



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.

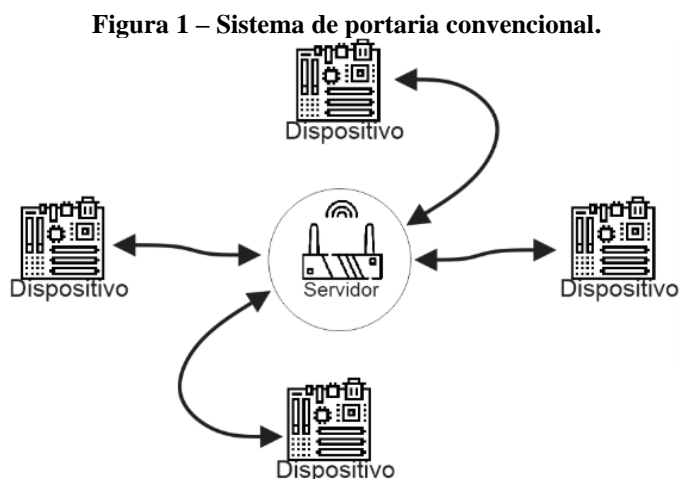
A ABESE complementa que a maior parte das empresas que desenvolvem produtos eletrônicos e soluções para sistemas de portarias remotas no Brasil estão centralizados nas regiões Sul e Sudeste, sendo que em São Paulo está concentrada a maior parte das empresas resultando em 43,5%, seguido do Paraná (13%) 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.

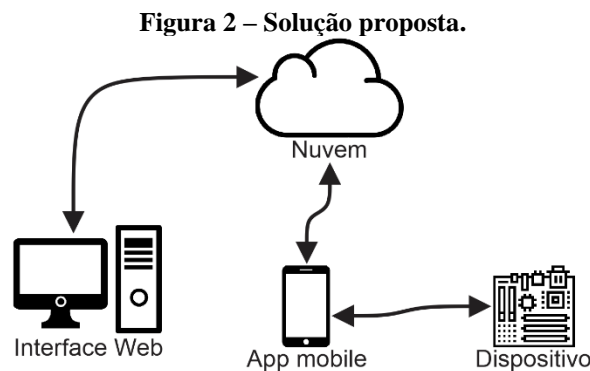


Nas instalações convencionais de portaria remota os dispositivos necessitam se comunicar via cabo (barramento físico) com central ou servidor para lançar as informações para a nuvem. A instalação destas soluções por muitas vezes acaba impactando em mudanças de infraestrutura nos locais de aplicação.

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.

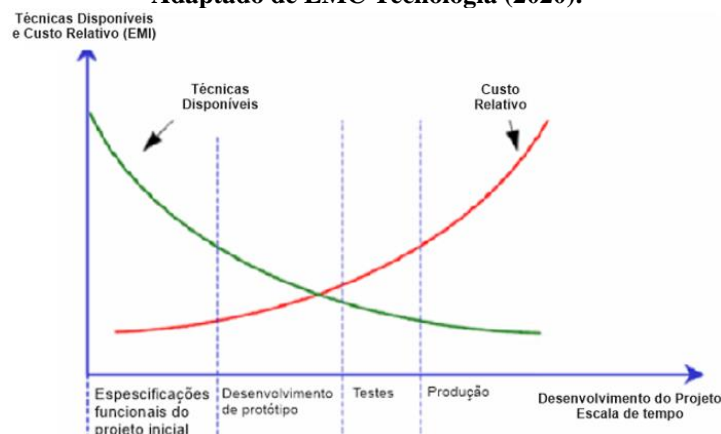
A compatibilidade eletromagnética pode ser dividida em duas categorias: **Interferência Eletromagnética** e **Susceptibilidade Eletromagnética**. Ambos os fenômenos podem ocorrer de forma conduzida ou radiada.

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

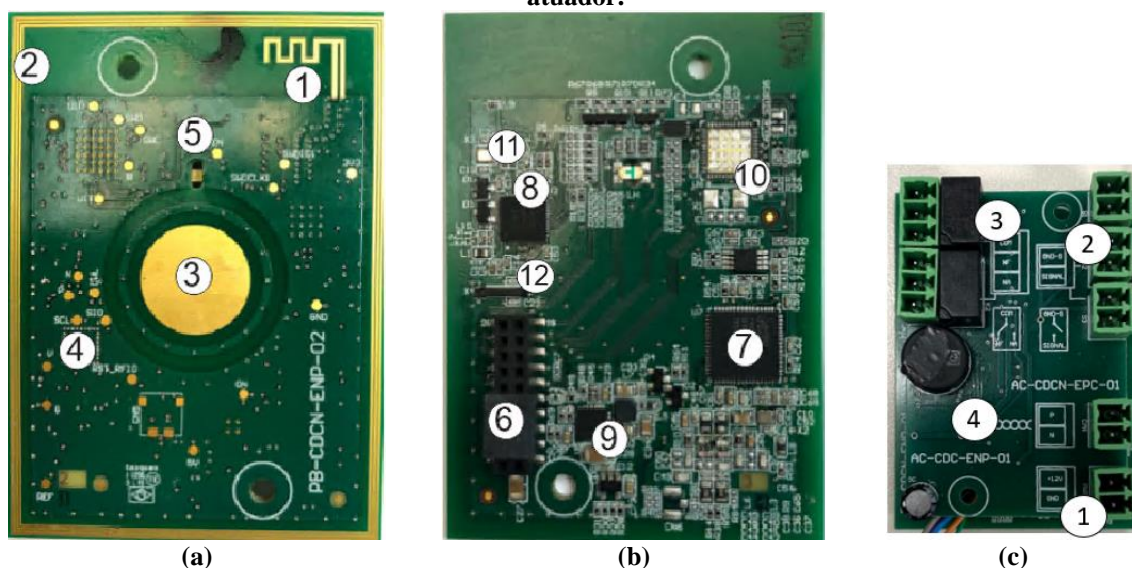
Para realizar projetos de placas de circuito impresso, além do conhecimento técnico de circuitos eletrônicos e da tecnologia que está em desenvolvimento, é essencial que projetistas possuam conhecimento sobre processos de fabricação, compatibilidade eletromagnética, parte mecânica, normas e diversos 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*).

