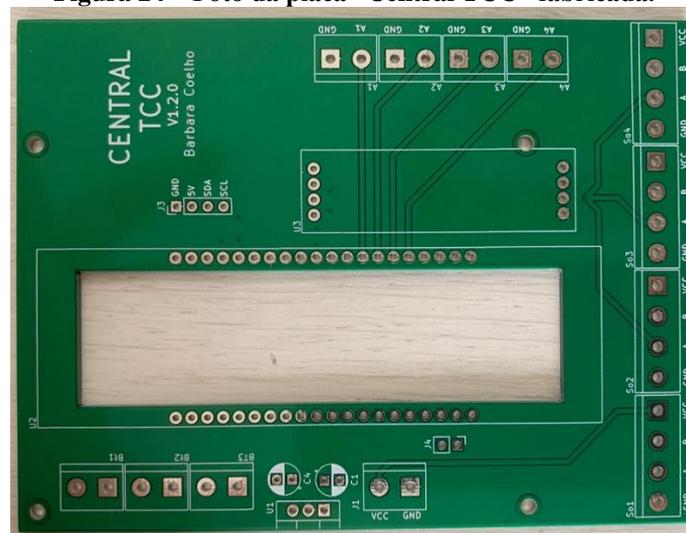
Para apresentação dos dados foi usado o *display* LCD 16x2 I²C, apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Display LCD 16x2 I²C com backlight azul.



Após a definição dos módulos foi desenvolvido o esquemático e o *layout* do circuito. O circuito foi testado e em seguida, foram enviados os arquivos para a empresa JLC PCB para confeccionar a PCB do sistema (Figura 24).

Figura 24 – Foto da placa “Central TCC” fabricada.



Em paralelo com o desenvolvimento da PCB foi implementado o código para o microcontrolador usando o ESP-IDF, que é o ambiente de desenvolvimento de *software* para o *hardware* baseado no *chip* ESP32 da Espressif, e o Visual Studio Code, que é um editor de código-fonte desenvolvido pela Microsoft.

Após o recebimento das PCBs, foi soldada uma placa Central TCC para testar o sistema (Figura 25).

Figura 25 – Foto da placa “Central TCC” soldada.



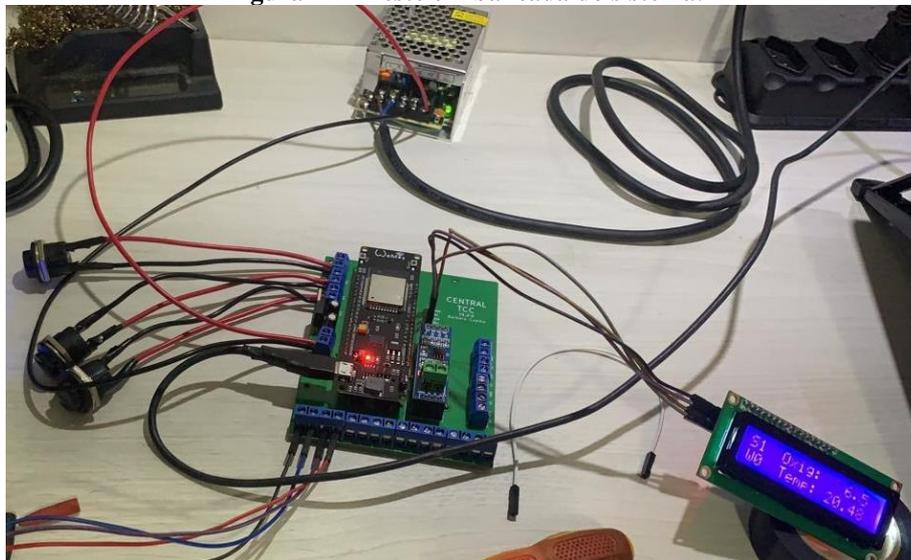
Para a alimentação do sistema foi selecionada uma mini fonte chaveada bivolt de 12 V_{CC}/5 A, de 60 W (Figura 26).

Figura 26 – Mini fonte chaveada bivolt de 12 V_{CC}.



A Figura 27 apresenta o teste do sistema, sendo alimentado pela fonte de 12 V_{CC}. Utilizou-se primeiramente botões *push-button* normais para os testes, porém, como o sistema ficará exposto às intempéries ambientais, os botões devem ser resistentes à penetração de corpos sólidos e líquidos. Com esse teste inicial do sistema, conseguiu-se validar o protocolo da comunicação e a IHM.

Figura 27 – Teste em bancada do sistema.



O próximo passo é colocar o sistema em um invólucro para os testes externos. Para isso foram escolhidos um invólucro que seja resistente a corpos sólidos e líquidos, um “prensa-cabo” para o cabo de alimentação, o cabo de alimentação, *plugue* macho de dois polos, um cabo para a comunicação RS-485 blindado com dois fios para a comunicação e dois para a alimentação do circuito, um conector de engate rápido para a sonda, um acrílico transparente de 1 mm de espessura para a vedação do *display*, e por fim os botões, conforme ilustrado pela Figura 28.

Figura 28 – Itens para testes externos.



Como o teste foi realizado com botões sem resistência a corpos sólidos e líquidos, optou-se por mantê-lo dentro da caixa. A Figura 29 apresenta o sistema montado e sendo testado em um ambiente externo.

Figura 29 – Teste em ambiente externo.



Os dados obtidos nos testes foram apresentados no *display* e enviados para a nuvem AWS, assinando o tópico “central/sondas”. Os dados foram enviados no formato “JSON” com a identificação da central, da sonda, o valor de oxigênio e temperatura obtido pela sonda possibilitando assim o acompanhamento remoto do sistema. A Figura 30 apresenta alguns dados recebidos pelo AWS IoT.

Figura 30 – Dados recebidos no tópico “central/sondas” pelo AWS IoT.

central/sondas	setembro 16, 2020, 17:44:11 (UTC-0300)
<pre>{ "IDc": 1, "IDs": 3, "temp": 19.67, "oxygen": 10.79 }</pre>	
central/sondas	setembro 16, 2020, 17:44:11 (UTC-0300)

A cada vinte minutos, os dados fornecidos pelo sistema são recebidos, armazenados e acessados usando pdAdmin, que é uma plataforma de desenvolvimento e administração de código aberto com recursos para PostgreSQL, um banco de dados de código aberto. A Figura 31 apresenta a tabela de uma central com três sondas.

Figura 31 – Tabela de dados obtidos no pgAdmin.

	id [PK] int	id_central bigint	id_sonda bigint	temperatura numeric	oxigenio numeric	criado_em timestamp without time zone
1	3620	1	2	23.8	8.81	2020-09-15 08:14:32
2	3619	1	3	21.27	10.92	2020-09-15 08:14:31
3	3618	1	1	23.21	10.31	2020-09-15 08:14:31
4	3617	1	3	21.32	11.03	2020-09-15 07:54:31
5	3616	1	2	23.85	8.8	2020-09-15 07:54:31
6	3615	1	1	23.21	10.45	2020-09-15 07:54:31
7	3614	1	3	21.36	10.99	2020-09-15 07:34:31
8	3613	1	2	23.89	8.9	2020-09-15 07:34:31
9	3612	1	1	23.27	10.36	2020-09-15 07:34:31
10	3611	1	3	21.45	11.0	2020-09-15 07:14:32
11	3610	1	2	23.91	8.48	2020-09-15 07:14:31
12	3609	1	1	23.29	10.57	2020-09-15 07:14:31

6 CONCLUSÃO

Esse trabalho descreveu algumas etapas para o desenvolvimento de um sistema embarcado comercial. Iniciou-se com a identificação de um problema apresentado pelos produtores de peixe. Em seguida realizou-se a definição de um produto, pesquisou-se o mercado, as especificações e restrições que devem ser consideradas para o desenvolvimento. Em seguida realizou-se um esboço que considera a interface com o usuário e a seleção dos componentes.

O produto desenvolvido provavelmente trará benefícios aos produtores de peixes, que obterão um melhor controle do oxigênio dissolvido dos seus tanques de produção aquícola, reduzindo os riscos de mortalidade dos peixes por falta de oxigênio e possivelmente um aumento da produção.

Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado o modelo PRODIP, que é uma metodologia ágil para gestão e planejamento de projetos. Desse modo, foi possível organizar o projeto do produto, conseguindo assim uma melhor produtividade. Ao final do projeto, conseguiu-se desenvolver um sistema embarcado que consiste em trazer para o setor de aquicultura um sistema automático de monitoramento e controle dos tanques de produção aquícola.

Para versões futuras da central de controle, pretende-se adicionar a opção de conectividades por redes móveis, usar bateria, substituir o módulo ESP32 utilizando diretamente os circuitos integrados do microcontrolador/periféricos, usar o aplicativo “Central_TCC” para configurar o Wi-Fi, no lugar do “ESPTOUCH”, e ampliar as opções de sensores, como o sensor de pH e de amônia, que também devem ser monitoradas.

Agradecimentos

A autora gostaria de agradecer aos professores do Curso de Especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN) do IFSC *campus* Florianópolis e ao professor Renan Augusto Starke pela orientação do trabalho.

REFERÊNCIAS

ACQUA NATIVA MONITORAMENTO AMBIENTAL. **Monitoramento de oxigênio dissolvido e temperatura em aquicultura**. Disponível em: <<https://www.acquanativa.com.br/aplicacoes/monitoramento-viveiro-aquicultura.html>>. Acesso em: 14 de julho de 2020.

ATLAS SCIENTIFIC. **Lab grade dissolved oxygen probe**. Disponível em: <<https://atlas-scientific.com/probes/dissolved-oxygen-probe/>>. Acesso em: 14 jul. 2020.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; DA SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem.** Barueri, SP: Editora Manole, 2008.

CODDINGTON, D. T.; GREEN, B. W. *Tilapia yield improvement through maintenance of minimal oxygen concentrations in experimental grow-out ponds in Honduras.* Aquaculture, v. 118, n. 1-2, p. 63-71, dez. 1993.

ESPRESSIF SYSTEMS. *Datasheet: ESP32 series.* Rev. 3.4, abr. de 2020a.

ESPRESSIF SYSTEMS. *Espressif's ESP-TOUCH protocol implements the Smart Config technology to help users connect ESP8266EX-embedded devices to a Wi-Fi network through simple configuration on a smartphone.* Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/software/esp-touch/overview>>. Acesso em: 17 de maio de 2020b.

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. *Datasheet: MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M, MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M 6-pin DIP zero-cross Triac driver output optocoupler (250/400 volt peak).* Rev. 1.6, ago. 2015.

FIORUCCI, R. A.; FILHO, E. B. A. **Importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos.** Química Nova na Escola, n. 22, p. 10-16, nov. 2005.

INFOAGRO. **Produção animal.** 2018. Disponível em: <<http://www.infoagro.sc.gov.br/index.php/safra/producao-animal-2>>. Acesso em: 29 de maio de 2020.

KUBITZA, F. **Oxigênio dissolvido e sua importância para o desempenho e saúde dos peixes e camarões - parte I.** Panorama da Aquicultura, v. 27, n. 162, jul./ago. 2017.

PEIXE BR. **Exportações de peixes de cultivo aumentam 32,8% no 1º trimestre de 2020.** 11 de maio de 2020. Disponível em :<<https://www.peixebr.com.br/exportacoes-de-peixes-de-cultivo-aumentam-328-no-1o-trimestre-de-2020/>>. Acesso em: 29 de maio de 2020.

TEXAS INSTRUMENTS. *Datasheet: LM340, LM340A and LM7805 family wide Vin 1.5-A fixed voltage regulators.* Rev.1, set. de 2016.

TEXAS INSTRUMENTS. *SN65HVD7x 3.3-V supply RS-485 with IEC ESD protection.* Rev. mar. de 2019.



DESENVOLVIMENTO DE UM DENSÍMETRO ELETRÔNICO PARA PRODUÇÃO DE CERVEJA

Guilherme Brasil Pintarelli¹, Hugo Marcondes²

Resumo: A fermentação é uma etapa da produção da cerveja que define parte de suas características, por exemplo seu sabor. Os cervejeiros artesanais monitoram o processo de fermentação com método do densímetro de vidro. Esse método apresenta algumas limitações (*e.g.*, depende de operador e desperdiça produto). Nesse trabalho realizou-se desenvolvimento de um densímetro eletrônico para aprimorar o monitoramento da fermentação. Foram utilizados métodos de desenvolvimento de produto (*i.e.*, planejamento do produto, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado) e estudo de viabilidade com protótipo. Foram abordados aspectos de legislação, simulações computacionais e boas práticas em desenvolvimento de *hardware*. O trabalho resultou em projeto de densímetro eletrônico susceptível à produção industrial que pode facilitar a monitoração da fermentação. O equipamento cumpre com aspectos de segurança em alimentos e pode permanecer inserido no fermentador durante todo processo de fermentação. O equipamento é de instalação imediata e usa infraestrutura de Wi-Fi do cliente. O equipamento é automático, com bateria interna, sem fios e disponibiliza dados em servidor *online*.

Palavras-chave: Medição de propriedades físicas. Produção de cerveja. Sensor sem fio.

Abstract: Fermentation is a step in the production of beer that defines part of its characteristics, for example, its flavour. The brewers observe the fermentation process using the glass hydrometer method. This method has some limitations (*e.g.*, operator-dependent and product waste). In this work, an electronic hydrometer was developed to improve fermentation monitoring. Product development methods (*i.e.*, planning and task clarification, conceptual design, embodiment design and detail design) and prototype feasibility study were used. The legislation, computational simulations and good practices in hardware development were discussed. The work resulted in an electronic hydrometer design susceptible to industrial production that may facilitate the monitoring of fermentation. The equipment complies with safety aspects in food and can remain inserted in the fermenter throughout the fermentation process. The equipment can be immediately installed and uses the client's Wi-Fi infrastructure. The equipment is automatic, has internal battery, has no cables and provides data in an online server.

Keywords: Measurement of physical properties. Beer production. Wireless sensor.

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <guilherme.b.pintarelli@gmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <hugo.marcondes@ifsc.edu.br>.

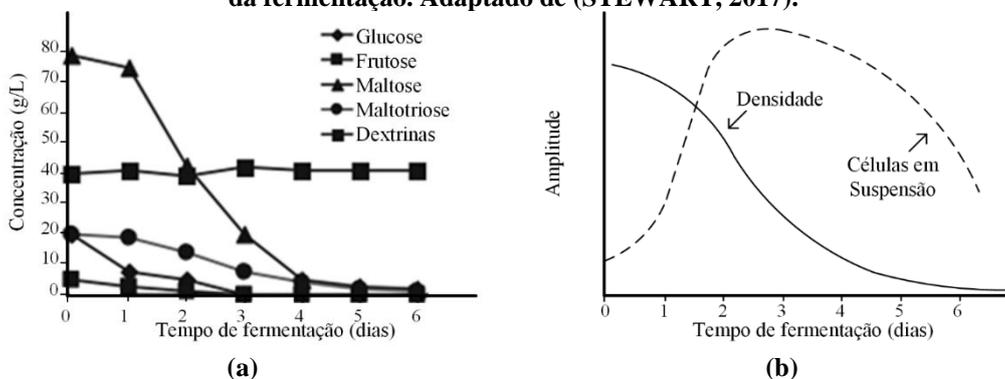
1 INTRODUÇÃO

A cerveja é produzida a partir dos seguintes ingredientes mínimos, que são a água, malte (geralmente produzido a partir de geminação interrompida da cevada, aveia ou trigo), lúpulo e leveduras (também chamado de fermento biológico). As leveduras processam açúcares do malte (*e.g.*, glucose, frutose e maltose) e geram subprodutos, esse processo é chamado de fermentação. Os subprodutos gerados na fermentação são álcool, dióxido de carbono e outros compostos que compõem as características organolépticas. Essas características geralmente são definidas por álcoois superiores, ésteres tipo “frutados”, dicetonas vicinais e compostos de enxofre (que provocam sabores ruins) (VERBELEN *et al.*, 2009). A fermentação depende de uma série de fatores, são exemplos a genética, tipo e crescimento da levedura, qualidade de materiais, contaminações, agitação, composição e condições físico-químicas do mosto. Esses fatores podem provocar alterações

morfológicas ou metabólicas nas leveduras que resultarão em sua morte ou sua incapacidade de se dividir e realizar a fermentação de maneira adequada. Qualquer que seja o fenômeno, pode provocar alterações no sabor da cerveja (GIBSON *et al.*, 2007; STEWART, 2017).

Uma das maneiras de se estudar o processo de fermentação é a leitura da quantidade de açúcares ao longo do tempo, conforme indicado na Figura 1(a). Esse método é direto e fornece detalhes do consumo de espectro de açúcares. Porém, esse método requer equipamentos sofisticados e pode não ser de realização imediata. Existem maneiras imediatas para aferir a fermentação, essas são baseadas em medidas indiretas por medição de alteração de massa ou densidade (ELMEHDI; PAGE; SCANLON, 2007), alterações de CO₂ e outros compostos voláteis (DAOUD; SEARLE, 1990), por refração da luz (ŠAVEL *et al.*, 2009) e por sensores de compostos avançados (*electronic nose and tongue*) (BURATTI; BENEDETTI, 2016). A medição de densidade por densímetro é uma maneira usual, manual e econômica da percepção da fermentação. Os açúcares (que são compostos com peso molecular elevado) são consumidos pelas leveduras e em parte são reduzidos a CO₂. Portanto, a densidade da solução diminui conforme a fermentação ocorrer, esse fenômeno é demonstrado na Figura 1(b). Ressalva-se que o processo da fermentação usualmente é de dinâmica lenta (ordem de horas) e ocorre em período de até 15 dias (STEWART, 2017; WHITE; ZAINASHEFF, 2010).

Figura 1 – Gráficos (a) do consumo de açúcares do mosto devido fermentação de cultura de leveduras e (b) da relação entre número de leveduras e densidade com o dia da fermentação. Adaptado de (STEWART, 2017).



Sistemas de monitoramento de processos modernos, como o da fermentação, podem utilizar a tecnologia da Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*). Este é um paradigma de trânsito de informações de diferentes tipos de “coisas” através de redes sem fio. Na indústria alimentícia, o IoT pode ajudar a reduzir desperdícios, custos e riscos, em todas as etapas de produção (WANG; YUE, 2017) e da cadeia alimentar (PANG *et al.*, 2015). Além disso, pode auxiliar no desenvolvimento sustentável e em desafios associados a fome, abastecimento de água e segurança alimentar (BNDES, 2017). O IoT pode ser encarado como parte da próxima revolução industrial, também chamada de indústria 4.0, promovida também pela Internet e impressão 3D (XU; DAVID; KIM, 2018). Alguns autores referem ao IoT voltado a indústria como *Industrial Internet of Things* (IIoT) (MUMTAZ *et al.*, 2017). Em IoT, geralmente usa-se sensores sem fios eletrônicos (GUBBI *et al.*, 2013; IEEE, 2015; WHITMORE; AGARWAL; DA XU, 2015). O aumento no número de dispositivos conectados à Internet é tendência para os próximos anos. Imerso nesse cenário, estima-se que o IoT movimente, em escala global, entre 3,9 e 11,1 trilhões de dólares em 2025. Cerca de 30% desse valor poderá estar concentrado no setor industrial em operação e otimização, e 4% em aplicações residenciais. Estima-se que 40% do montante seja movimentado por economias emergentes (MCKINSEY & COMPANY, 2015). No Brasil estima-se impacto de 50 a 200 bilhões de dólares em 2025 (BNDES, 2017).

