

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ROBSON DE SOUZA DONATO

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
LEIAM - LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA INDUSTRIAL
E ACIONAMENTO DE MÁQUINAS**

CAMPINA GRANDE

2019

ROBSON DE SOUZA DONATO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
LEIAM - LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA INDUSTRIAL E
ACIONAMENTO DE MÁQUINAS

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Orientador: Montiê Alves Vitorino

CAMPINA GRANDE

2019

ROBSON DE SOUZA DONATO

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
LEIAM - LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA INDUSTRIAL
E ACIONAMENTO DE MÁQUINAS**

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

APROVADA EM:

Montiê Alves Vitorino

Orientador

UFCG

Bruno Barbosa Albert

UFCG

CAMPINA GRANDE

2019

Agradecimentos

Prioritariamente a Deus e minha família por tudo. Além disso, não posso deixar de citar o melhor grupo que integrei em todos esses anos de minha vida: Armário. Sou grato a todos pelo auxílio em meu crescimento pessoal, por me fazer expandir minha visão de mundo, reavaliar alguns conceitos e interpretações relacionados à vida em sociedade. Há, no entanto, um subgrupo do Armário, o qual pela mistura do efeito do tempo, do acaso e das ações recorrentes de consideração a mim (expressas tão particularmente durante os últimos anos), que me sinto na obrigação de expô-lo registrando o nome de cada membro. Listá-los-ei a seguir sem indicação de prioridades, da mesma forma que fiz para melhor identificá-los assim que os conheci: pela naturalidade. Portanto, têm-se:

- Núcleo potiguar: João Jales, João Pedro, Kaio Nikelisson, Lucas Oliveira.
- Núcleo cearense: Paulo Roberto, Victor Germano, Goldofredo Feitosa.
- Núcleo paraibano: Giuseppe, Ítalo, José Adeilmo, João Victor, Matheus Ferreira, Osmar Lucas, Raphael Victor, *Ravi Helon* (uma das pessoas mais sinceras que eu conheci), Safire Torres, Ulisses Gomes, Vandilson, Walter Guedes.
- Núcleo baiano: Paulo Victor.

Também agradeço ao professor Montiê Alves Vitorino por aceitar fazer o trabalho de supervisão e orientação do estágio. A Ruan Marques por se dispor em ajudar em tudo, por ser sempre muito prestativo.

Por fim, porém, absolutamente não menos importante que qualquer outro registro, sou grato por ter conhecido, por intermédio do curso, uma pessoa muito importante para mim: minha namorada Darlanny Diniz.

—

“Se estiver passando pelo inferno, continue caminhando.”
(Churchill)

Resumo

Neste relatório são descritas as atividades realizadas por Robson de Souza Donato, graduando em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), durante o estágio supervisionado nesta mesma instituição, no período de 20/05/2019 até 25/06/2019 para cumprimento de uma carga horária de 210 h. As atividades foram executadas no Laboratório de Eletrônica Industrial de Acionamento de Máquinas – LEIAM, sob supervisão e orientação do professor Montiê Alves Vitorino. As principais competências designadas ao estagiário foram o estudo do projeto de uma variante da topologia de um retificador monofásico ZETA, a aprendizagem e utilização do software *Altium Design*, projeto e acompanhamento da produção da PCI para a referida topologia.

Palavras-chaves: Retificador ZETA, *Altium Design*, PCI.

Abstract

This report describes the activities carried out by Robson de Souza Donato, graduating in electrical engineering at the Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), during the supervised internship at this institution, from 05/20/2019 to 06/25/2019 for an hourly load of 210 hours. The activities were executed at the Laboratório de Eletrônica Industrial de Acionamento de Máquinas - LEIAM, under the supervision and guidance of Professor Montiê Alves Vitorino. The main competencies assigned to the trainee were the study of a variant design of the ZETA single-phase rectifier's topology, the learning and use of the Altium Design software, design and monitoring of the production of the PCB for this topology.