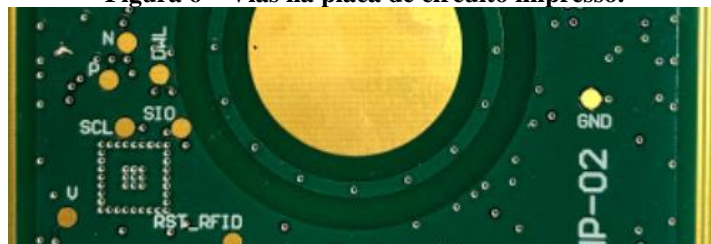
A seguir são demonstradas algumas das técnicas e métodos que foram utilizados durante o desenvolvimento do esquemático das placas de protótipo.

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 disto, 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 camas de pregos para testes e gravação do equipamento.

Figura 6 – Vias na placa de circuito impresso.

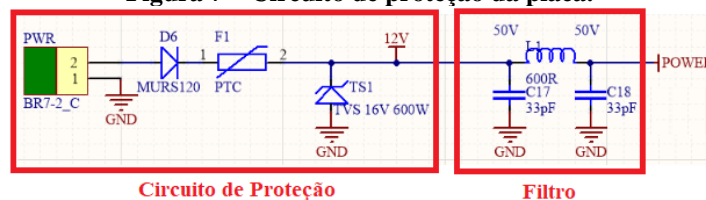


6.1.2 Proteção Contra Transientes e Surtos

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.

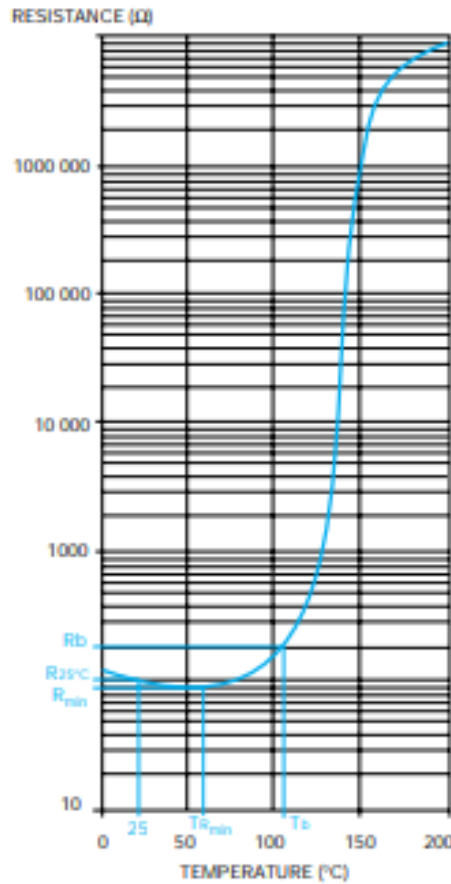


O diodo (D6) utilizado logo na entrada do dispositivo possui a finalidade de proteger o circuito eletrônico de alimentação reversa, ou seja, caso a polaridade de alimentação seja colocada de forma invertida ao ligar o produto, impedindo a circulação de corrente elétrica e evitando a possível queima de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

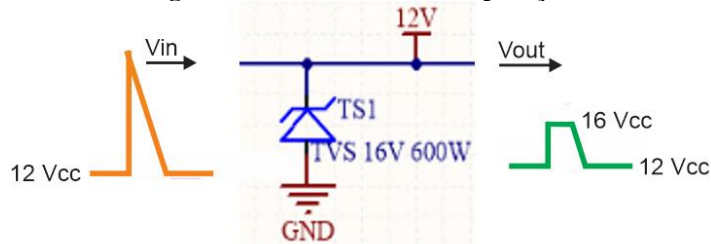
A Figura 8, demonstra que conforme a temperatura no componente é elevada, maior sua resistência para passagem de corrente elétrica. Sob esta premissa, é interessante analisar que a temperatura até aproximadamente 70 °C, o PTC atua com menor resistência, pois por padrão, os circuitos eletrônicos tendem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

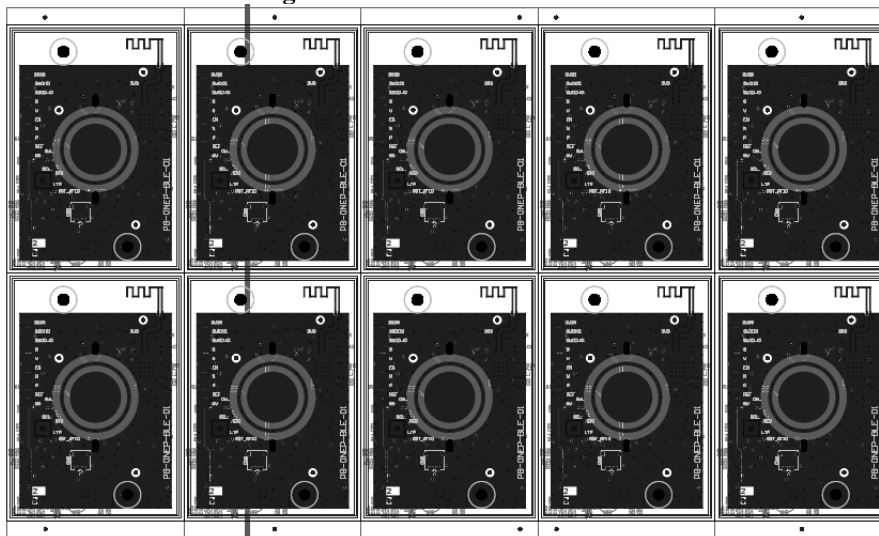
Tabela 2 – Camadas da placa CPU.