O IoT e outras tecnologias utilizadas em indústria cervejeira podem ser utilizadas em menor escala pelos cervejeiros artesanais e microcervejarias, para produção de produtos padronizados e consistentes (BETTS, 2016). Parte das microcervejarias foram iniciadas com produção caseira, e não há indícios na literatura de recuo desse tipo de mercado nos próximos anos. Por exemplo, o número de cervejarias artesanais catarinenses triplicou entre 2013 e 2016 (NSC, 2017). No cenário nacional, ocorreu crescimento de 37,7% no número de cervejarias registradas no Brasil em 2017 (ABRACERVA, 2018). Por causa disso, pode existir demanda por tecnologias voltadas aos cervejeiros artesanais.

Os produtores de cerveja artesanais e em microcervejarias geralmente monitoram o processo de fermentação com método do densímetro de vidro. Este método é semelhante ao descrito na ISO 649:1981 (partes 1 e 2) (ISO, 1981) e ABNT NBR 5992:2016 (ABNT, 2016), e é representado na Figura 2. Durante o procedimento de medição de densidade, o usuário deve retirar porção da amostra do fermentador, inserir amostra em proveta de vidro, imergir termômetro e densímetro na amostra e manualmente aplicar cálculo de

fator de correção em função da temperatura. Por causa disso, considera-se que o método usual de medição de densidade é laborioso, limitado temporalmente e desperdiça quantidade do produto (de acordo com o tamanho da proveta, geralmente 250 ml, o que é significativo em pequenas produções de 5 litros).

Figura 2 – Representação do uso do densímetro em cerveja. Conteúdo dentro de uma proveta de 100 ml.



Objetiva-se nesse trabalho desenvolvimento de dispositivo eletrônico para facilitar o método de medição de densidade, ou seja, tornar a medição de densidade menos laboriosa, não limitada temporalmente (medições em intervalos de tempos regulares) e sem desperdiçar produto. Idealiza-se dispositivo de baixo custo, que não seja invasivo ao fermentador (não necessite modificações), aproveite a infraestrutura que o usuário possui e possa ser futuramente integrado em sistemas IoT. O dispositivo é destinado a cervejeiros caseiros e microcervejarias.

Nas próximas seções serão detalhados os passos para desenvolvimento do densímetro eletrônico, que são, a metodologia utilizada, investigação e resultados das etapas de desenvolvimento do produto, discussão dos resultados e conclusão do trabalho.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos de desenvolvimento de produto consistem em, pelo menos, quatro etapas primárias: planejamento do produto (ou projeto informacional), projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado (*planning and task clarification, conceptual design, embodiment design e detail design*) (CARPES JR, 2014; PAHL *et al.*, 2007). Nesse trabalho adotou-se esse tipo de divisão. Após as etapas primárias, foi realizado a validação da ideia com um protótipo (ou produto mínimo viável).

Durante o planejamento do produto foi realizado a definição do problema, formulação de proposta de produto, análise de tecnologias correlatas e definição de requisitos e restrições do projeto. A definição do problema e proposta de produto foram executados em função de problemática proveniente de cervejeiros artesanais e discussão e seleção de ideias por métodos de *brainstorm* (executado pelos autores desse trabalho). Observa-se que a ideia de um produto pode surgir a partir de discussões informais (PAHL *et al.*, 2007), que é o caso da ideia do produto desse trabalho. Foi realizado busca por patentes (também conhecido como busca de anterioridade) na plataforma nacional do Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI) e na plataforma internacional *Derwent Innovations Index*[®] (Clarivate Analytics, Estados Unidos) com termos em português (busca por qualquer um dos termos “densímetro”, “fermentação cerveja” ou “sensor densidade”) e inglês (busca por operação “*tilt* AND hydrometer*”) respectivamente. A busca por anterioridade foi realizada dia 15 de abril de 2019. A definição de requisitos e restrições do projeto foi elaborada pelos autores desse trabalho e pelos consumidores, por métodos de *brainstorm*.

A partir de requisitos definidos durante planejamento do produto estudou-se os princípios da solução no projeto conceitual. Essa etapa é feita por abstração e estudo dos problemas essenciais e estabelecendo estruturas funcionais. Nessa etapa foi realizado o diagrama de síntese de funções para definir a função principal do produto e demais funções necessárias para isso (hierarquicamente inferiores). O diagrama de síntese de funções é estratificado até atingir o nível mais baixo possível de funcionalidade. Para cada parte do diagrama uma implementação de função foi definida. As decisões de implementação não refletem nas funções produto. Para cada decisão de implementação foi realizado um estudo de busca por soluções e escolha de um tipo de solução. Durante o estudo de material de invólucro foi pesquisado legislação vigente no Brasil e sua capacidade de fluuabilidade. A capacidade de fluuabilidade foi testada com uso de *software* de simulação SolidWorks 2017 (Dassault Systèmes Corp., França). Se a massa do dispositivo for superior a massa de água deslocada, o dispositivo irá afundar.

No projeto preliminar foi realizado a construção de uma estrutura funcional do produto. Foram abordados aspectos de arquitetura de *hardware* e interface de usuário compatíveis com especificações obtidas nas etapas anteriores.

Durante o projeto detalhado foram realizados diagramas da tecnologia e lista de partes que permitam sua produção. As decisões em *hardware* cumprem com requisitos do produto baseado em informações retiradas das folhas de dados das fabricantes. As escolhas em *hardware* priorizaram soluções comerciais de custos baixos e de rápido desenvolvimento.

A partir do projeto detalhado foram desenvolvidos dois protótipos, um foi calibrado e ambos foram ensaiados. No processo de calibração foi obtido modelo de regressão polinomial que permite representar os valores lidos pelo dispositivo em densidade. Foi utilizado densímetro de vidro comercial modelo Montanha N° 3.701-17 como padrão ouro (ou referência). A calibração foi realizada entre os valores de 1,0 e 1,1 g/ml, com passo de 0,005 g/ml, a 20 ± 1 °C (conforme indicado pelo manual do densímetro de vidro) e repetida três vezes ($N = 3$). Os limites da calibração são mesmos encontrados em densímetros de vidro comerciais. O ajuste de modelo foi realizado com *software* MATLAB R2015a (MathWorks, Estados Unidos). O modelo foi considerado adequado quando o coeficiente de determinação (ou R^2 ajustado) foi superior a 0,99 (ou 99%). O coeficiente de determinação é uma medida estatística que indica se modelo consegue explicar os valores observados. Um modelo ideal possui o R^2 igual a 1 (ou 100%) (OSTERTAGOVÁ, 2012).

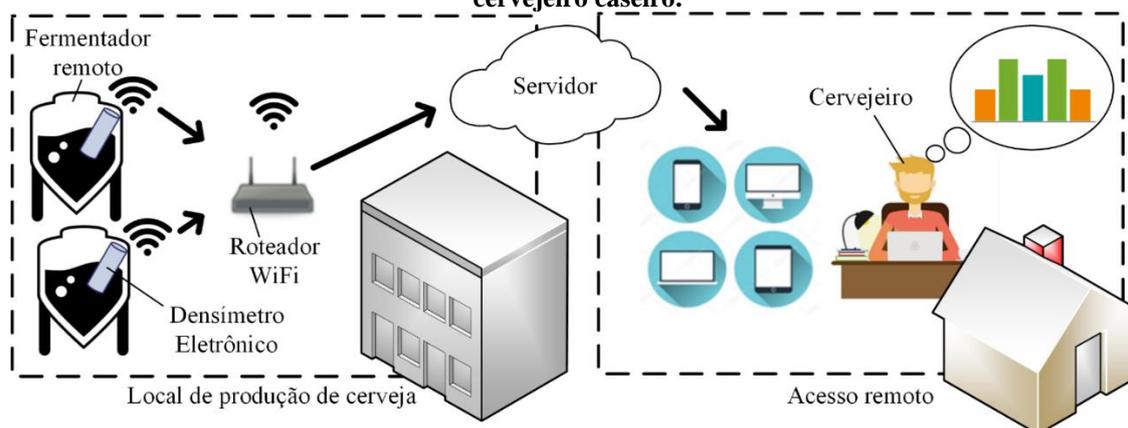
3 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

3.1 Planejamento do Produto

O método tradicional de medição de densidade para produção de cerveja (por densímetro de vidro) demanda esforços de um operador, não proporciona facilidade na obtenção de dados ao longo do tempo e desperdiça produto durante cada aferição de densidade. Com o densímetro eletrônico, objetiva-se uma leitura superior (facilitada) de densidade. Para isso, ele deverá apresentar recursos de monitoração automática sem extração de materiais do processo de fermentação, deverá demandar mínimos esforços do usuário e ser compatível de maneira minimamente invasiva com diferentes fermentadores.

A proposta do produto densímetro eletrônico consiste em dispositivo que ficará inserido no fermentador e mergulhado no mosto com leveduras inoculadas durante todo processo de fermentação. Durante esse momento o dispositivo transmite valores de densidade (g/ml) e temperatura (°C) para um servidor conectado à Internet. Estas informações deverão ser acessíveis ao usuário em qualquer momento por meio de uso de celular ou computador. Um exemplo de caso de uso é mostrado na Figura 3.

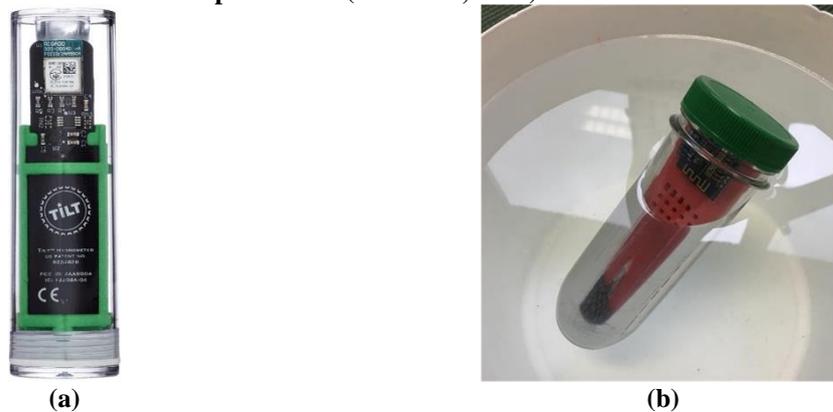
Figura 3 – Exemplo de funcionamento do densímetro eletrônico. Caso de uso por cervejeiro caseiro.



3.1.1 Tecnologias Correlatas

A busca de anterioridade não detectou patentes relacionadas com o produto desse trabalho no Brasil. Em nível internacional, foram encontradas patentes depositadas (e concedida B2) nos Estados Unidos pela empresa “Baron Brew Equipment, LLC” (Santa Rosa, CA, Estados Unidos) (números US2014260607-A1 e US9234828-B2). A patente US9234828B2, que foi publicada em 2016, descreve o mecanismo para calcular a densidade em função da inclinação de um aparato para fermentados. Esse método é relacionado com o dispositivo proposto nesse trabalho. Apesar disso, a empresa não realizou depósito no Brasil ou via Tratado de Cooperação de Patentes (PCT). Por causa disso, no Brasil não se aplica o direito de exclusividade (que seria garantido pela patente) e produto semelhante pode ser comercializado no Brasil. Adverte-se que uma vez que ao método de medição está registrado na US9234828-B2, este não pode ser patenteado. Essa patente não pode mais ser depositada no Brasil, uma vez o prazo do pedido de solicitação foi expirado (pedido de prioridade). O dispositivo vendido pela Baron Brew Equipment, LLC é o TILT™, conforme Figura 4(a). O preço do dispositivo é de US\$ 135,00 (ou R\$ 546,76, considerando preço do dólar em R\$ 4,05 e desconsiderando frete e impostos – cotação de abril de 2019).

Figura 4 – (a) Dispositivo comercial TILT™. Imagem e catálogo disponível em (BARON BREW EQUIPMENT, 2019). (b) Dispositivo do projeto iSpindel. Imagem disponível em (GITHUB, 2019).



Em busca na Internet foi encontrado projeto *open source* semelhante nomeado iSpindel, apresentando na Figura 4(b). Este utiliza o método descrito na US9234828B2 (de aferir densidade em função da inclinação).

A tecnologia concorrente, que é utilizada pela maioria dos produtores de cerveja é o densímetro de vidro, que foi abordado na introdução. O intervalo de amplitude de medição normalmente encontrada em um densímetro de vidro comercial é de 1,0 até 1,1 g/ml (WHITE; ZAINASHEFF, 2010). Esta faixa foi utilizada como referência dos limites de medição do produto proposto.

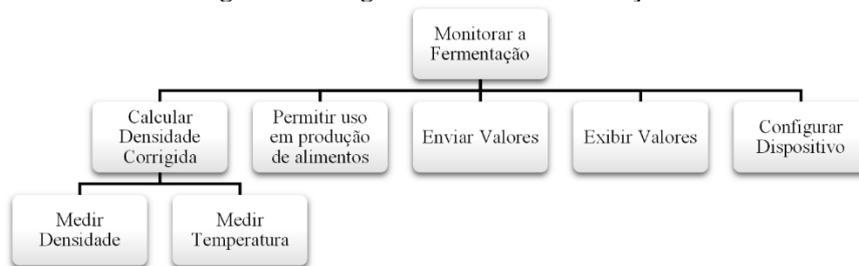
3.1.2 Requisitos e Restrições do Projeto

Foram listados os seguintes requisitos funcionais do produto:

- leitura da densidade de líquidos (cerveja) não invasiva ao fermentador (entre 1,0 e 1,1 g/ml);
- encapsulamento compatível ao padrão da indústria alimentícia, conforme normas e legislações vigentes no Brasil;
- enviar dados usando infraestrutura de Wi-Fi a cada 60 minutos;
- exibir dados em uma plataforma *online*;
- autonomia da bateria (recarregável) suficiente para análise de toda etapa de fermentação (15 dias).

3.2 Projeto Conceitual

O diagrama da síntese de funções do densímetro eletrônico é conforme a Figura 5. Este define a principal função do produto, que é “monitorar a fermentação”. São necessários cinco sub funções para implementar a função principal, que são “calcular densidade corrigida”, “permitir uso em produção de alimentos”, “enviar valores”, “exibir valores” e “configurar o dispositivo”. A sub função “calcular densidade corrigida” necessita de outras duas sub funções, uma vez que a densidade é em função também da temperatura (OECD, 2012).

Figura 5 – Diagrama da síntese de funções.

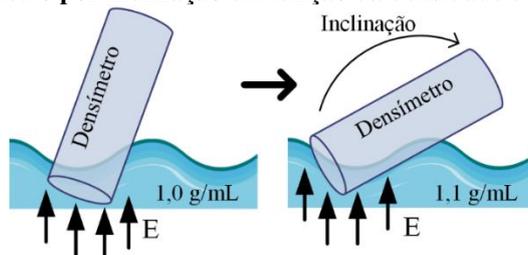
3.2.1 Cálculo da Densidade em Líquidos

O estudo da fermentação em ambientes cervejeiros geralmente é realizado a partir da alteração da densidade, conforme exposto na introdução. A densidade (g/ml) é a relação entre a massa e o volume de um material, a uma dada pressão e temperatura. Ressalva-se que existem diversos métodos para medição de densidade de materiais em líquidos (*e.g.*, densímetro de flutuação, balança hidrostática, método do corpo imerso, picnômetro, e densímetro oscilante). A medição de densidade por métodos de flutuação é adequada para líquidos com viscosidade até 5 Pa/s, como no caso da cerveja, que possui viscosidade na ordem de mPa/s (OECD, 2012).

Um equipamento densímetro deve flutuar de maneira conhecida em função da densidade. Ele flutua quando apenas as forças peso (P) e empuxo (E) atuam de maneira que o peso e empuxo se igualem. Nesse momento a massa do densímetro é igual à massa do fluido que ele desloca. A alteração da densidade da solução irá alterar a quantidade de massa do fluido deslocado, e, conseqüentemente sua flutuabilidade (OLIVEIRA; MELO FILHO; AFONSO, 2013).

A alteração da flutuação pode ser na vertical (como no densímetro de vidro) ou por inclinação (método do TILT™ e iSpindel). Foi escolhida a leitura da densidade em função da inclinação devido facilidade nesse tipo da leitura com uso de sensor acelerômetro. A inclinação ocorre devido ao centro de massa ser deslocado do centro de flutuação. O modo de flutuação (inclinação) de regime permanente é quando esses dois pontos estão em mesmo eixo vertical. O centro de massa pode ser ajustado com posicionamento de maior parte da massa no fundo do dispositivo, após isso ele será intrínseco e imutável. O centro de flutuação é de acordo com formato do dispositivo e densidade da solução. Pode comparar-se esse fenômeno como se um fluido de densidade superior ejetasse o densímetro para fora, semelhante ao representado pela Figura 6. Essa abordagem não necessita modificações no fermentador. Não foram encontrados justificativas para uso de outro tipo de método de leitura.

Figura 6 – Representação da condição de flutuabilidade (alteração da inclinação) de densímetro por inclinação em função da densidade do fluido.



3.2.2 Invólucro Compatível com Alimentos

Compete ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) fiscalizar instalações de indústrias alimentícias. Os equipamentos nesses ambientes devem seguir a instrução normativa MAPA IN N° 5/2000, ou seja, esta é aplicável ao cervejeiro que deseje comercializar sua cerveja. A MAPA IN N° 5/2000 solicita que os equipamentos envolvidos na produção não deverão constituir um risco para a saúde e que esses devem ser constituídos de “materiais que não transmitam substâncias tóxicas, odores nem sabores, e sejam impermeabilizados, bem como resistentes à corrosão e a repetidas operações de limpeza e desinfecção, e as superfícies deverão ser lisas e isentas de imperfeições” (MAPA, 2000). Mais informações sobre a construção de equipamentos para indústria alimentícia disponível em (SCHMIDT; ERICKSON, 2017). Para cumprir com requisito de encapsulamento compatível ao padrão da indústria alimentícia, recomenda-se utilizar material inerte, não tóxico e com acabamento sanitário. Esses materiais são especificados por resolução N° 91/2001 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (ANVISA, 2001). Foram considerados aço inoxidável polido (*e.g.*, AISI 304) e plásticos *food grade* (*e.g.*, PET, HDPE, PEAD e PP).

O dimensionamento do invólucro foi baseado em resultados de simulações conforme o modelo da Figura 7 e parâmetros de materiais da Tabela 1. O aço inoxidável possui massa específica cerca de oito vezes superior aos materiais plásticos. Invólucros comerciais em aço inoxidável afundam nas dimensões estudadas ($L \leq 200$ mm, $R \leq 21,08$ mm e $D \leq 1,65$ mm) e seriam necessários dispositivos com volume maior para flutuação. Nas dimensões estudadas, o material do invólucro deve ser de baixa densidade para flutuação, como materiais plásticos, e apresentar tamanhos próximos a $L = 120$ mm, $R = 16,7$ mm e $D = 1,65$ mm para melhores resultados. Estas dimensões apresentam maior diferença entre os centros de flutuabilidade quanto mergulhados em fluidos de densidades de 1,0 e 1,1 g/ml, por causa disso, irão apresentar maiores diferenças na flutuabilidade (inclinação). O cálculo da inclinação exata do dispositivo é complexo e não foi realizado nesse trabalho (MARTINS, 2010).