Key-words: ZETA Rectifier, Altium Design, PCB.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Fontes de Tensão e Corrente	11
Figura 2 – Prototipadora de PCI	11
Figura 3 – Osciloscópio	11
Figura 4 – Conversor Zeta	12
Figura 5 – Retificador Zeta Com Desacoplamento de Potência	13
Figura 6 – Composição da potência monofásica	14
Figura 7 – Retificador Zeta no instante t_{on}	15
Figura 8 – Retificador Zeta no instante t_{off}	16
Figura 9 – Retificador Zeta no instante t_{rl}	16
Figura 10 – Formas de Onda	17
Figura 11 – Cálculo da corrente de referência	18
Figura 12 – Interface do <i>Altium Design</i>	19
Figura 13 – Esquemático completo para confecção da PCI	20
Figura 14 – Camada superior da placa (<i>TOP</i>)	21
Figura 15 – Camada inferior da placa (<i>BOTTOM</i>)	21
Figura 16 – Visão 3D da camada superior (<i>TOP</i>)	22
Figura 17 – Visão 3D da camada inferior (<i>BOTTOM</i>)	22
Figura 18 – Prototipagem da PCI - <i>TOP</i>	23
Figura 19 – Prototipagem da PCI - <i>BOTTOM</i>	23

Sumário

1	Introdução	9
1.1	Objetivos do Estágio	9
1.2	Apresentação do local do estágio	10
1.2.1	Sala LEIAM Micros	10
1.2.2	Sala de Filtros Ativos e Sistemas Fotovoltaicos	10
2	Atividades desenvolvidas durante o estágio	12
2.1	Estudo do retificador ZETA	12
2.1.1	Desacoplamento de Potência	12
2.1.2	Estados topológicos do conversor Zeta com desacoplamento de potência	15
2.2	Uso do <i>Simulink</i> para simulação do circuito	18
2.3	Aprendizagem e utilização do software <i>Altium Design</i>	18
3	Conclusões	24
	Referências	25

1 Introdução

O estágio curricular, neste caso o estágio supervisionado, é uma disciplina de caráter obrigatório para formação acadêmica no curso de Engenharia Elétrica da UFCG e indispensável para atuação profissional do aluno no mercado de trabalho, pois é uma oportunidade para vivenciar conteúdos teóricos aprendidos em sala de aula além da oferta de novos conhecimentos.

Essa afirmação se fundamenta na consolidação dos conhecimentos adquiridos ao longo da graduação, que auxiliaram a execução das atividades durante o estágio na área da engenharia elétrica. Todas as atividades que serão descritas neste trabalho foram realizadas no Laboratório de Eletrônica Industrial de Acionamento de Máquinas – LEIAM, localizado no bloco CH da UFCG.

Esse laboratório é um entre vários que abrem vagas para estágio dentro da UFCG. Possui certo grau de destaque devido ao quadro de professores que investem bastante em trabalho intelectual com foco em inovação científica na área de eletrônica de potência e afins. Isso foi, além do apreço pessoal pela área de eletrônica, bastante relevante no processo de escolha desse ambiente para cumprir a carga horária do estágio supervisionado.

Nas seções que se seguem deste trabalho serão descritos, nesta ordem, os objetivos postos para a realização do estágio, o local do mesmo, a experiência em si desse processo e, por fim, as considerações finais acerca dessa fase que marca o fim da graduação. Independente do tópico abordado, buscar-se-á mesclar dados objetivos e certo teor de juízo de valor associado à descrição.

1.1 Objetivos do Estágio

O estágio curricular oferece experiências profissionais ao aluno que auxilia a sua capacitação para o mercado de trabalho. Neste estágio, em específico, o objetivo geral centrou-se em aplicar conhecimentos adquiridos durante o curso para a melhoria do projeto prático de um retificador CA-CC com a perspectiva de validar a pesquisa relacionada ao mesmo, realizada pelo pesquisador Marlius Aguiar ([AGUIAR, 2018](#)).

Dessa forma, para a realização desse objetivo geral, alguns objetivos específicos foram aos poucos sendo trabalhados durante o tempo estágio, a saber:

- Estudo teórico da proposta de uma nova topologia de retificador a partir do circuito convencional do conversor ZETA;
- Simulação do circuito proposto em software *Simulink*.

- Aprendizagem e utilização da ferramenta *Altium Design* para confecção da placa de circuito impresso;
- Acompanhamento dos processos de confecção da placa de circuito impresso, desde a fresagem até a soldagem dos componentes eletrônicos;

1.2 Apresentação do local do estágio

A estrutura física é consideravelmente bem equipada para os propósitos aos quais se destina. Há ambientes dedicados ao desenvolvimento de circuitos conversores, inversores, filtros ativos; outros destinados a projetos e teses de mestrado e doutorado, almoxarifado, além das salas para produção de placas de circuito impresso, prototipagem 3D. Além disso, o laboratório possui quadro técnico preparado para atividades de auxílio aos pesquisadores e desenvolvedores.