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

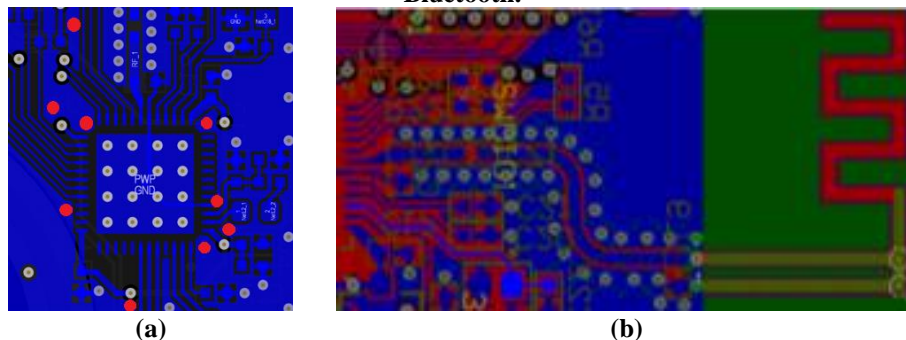
Manter a integridade dos sinais é um dos fatores predominantes para o bom funcionamento de um produto eletrônico. A leitura errada ou envio de dados alterados podem ocasionar em mal funcionamento ou até mesmo gerar falsos verdadeiros para o produto. Devido a isto, a aplicação de técnicas em *layout*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

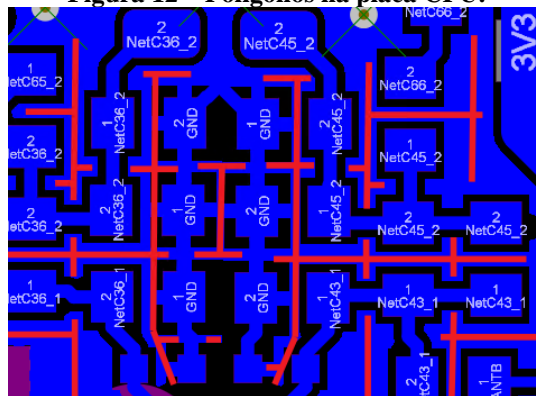
As vias projetadas ao redor da antena tendem a minimizar as interferências eletromagnéticas ao circuito BLE devido ao fato de possuírem um caminho de menor impedância para o plano de referência.

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.

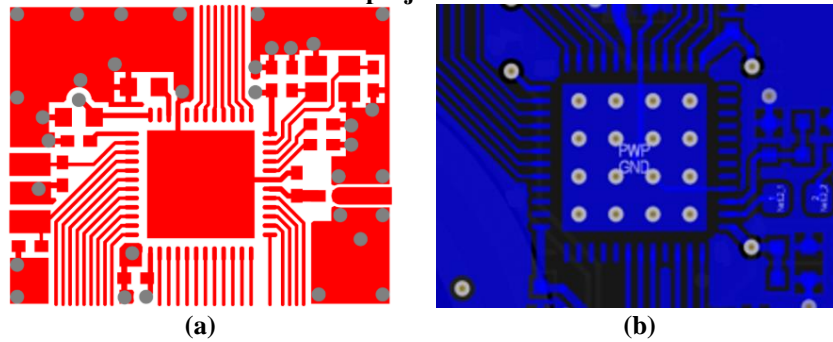


Conforme demonstrado na Figura 12, as linhas em vermelho destacam os polígonos existentes na placa. A fim de minimizar eventuais problemas, decidiu-se retirar os polígonos utilizados nestas regiões e confinar os circuitos desta área da placa, tentando desta forma, possuir maior controle das capacitâncias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

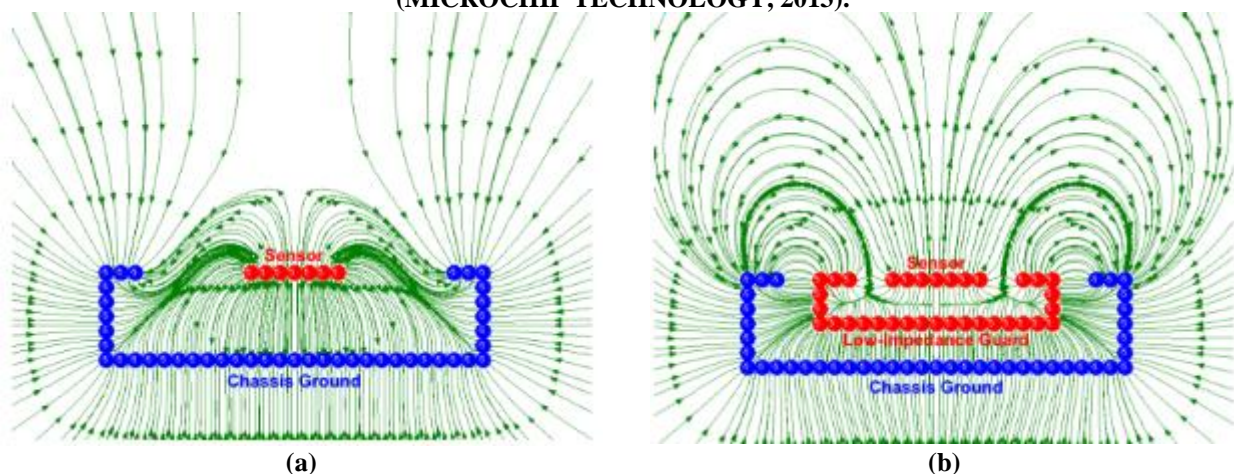
Figura 13 – Layout (a) indicado pelo fabricante Nordic Semiconductors (2020) e (b) projetado.