Figura 7 – Modelo do densímetro no SolidWorks. Onde L é o comprimento do tubo, R é o raio do tubo e D é a espessura da parede do tubo.

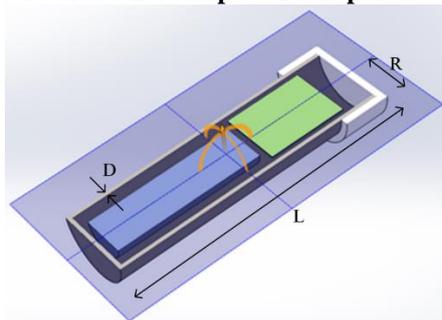


Tabela 1 – Lista de materiais.

Parte	Material	Massa específica (kg/m ³)	Fonte
Invólucro tipo 1	Aço Inox AISI 304	8.000	SolidWorks
Invólucro tipo 2	Plástico genérico	1000 (típico)	SolidWorks
Tampa	Plástico genérico	1000 (típico)	SolidWorks
Bateria	Diversos	2.600	Datasheet ¹
PCB	Diversos	2.400	Datasheet ²

Observa-se que os metais de diferentes naturezas podem reagir entre si (*e.g.*, corrosão galvânica), não foram realizados estudos quanto a isto nesse trabalho. Os materiais usados nas tecnologias correlatas são plásticos. Não há informação disponível do plástico usado no TILT™. O plástico usado no iSpindel é o polietileno tereftalato (PET).

3.2.3 Envio de Dados

O densímetro eletrônico deve possuir capacidade de transmissão sem fio (não confinada) para não ser invasivo ao fermentador. A capacidade de transmissão deve ser no mínimo unidirecional, uma vez que não há nenhum atuador no dispositivo (somente sensoriamento). O *payload* será mínimo e na ordem de dezenas de bytes a serem enviados a cada uma hora, ou seja, *data rate* pode ser na ordem de kbps. O *payload* será somente os valores de densidade, temperatura, número da amostra e valor de carga da bateria.

As tecnologias Bluetooth, LoRa, ZigBee e NFC foram desconsideradas devido necessitarem de *gateway* compatível externo ao fermentador. As tecnologias LoRaWAN (protocolo de comunicação que usa o *layer* físico LoRa), Sigfox e telefonia celular (*e.g.*, 2G, 3G e 4G) não necessitam de *gateway* pois usam infraestruturas comerciais. LoRaWAN e Sigfox ainda não estão disponíveis em algumas cidades, e por isso foram descartadas (infraestruturas para essas tecnologias geralmente só são disponíveis em centros urbanos ou instaladas em função de aplicações pontuais, o mapa de cobertura é disponível em (SIGFOX, 2019; THE THINKS NETWORK, 2019)). Apesar disso, é de conhecimento que esses serviços são voltados à IoT (baixo consumo, baixo *data rate*, boa performance *indoor* e *outdoor*, baixo custo e procedimento de cobrança adequado ao IoT) e estão sendo expandidos. LoRaWAN e Sigfox poderão ser opção em projetos futuros (assim como LTE CAT-M1 e NB-IoT, que estão sendo implementadas no Brasil). A tecnologia celular possui consumo de potência que muitas vezes não é compatível com IoT e não apresenta cobertura adequada quando

¹ Equivalente Samsung INR18650-25R de massa de 45g.

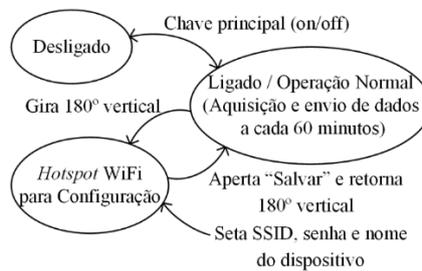
² Equivalente de material FR-4 é 1.850 kg/m³. Foi acrescentado 30% nesse valor para representar os componentes.

usada *indoor* (em *indoor* o 2G falha em 40% das situações, enquanto Sigfox, LoRaWAN e NB-IoT falham em menos de 5% (VEJLGAARD *et al.*, 2017)), por isso, foi descartada. A infraestrutura Wi-Fi (IEEE 802.11) já é normalmente encontrada em ambientes de produção de cervejeiros caseiros, e, portanto, não é necessário nenhum outro dispositivo externo. Devido ao objetivo de aproveitar a infraestrutura do usuário, foi escolhido o padrão Wi-Fi para o envio de dados. Observa-se que a tecnologia Wi-Fi é superdimensionada em vários os aspectos (capacidade de transmissão bidirecional e *data rate* na ordem de dezenas a centenas de Mbps).

3.2.4 Interface com Usuário e Exibição de Dados

A configuração necessária para operação do densímetro eletrônico é somente o ajuste dos parâmetros da rede Wi-Fi (SSID e senha) e nome do dispositivo. Foi adotado procedimento que aproveita o acelerômetro para entrar no modo de configuração do dispositivo. O procedimento é o seguinte: se dispositivo for ligado em posição vertical invertida (“de cabeça para baixo”) o dispositivo entra em modo de configuração. Nesse momento o densímetro eletrônico cria um *hotspot* Wi-Fi que pode ser acessado por senha padrão por qualquer dispositivo com navegador. Após término de configuração o dispositivo conecta-se automaticamente na rede Wi-Fi fornecida e pode ser inserido no fermentador. O diagrama de modos é apresentado na Figura 8. Os dados acessíveis pelo usuário em plataforma *online* são a densidade, temperatura e porcentagem de carga do dispositivo, todos em função do tempo.

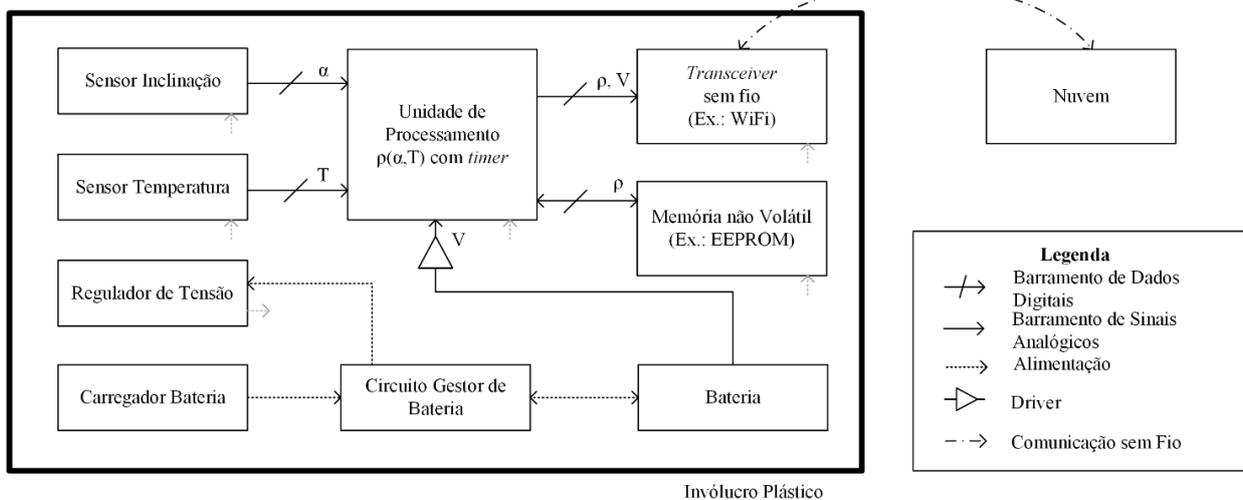
Figura 8 – Diagrama de modos.



3.3 Projeto Preliminar

O projeto funcional do densímetro eletrônico é dado pela Figura 9. O sistema é gerido por uma unidade de processamento que recebe as informações do sensor de inclinação (ângulo α), temperatura (T) e tensão na bateria (V); deve possuir *timer* para coleta de informações em tempos bem definidos (60 minutos) e transmissão por comunicação sem fio (com *transceiver* sem fio). Caso a unidade de processamento não consiga transmitir algum valor por falha de conexão, ela armazena o valor em uma memória não volátil e o transmite junto com a próxima coleta. As informações ficam dispostas para o usuário na nuvem.

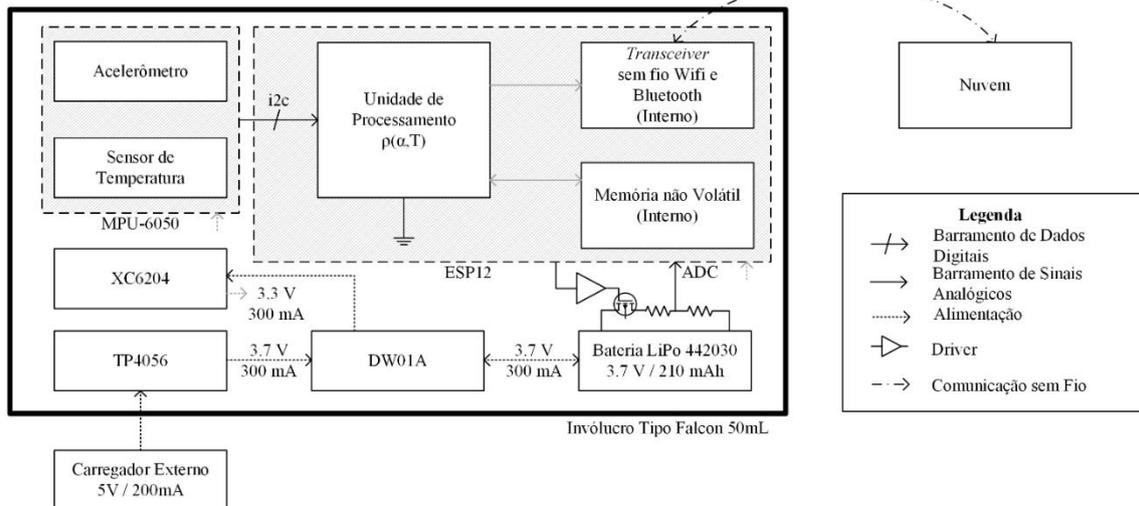
Figura 9 – Projeto funcional do densímetro eletrônico.



3.4 Projeto Detalhado

As escolhas dos componentes individuais foram listadas em subseções. A montagem de periféricos aos componentes principais é de acordo com recomendação de suas fabricantes (*datasheets*) e não são expostas nesse trabalho. O diagrama simplificado é apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Projeto arquitetural do densímetro eletrônico.



3.4.1 Sensor MPU-6050 (InvenSense)

Para obter o valor da densidade da solução é necessário conhecimento do ângulo de aceleração da gravidade (de 1 G) em pelo menos um dos eixos, temperatura para correção da densidade (entre 10 e 40 °C) e tempos de aquisição na ordem de horas (a fermentação, e, conseqüentemente variação do ângulo do dispositivo é um processo lento). O MPU-6050 possui acelerômetro de capacidade de configuração em ± 2 G (configuração de máxima precisão para o range desse trabalho), três eixos de medição (x, y e z) com resolução de 16 bits, sensor de temperatura interno (-40 a 85 °C) e *data rate* configurável entre 4 Hz e 1 kHz. O MPU-6050 cumpre com todas as especificações, e, portanto, é adequado para o projeto. Apesar de superdimensionado, esse sensor possui grande quantidade de documentação, que diminui o tempo de desenvolvimento da aplicação.

A interface do MPU-6050 é digital padrão I²C, que é compatível com a maioria dos microcontroladores. A alimentação é de 3,3 V (2,375 a 3,46 V). O consumo é de 500 μ A operando somente com acelerômetro e possibilidade configuração de baixo consumo (10 μ A). O acelerômetro é calibrado de fábrica e tolera variações de tensão de alimentação.

Para minimizar erros de leitura devido ruídos elétricos ou mecânicos, foi adotado leitura de média de 30 amostras do MPU-6050. Os valores de 10, 20, 30, 40, 50 e 100 foram testados. O que se mostrou suficiente e adequado para atenuar os ruídos foi a média de 30 leituras. O superdimensionamento desse tipo de filtragem acarreta consumo de bateria.

3.4.2 Microcontrolador ESP-12F/ESP8266MOD (Ai-Thinker)

O ESP-12F é um módulo integrado com microcontrolador da Espressif Systems ESP8266 e *transceiver* Wi-Fi (protocolo IEEE 802.11 b/g/n). O módulo possui barramento I²C adequado ao sensor MPU-6050, conversor Analógico Digital (ADC) de 10 bits (que será utilizado para monitoramento da tensão da bateria), oscilador interno (*timer*) e 4 MB de memória Flash. O ESP-12F pode ser alimentado com 3,3 V (3,0 a 3,6 V). O consumo é de 170 mA quando transmitindo informações pela Wi-Fi, 80 mA quando não transmitindo (somente CPU em 80 MHz) e 10 μ A no modo *deep sleep* (somente *timer* operando).

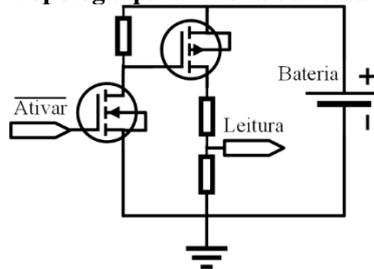
O ESP-12F é compatível com a aplicação e apesar do processamento ser superdimensionado (CPU de 80 MHz), a escolha do processador se deu em função aos periféricos embarcados (memória e *transceiver* Wi-Fi) e preço de US\$ 2,45 (cotação em LCSC, China, em abril de 2019). Outra vantagem desse tipo de solução é que o módulo utilizado é homologado pela ANATEL (N° 07254-17-10174). Esse procedimento pode facilitar ou poupar custos de homologação do produto final.

3.4.3 Alimentação

A bateria de lítio (e suas variantes) é bem difundida e está na maioria das aplicações em eletrônicos. Ela possui vantagens de ter o nível de carga facilmente previsível (basta ler a tensão da bateria) e grande densidade energética por volume e peso (REDDY; LINDEN, 2011). Por esses motivos, foi optado pelo uso dessa tecnologia. A bateria escolhida para o projeto é a de íons de lítio tipo prismática 442030 (capacidade máxima de 210 mAh e típica de 147 mAh). O uso de baterias de íons de lítio requer alguns cuidados. Para isso, foi escolhido um circuito de gestão de bateria (*Battery Management System* – BMS) com proteções de subtensão, sobretensão e sobrecorrente. O BMS é composto por arranjo de TP4056, DW01A e FS8205A, conforme recomendações das fabricantes Fortune Semiconductor e NanJing Top Power ASIC.

A leitura da tensão da bateria é feita no ADC do ESP-12F. Este ADC opera entre 0 e 1 V e tensão máxima da célula é de 4,2 V, por causa disso é necessário o uso de um divisor resistivo com razão 4,2:1. Para dimensionamento dos resistores, deve-se considerar que a impedância da porta do ADC do ESP-12F é na ordem de centenas de quiloohms, por causa disso é recomendado que o divisor resistivo possua ordem de grandeza menor que isso (pelo menos quiloohms). O uso de divisor resistivo na ordem de quiloohms iria impactar no consumo de bateria (que seria na ordem de miliamperes), o que não é ideal em dispositivos operando com bateria. Para resolver isso, foi adotado circuito para desligar o divisor resistivo conforme Figura 11. Esse circuito é o driver indicado na Figura 10. O circuito deve ser habilitado com nível digital “0” em “(Ativar)” (possui lógica inversa). Ressalva-se que o uso único do P-MOS não é recomendado, pois os níveis de tensão de saída do microcontrolador (0 ou 3,3 V) são incompatíveis para operação do transistor (seria necessário que a referência do microcontrolador fosse a mesma do *gate* do transistor). O uso único de N-MOS poderia disponibilizar níveis de tensão elevados em “Leitura”, o que danificaria o microcontrolador.

Figura 11 – Topologia para leitura da tensão da bateria.



A regulagem de tensão da bateria (para baterias lithium-ion, normalmente a curva de tensão está entre 4,2 e 3,3 V) para o circuito em 3,3 V (MPU-6050 e ESP-12F) será realizada pelo XC6204. Esse CI é um regulador linear (tipo *low dropout regulator*, LDO) que suporta tensões de saída de até 6 V, e tensões de entrada de 2 a 10 V. Esse CI é vantajoso pois possui queda de tensão de 200 mV quando suprindo 100 mA. O popular LM1117 possui queda de 1,20 V quando suprindo a mesma corrente. Devido a faixa de regulagem ser estreita, quanto menor a queda de tensão, melhor se aproveita a capacidade da bateria. É esperado que o circuito opere com a bateria até seu limiar de descarga recomendado de 3,3 V (REDDY; LINDEN, 2011). Nessa situação a saída do regulador será de 3,2 V (valor suficiente para operar o ESP-12 e o MPU-6050). O XC6204 possui capacidade máxima de corrente de 300 mA (tipos E ao H), valor suficiente para o projeto (são esperados picos de 170 mA durante a transmissão). O dispositivo possui consumo interno típico de 70 μ A (corrente de polarização).

Nesse trabalho poderia ser utilizado uma fonte do tipo chaveada. O LDO foi escolhido por ser de mais fácil implementação, necessitar menos componentes, poder ocupar menor área de placa, ser pouco ruidoso (menos problemas de compatibilidade eletromagnética) e possuir eficiência em ampla faixa de consumo. O dispositivo desse trabalho opera por curtos períodos de tempos em potência nominal (segundos de aquisição e transmissão) e na maior parte do tempo permanece em *deep sleep* com consumo na ordem de dezenas de microamperes.

Quanto a autonomia do protótipo, o pior caso de consumo é durante transmissão da informação via Wi-Fi. Os valores de consumo são listados na Tabela 2. O consumo dos dispositivos durante transmissão é de 171,6 mA (i_t). Nos momentos de aquisição e processamento (sem transmissão) o consumo dos dispositivos é de 81,6 mA (i_{op}). Em modo de espera, ou seja, com componentes em modo *low power (sleep)*, o dispositivo deverá consumir cerca de 102 μ A (i_{lp}).

Tabela 2 – Consumo de corrente durante operação e em modo de espera.