1.2.1 Sala LEIAM Micros

Este espaço foi utilizado para todos os trabalhos relacionados aos estudos teóricos e de simulações, pois, a sala é equipada com computadores que possuem todos os softwares necessários para cumprimento dessa etapa.

O período de utilização desta sala se deu nos primeiros 10 dias úteis do período de estágio (entre 20/05 a 31/05) e nos últimos 3 dias úteis (entre 21/06 a 25/06).

1.2.2 Sala de Filtros Ativos e Sistemas Fotovoltaicos

Este espaço possui todo o ferramental para desenvolvimentos práticos dos projetos, bem como para as análises dos mesmos. Há nessa sala os equipamentos de medição, bancadas equipadas para soldagem de componentes, impressora 3D, alguns modelos de fontes de tensão, de corrente, geradores de sinais etc.

As atividades restantes, referentes ao projeto e confecção da PCI, foram cumpridas dentro desse ambiente. Mesmo sem a necessidade de ocupá-lo, ou seja, mesmo com a opção de usar a sala LEIAM Micros para a maior parte das tarefas, a preferência por frequentar esse local deveu-se pela vontade de ficar mais próximo e interagir com outras pessoas que estavam trabalhando em outros projetos. Essa convivência foi bastante enriquecedora, pois a partir da experiência dos veteranos foi possível encurtar o caminho para o aprendizado de algumas ferramentas e evitar prováveis erros.

Entre os equipamentos que serão utilizados para alimentação do circuito tem-se a fonte de corrente e tensão monofásica do fabricante *KEPCO* modelo BOP 50-20MG, que fornece no máximo $50 V_{ac}$ e $20 A$, e a fonte do fabricante *Agilent* modelo 6813B, com capacidade de trabalho em torno de $1750 VA$ e $300 V_{rms}$. A Figura 1 apresenta esses dois

equipamentos. Para análise dos sinais tem-se alguns modelos de osciloscópios, entre eles o DSX04034A do fabricante *KEYSIGHT Technologies*, ilustrado na Figura 3.

Figura 1 – Fontes de Tensão e Corrente.



Fonte: ([KEPCO, 2019](#)) e ([AGILENT, 2006](#)).

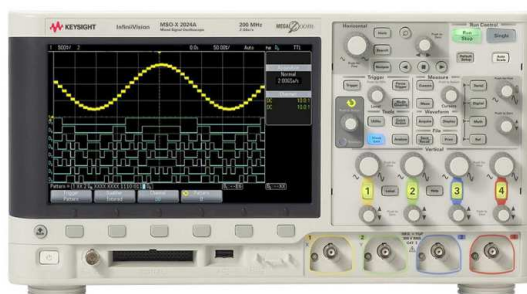
Entre os equipamentos mais importantes para o objetivo fim deste estágio está a prototipadora com tecnologia CNC para a produção de PCI, exposta na Figura 2.

Figura 2 – Prototipadora ProtoMat LPKF S62 para confecção de PCI.



Fonte: ([LPKF, 2019](#))

Figura 3 – Osciloscópio *KEYSIGHT* modelo DS0X4034A.



Fonte: ([KEYSIGHT, 2019](#))

2 Atividades desenvolvidas durante o estágio

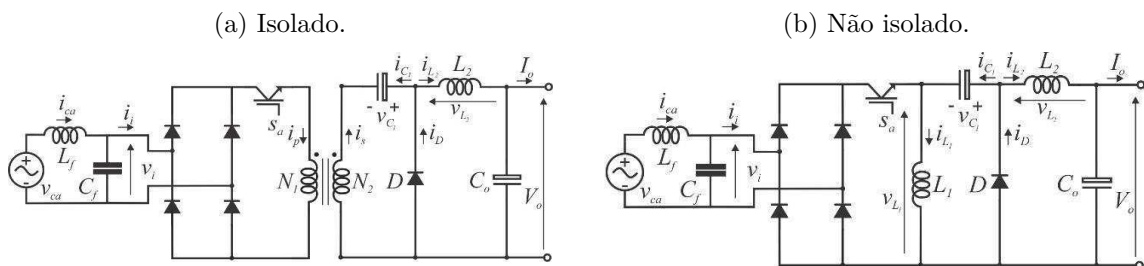
Neste capítulo há uma descrição, em ordem cronológica, das principais tarefas realizadas durante o estágio, que compreendem desde o estudo do retificador, cujo o objetivo fim é a sua concepção física final, até a escrita deste relatório.