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.

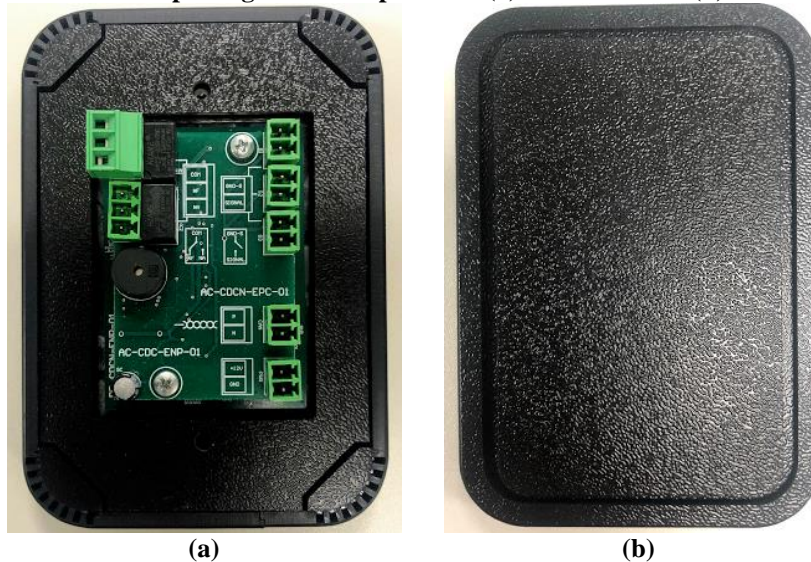


6.2 Gabinete Mecânico

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.

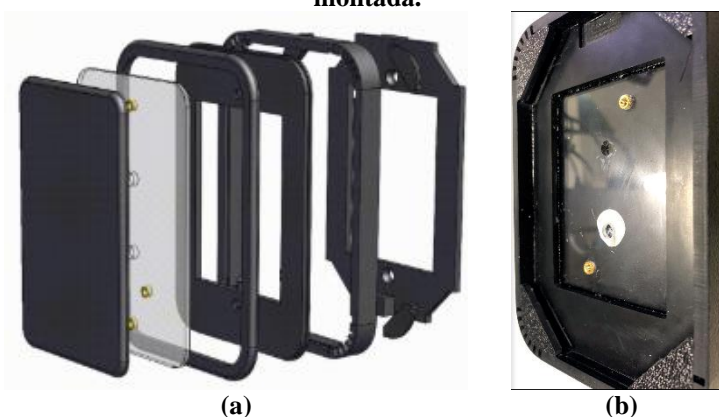
Figura 16 – Protótipo do gabinete do produto: (a) vista interna e (b) vista externa.



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.

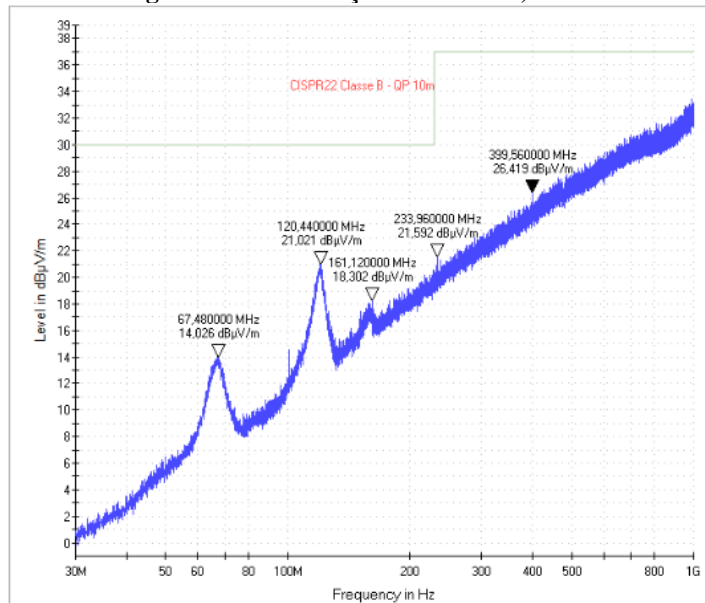


6.3.3 Análise de Resultados de Ensaio de Emissão Radiada

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 limiares 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.

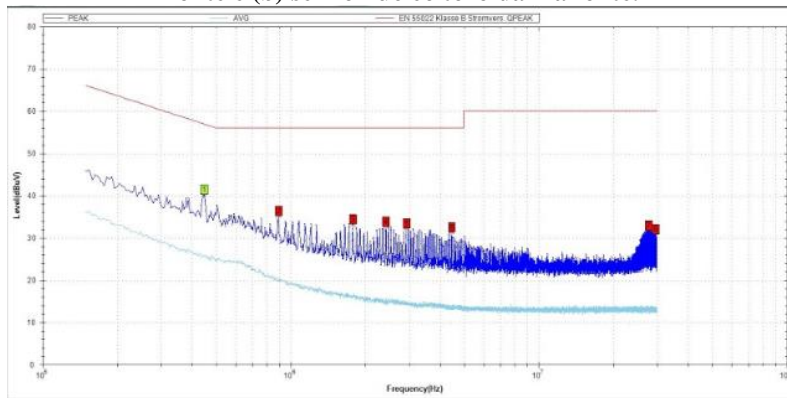
Figura 22 – Correlação dos eixos X, Y e Z.