	Em operação sem transmissão Wi-Fi	Em operação com transmissão Wi-Fi	Em modo de espera
MPU-6050	500 μ A	500 μ A	10 μ A
ESP-12F	80 mA	170 mA	10 μ A
Circuito de leitura da bateria	1 mA	1 mA	2 μ A
Corrente de polarização XC6204	70 μ A	70 μ A	70 μ A
Corrente de fuga bateria	10 μ A	10 μ A	10 μ A
Total	~81,6 mA	~170,6 mA	~102 μ A

Para estimar autonomia, foram estimados tempos de transmissão e processamento. Esses tempos podem variar no cenário real. Estima-se que o dispositivo permaneça acordado por cinco segundos (t_{op}). A maior parte deste tempo é para gestão da conexão com a Wi-Fi e leitura dos sensores, com corrente i_{op} . Estima-se i_t com duração de centenas de milissegundos ($t_t = 100\text{ ms}$), uma vez que os pacotes transmitidos são mínimos. O procedimento de ativação do dispositivo ocorre a cada uma hora, ou seja, vinte quatro vezes ao dia. No restante do tempo o dispositivo estará em modo *low power* (t_{lp}) consumindo i_{lp} . O consumo médio (i_m) obtido com a Equação 1 é de $220\text{ }\mu\text{A}$. Pela Equação 2, estima-se autonomia de 27 dias se utilizada uma bateria com capacidade ($C_{bateria}$) de 210 mAh (conforme Figura 10 e de valor típico de 147 mAh) (CASALS *et al.*, 2017).

$$i_m = \frac{i_t \cdot t_t + i_{op} \cdot t_{op} + i_{lp} \cdot t_{lp}}{t_t + t_{op} + t_{lp}} \quad (1)$$

$$Autonomia = \frac{C_{bateria}}{i_m} \quad (2)$$

3.4.4 Invólucro

O invólucro escolhido é comercial tipo tubo Falcon 50 ml. O invólucro escolhido possui as seguintes dimensões: 116,6 mm (comprimento), 14,3 mm (raio) e 1,00 mm (espessura). Os valores dimensionais são aproximados. Esse foi o invólucro que mais se assemelhou ao melhor resultado de simulação vistas na seção 3.2.2. O material do invólucro é de plástico polipropileno (PP) que pode ser utilizado em contato com alimentos conforme resolução da ANVISA (ANVISA, 2001). A escolha do tubo Falcon apresenta outros aspectos positivos: esse é padrão comercial facilmente encontrado em lojas de materiais de laboratório; possui baixo custo (aproximadamente R\$ 0,50 por tubo); e possui tampa com vedação interna. O tubo utilizado no projeto iSpindel não é facilmente encontrado, e, portanto, foi desconsiderado.

3.4.5 Protótipo

Para estudar se as soluções são suficientes para atender aos objetivos do Densímetro Eletrônico, foram confeccionados dois protótipos com *kits* de desenvolvimento (Wemos D1 mini com ESP-12F e GY-521 com MPU-6050) e bateria lithium-ion tipo cilíndrica 18350. O protótipo é apresentado na Figura 12. O *firmware* dos protótipos foi construído com a IDE Arduino. O *software* que recebe os dados foi desenvolvido em JavaScript com Google Apps Script (servidor na nuvem de *parse data*). Os dados são salvos pelo *software* na plataforma Google Docs. Todos os dados permanecem na nuvem (Google Docs).

Figura 12 – Protótipo desenvolvido.



O perfil de corrente do protótipo foi estudado com osciloscópio (modelo Tektronix TDS2004C). O perfil de consumo é apresentado na Figura 13(a), e tem duração de acordo com o valor esperado (aproximadamente cinco segundos). O consumo sem transmissão condiz com o valor esperado (aproximadamente 80 mA). Os picos de corrente divergem do esperado de 171,6 mA (Figura 13(b)).

O primeiro teste consistiu em deixar o dispositivo ligado (de maneira estática) para estudo da consistência de transmissão, circuitos e bateria. Como o dispositivo permaneceu estático o valor de ângulo lido não variou (Figura 14(a)). A temperatura lida corresponde a temperatura da sala em que o dispositivo permaneceu condicionado (Figura 14(b)). A bateria teve tensão inicial de 3,95 V e o dispositivo operou até a tensão de 3,4 V (Figura 14(c)). A duração total da bateria (cilíndrica 18350) foi de 15 dias. A capacidade da bateria foi investigada. O valor encontrado foi de 142 mAh, em descarga com corrente constante de 100 mA (com equipamento SkyRC iMAX B6). A autonomia teórica para esse valor de capacidade é de 26 dias.

Figura 13 – (a) perfil de corrente do Densímetro Eletrônico e (b) vista detalhada da curva circulado em vermelho na figura (a), corresponde à transmissão dos dados para servidor. Os outros picos de (a) são outros momentos de gestão de Wi-Fi.

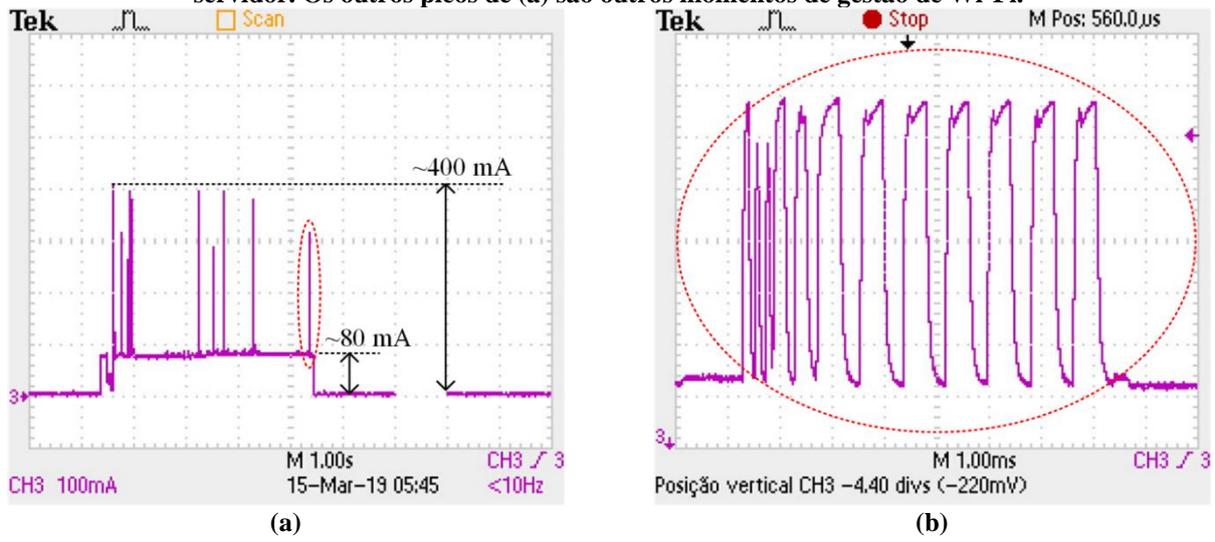
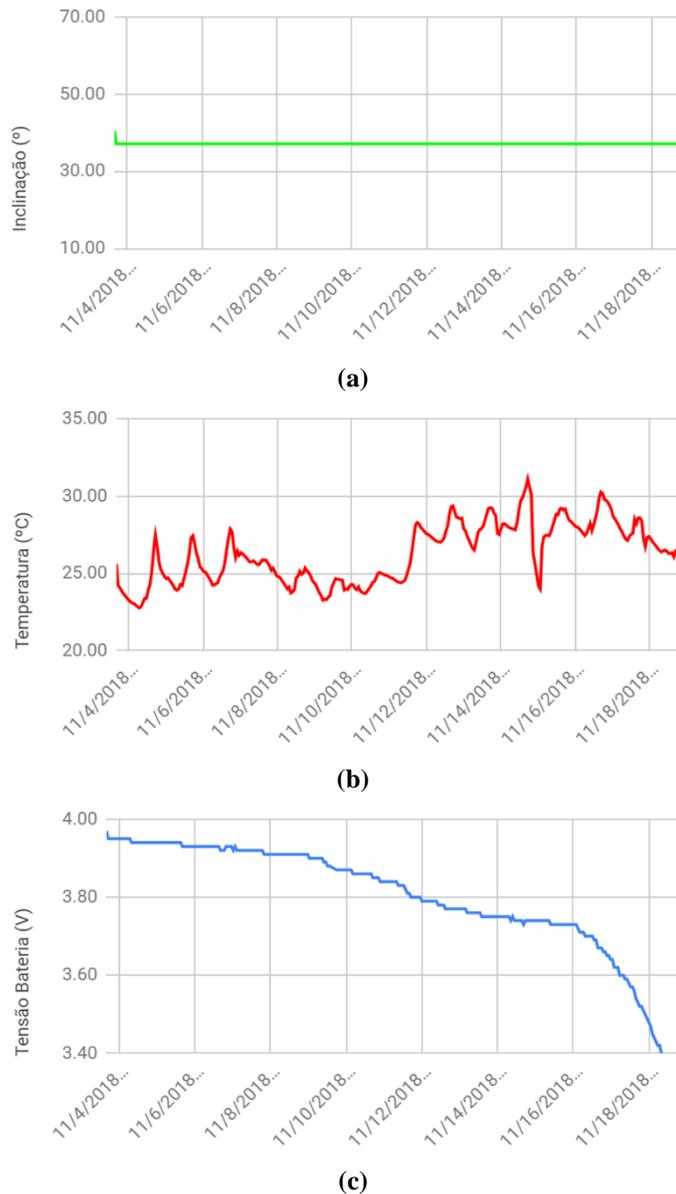


Figura 14 – Primeira etapa de testes: (a) nível de inclinação, (b) temperatura e (c) tensão da bateria. O eixo da horizontal corresponde ao tempo.



O segundo teste visou testar a capacidade de transmissão dentro de fermentador de 2.000 litros industrial de aço inox (Figura 15). O teste de comunicação foi bem-sucedido com o fermentador lacrado (paredes e tampa de aço inox). Nesse momento os locais menos susceptíveis a atenuar o sinal Wi-Fi são as borrachas de vedação do fermentador. A distância entre roteador Wi-Fi e o fermentador foi de até 15 metros (sem obstáculos). Verificou-se nesse teste que, para aplicação do densímetro na produção industrial de cerveja, seria necessário sanitização interna do tubo Falcon 50 ml e grau de proteção IP no produto.

Figura 15 – Fermentadores industriais em aço inox utilizados em etapa de testes de comunicação (CERVEJARIA KAIRÓS, 2019).

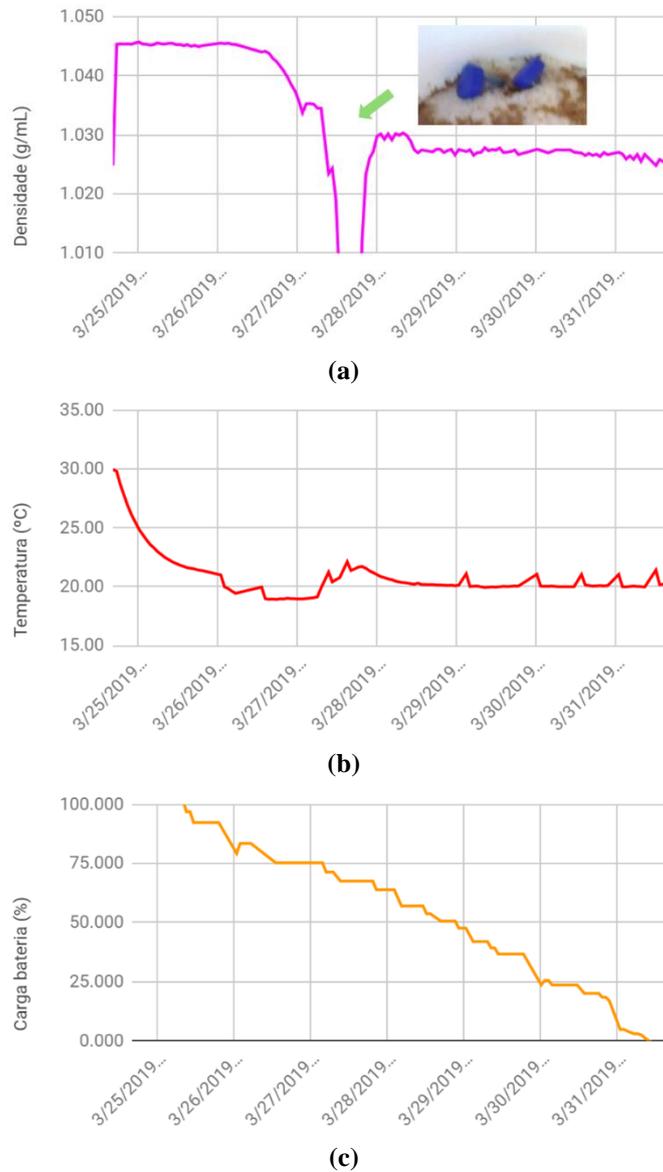


O terceiro teste foi conduzido em produção caseira. Os dois protótipos foram inseridos no fermentador conforme apresentado na Figura 16. A leitura de densidade obtida nesse ensaio é dada pela Figura 17(a). A seta em verde indica erro de leitura que foi provocado devido a interferência entre os dois protótipos inseridos (os protótipos ficaram sobrepostos e foram separados manualmente). A temperatura lida corresponde à temperatura do fermentador, que foi ajustado em 20 °C (Figura 17(b)). A curva de descarga da bateria em porcentagem é dada pela Figura 17(c). Os modelos utilizados para obter as curvas de densidade e carga da bateria em porcentagem serão detalhados na subsecção a seguir.

Figura 16 – Terceiro ensaio: dois protótipos inseridos em produção de cerveja artesanal em fermentador plástico.



Figura 17 – Terceira etapa de testes: (a) Densidade calculada com a Equação 3, (b) temperatura e (c) porcentagem de carga restante na bateria calculada com a Equação 4. O eixo da horizontal corresponde ao tempo. Em (a) há indicação por seta verde e imagem de momento que os dois protótipos ficaram sobrepostos (o que causou um erro de leitura), os protótipos forma separados manualmente para continuação desse ensaio.



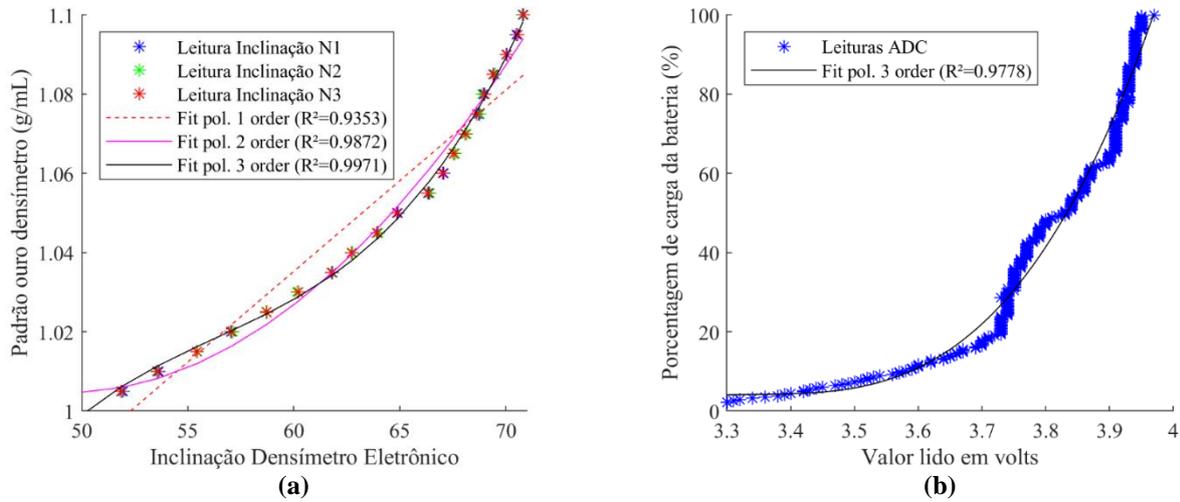
3.4.6 Calibração

O modelo polinomial investigado que melhor representa ($R^2 > 0,99$) os valores lidos pelo densímetro eletrônico (que é a inclinação em graus), ou seja, que converte o valor “*tilt*” lido pelo acelerômetro (em graus) em valor de densidade (em g/ml), é o de terceira ordem (Equação 3). Os modelos polinomiais investigados (primeira, segunda e terceira ordem) e os pontos de calibração (padrão ouro lido pelo densímetro) são dados na Figura 18(a). Esse modelo de calibração foi utilizado no terceiro ensaio (com produção artesanal, conforme Figura 17(a)). Nesse ensaio a densidade foi monitorada com método de densímetro de vidro (antes e depois da fermentação). O valor encontrado com densímetro de vidro no início da fermentação foi de 1,044 g/ml, sendo que o valor lido com o densímetro eletrônico foi 1,045 g/ml. O valor encontrado com densímetro eletrônico no término da fermentação foi de 1,028 g/ml, sendo que o valor lido com o densímetro eletrônico foi de 1,027 g/ml.

$$d_{20^{\circ}C} \left[\frac{g}{ml} \right] = 1,473 \cdot 10^{-5} \cdot Tilt^3 - 2,492 \cdot 10^{-3} \cdot Tilt^2 + 0,1430 \cdot Tilt - 1,762 \quad (3)$$

$$Bat [\%] = 396,1 \cdot Bat_{ADC}^3 - 3,979 \cdot 10^3 \cdot Bat_{ADC}^2 + 1,332 \cdot 10^4 \cdot Bat_{ADC} - 1,487 \cdot 10^4 \quad (4)$$

Figura 18 – (a) Calibração da leitura de densidade do densímetro eletrônico. Os pontos dos três ensaios N1, N2 e N3 são muito próximos e sobrepostos nos gráficos. (b) Modelo para converter a leitura da bateria em volts para valor em porcentagem.



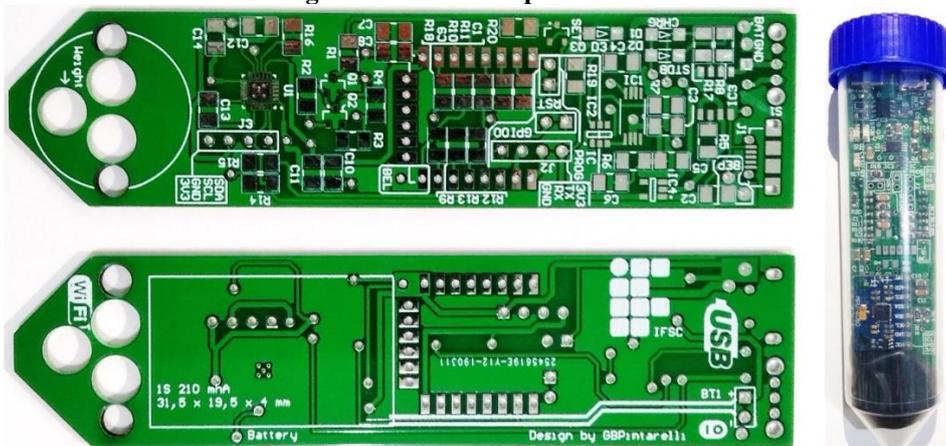
O valor da bateria em porcentagem foi ajustado de acordo com a leitura “ Bat_{ADC} ” no ADC em volts. Para obtenção da porcentagem da bateria não é necessário critério de exatidão. Foi escolhido modelo polinomial de terceira ordem para esse tipo de conversão. A leitura em porcentagem é conveniente para o usuário. Os pontos usados para calibração (300 pontos) e curva de calibração é dada pela Figura 18(b). Esse ensaio foi realizado sem repetições e com a própria operação normal do dispositivo. A equação obtida é apresentada na Equação 4. Esse modelo de calibração foi utilizado no terceiro ensaio (Figura 17(c)). O modelo representa a descarga da bateria de maneira próxima a linear, o que é prático para informar o usuário da situação (porcentagem de carga) da bateria.