2.1 Estudo do retificador ZETA

A primeira atividade realizada no estágio foi a leitura de uma tese de mestrado intitulada *Retificador Zeta Monofásico com Desacoplamento de Potência* (AGUIAR, 2018) e um trabalho de conclusão de curso intitulado *Retificador Monofásico ZETA com desacoplamento de potência utilizando duas chaves ativas* (CRUZ, 2019). No primeiro trabalho há um estudo matemático relacionado ao dimensionamento da topologia do referido retificador, bem como uma proposta de simulação para avaliar a teoria proposta. No segundo trabalho, há uma proposta de controle em malha fechada, também analisada via simulação em *Simulink*, para melhorar o desempenho do retificador dimensionado outrora na tese de mestrado.

A Figura 4 ilustra a topologia convencional do retificador ZETA e a Figura 5 apresenta a nova topologia baseada nesse mesmo circuito, que foi objeto de estudo dos trabalhos supracitados.

Figura 4 – Zeta Convencional.



Fonte: Próprio Autor.

2.1.1 Desacoplamento de Potência

Para haver o desacoplamento, deve existir um balanço de potência no circuito, de sorte que o somatório resulte em um fluxo de potência na saída que não varie ciclicamente. O critério para o desacoplamento de potência é que a potência instantânea do elemento reativo, P_{reat} , seja igual a potência oscilante do conversor, P_{osc} .

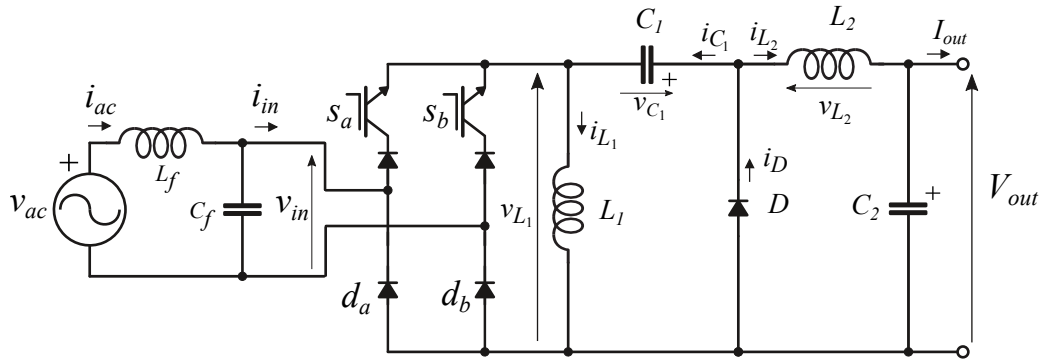


Figura 5 – Retificador Zeta Com Desacoplamento de Potência.

Fonte: Próprio Autor

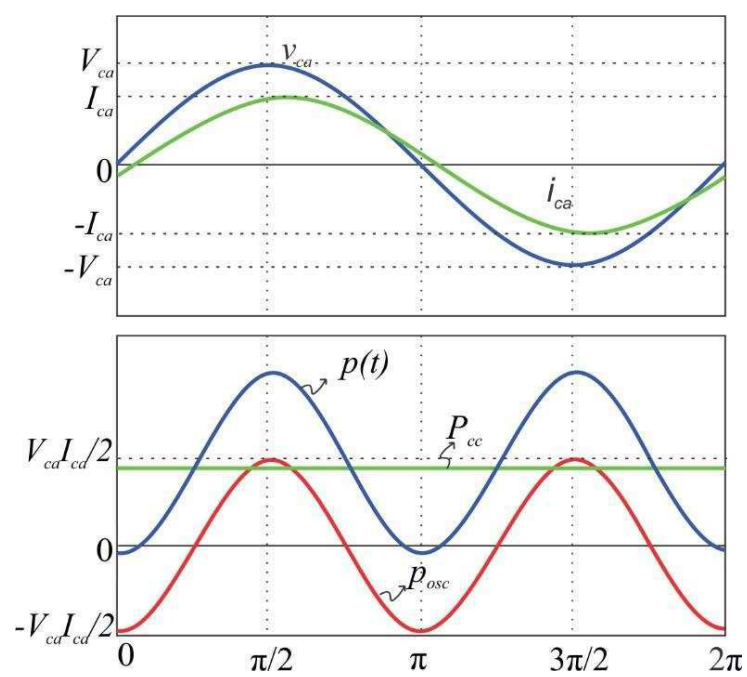
Considerando-se a tensão e a corrente de entrada senoidais, dadas por $v(t) = V_{ca} \text{sen}(\omega t)$ e $i(t) = I_{ca} \text{sen}(\omega t + \phi)$, sendo ω a frequência angular e ϕ o defasamento entre esses sinais, e a potência instantânea definida por $p(t) = v(t)i(t)$, então, aplicando-se à fórmula da potência as devidas propriedades trigonométricas, chega-se na equação 2.1.