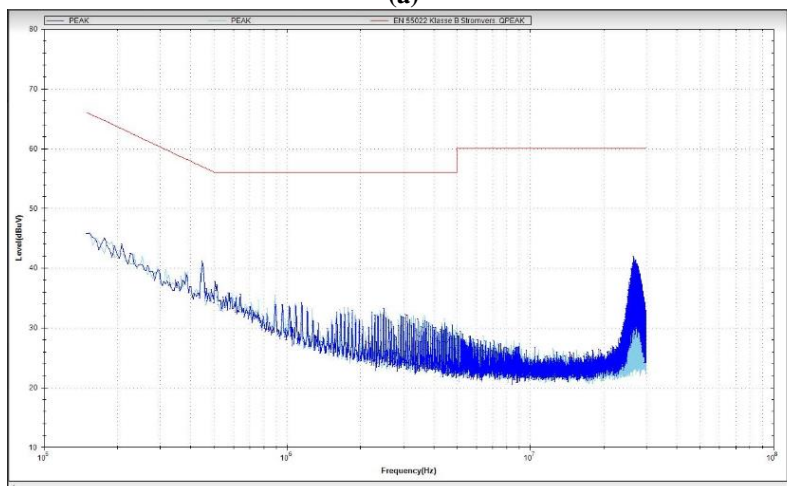
6.3.4 Análise de Resultados de Ensaio de Emissão Conduzida

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.



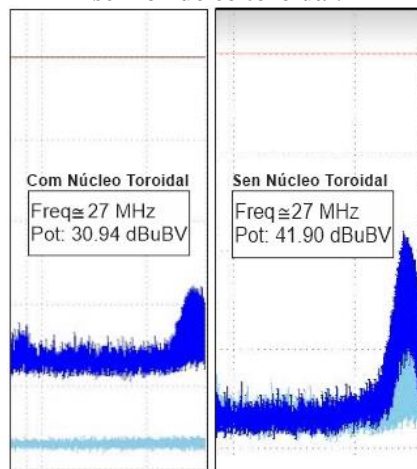
(a)



(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 tanto 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.

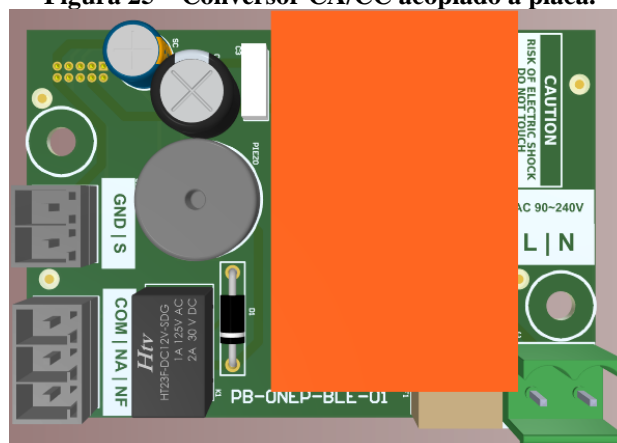
7.1 Hardware

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.

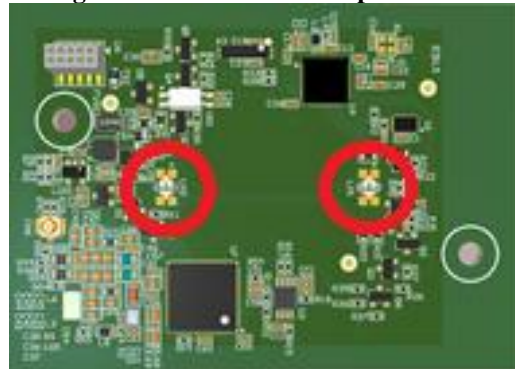
7.1.3 Conectores com Polaridade e Formas de Encaixe Diferentes

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.

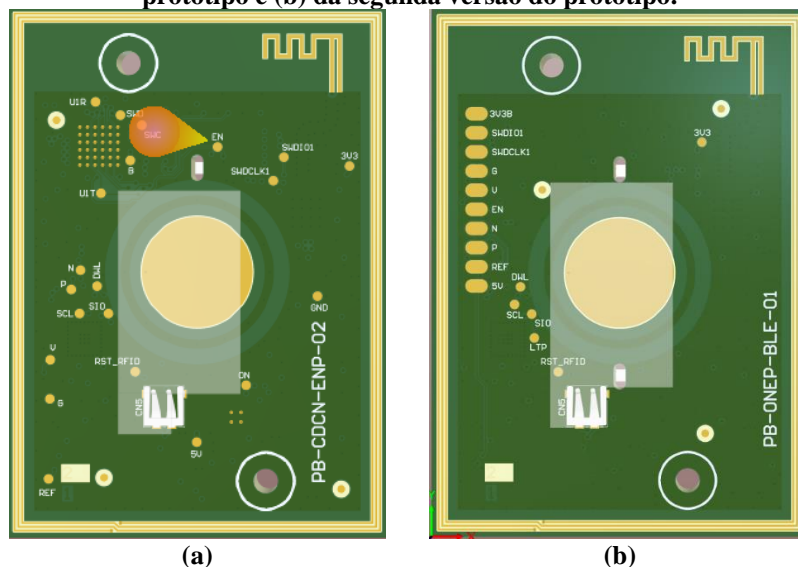
Figura 26 – LEDs RGB na placa CPU.



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.