A correção da densidade em função da temperatura, pode ser feita com uso de equação para correção, igual ao utilizado para correção da densidade com método do densímetro de vidro. Essa equação pode ser encontrada na ABNT NBR 5992:2016 (ABNT, 2016). O cálculo da temperatura é conforme procedimentos do fabricante do MPU-6050. A leitura da temperatura mostrou resultados condizentes em ambos os testes experimentais (Figura 14(b) e Figura 17(b)).

3.4.7 Placa do Produto Final

A placa de circuito impresso (PCI) do produto final foi desenvolvida pelos autores do trabalho e é apresentada na Figura 19. As dimensões são compatíveis com o tubo Falcon 50 ml (com folgas de 0,5 mm em todas as laterais). Foram aplicadas boas práticas de desenvolvimento de PCI, principalmente nos aspectos de redução de custo de produção e mitigação de problemas de compatibilidade eletromagnética.

Figura 19 – Placa do produto final.



Para poupar custos de produção, todos os componentes foram posicionados do lado inferior (*bottom layer*), com exceção do ESP-12F. Dessa maneira, não é necessário uso de cola de componentes durante soldagem (se uso de *pick and place* e *reflow*). Todos os componentes são do tipo *surface-mount technology*

(SMT) de tamanhos de fácil manipulação (*e.g.*, tipo 1206), com exceção do MPU-6050 que somente é disponível em encapsulamento QFN. Além de reduzir custos, isso possibilita manutenções fáceis e prototipação manual. Há espaçamentos na periferia do componente QFN para sua soldagem manual ou *reflow*. Os únicos componentes tipo *pin through hole* (PTH) são o conector da bateria e a chave principal. Os componentes utilizados no projeto são encontrados no mercado nacional (exceto o MPU-6050). A placa desenvolvida é de simples produção, pois possui somente duas camadas e é tipo FR-4.

Para mitigar problemas com compatibilidade eletromagnética, foram utilizados pares de trilhas simétricas (ou bifilares) de alimentação e *ground* independente para cada carga (V_{SS} e GND). Foram aplicados capacitores de desacoplamento em todas as cargas. Não há áreas de *loop*, e as malhas de GND são somente conectadas em ponto único (próximo à referência da bateria).

É acessível ao usuário (ao abrir a tampa do tubo) o conector USB (para recarregar bateria) e chave principal; não é necessário remover a PCI para operação. Na PCI há espaços para colar a bateria, passagem do cabo da bateria e há também, local para posicionar o peso necessário para flutuação (com parafuso ou cola).

Na PCI há barramento um I²C que pode ser utilizada para expansão do projeto (acréscimo de outros sensores I²C). Esse barramento também pode ser utilizado para conexão do *kit* de desenvolvimento MPU-6050, caso não seja possível solda do componente durante prototipação.

4 DISCUSSÃO

Existem discussões sobre a definição de IoT. Nesse trabalho definiu-se IoT como uma tecnologia que possibilita trânsito de informações de diferentes tipos de “coisas” através da Internet e redes sem fio. Atualmente, os dispositivos IoT podem ser desde sistemas pequenos, localizados e simples até um grande sistema global distribuído e complexo. A arquitetura da tecnologia de dispositivos IoT também está sendo estudada. A arquitetura tradicional do IoT contém três níveis, que são de sensoriamento, rede e comunicação de dados e aplicação (IEEE, 2015). O tipo de conexão (com ou sem fios) que um dispositivo apresenta não o caracteriza IoT. Por exemplo, sensoriamento remoto não necessariamente caracteriza IoT. Porém, a disponibilidade da informação de um sensor a uma plataforma ou outro equipamento caracteriza IoT (GUBBI *et al.*, 2013). Por causa desse motivo, acredita-se que o produto apresentado nesse trabalho possui tecnologia IoT. Ainda assim, o dispositivo proposto pode ser integrado com novas plataformas e equipamentos com mínimo investimento. Por exemplo, ele pode ser integrado com sistemas automáticos de produção de cerveja.

Alguns aspectos não foram abordados nesse trabalho e podem ser abordados em trabalhos futuros. O planejamento de um produto pode conter mais etapas (*i.e.*, ciclo de vida do produto, método de vendas e objetivos da empresa) (PAHL *et al.*, 2007). Pode ser investigado autonomia da bateria e interface do produto por requisitos do consumidor (CR). Pode-se investigar o protocolo mais adequado para o dispositivo. No protótipo foi utilizado o *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP). É de conhecimento que o HTTP utiliza mais recursos de *hardware* e muitas vezes não é recomendado para IoT. Apesar disso, o protótipo cumpriu com os requisitos solicitados. Caso seja optado por *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) será necessário infraestrutura adicional (*broker* MQTT). Pode-se também desenvolver plataforma *online* otimizada para a aplicação. Recomenda-se uso de plataforma que seja operada via navegador. Isso possibilita acesso por diferentes dispositivos (PC, *tablet* ou celular). O uso da plataforma Google Docs no protótipo não se mostrou como uma limitação. A plataforma é gratuita, de fácil uso e muito semelhante ao Microsoft Excel. Os dados podem ser extraídos da plataforma em formatos “.csv”, “.xls” ou simplesmente visualizados em gráficos.

Na Tabela 2, a maior parte do consumo são perdas internas do regulador linear (LDO) durante o modo de espera. É possível desligar o LDO por *hardware* para redução do consumo de todo circuito para 0,1 μ A. Esse procedimento pode dobrar a autonomia da bateria. Porém, será necessário um *timer* externo (*e.g.*, Texas Instrumentes TPL5010). Ainda assim, haverá fugas internas na bateria. Caso se deseje operar esse dispositivo por longos períodos (meses ou anos) deve-se utilizar uma bateria de longa duração. Devido ao projeto atender ao requisito de autonomia de 15 dias, não foi necessária implementação de nenhum desses procedimentos. Nesse trabalho somente foi necessária a implementação de boas práticas simples para poupar a bateria. No microcontrolador e sensor foram implementados *deep sleep*. O circuito para ler a bateria pode ser desligado (com o circuito de custo mínimo da Figura 11).

Há diferenças entre os valores de autonomia teóricos e práticos descritos nesse trabalho. Essa divergência pode ter sido causada devido à alteração no tempo de operação do dispositivo. Nesse trabalho foram observados valores de cinco segundos (Figura 13(a)). Porém, é de conhecimento que conexões Wi-Fi ruins podem demandar tempo de operação e transmissão superiores (t_{op} e t_t). Portanto, é interessante incluir fator que incremente t_{op} e t_t em trabalhos futuros.

O método do processo de calibração realizado no trabalho pode ser utilizado para calibração do produto final. O processo pode ser realizado somente uma vez para um único dispositivo de uma determinada linha de

montagem. Esse modelo pode ser reaproveitado nos dispositivos da linha de produção, ou seja, o processo de calibração não precisa ser repetido na indústria. Esse procedimento que pode reduzir custos de produção. Foi possível representar a densidade em função da inclinação com modelo polinomial simples (terceira ordem, na Figura 18(a)). Ainda assim, esse tipo de procedimento pode facilitar a operação por parte do usuário, uma vez que não é necessário calibração. Ressalva-se que deve ser utilizado peso bem definido. Os dispositivos eletrônicos irão se comportar de maneira semelhante uma vez que o acelerômetro escolhido (MPU-6050) já é calibrado de fábrica. Não há requisitos de precisão no modelo de estimativa de carga de bateria. O objetivo desse modelo é ser um facilitador para o usuário (bateria em porcentagem). Em alguns produtos comerciais utiliza-se circuitos integrados medições de correntes (*battery gas/fuel gauge IC*) para estimar energia armazenada na bateria com mais precisão (e.g., Texas Instruments série BQxxxx). Não foi adotado procedimento com circuito integrado devido preço superior e não requisito de resolução de medição da bateria.

A investigação por tecnologias correlatas no estágio inicial do projeto foi bastante importante pois detectou patentes nos Estados Unidos. O desenvolvimento de produto já protegido por propriedade intelectual no Brasil poderia não ser benéfico, uma vez que não seria possível comercializá-lo no Brasil. Não existe uma patente global. A proteção é territorial e o depósito deve ser feito em cada país. O PCT visa facilitar esse tipo de situação (o Brasil é participante). Uma vez que não foram detectadas patentes que possam interferir na venda desse dispositivo no Brasil, pode-se comercializá-lo livremente, não se aplica nenhum tipo de sanção no Brasil. Para comercializar o dispositivo desse trabalho no Estados Unidos seria necessário consultar o titular da patente detectada.

O uso de simulações para projeto do invólucro reduziu custos com experimentação com materiais em aço inoxidável. O uso de simulações pode ser utilizado para otimizar ainda mais a forma do dispositivo.

A etapa de testes em fermentadores industriais detectou necessidade de grau IP na placa eletrônica do produto. Nesse trabalho não foram feitas investigações em relação a esse tipo de proteção. Recomenda-se investigar em trabalhos futuros o encapsulamento da placa eletrônica com resina epóxi. Ressalva-se que em uma indústria esse procedimento é importante, pois o contato da cerveja com os componentes internos (bateria) pode provocar contaminação e perda total do lote.

O densímetro eletrônico desenvolvido necessita somente de operações básicas anteriores ao uso (*i.e.*, configuração, carregamento da bateria e higienização). O dispositivo é compatível com diferentes fermentadores e é minimamente invasivo (*i.e.*, não necessitar instalações completas, alterações no fermentador e cabos, e não provocar alterações na cerveja). O dispositivo permanece ativo registrando automaticamente dados de densidade durante toda a duração da etapa de fermentação. As soluções empregas no projeto são soluções econômicas e suscetíveis de aplicação industrial (produzíveis em indústrias de eletrônicos convencionais). O dispositivo pode ser implementado na produção de cerveja pois possui invólucro em material seguro.

A característica proeminente do dispositivo é a facilidade de o operador consultar a curva de fermentação de bebidas fermentadas, como a cerveja, e dela extrair o estado da fermentação. O fermentador pode permanecer lacrado e sem necessitar intervenção humana durante fermentação. O produto densímetro eletrônico visa proporcionar facilidade, comodidade e economia aos produtores de cerveja artesanal e em microcervejarias. Essas qualidades são devido ao produto realizar a medição automática de densidade e sem necessidade de extração e desperdício de cerveja.

A tecnologia embarcada no dispositivo está no contexto da especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). O dispositivo é automático e eletrônico. Diversos conceitos aprendidos durante a especialização foram aplicados. Principalmente em relação à desenvolvimento de produtos, sistemas embarcados, gestão de projetos, normatização, tecnologia de comunicação de dados e processos de fabricação.

A capacidade da levedura em processar os açúcares definirá a fermentação e isso pode ser avaliado com o dispositivo. Acredita-se que o trabalho irá gerar impacto positivo aos cervejeiros artesanais e possivelmente pode ser aplicável na indústria de pequeno porte. O conhecimento da curva de fermentação pode acrescentar qualidade (ou controle de qualidade) e consistência ao produto. Consequentemente, pode gerar produtos fermentados de maior valor agregado.

5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi desenvolvido densímetro eletrônico para produção de cervejas considerando métodos de desenvolvimento de produtos. Esses aspectos visam tornar o produto econômico (baixo custo) e confiável. Um protótipo foi desenvolvido para validação da ideia. O dispositivo desenvolvido pode melhorar a medição de densidade e acompanhamento da fermentação. Além disso, o produto é de fácil instalação e manipulação. Ele é adequado para cervejeiros caseiros.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao professor Dr. Cláudio Luís Ebert e ao Murilo Dirksen da Cervejaria Kairós por permitirem ensaios na empresa, ao Eng. Sérgio Stähelin da cervejaria Stähelin Bier pelo empréstimo do densímetro de vidro e *brainstorm*, a Eng. Marina Brasil Pintarelli pelo auxílio com as simulações no SolidWorks.

REFERÊNCIAS

- ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução de Diretoria Colegiada N° 91, de 11 de maio de 2001. Brasil, 2001.
- ABRACERVA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERVEJA ARTESANAL. **Número de cervejarias artesanais no Brasil cresce 37,7% em 2017**. Disponível em: <<http://abracerva.com.br/numero-de-cervejarias-artesanais-no-brasil-cresce-377-em-2017/>>. Acesso em: 22 abr. 2018.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5992 - Etanol combustível - Determinação da massa específica e do teor alcoólico por densímetro de vidro**. [s.l.: s.n.], 2016.
- BARON BREW EQUIPMENT. **TILT™ Wireless Hydrometer and Thermometer**. Disponível em: <<http://www.tilthydrometer.com>>. Acesso: 2019.
- BETTS, B. Brewing up: A technology revolution. **Engineering & Technology**, v. 11, n. 2, p. 54–57, 1 mar. 2016.
- BNDES. **Produto 8: Relatório do Plano de Ação para o Desenvolvimento de IoT no Brasil**. [s.l.: s.n.], 2017.
- BURATTI, S.; BENEDETTI, S. **Alcoholic Fermentation Using Electronic Nose and Electronic Tongue**. [s.l.]: Elsevier Inc., 2016.
- CARPES JR, W. P. **Introdução ao Projeto de Produtos**. 1ª ed. Florianópolis: Editora Bookman, 2014.
- CASALS, L.; MIR, B.; VIDAL, R.; GOMEZ, C. Modeling the Energy Performance of LoRaWAN. **Sensors**, v. 17, n. 10, p. 2364, 16 out. 2017.
- CERVEJARIA KAIRÓS. **Cervejaria Kairós**. Disponível em: <<http://www.cervejariakairos.com.br>>. Acesso em: 2019.
- DAOUD, I. S.; SEARLE, B. A. On-Line Monitoring of Brewery Fermentation by Measurement of CO₂ Evolution Rate. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 96, n. 5, p. 297–302, 10 set. 1990.
- ELMEHDI, H. M.; PAGE, J. H.; SCANLON, M. G. Evaluating Dough Density Changes During Fermentation by Different Techniques. **Cereal Chemistry Journal**, v. 84, n. 3, p. 250–252, maio 2007.
- GIBSON, B. R.; LAWRENCE, S. J.; LECLAIRE, J. P. R.; POWELL, C. D.; SMART, K. A. Yeast responses to stresses associated with industrial brewery handling. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 31, n. 5, p. 535–569, set. 2007.
- GITHUB. **iSpindel**. Disponível em: <<http://www.github.com/universam1/iSpindel>>. Acesso: 2019.
- GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S.; PALANISWAMI, M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, set. 2013.
- IEEE. **Towards a Definition of the Internet of Things (IoT)**. [s.l.: s.n.], 2015. Disponível em: <<https://iot.ieee.org/definition.html>>. Acesso em: 4 nov. 2018.
- ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 649 - Laboratory glassware - Density hydrometers for general purposes**. [s.l.: s.n.], 1981.
- MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa N° 5, de 31 de março de 2000**, 2000.
- MARTINS, M. R. **Hidrostatica e Estabilidade, Notas de Aula PNV2341, USP**. [s.l.: s.n.], 2010.
- MCKINSEY & COMPANY. **The Internet of Things: mapping the value beyond the hype**. [s.l.: s.n.], 2015.

- MUMTAZ, S.; ALSOHAILY, A.; PANG, Z.; RAYES, A.; TSANG, K. F.; RODRIGUEZ, J. Massive Internet of Things for Industrial Applications: Addressing Wireless IIoT Connectivity Challenges and Ecosystem Fragmentation. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 11, n. 1, p. 28–33, mar. 2017.
- NSC – NOSSA SANTA CATARINA. **Mercado das cervejas artesanais triplicou em Santa Catarina - A Notícia**. Disponível em: <<http://www.anoticia.clicrbs.com.br/sc/geral/joinville/noticia/2017/07/mercado-das-cervejas-artesanais-triplicou-em-santa-catarina-9842002>>. Acesso em: 22 abr. 2018.
- OECD. Test No. 109: Density of Liquids and Solids. **OECD Guidelines for the Testing of Chemicals**, v. Section 1, out. 2012.
- OLIVEIRA, B. D. M.; MELO FILHO, J. M.; AFONSO, J. C. A densidade e a evolução do densímetro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 1–10, mar. 2013.
- OSTERTAGOVÁ, E. Modelling using Polynomial Regression. **Procedia Engineering**, v. 48, p. 500–506, 2012.
- PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H. **Engineering Design**. London: Springer London, 2007.
- PANG, Z.; CHEN, Q.; HAN, W.; ZHENG, L. Value-centric design of the internet-of-things solution for food supply chain: Value creation, sensor portfolio and information fusion. **Information Systems Frontiers**, v. 17, n. 2, p. 289–319, 29 abr. 2015.
- REDDY, T. B.; LINDEN, D. **Linden's handbook of batteries**. 4. ed. [s.l.]: McGraw-Hill, 2011.
- ŠAVEL, J.; KOŠIN, P.; BROŽ, A.; SIGLER, K. Convenient Monitoring of Brewery Fermentation Course by Refractometry. **Kvasny Prumysl**, v. 55, n. 4, p. 94–99, 1 abr. 2009.
- SCHMIDT, R. H.; ERICKSON, D. J. **Sanitary Design and Construction of Food Equipment (FSHN0409) University of Florida**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/files/fs/fs11900.pdf>>.
- SIGFOX. **Sigfox Coverage**. Disponível em: <<http://www.sigfox.com/en/coverage>>. Acesso em: 17 mar. 2019.
- STEWART, G. G. **Brewing and Distilling Yeasts**. Cham: Springer International Publishing, 2017.
- THE THINGS NETWORK. **The Things Network Map**. Disponível em: <<http://www.thethingsnetwork.org/map>>. Acesso em: 17 mar. 2019.
- VEJLGAARD, B.; LAURIDSEN, M.; NGUYEN, H.; KOVACS, I. Z.; MOGENSEN, P.; SORENSEN, M. Coverage and Capacity Analysis of Sigfox, LoRa, GPRS, and NB-IoT. [s.l.]: IEEE, 2017, p. 1–5.
- VERBELEN, P. J.; DEKONINCK, T. M. L.; SAERENS, S. M. G.; VAN MULDER, S. E.; THEVELEIN, J. M.; DELVAUX, F. R. Impact of pitching rate on yeast fermentation performance and beer flavour. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 82, n. 1, p. 155–167, 19 fev. 2009.
- WANG, J.; YUE, H. Food safety pre-warning system based on data mining for a sustainable food supply chain. **Food Control**, v. 73, p. 223–229, mar. 2017.
- WHITE, C.; ZAINASHEFF, J. **Yeast: the practical guide to beer fermentation**. [s.l.]: Brewers Publications, 2010.
- WHITMORE, A.; AGARWAL, A.; DA XU, L. The Internet of Things — A survey of topics and trends. **Information Systems Frontiers**, v. 17, n. 2, p. 261–274, 12 abr. 2015.
- XU, M.; DAVID, J. M.; KIM, S. H. The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges. **International Journal of Financial Research**, v. 9, n. 2, p. 90, 5 fev. 2018.



A EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA CUSTOMIZADA EM UMA OFERTA ACADÊMICA DO CAMPUS FLORIANÓPOLIS: REALIDADE OU DEVANEIO?