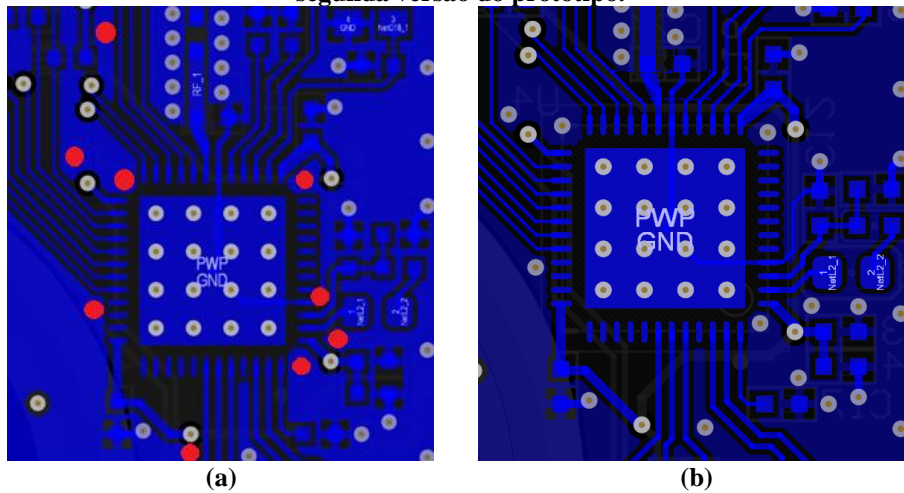


A imagem da Figura 27(a) representa a placa protótipo, enquanto a imagem da Figura 27(b) representa a nova versão da placa CPU. A redistribuição dos pontos de testes aplicados a placa visa simplificar vários processos, principalmente aqueles aplicados aos testadores e gravação de *firmware*, que serão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

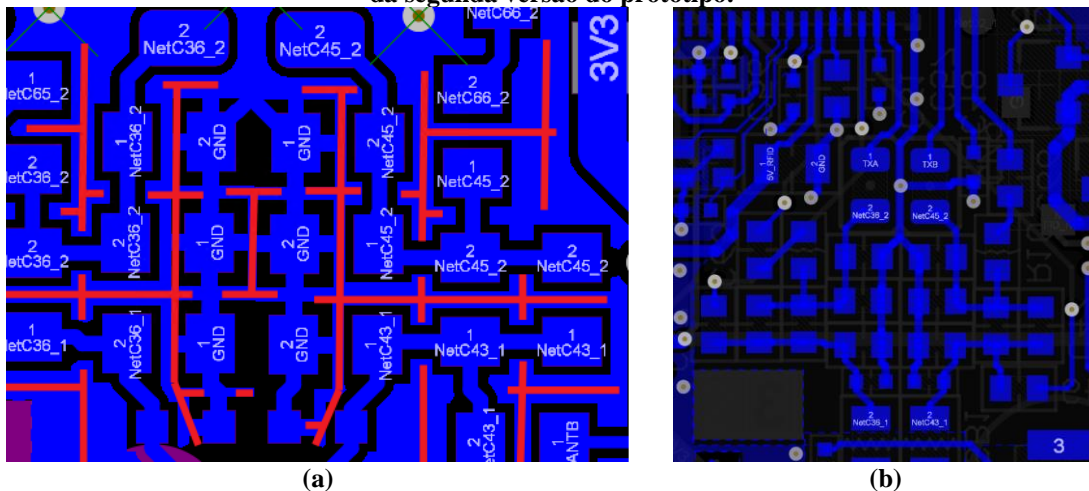


7.1.7 Retirada dos Polígonos em Regiões Sensíveis

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

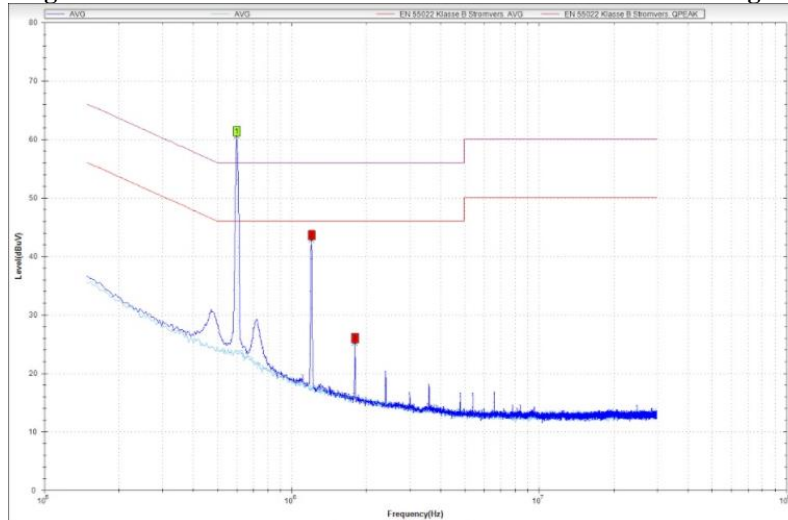
A fim de analisar a resposta do produto sem os efeitos que a fonte de alimentação exerce, foi realizado um novo ensaio de emissão conduzida no protótipo do produto. Neste novo ensaio uma fonte regulável de tensão tratou de alimentar a LISN que por sua vez alimentou o porteiro eletrônico. A aplicação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

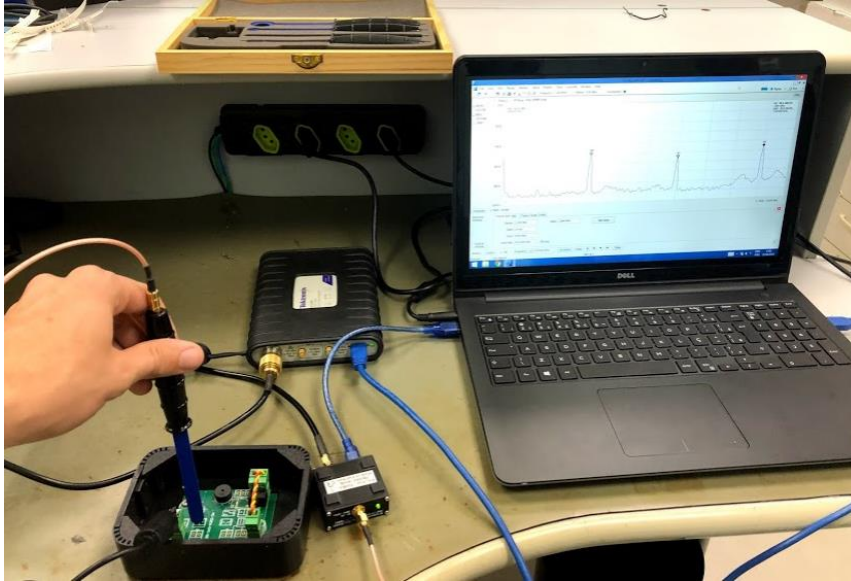


Ao realizar o ensaio de emissão conduzida sem considerar os efeitos do conversor de energia sobre o produto os resultados tiveram uma resposta diferente daquelas que eram esperadas. Uma frequência em 600 kHz com harmônicas em níveis consideráveis apareceu no produto e as demais frequências próximas a 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.