Luis Carlos Martinhago Schlichting¹, Luiz Alberto de Azevedo²

Resumo: Este texto tem por premissa dialogar sobre a imersão contemporânea da extensão universitária, referida pelo Ministério da Educação (MEC) como extensão curricular, em uma oferta acadêmica do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN) do *campus* Florianópolis, do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), compreendida como Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial (CSTEI), na perspectiva de se construir uma reflexão sobre a probabilidade de uma contribuição para a formação do perfil profissional deste egresso. Assim sendo, para que o(a) leitor(a) possa construir a sua compreensão apresentar-se-á uma visão de como a extensão universitária foi sendo construída por dois atores institucionais: um cingido pelo desenvolvimento de uma práxis que foi se edificando e convergindo para uma *expertise*, e o outro unguído pela prerrogativa da produção da norma legal educacional. Discorrer-se-á sobre um trabalho de extensão customizada realizado nessa oferta educacional de uma instituição educacional imersa na Microrregião de Florianópolis, para que o leitor possa perceber a aquisição e/ou desenvolvimento de competências que agreguem um diferencial no perfil profissional em construção desse coletivo de discentes.

Palavras-chave: Curso de tecnologia. Eletrônica Industrial. Extensão curricular.

Abstract: *The premise of this text is to discuss the contemporary immersion of university extension, referred to by the Ministry of Education (MEC) as curricular extension — extension program, in an academic offer of the Academic Department of Electronics (DAELN) of the Florianópolis campus, of the Federal Institute of Santa Catarina (IFSC), understood as the Associate's Degree in Industrial Electronics (CSTEI), with a view to building a reflection on the likelihood of a contribution to the formation of the professional profile of this graduate. Therefore, in order for the reader to build their understanding, we will present a vision of how university extension has been built by two institutional actors: one girded by the development of a praxis that has been building up and converging towards an expertise, and the other anointed by the prerogative of producing the educational legal norm. We will discuss a customized extension project carried out at an educational institution in the Florianópolis micro-region, so that the reader can see the acquisition and/or development of skills that add a competitive advantage to the professional profile being built by this group of students.*

Keywords: *Technology course. Industrial Electronics. Curricularized extension.*

¹ Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <schlicht@ifsc.edu.br>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <lazevedo@ifsc.edu.br>.

1 O SURGIMENTO DE UMA POLÍTICA NACIONAL DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA

Para situar o propósito deste texto, objetivando a construção de uma reflexão, traz-se algumas compreensões sobre a extensão universitária no Brasil que evidenciam toda uma trajetória e militância realizada por interlocutores qualificados de Instituições de Ensino Superior (IES), os quais, mediante o estabelecimento de um processo dialógico e interativo, foram temporalmente se articulando e lapidando uma Política Nacional de Extensão Universitária, a partir de uma *expertise* adquirida decorrente de uma imersão e vivência, conforme pode ser apreendido em uma coletânea de publicações pelo seu Fórum de Pró-Reitores de Extensão (FORPROEX).

Nogueira (2013, p. 38) discorrendo em seu texto intitulado de: “O Fórum de Pró-reitores de Extensão das Universidades Públicas Brasileiras: um ator social em construção”, comunica que em 1987 esse foi instituído “fruto de um processo de articulação em nível nacional, a partir de discussões bastante semelhantes, em torno de temas comuns, que vinham ocorrendo nas universidades públicas de todo o país” e esclarece que esse “passa a desempenhar papel decisivo na conceituação, institucionalização e na definição de políticas de extensão para as IES públicas”; o FORPROEX, que na visão da autora (2013),

“As reflexões iniciais do Fórum refletem discussões dos movimentos acadêmicos e técnico-administrativos dos anos 1980. A indissociabilidade entre as atividades de ensino, pesquisa e extensão, seria a base sobre a qual se redimensionaria a ação extensionista, superando a antiga visão de transmissão de conhecimento e assistencialismo. O Fórum veio atuar no sentido de estabelecer e consolidar o caráter acadêmico da extensão como instrumento de democratização do conhecimento produzido e como meio de cumprir a função social da universidade” (Nogueira, 2013, p. 38).

A proposta central da criação do Fórum Nacional, de acordo com Nogueira (2013, p. 42), tinha por questão central “a elaboração da política de extensão para as IES públicas brasileiras” e essa dar-se-ia baseada “em um conjunto de ideias consensuais que podem ser apreendidas nos documentos dos fóruns regionais, nas reuniões que antecederam a criação do Fórum Nacional”, tais como:

- “função social da universidade, entendida como compromisso da instituição pública na busca de soluções para os graves problemas sociais que afligem a grande maioria da população. A extensão é vista como instrumento básico para realizar a função social da universidade;
- institucionalização da extensão seja internamente nas próprias universidades, seja no MEC;
- indissociabilidade entre as atividades de ensino, pesquisa e extensão como componentes do processo acadêmico;
- o caráter interdisciplinar da atividade extensionista a ser incentivado;
- financiamento da ação extensionista nas IES públicas como responsabilidade governamental, garantida a autonomia das instituições;
- importância do processo de troca entre os saberes acadêmico e popular na produção do conhecimento” (Nogueira, 2013, p. 42).

Assim, em 1987 surge o FORPROEX com a missão de definir uma Política Nacional de Extensão Universitária no país, ocorrida “durante o I Encontro Nacional de Pró-Reitores de Extensão das Universidade Públicas” em que se alinhou: a) conceito de extensão; b) institucionalização; e c) financiamento (Nogueira, 2000, p. 11). No que se refere ao conceito de extensão universitária, os integrantes do fórum interpretam que “A extensão universitária é o processo educativo, cultural e científico que articula o ensino e a pesquisa de forma indissociável e viabiliza a relação transformadora entre a universidade e a sociedade” (Nogueira, 2000, p. 11, destaque nosso).

É preciso observar que se trata de um conceito, ou seja, uma visão a ser materializada mediante a definição e implementação de processos educacionais para que o conceito seja reconstruído, caso contrário o resultado divergiria do instituído, um esfrelamento. Nogueira (2000, p. 11) dá a conhecer sobre a densidade do conceito referido à extensão universitária, informando que essa “é uma via de mão-dupla, com trânsito assegurado à comunidade acadêmica, que encontrará, na sociedade, a oportunidade da elaboração da práxis de um conhecimento acadêmico”.

Quando do retorno à universidade, Nogueira (2000, p. 11) informa que “docentes e discentes trarão um aprendizado que, submetido à reflexão teórica, será acrescido àquele conhecimento” trabalhado, quando da realização da extensão universitária com segmentos da sociedade civil. Como se pode perceber, trata-se de um fluxo que, como compreende a autora (2000, p.11), “estabelece a troca de saberes sistematizados/acadêmico e popular, terá como consequência: a produção de conhecimento resultante do confronto com a realidade brasileira e regional; e a democratização do conhecimento acadêmico e a participação efetiva da comunidade na atuação da universidade”.

Os integrantes do I Encontro Nacional de Pró-Reitores de Extensão das Universidade Públicas, em 1987, avaliaram que a extensão universitária viabiliza um processo dialético de teoria/prática e se consolida como “um trabalho interdisciplinar que favorece a visão integrada do social” (Nogueira, 2000, p. 11). Com relação ao dito, observa-se duas questões relevantes para a reconstrução do conceito: 1) é preciso que professores e alunos viabilizem a troca de saberes sistematizados/acadêmico e popular, mediante a realização de uma interatividade que viabiliza a ocorrência de um conhecimento justificado e diagnostica seus resultados, na

premissa de torná-lo mais verdadeiro; e 2) esses não deram à conhecer sobre a sua visão conceitual-material de trabalho interdisciplinar, assim como sobre um possível conceito de interdisciplinaridade.

Uma outra questão de relevância para a prática extensionistas abordada e alinhada pelos integrantes do I Encontro Nacional de Pró-Reitores de Extensão das Universidade Públicas, em 1987, refere-se “ao direcionamento das atividades acadêmicas às questões de relevância social” (Nogueira, 2000, p. 12), na perspectiva de aproximar a instituição educacional com os interesses concretos de segmentos da sociedade civil no entorno dessa institucionalidade que, geralmente, está de costas para essas realidades, mediante clausura em seus limites físicos institucionais.

Conjectura-se que esses avaliaram e propuseram, na época, que, dentre algumas medidas e procedimentos metodológicos alinhados, deveria ser “garantida a participação das comunidades envolvidas no trabalho, na elaboração, execução e avaliação dos projetos de extensão das Universidades”, em face de ser necessário, de acordo com a visão de futuro em 1987, haver um comprometimento estruturante dessas instituições educacionais com a “transformação social que implique na melhoria das condições de vida da maioria da população” (Nogueira, 2000, p. 12).

Observa-se que há nessa visão o rompimento da extensão universitária compreendida como uma atividade de assistencialismo, de tratar o outro como um “coitadinho”.

As atividades de extensão universitária, estruturadas por meio de programa/projetos de extensão, de acordo com o texto de Nogueira (2000, p. 14 e 15) que discorre sobre resultados decorrentes de um processo dialógico ocorrido em sessões plenárias realizadas entre os participantes do I Encontro Nacional de Pró-Reitores de Extensão das Universidade Públicas em 1987, constitui-se “também como atividades acadêmicas” e, por conseguinte, faz-se necessário o aporte de recursos financeiros, ou seja, necessitam de fontes de financiamento, “de modo a assegurar continuidade de atividades”.

Reafirma-se que este texto, inicialmente, está imbuído do propósito de se perceber os pressupostos dessa Política Nacional de Extensão Universitária elaborada pelos participantes do I Encontro Nacional de Pró-Reitores de Extensão das Universidade Públicas em 1987, e como essa foi sendo elaborada por interlocutores qualificados dessas institucionalidades universitárias no transcorrer de uma temporalidade, ou seja, o desvelar de uma *expertise*.

Dito isto, faz-se referência ao XXXI Encontro Nacional de 2012, em que os seus integrantes apresentam a nova Política Nacional de Extensão Universitária e comunicam à sociedade brasileira de que a “deliberação desta Política desenvolveu-se de forma ampla e participativa nos últimos três anos, tanto no âmbito do FORPROEX quanto no das próprias Universidades Públicas”, inclusive destacando que foram “Incorporadas as contribuições dos representantes das Universidades Públicas signatárias” (Forproex, 2012, p. 4), o que evidencia a incorporação de uma *expertise* construída no interior dessas institucionalidades, superando a ocorrência de uma política teórica desprovida de evidências e militância.

Para situar o leitor sobre quem seria essa institucionalidade citada no documento do Forproex (2012, p. 4), esses destacam que

“Neste documento, ao se mencionar o termo Universidade Pública, inclui-se toda a diversidade de instituições públicas de educação superior (IPES), como universidades, centros de ensino e faculdades federais, estaduais e municipais, bem como os institutos federais de educação, ciência e tecnologia. No Anexo, é apresentada lista das Universidades Públicas signatárias do FORPROEX com os respectivos representantes.”

Julga-se pertinente inicialmente abordar como evoluiu os objetivos estabelecidos para a extensão universitária na política de 1987 em relação a Política de 2012. Na percepção dos formuladores da política de 2012, esses entendem que essa “reafirma os objetivos pactuados ao longo da existência do FORPROEX”, sendo que “Muitos deles foram formalizados no Plano Nacional de Extensão Universitária de 1999, aos quais se acrescem outros que se fazem necessários para o enfrentamento de novos desafios e aproveitamento de novas oportunidades, tendo em vista o contínuo fortalecimento da Extensão Universitária” (Forproex, 2012, p. 5).

Dentre os objetivos estabelecidos na política de 2012, de acordo com o propósito deste texto, faz-se referência aos seguintes:

- “(1) reafirmar a Extensão Universitária como processo acadêmico definido e efetivado em função das exigências da realidade, além de indispensável na formação do estudante, na qualificação do professor e no intercâmbio com a sociedade;
- [...]

- (5) estimular atividades de Extensão cujo desenvolvimento implique relações multi, inter e ou transdisciplinares e interprofissionais de setores da Universidade e da sociedade;
 - (6) criar condições para a participação da Universidade na elaboração das políticas públicas voltadas para a maioria da população, bem como para que ela se constitua como organismo legítimo para acompanhar e avaliar a implantação das mesmas;
 - (7) possibilitar novos meios e processos de produção, inovação e disponibilização de conhecimentos, permitindo a ampliação do acesso ao saber e o desenvolvimento tecnológico e social do País;
- [...]
- (11) considerar as atividades voltadas para o desenvolvimento, produção e preservação cultural e artística como relevantes para a afirmação do caráter nacional e de suas manifestações regionais;
 - (12) estimular a educação ambiental e o desenvolvimento sustentável como componentes da atividade extensionista;
 - (13) tornar permanente a avaliação institucional das atividades de extensão universitária como um dos parâmetros de avaliação da própria Universidade;
 - (14) valorizar os programas de extensão interinstitucionais, sob a forma de consórcios, redes ou parcerias, e as atividades voltadas para o intercâmbio e a solidariedade” (Forproex, 2012, p. 5 e 6).

Em se tratando do conceito de extensão universitária, a Política de 2012 reafirma o que havia sido pactuado no I Encontro Nacional de Pró-Reitores de Extensão das Universidades Públicas Brasileiras, em 1987, quando da criação do FORPROEX, nos seguintes termos:

“A Extensão Universitária é o processo educativo, cultural e científico que articula o Ensino e a Pesquisa de forma indissociável e viabiliza a relação transformadora entre Universidade e Sociedade. A Extensão é uma via de mão-dupla, com trânsito assegurado à comunidade acadêmica, que encontrará, na sociedade, a oportunidade de elaboração da praxis de um conhecimento acadêmico. No retorno à Universidade, docentes e discentes trarão um aprendizado que, submetido à reflexão teórica, será acrescido àquele conhecimento.

Esse fluxo, que estabelece a troca de saberes sistematizados, acadêmico e popular, terá como consequências a produção do conhecimento resultante do confronto com a realidade brasileira e regional, a democratização do conhecimento acadêmico e a participação efetiva da comunidade na atuação da Universidade.

Além de instrumentalizadora deste processo dialético de teoria/prática, a Extensão é um trabalho interdisciplinar que favorece a visão integrada do social” (FORPROEX, 1987).

No que se refere ao financiamento da extensão universitária, a Política de 2012 apresenta e dialoga sobre alguns fatos políticos que propiciaram um “avanço na institucionalização da Extensão Universitária – seu reconhecimento constitucional –,” na compreensão desses signatários “novos progressos foram estabelecidos pelo MEC, sob forte estímulo e ampla colaboração do FORPROEX, com a criação do Programa de Fomento à Extensão Universitária (PROEXTE), de 1993”. Faz referência, nessa política, a uma citação sobre a Constituição de 1988, que “preceitua a ‘indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão’ (Artigo 207) e estabelece que ‘as atividades universitárias de pesquisa e extensão poderão receber apoio financeiro do poder público’ (Artigo 213, § 2º)”, como um avanço importante, assim como sobre “a destinação, feita pelo PNE 2001-2010, de 10% da creditação curricular a essas atividades” (Forproex, 2012, p. 8 e 14).

Os elaboradores da Política de 2012 ainda abordam um segundo programa destinado a extensão universitária, “desenvolvido pela Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão (SECADI), desde 2005, em parceria com a Secretaria de Educação Superior (SESU)”, intitulado de: “Conexões de Saberes, recentemente denominado Programa de Educação Tutorial – PET/Conexões” (FORPROEX, 2012, p. 15). Tal fato também ocorreu com o PROEXTE (1993); o qual foi interrompido em 1995 e retomado em 2003 com o nome de Programa de Extensão Universitária (PROEXT) e descontinuado.

Para que se tenha uma compreensão sobre quem estava na condução da governança do Estado brasileira nestas temporalidades citadas no parágrafo anterior, informa-se que em 1993, governava o presidente Itamar Augusto Cautiero Franco (1990-1995); em 1995, Fernando Henrique Cardoso (1995-2003); e em 2003, Luiz Inácio Lula da Silva (2003-2011) (Brasil, 2024). Como se pode observar, transparece estar instituído uma prática político-partidária, em que o Estado não tem importância, em face de que o que importa são as ações daqueles que ocupam temporalmente cargos da estrutura de governo, mediante representação de um partido político.

Na Política de 2012, um conceito de extensão universitária desenvolvido é apresentado nos seguintes termos: “A Extensão Universitária, sob o princípio constitucional da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão, é um processo interdisciplinar, educativo, cultural, científico e político que promove a interação transformadora entre Universidade e outros setores da sociedade”, destaque nosso), de acordo com esses

“como manda a Constituição de 1988” (Forproex, 2012, p. 15 e 16). Não abordaram, todavia, o que seria esse “processo interdisciplinar”, o qual provavelmente deve apresentar uma intersecção com um conceito de interdisciplinaridade.

A Política de 2012 ainda traz no bojo do seu texto as diretrizes para, de acordo com esses elaboradores da norma, “orientar a formulação e implementação das ações de Extensão Universitária, pactuados no FORPROEX, de forma ampla e aberta”, discorrido por Nogueira (2000). São as seguintes: “Interação Dialógica, Interdisciplinaridade e interprofissionalidade, Indissociabilidade Ensino-Pesquisa-Extensão, Impacto na Formação do Estudante e, finalmente, Impacto e Transformação Social” (Forproex, 2012, p. 16), as quais, além de serem apresentadas, provavelmente também são comentadas na perspectiva de situar atores institucionais e a sociedade sobre a sua importância e relevância para a extensão universitária, como um contributo social dessas institucionalidades públicas de educação superior.

Afinal, não seriam essas institucionalidades significativamente responsáveis pela formação de profissionais para essa mesma sociedade e por conseguinte seria indispensável conhecer essas realidades, em face de ser imperativo realimentar processos de ensino e de aprendizagem, e romper com a lógica de um fazer por fazer?

2 AÇÕES DO MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC)

Observa-se que de 1987 a 2012, em uma temporalidade superior a duas décadas, o FORPROEX, constituído por Pró-Reitores de Extensão das universidades públicas que tendem a se renovar a cada quatro anos, discutiram e aperfeiçoaram o texto que instituiu a Política Nacional de Extensão Universitária em 1987. A questão que surge após ter-se abordado algumas questões sobre como essa política foi se desdobrando e se desenvolvendo no cenário nacional, principalmente nas universidades, é sobre a participação do Ministério da Educação, uma instância da estrutura organizacional do Estado brasileiro responsável pela definição de Políticas de Estado para à Educação Nacional, no presente caso, de Nível Superior.

Os integrantes do XXXI Encontro Nacional de 2012, em seu texto, citam o *caput* do artigo 207 e o § 2º do artigo 217 da Constituição de 1988, como avanços na institucionalização da extensão universitária, bem como em Objetivos e Metas para a Educação Superior, na Lei nº 10.172/2001 que aprova o Plano Nacional de Educação e dá outras providências: o PNE 2001-2010, a “Meta 23: Implantar o Programa de Desenvolvimento da Extensão Universitária em todas as Instituições Federais de Ensino Superior no quadriênio 2001-2004 e assegurar que, no mínimo, 10% do total de créditos exigidos para a graduação no ensino superior no País será reservado para a atuação dos alunos em ações extensionistas” (Brasil, 2001, destaque nosso).