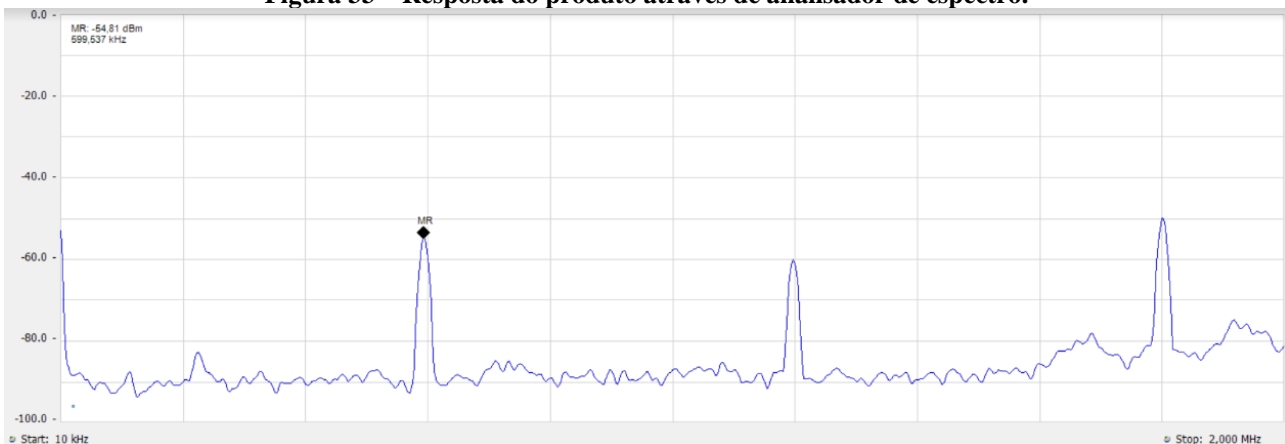
Conforme demonstrado na Figura 32, ao aproximar a ponteira de campo próximo do produto, a frequência em 600 kHz e suas harmônicas em 1.200 kHz e 1.800 kHz vieram à tona. O *software* utilizado para realizar as aquisições dos sinais foi Tek SignalVu-PC.

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.



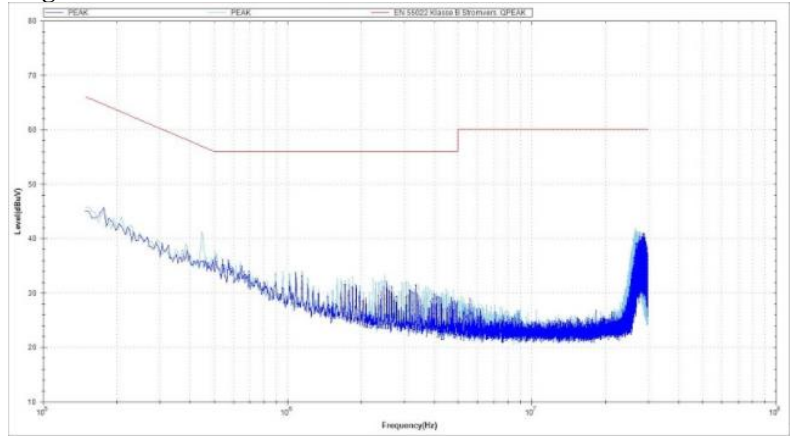
Outro fator interessante de ser analisado são as frequências próximas a 30 MHz. No ensaio de emissão conduzida em que foi desconsiderada a fonte de alimentação do produto estas frequências foram completamente atenuadas. Logo, os resultados obtidos nos ensaios anteriores possuem completa influência da 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.

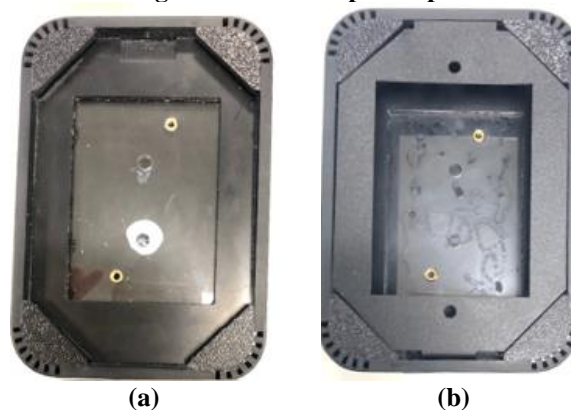
7.3.1 Fonte Acoplada à Placa do Circuito

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.