Para que se possa perceber quem deveria cumprir compromissos formalizados em nome do Estado brasileiro, informa-se que a promulgação da Constituição de 1988 ocorreu no governo Cardoso, assim como a implantação da Meta 23 referida à educação superior que traria uma mudança significativa na matriz curricular das ofertas acadêmicas de nível superior, em face de destinar 10% da carga horária total dessas ofertas para a “curricularização da extensão universitária”, assim como a implantação de um Programa de Desenvolvimento da Extensão Universitária em cada Instituição de Ensino Superior (IES), no quadriênio 2001-2004.

O mandato político do governo Cardoso finalizou e a implantação da Meta 23 ficou pendente. Assumiu o governo Lula que também não cumpriu com a determinação legal instituída no governo Cardoso, estando vigente o PNE 2001-2010 aprovado pelo Congresso Nacional, em face de ter negado esse e elaborado o seu Plano de Desenvolvimento da Educação, o PAC da educação. Faz-se importante enfatizar que se tratava de um Plano Nacional de Educação!

No caso da histórica educação profissional, considerando o quadriênio 2001-2004, havia uma rede de instituições de nível superior no Brasil, conhecidas como Centros Federais de Educação Tecnológica, os CEFETs, e responsabilizadas por realizar à Educação Tecnológica. Os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, os IFETs, surgem no governo Lula, mediante a Lei nº 11.892/2008, quatro anos após o término do quadriênio 2001-2004, compromissados com à Educação Profissional, Científica e Tecnológica, ainda sob a vigência do PNE 2001-2010.

Finalizado o mandato político do governo Lula, assume o governo Dilma Vana Rousseff (2011-2015) que mediante a Lei nº 13.003/2014 aprova o Plano Nacional de Educação, PNE 2014-2024, cuja norma legal traz a Meta 12.7, nos seguintes termos: “assegurar, no mínimo, 10% (dez por cento) do total de créditos curriculares exigidos para a graduação em programas e projetos de extensão universitária, orientando sua ação, prioritariamente, para áreas de grande pertinência social” (Brasil, 2014, destaque nosso).

Em 2018, governo de Michel Miguel Elias Temer Lulia (2016-2018), por meio da Resolução no 7/2018, à Câmara de Educação Superior (CES) do Conselho Nacional de Educação (CNE), do MEC, “Estabelece as Diretrizes para a Extensão na Educação Superior Brasileira e regimenta o disposto na Meta 12.7 da Lei nº 13.005/2014, que aprova o Plano Nacional de Educação – PNE 2014-2024 e dá outras providências” (Brasil,

2018), após praticamente 13 longos anos, ou seja, há mais de uma década. Conselheiros da CES avaliaram, nessa oportunidade, que, *caput* do artigo 19 da Resolução n° 7/2018, “As instituições de ensino superior terão o prazo de até 3 (três) anos, a contar da data de sua homologação, para a implantação do disposto nestas Diretrizes” (Brasil, 2018).

No *caput* do artigo 3° da Resolução n° 7/2018, a norma legal aborda a Extensão na Educação Superior; no *caput* do artigo 5° apresentam as diretrizes para a concepção e a prática da extensão na educação superior; no *caput* do artigo 6° apresentam os princípios para a concepção e a prática da extensão na educação superior; no *caput* do artigo 7° caracterizam a atividade de extensão, nos seguintes termos: “São consideradas atividades de extensão as intervenções que envolvam diretamente as comunidades externas às instituições de ensino superior e que estejam vinculadas à formação do estudante, nos termos desta Resolução, e conforme normas institucionais próprias”; no *caput* do artigo 10 que aborda a avaliação da extensão se limitaram a definir que “a extensão deve estar sujeita à contínua autoavaliação crítica, [...]”; o *caput* do artigo 13, para atender o estabelecido no PNE, provavelmente o PNE 2014-2024, incumbe as instituições de formalizar em seu Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI), mediante seis incisos, o que se poderia compreender por um Programa de Desenvolvimento da Extensão, estruturado nos seguintes termos:

- I. a concepção de extensão, que se ajuste aos princípios estabelecidos na presente Resolução, a ser aplicado na formulação dos projetos pedagógicos dos cursos superiores, quando necessários;
- II. o planejamento e as atividades institucionais de extensão;
- III. a forma de registro a ser aplicado nas instituições de ensino superior, descrevendo as modalidades de atividades de extensão que serão desenvolvidas;
- IV. as estratégias de creditação curricular e de participação dos estudantes nas atividades de extensão;
- V. a política de implantação do processo autoavaliativo da extensão, as estratégias e os indicadores que serão utilizados para o cumprimento das disposições constantes no art. 4° desta Resolução;
- VI. a previsão e as estratégias de financiamento das atividades de extensão” (Brasil, 2018, destaques nosso).

Interpreta-se que o artigo 13 da Resolução n° 7/2018 é elucidador sobre os compromissos que a IES deve assumir, com vista a regulamentação das atividades acadêmicas de extensão em todas as suas ofertas de cursos de nível superior, um compromisso inalienável. Resgata-se que no texto do FORPROEX sobre a Política Nacional de Extensão Universitária de 2012, esses fizeram referência a duas fontes de financiamento, o Programa de Fomento à Extensão Universitária (PROEXTE) que posteriormente se transformou em Programa de Extensão Universitária (PROEXT) e o Conexões de Saberes, também denominado Programa de Educação Tutorial – PET/Conexões.

O PROEXT foi instituído a partir do Decreto n° 6.495/2008, no governo Lula. No artigo 1°, o MEC aborda os seus objetivos; no *caput* do artigo 2° o MEC comunica que “prestará assistência financeira a programas e projetos desenvolvidos pelas instituições públicas de ensino superior, selecionados e aprovados a partir de edital de chamada pública”; no *caput* do artigo 5° o MEC comunica que “coordenará a implantação, o acompanhamento, o monitoramento, a supervisão e a avaliação do PROEXT”; no *caput* do artigo 6° o MEC esclarece que “As despesas do PROEXT correrão à conta das dotações orçamentárias anualmente consignadas ao Ministério da Educação, [...]” (Brasil, 2008, destaque nosso).

Na página do ProExt, instituído em 2003, o MEC comunica que esse “tem o objetivo de apoiar as instituições públicas de ensino superior no desenvolvimento de programas ou projetos de extensão que contribuam para a implementação de políticas públicas” e “abrange a extensão universitária com ênfase na inclusão social”, e dá a conhecer sobre os temas que esse apoia:

- a) atenção integral à família;
- b) combate à fome;
- c) erradicação do trabalho infantil;
- d) combate ao abuso e à exploração sexual de crianças e adolescentes;
- e) juventude e desenvolvimento social;
- f) geração de trabalho e renda em economia solidária;
- g) promoção e/ou prevenção à saúde;
- h) violência urbana;
- i) direitos humanos;
- j) educação de jovens e adultos;
- k) atenção à pessoa idosa, à pessoa com deficiência e às populações indígenas e quilombolas;
- l) atividades complementares ao Programa Brasil Alfabetizado;

- m) educação ambiental e apoio ao desenvolvimento comunitário;
- n) inclusão étnica;
- o) apoio à organização e desenvolvimento comunitário;
- p) inclusão social dos usuários de drogas;
- q) inclusão digital;
- r) apoio às atividades de escolas públicas;
- s) ensino de ciências;
- t) Educação de jovens e adultos, incluindo apoio ao desenvolvimento de sistemas locais e regionais de educação, alfabetização e letramento” (MEC, 2024a, destaque nosso).

Com relação ao Programa PET Conexões de Saberes citado na Política Nacional de Extensão Universitária do FORPROEX em 2012, o MEC publiciza na URL do programa a Portaria n° 1/2006 “visando apoiar projetos inovadores das instituições federais de ensino superior (IFES) voltados a assegurar a permanência dos estudantes oriundos de espaços populares” (MEC, 2006) e a Portaria n° 976/2010 que, no *caput* do seu artigo 1°, informa que “O Programa de Educação Tutorial PET reger-se-á pelo disposto na Lei n° 11.180 de 23 de setembro de 2005, e nesta Portaria, bem como pelas demais disposições legais aplicáveis”, orientar-se-á “pelo princípio da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão”, a partir dos seguintes objetivos:

- I. desenvolver atividades acadêmicas em padrões de qualidade de excelência, mediante grupos de aprendizagem tutorial de natureza coletiva e interdisciplinar;
- II. contribuir para a elevação da qualidade da formação acadêmica dos alunos de graduação;
- III. estimular a formação de profissionais e docentes de elevada qualificação técnica, científica, tecnológica e acadêmica;
- IV. formular novas estratégias de desenvolvimento e modernização do ensino superior no país; e
- V. estimular o espírito crítico, bem como a atuação profissional pautada pela cidadania e pela função social da educação superior” (MEC, 2010).

Na URL do programa o MEC informa que esse tem por objetivo:

“Desenvolver ações inovadoras que ampliem a troca de saberes entre as comunidades populares e a universidade, valorizando o protagonismo dos estudantes universitários beneficiários das ações afirmativas no âmbito das Universidades públicas brasileiras, contribuindo para a inclusão social de jovens oriundos das comunidades do campo, quilombola, indígena e em situação de vulnerabilidade social” (MEC, 2024b).

Interessante observar que o PROEXTE foi instituído em 1993, governo Cardoso, mesmo governo em que foi elaborado o Plano Nacional de Educação PNE 2001-2010 por meio da Lei n° 10.172/2001. Nesse PNE, ficou definido como Meta, “Implantar o Programa de Desenvolvimento da Extensão Universitária em todas as IES no quadriênio 2001-2004 e assegurar que, no mínimo, 10% do total de créditos exigidos para a graduação no ensino superior no País será reservado para a atuação dos alunos em ações extensionistas”, sob a responsabilidade partilhada entre o governo Cardoso e o governo Lula porque um sucedeu o outro. Em seguida, 2003, o governo Lula altera a denominação do Programa PROEXT para ProExt e implanta, em 2006, o Programa Conexões de Saberes: diálogos entre a universidade e as comunidades populares, todos mediante publicação de editais.

3 A EXTENSÃO CUSTOMIZADA EM UMA OFERTA ACADÊMICA DO CAMPUS FLORIANÓPOLIS, DO IFSC

Os dois programas ministeriais foram instituídos em 1993 e 2006, e antecedem a Resolução n° 7/2018 que “Estabelece as Diretrizes para a Extensão na Educação Superior Brasileira e regimenta o disposto na Meta 12.7 da Lei n° 13.005/2014, que aprova o Plano Nacional de Educação – PNE 2014-2024 e dá outras providências” (Brasil, 2014). A Meta 23 referida à Educação Superior no PNE 2001-2010, objetivava Implantar o Programa de Desenvolvimento da Extensão Universitária em cada IES, no quadriênio 2001-2004, e não foi mencionada no PNE 2014-2024 e nem na Resolução n° 7/2018, logo deve ter sido implantada, mesmo porque a extensão universitária ou extensão como entende Conselheiros contemporâneos da CES/CNE, surge como um processo acadêmico integrado com dois outros processos institucionais: ensino e pesquisa, reconhecido por todos esses atores sociais como indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão!

Assim, para atender o estabelecido no *caput* do artigo 19 da Resolução n° 7/2018, o Núcleo Docente Estruturante (NDE) do curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial (CSTEI) do Departamento Acadêmico de Eletrônica do *campus* Florianópolis, do IFSC, reestruturou o Projeto Pedagógico do Curso

(PPC), ajustando a sua matriz curricular de acordo com o estabelecido na resolução, mediante a definição de três unidades curriculares: a) Atividade de Extensão 1, com uma carga horária de 40 horas; b) Projeto Integrador 1, com uma carga horária de 80 horas; e c) Projeto Integrador 2, com uma carga horária de 120 horas, perfazendo uma carga horária total de 240 horas.

Há de se considerar que estas unidades curriculares foram projetadas para que extensionistas do CSTEI tenham a oportunidade de realizar a sua curricularização da extensão universitária; uma reestruturação do PPC elaborada a partir de uma *expertise* de projetos integradores vivenciada há mais de duas décadas. No terceiro semestre se definiu duas unidades curriculares integradas: a) Desenvolvimento de Projetos, com uma carga horária de 40 horas; e b) Atividade de Extensão 1, também com uma carga horária de 40 horas.

A unidade curricular Desenvolvimento de Projetos tem por objetivo:

“Desenvolver o pensamento holístico necessário para a elaboração, a gestão, a avaliação e o encerramento de um projeto aplicado no campo da Eletrônica. Evidenciar a importância de se desenvolver um plano de projeto. Desenvolver a prática de elaboração de projetos. Conscientizar sobre a execução e acompanhamento das tarefas de acordo com o plano de projeto. Aplicar o conhecimento adquirido em projetos no campo da Eletrônica” (IFSC, 2021, p. 32).

e a unidade curricular de Atividade de Extensão 1 tem por objetivo:

“Compreender os conceitos e história da extensão na educação superior brasileira, aplicando metodologias específicas de interação e comunicação com a comunidade externa. Entender a legislação e definições relacionados com extensão. Conhecer diferentes metodologias de interação com a comunidade externa. Compreender os princípios norteadores de ações de extensão. Elaborar ações de extensão. Aplicar e avaliar práticas de extensão. Reconhecer o papel social dos cursos de graduação no contexto social” (IFSC, 2021, p. 33).

Como se pode perceber, as(os) graduandas(os) serão imersos em uma dinâmica acadêmica que as(os) municia com um acervo de conhecimentos customizados, na premissa de potencializá-las(os) para a realização da extensão universitária no quarto semestre, na unidade curricular Projeto Integrador 1, a qual tem por objetivo:

“Desenvolver um projeto de extensão aplicando conhecimentos da área específica e agregando conhecimentos das unidades curriculares; aplicar métodos técnico-científicos em projetos de extensão; redigir e elaborar documentação técnico-científica de acordo com as normas vigentes; apresentar seminários, defender projetos e relatórios, utilizando os recursos tecnológicos; desenvolver habilidade de trabalho em equipe” (IFSC, 2021, p. 47).

No sexto semestre, o NDE definiu a unidade curricular Projeto Integrador 2, com uma carga horária de 120 horas e com o seguinte objetivo:

“Desenvolver um projeto de extensão aplicando conhecimentos da área específica e agregando conhecimentos das unidades curriculares; aplicar métodos técnico-científicos em projetos de extensão; redigir e elaborar documentação técnico-científica de acordo com as normas vigentes; apresentar seminários, defender projetos e relatórios, utilizando os recursos tecnológicos; traduzir requisitos de projeto em protótipo; aplicar técnicas de descarte de resíduos dos processos de fabricação/integração conforme legislação específica; sistematizar documentação técnica; desenvolver habilidade de trabalho em equipe” (IFSC, 2021, p. 58).

Destaca-se que a Unidade Curricular Projeto Integrador sempre esteve presente no PPC do Curso Superior de Tecnologia (CST) do DAELN, em face dessa unidade estar percebida pelo seu corpo de professores como um diferencial significativo para a construção do perfil profissional do seu egresso, desde a origem de sua existência em 2001, quando do processo de transformação efetiva da Escola Técnica Federal de Santa Catarina (ETFSC) em Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, governo Cardoso, quando foi concedida à comunidade a possibilidade da oferta de cursos de nível superior.

As bases do perfil profissional do egresso do CST está publicizada no Catálogo Nacional de Cursos Superiores de Tecnologia do Ministério da Educação (MEC), o qual dá a conhecer a sociedade brasileira que este “é um guia de informações sobre o perfil de competências do tecnólogo”, bem como “apresenta a carga horária mínima e a infraestrutura recomendada para cada curso”; nas palavras do ministério uma “Referência para estudantes, educadores, instituições de ensino tecnológico e público em geral” (MEC, 2016).

No caso do perfil profissional do egresso do CSTEI, o ministério define que esse deve dispor de competências para desenvolver as seguintes atividades:

“Projeta circuitos eletrônicos. Planeja e supervisiona a instalação de sistemas e dispositivos eletrônicos utilizados na indústria. Supervisiona a manutenção de sistemas e dispositivos eletrônicos utilizados na indústria. Controla a qualidade de produção de máquinas e dispositivos eletrônicos. Vistoria, realiza perícia, avalia, emite laudo e parecer técnico em sua área de formação” (MEC, 2016, p. 21).

O MEC, mediante a Resolução nº 7/2018, estabeleceu as bases para uma reestruturação da matriz curricular do CSTEI, com vistas a realização da “curricularização da extensão”, mediante a alocação de uma carga horária, no presente caso de 240 horas, que anteriormente estava destinada a unidades curriculares e comprometida com a formação do perfil profissional desse egresso, de acordo com o estabelecido pelo ministério. Sobre o perfil profissional do egresso, o MEC o aborda como “perfil do egresso” uma única vez no *caput* do artigo 2º, nos seguintes termos:

“As Diretrizes para a Extensão na Educação Superior Brasileira regulamentam as atividades acadêmicas de extensão dos cursos de graduação, na forma de componentes curriculares para os cursos, considerando-os em seus aspectos que se vinculam à formação dos estudantes, conforme previstos nos Planos de Desenvolvimento Institucionais (PDIs), e nos Projetos Políticos Institucionais (PPIs) das entidades educacionais, de acordo com o perfil do egresso, estabelecido nos Projetos Pedagógicos dos Cursos (PPCs) e nos demais documentos normativos próprios” (Brasil, 2018, destaques nosso).

Não é objeto deste texto elaborar um diálogo sobre o referido pelo MEC, artigo 2º da Resolução no 7/2018, nos documentos institucionais do IFSC, como PDI e PPI, conforme aborda a norma ministerial. O ministério, por conseguinte, no *caput* do artigo 7º, comunica que são consideradas “atividades de extensão as intervenções que envolvam diretamente as comunidades externas às instituições de ensino superior e que estejam vinculadas à formação do estudante, nos termos desta Resolução, e conforme normas institucionais próprias” (Brasil, 2018, destaque nosso).

No presente caso, essas atividades de extensão devem acontecer na região Metropolitana da Grande Florianópolis, mesmo porque se trata de um CST do período noturno e as(os) graduandas(os), quase na sua totalidade, têm algum tipo de vínculo empregatício no período diurno, o que lhes impossibilitaria um afastamento da região de interação social.

Julga-se oportuno, para situar o leitor sobre uma visão a respeito dessa região, apresentar algumas considerações extraídas do documento da Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina (FIESC, 2023), denominado de “Estratégia de Diversificação Inteligente para as Microrregiões de Santa Catarina”. Em se tratando de uma vocação contemporânea da microrregião, a FIESC (2023, p.17) apresenta o seguinte quadro:

- Florianópolis emerge como um centro de referência em turismo, serviços, tecnologia da informação e educação;
- São José, por sua vez, se destaca por sua sólida base na indústria e no comércio, mantendo uma economia diversificada;
- Palhoça, atualmente, vivencia um notável crescimento no setor imobiliário, mas ainda mantém atividades agrícolas como parte de sua economia; e
- Biguaçu abraça uma economia variada, com um foco evidente na agricultura e na indústria”. (FIESC, 2023).