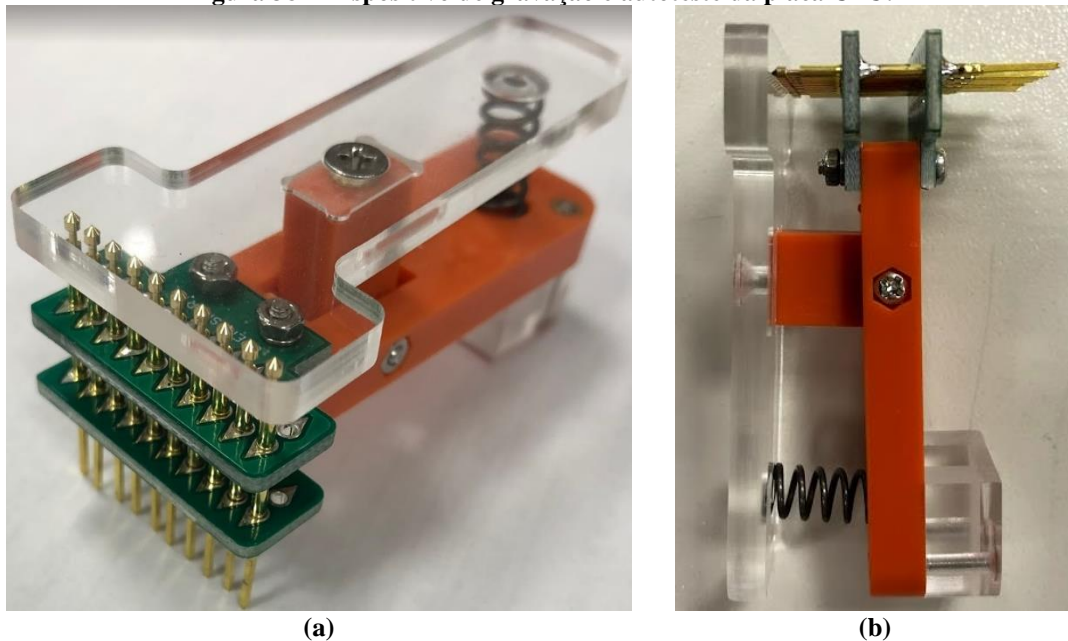
8 GRAVAÇÃO

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.

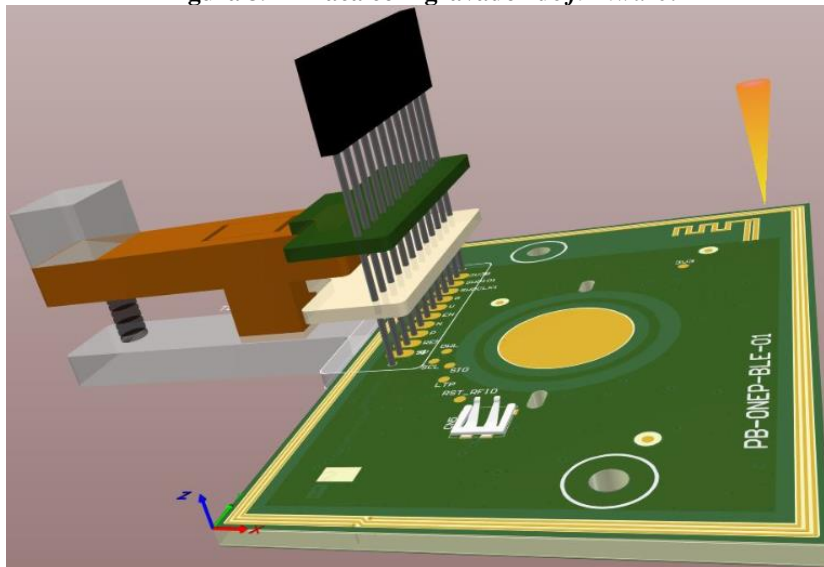
A redistribuição das vias de interface da placa CPU permite a simplificação das etapas de gravação e testes do produto. Para facilitar tais processos foi desenvolvido um equipamento especificamente para realizar a gravação do *firmware* e realizar o autoteste da placa CPU. A Figura 38 a seguir demonstra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

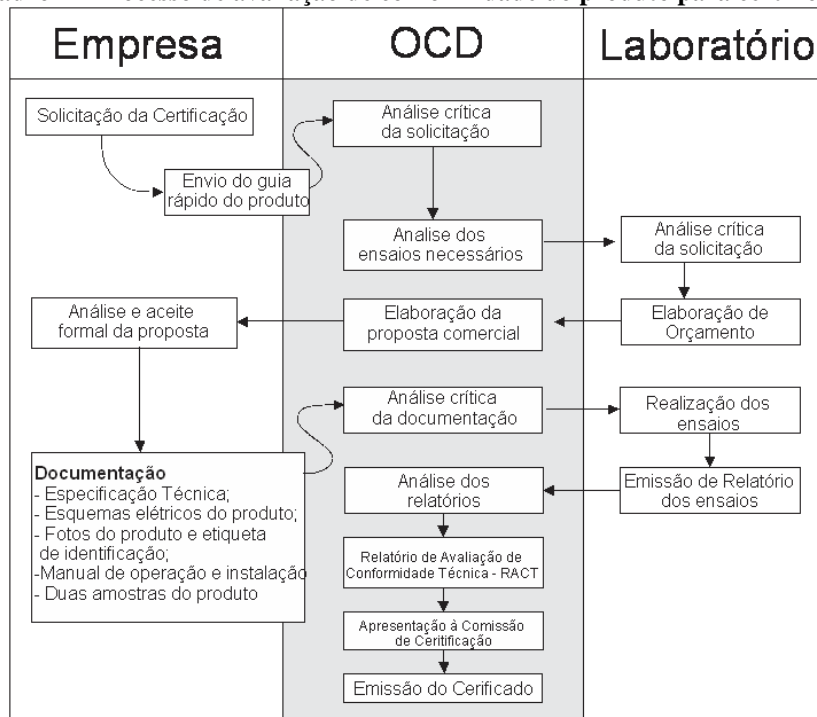
Devido a todas estas questões é de fator primordial ao desenvolver um produto eletrônico que ele atenda suas normas vigentes.

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.