A FIESC (2013, p. 17) comunica que a cidade de Florianópolis desponta na região como o epicentro “por seu notável potencial no setor de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), frequentemente reconhecida como a ‘Ilha do Silício’ do Brasil”; uma vocação tecnológica. A Federação destaca que a combinação de outros setores, como de “equipamentos eletroeletrônicos, eletromédicos, máquinas e componentes para obras de infraestrutura, fabricação de automóveis e peças, plásticos e preparações farmacêuticas” da microrregião, combinados com “a sólida base industrial de São José, Palhoça e Biguaçu e de serviços em Florianópolis é condição típica das regiões que são referências globais em inovação”.

Em se tratando de profissionais para imersão nesse complexo tecnológico e suas competências, referida no texto como habilidades do capital humano, a FIESC (2023, p. 17) alerta que 30 setores “requerem trabalhadores com capacidades técnicas que não contam com densidade suficiente na região [...], como: medir e calcular, operar, instalar e reparar máquinas e equipamentos de precisão, construir e reparar, carregar, levantar e mover”, e reconhece que os ‘cursos técnico integrados, concomitantes e subsequentes do IFSC sede

Florianópolis, como Eletrônica, Eletrotécnica, Química e Edificações, são exemplos que podem contribuir para ampliar o contingente de trabalhadores com estas habilidades”.

A Federação alerta, todavia, que no caso das denominadas “*soft skills*, como: criar e entreter; comunicar, promover e vender; liderar times; colaborar para resolver problemas, entre outras, também serão demandadas e estão presentes na microrregião de Florianópolis” (FIESC, 2023, p.17).

4 O DESVELAR DE UMA HISTORICIDADE EM CONSTRUÇÃO NO DAELN

Percebe-se no documento da FIESC (2023) um reconhecimento da Federação sobre a contribuição do campus Florianópolis na formação de uma força de trabalho referida ao nível médio, inclusive alerta sobre algumas características requeridas por arranjos produtivos, provavelmente adquiridas a partir de uma imersão dialógica com esses atores sociais que tenderão a se constituir como acolhedores de egressos desses cursos referidos, agora percebidos como profissionais e, portanto, trabalhadores.

Trata-se da aquisição de uma realidade que tende a repercutir em processos de ensino e de aprendizagem, em face de impactar no perfil do egresso de cursos, independentemente do nível, e seria oportuno que aquelas(es) que estão responsabilizadas(os) por tal formação tivesse a oportunidade de, a partir de indicadores, tomar conhecimento sobre o resultado de um trabalho realizado e construído a partir da imersão temporal de profissionais da educação, como um contributo a uma reflexão entre os mesmos e a tomada de decisão.

No presente caso a extensão, seja extensão universitária referida pelo FORPROEX ou apenas extensão referida por Conselheiros do CNE/MEC, também necessita ser construída a partir de imersão social e, portanto, surge como um compromisso inalienável da IES porque constitui-se como um dos pilares da indissociabilidade entre ensino e pesquisa, e, assim sendo, repercute no perfil profissional do egresso e conseqüentemente em arranjos produtivos, empregadores dessa força de trabalho.

Avalia-se que esse compromisso das IES, como um compromisso inalienável, está posto no Plano Nacional de Educação, PNE 2014-2024, a partir da definição de quatro estratégias vinculadas respectivamente a quatro metas, nos seguintes termos:

“9.11. implementar programas de capacitação tecnológica da população jovem e adulta, direcionados para os segmentos com baixos níveis de escolarização formal e para os(as) alunos(as) com deficiência, articulando os sistemas de ensino, a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, as universidades, as cooperativas e as associações, por meio de ações de extensão desenvolvidas em centros vocacionais tecnológicos, com tecnologias assistivas que favoreçam a efetiva inclusão social e produtiva dessa população;

[...]

12.7. assegurar, no mínimo, dez por cento do total de créditos curriculares exigidos para a graduação em programas e projetos de extensão universitária, orientando sua ação, prioritariamente, para áreas de grande pertinência social;

[...]

13.7. fomentar a formação de consórcios entre instituições públicas de educação superior, com vistas a potencializar a atuação regional, inclusive por meio de plano de desenvolvimento institucional integrado, assegurando maior visibilidade nacional e internacional às atividades de ensino, pesquisa e extensão; e

[...]

14.10. promover o intercâmbio científico e tecnológico, nacional e internacional, entre as instituições de ensino, pesquisa e extensão” (Brasil, 2014).

De acordo com o estabelecido na norma do CNE, a Resolução nº 7/2018, interpreta-se que todas as IES que apresentam imersão na região Metropolitana da Grande Florianópolis devem ter colocado em movimento a estratégia 12.7, assim como realizou o NDE do CSTEI. No caso do *campus* Florianópolis do IFSC, esse disponibiliza para a comunidade matrículas em CST e cursos Bacharelado, os quais precisam realizar a curricularização da extensão universitária pelo menos nessa região, cujo perfil está caracterizado no documento da FIESC (2023).

Dito isto, avalia-se relevante para as(os) alunas(os) extensionistas, assim como para os profissionais da educação tanto do *campus* Florianópolis, bem como para todas(os) da rede IFSC, estarem informados sobre como vem ocorrendo a materialização das estratégias 9.11, 13.7 e 14.10 e resultados alcançados, tanto internamente na IES, assim como externamente, para cumprirem com o compromisso estabelecido no PNE 2014-2024, mesmo porque este é o último ano de vigência do plano e, assim sendo, deverá passar por um processo de avaliação.

Avalia-se que resultados alcançados com PNE 2014-2024, após dez anos, já deve ser de conhecimento do coletivo da sociedade brasileira, em face do governo Luiz Inácio Lula da Silva (2023-presente) ter publicado

o Decreto nº 11.697, de 11 de setembro de 2023, convocando, em caráter extraordinário, a Conferência Nacional de Educação – Conae, edição 2024, a ser realizada na cidade de Brasília, Distrito Federal (Brasil, 2023).

Em se tratando do tema que o Decreto nº 11.697/2023 aborda, faz-se referência aos seguintes objetivos específicos estabelecidos pelo governo federal para a Conae, edição 2024:

- I. avaliar a execução do PNE vigente;
- II. subsidiar a elaboração do PNE, decênio 2024-2034; e
- III. contribuir com a identificação dos problemas e das necessidades educacionais” (Brasil, 2023).

Talvez fosse oportuno, considerando o que traz o Decreto nº 11.697/2023 do governo Lula, a Diretoria de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão do *campus* Florianópolis aproveitar o momento nacional e elaborar uma agenda com o coletivo de professoras(es) para instaurar um diálogo sobre a realização da extensão pelos departamentos acadêmicos.

Informa-se ainda, para o desvelar de uma visão sobre a realização da curricularização da extensão customizada do CSTEI/DAELN na região Metropolitana da Grande Florianópolis, que no segundo semestre de 2023 realizou-se pela primeira vez essa atividade, que também é uma atividade de ensino mediada pela pesquisa, na premissa de se conquistar benefícios para a formação do perfil profissional da(o) graduanda(o) desse curso. Há de se considerar que as referências sobre a customização da extensão trazidos neste texto, talvez já sejam suficientes para se construir uma percepção sobre a efetividade de obtenção de resultados possíveis, de acordo com o que preconiza a Resolução nº 7/2013 da CES/CNE.

Na perspectiva de se perceber como o DAELN se mobilizou para a oferta da unidade curricular Projeto Integrador 1 no segundo semestre de 2023, um contributo para a materialização da curricularização da extensão, informa-se que no início desse primeiro semestre reuniram-se os professores responsáveis pelas unidades Extensão 1 e de Desenvolvimento de Projetos, uma equipe de educadores, para alinhar um trabalho que convergisse para potencializar o coletivo de alunos matriculados nessas unidades e assim se construir um fio perpasse entre as mesmas para que esses pudessem dispor de uma bagagem de conhecimentos contextualizados, e assim sendo usufruir de referenciais para integrar conhecimentos adquiridos em sua trajetória e projetar a realização de um trabalho voltado para adensar a construção do perfil profissional do egresso, de acordo com o que preconiza o MEC.

Tratava-se de uma ação da equipe de educadores que teve o seu planejamento sendo ajustado de acordo com uma sucessão de fatos que foram surgindo e sendo geridos por esses, na perspectiva de materializar uma intenção acordada entre os mesmos e que se fazia necessária, em face de impactar na unidade curricular Projeto Integrador 1, no segundo semestre de 2023. Ao se finalizar o primeiro semestre, percebeu-se que a equipe de professores haviam tido sucesso em sua empreitada acadêmica, decorrente de um alinhamento entre esses, com vistas a construção de uma *expertise* fundamentada no trabalho de outros, todavia, as incertezas que se adivinhavam para o início do segundo semestre na unidade curricular Projeto Integrador 1, quando da consolidação desta, possibilitou aos professores responsáveis por essa perceber que construiriam uma trajetória acadêmica resguardada apenas no resultado desse trabalho conquistado, porque era uma conquista da equipe.

Inicia-se o segundo semestre de 2023 e os professores responsáveis pela unidade Projeto Integrador 1 desenvolvem uma interatividade com os graduandos, na perspectiva de se perceberem agentes da construção de um trabalho com pelo menos um segmento da sociedade organizada no entorno do *campus* Florianópolis; fazia-se necessário olhar para além dos muros fronteiriços do *campus*, mediante um processo dialógico e interativo na perspectiva de colocar em movimento uma curricularização de uma extensão customizada. Um objetivo a ser construído que necessitava um novo olhar acadêmico diferenciado, por conseguinte, eivado de incertezas, em face das condições de contorno do contexto que repercutiam na realização da unidade Projeto Integrador 1.

Não se vai aqui abordar pormenores relacionados com o ocorrido no transcorrer das 20 semanas letivas da unidade curricular, todavia, entende-se ser necessário deixar dito neste texto que os professores gestores desenvolveram a gestão da unidade curricular Projeto Integrador 1 tendo como princípio balizar: “Os alunos são protagonistas dos seus projetos.” Assim sendo, a equipe de professores, no transcorrer dessas semanas percebidas como uma jornada pedagógica, esteve presente contextualizando, orientando, fazendo esclarecimentos, ou seja, colocando em movimento a partir do estabelecimento de um processo dialógico-interativo suas *expertises* em conceber, planejar, desenvolver e encerrar projetos. Esse coletivo de alunos teve a oportunidade de adquirir percepções e construir suas experiências com autonomia e independência, na reflexão e no fazer, vivenciando um protagonismo a partir do estabelecimento de um ambiente educacional voltado a ouvir, perceber e respeitar uma trajetória de aprendizagem sendo colocada por esses em construção.

Um projeto sobre Fontes de Energias Renováveis foi construído e colocado em movimento com uma turma de ensino médio do período noturno, na disciplina de Física, de uma instituição educacional do ensino médio, por esse coletivo de alunos matriculados na unidade curricular Projeto Integrador 1, a partir do planejamento e realização de uma atividade interativa, em laboratório. Nessa oportunidade, ao finalizar a atividade, esses aplicaram uma dinâmica para que pudessem perceber a repercussão dos discentes que participaram da atividade planejada, mediante um instrumento para colher manifestações sobre a *performance* dos mesmos, bem como dialogaram com a professora responsável pela disciplina, na perspectiva de obter um diagnóstico sobre a ocorrência de uma possível aprendizagem, em face dessa dispor de uma visão pedagógica sobre a partir de que condições essa tenderia a ocorrer em sua turma.

Ao se convergir para o encerramento do primeiro semestre de 2023, a equipe de professores gestores da unidade curricular Projeto Integrador 1 desenvolveu com o coletivo de alunos uma autoavaliação sobre o projeto concebido e realizado por esses, objetivando perceber a contribuição dessa para a formação do perfil profissional do egresso do CSTEI, de acordo com o preconizado na Resolução nº 7/2018. Resgata-se que o artigo 11 dessa norma legal ao abordar a auto avaliação define que essa deve incluir: “I – a identificação da participação da utilização de extensão na creditação curricular”, o que foi cumprido; “II – a contribuição das atividades de extensão para o cumprimento dos objetivos do Plano de Desenvolvimento Institucional [PDI] e dos Projetos Pedagógicos dos Cursos”, atendido no caso dos objetivos estabelecidos no PPC do tecnólogo, em face de não estar disponível procedimentos com relação ao PDI; e “III – a demonstração dos resultados alcançados em relação ao público participante”, também contemplado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A questão que fica para ser respondida é se a atividade de extensão realizada realmente agregou um diferencial formativo no perfil profissional desses extensionistas após essas 20 semanas ou foi apenas mais uma atividade desenvolvida por esse coletivo de alunos, mediante a estruturação, imersão e gestão de um projeto com foco educacional. Não restam dúvidas que esse coletivo esteve imerso no projeto; que planejou e realizou; que dialogou e ponderou; que esteve no transcórrer do semestre escutando a equipe de professores argumentar e justificar que o trabalho institui-se como princípio educativo; que a pesquisa institui-se como um princípio pedagógico; que escutou, refletiu e comentou sobre a assertiva docente de que a extensão curricular é processo educacional e portanto é preciso materializar a indissociabilidade do ensino, da pesquisa e da extensão, como uma prática educacional.

O quão seguro estaria a equipe de professores para realmente afirmar que sim, entre o antes e o depois das 20 semanas, esse coletivo de extensionista adquiriram novas competências que propiciam densidade em seus perfis profissionais em construção. O termo é competência porque se está abordando a construção de um perfil profissional, o qual vai evidenciando de forma gradativa a capacidade de realização do educando, no presente caso, decorrente de uma formação profissional que exige aprendizagem, caso contrário não há formação de competência e, portanto, não há modificação, no presente caso, do perfil do extensionista.

Avalia-se que mediante este texto se oportunizou um momento de reflexão para se perceber que é preciso oportunizar o debate no *campus* Florianópolis sobre a curricularização da extensão e que o tema está em aberto, e outros departamentos acadêmicos podem socializar vivências como um contributo para a estruturação de melhores práticas extensionistas que convirjam para a formação de um coletivo de profissionais mais comprometidos com a Sustentabilidade Ambiental e Social da região Metropolitana da Grande Florianópolis.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei nº 10.172, de 9 de janeiro de 2001. Aprova o Plano Nacional de Educação e dá outras providências.** Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/L10172.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2024.

_____. **Decreto nº 6.495, de 30 de junho de 2008. Institui o Programa de Extensão Universitária – PROEXT.** Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6495.htm>. Acesso em: 30 jan. 2024.

_____. **Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014. Aprova o Plano Nacional de Educação e dá outras providências.** Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l13005.htm>. Acesso em: 30 jan. 2024.

_____. Ministério de Educação. Conselho Nacional de Educação. **Resolução nº 7, de 18 de dezembro de 2018. Estabelece as Diretrizes para a Extensão na Educação Superior Brasileira e regimenta o disposto na Meta 12.7 da Lei nº 13.005/2014, que aprova o Plano Nacional de Educação – PNE 2014-2024 e dá outras providências.** Disponível em: <[http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view="](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=)

download&alias=104251-rces007-18&category_slug=dezembro-2018-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 30 jan. 2024.

_____. **Decreto nº 11.697, de 11 de setembro de 2023. Convoca, em caráter extraordinário, a Conferência Nacional de Educação – Conae, edição 2024, a ser realizada na cidade de Brasília, Distrito Federal.** Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Decreto/D11697.htm>. Acesso em: 5 fev. 2024.

_____. **Galeria dos Ex-Presidentes.** Disponível em: <<http://www.biblioteca.presidencia.gov.br/presidencia/ex-presidentes>>. Acesso em: 29 jan. 2024.

FIESC – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Estratégia de Diversificação Inteligente para as Microrregiões de Santa Catarina.** Florianópolis, outubro de 2023. 33p. Disponível em: <https://fiesc.com.br/sites/default/files/publications/politica_industrial_para_sc_fiesc.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2024.

FORPROEX – I ENCONTRO DE PRÓ-REITORES DE EXTENSÃO DAS UNIVERSIDADES PÚBLICAS BRASILEIRAS, 1987, Brasília. **Conceito de extensão, institucionalização e financiamento.** Disponível em: <<https://www.ufmg.br/proex/renex/images/documentos/1987-I-Encontro-Nacional-do-FORPROEX.pdf>> Acesso em: out. de 2024.

FORPROEX – FÓRUM DE PRÓ-REITORES DAS INSTITUIÇÕES PÚBLICAS DE EDUCAÇÃO SUPERIOR BRASILEIRAS. **Política Nacional de Extensão Universitária.** Manaus (AM): maio de 2012. Disponível em: <<https://www.ufmg.br/proex/renex/images/documentos/2012-07-13-Politica-Nacional-de-Extensao.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2024.

IFSC – INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Resolução CEPE/IFSC nº 88 de 11 de novembro de 2021. Aprova a alteração de Projeto Pedagógico de Curso Superior de Tecnologia no Instituto Federal de Santa Catarina.** Disponível em: <<https://www.ifsc.edu.br/documents/1035121/2535379/PPC+CST++Eletr%C3%B4nica+Industrial.pdf/6db08986-c8b8-4017-9247-5c03767cbfff>>. Acesso em: 2 fev. 2024.

MEC – MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Portaria nº 1, de 17 de maio de 2006. Instituir o Programa Conexões de Saberes: diálogos entre a universidade e as comunidades populares.** Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=10092-portaria-01-2006-conexoes-de-saberes&category_slug=fevereiro-2012-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 1 fev. 2024.

_____. **Portaria nº 976, de 27 de julho de 2010. Portaria MEC nº 591, de 18 de junho de 2009, com as alterações da Portaria MEC nº 975, de 27 de julho de 2010, publicada no Diário Oficial da União de 28 de julho de 2010.** Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=10093-portaria-mec-976-27-07-2010-1&category_slug=fevereiro-2012-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 1 fev. 2024.

_____. **Catálogo Nacional dos Cursos Superiores de Tecnologia.** 3ª edição. Brasília: DF, 2016. 194p. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/catalogo-nacional-dos-cursos-superiores-de-tecnologia-2016.pdf>>. Acesso em: 3 fev. 2024.

_____. **Programa de Extensão Universitária (ProExt).** Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12241&ativo=488&Itemid=487/proext-apresentacao>. Acesso em: 1 fev. 2024.

_____. **Programa PET Conexões de Saberes.** Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/expansao-da-rede-federal/194-secretarias-112877938/secad-educacao-continuada-223369541/17446-programa-pet-conexoes-de-saberes-novo>>. Acesso em: 1 fev. 2024.

NOGUEIRA, Maria das Dores Pimentel (org). **Extensão Universitária: diretrizes conceituais e políticas** – Documentos básicos do Fórum Nacional de Pró-Reitores de Extensão das Universidades Públicas Brasileiras 1987 – 2000. Belo Horizonte: PROEX/UFMG; o Fórum, 2000. Disponível em: <<https://www.ufmg.br/proex/renex/images/documentos/1987-I-Encontro-Nacional-do-FORPROEX.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2024.

NOGUEIRA, Maria das Dores Pimentel. **O Fórum de Pró-reitores de Extensão das Universidades Públicas Brasileiras: um ator social em construção.** In: Interfaces - Revista de Extensão, v. 1, n. 1, p. 35-47, jul./nov. 2013.