$$p(t) = \frac{V_{ca} I_{ca}}{2} \cos(\phi) - \frac{V_{ca} I_{ca}}{2} \cos(2\omega t - \phi) \quad (2.1)$$

Nota-se a partir da equação 2.1 que a potência instantânea é formada por uma parcela constante ($\frac{V_{ca} I_{ca}}{2} \cos(\phi)$) e por uma parcela ondulante na 2ª harmônica ($\frac{V_{ca} I_{ca}}{2} \cos(2\omega t - \phi)$). A Figura 6 representa graficamente a formação da potência monofásica, designando por P_{cc} a primeira parcela de potência e por P_{osc} a segunda.

Para evitar que a ondulação de potência na 2ª harmônica seja visível para a carga, têm se desenvolvido técnicas que combinam circuitos auxiliares com estratégias de controle, de forma a manter esta parcela oscilante circulando dentro do circuito auxiliar ou dissipá-la em um elemento resistivo adicional (AGUIAR, 2018). Essa técnica baseia-se no uso de elementos reativos que compensam a variação da energia internamente ao conversor, carregando ou descarregando os elementos armazenadores, promovendo um fluxo de potência aproximadamente constante para a carga CC.

Figura 6 – Composição da potência monofásica para tensão (v_{ca}) e corrente (i_{ca}) defasadas: componente CC (P_{cc}), oscilatória (P_{osc}) e a resultante ($p(t)$)



Fonte: (AGUIAR, 2018)

2.1.2 Estados topológicos do conversor Zeta com desacoplamento de potência

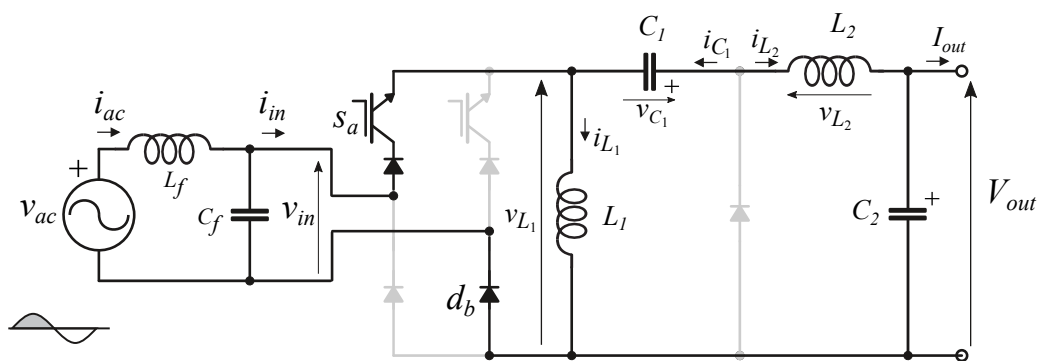
O princípio de operação do circuito da Figura 5 baseia-se em três estágios de operação. Considerando-se que a tensão de entrada é senoidal e em seu semiciclo positivo a chave S_a conduz, então, dois diodos da ponte H polarizam-se diretamente, conforme mostra em destaque a Figura 7. Neste instante, definido como $t_{on} = d_1 T_s$, o indutor L_1 é carregado pela energia da fonte de tensão, o diodo D fica polarizado reversamente e a energia presente no capacitor C_1 é transferida para a carga e para o indutor L_2 . T_s é o período de chaveamento e δ_1 é o ciclo de trabalho da chave que conecta o circuito a fonte no semiciclo positivo.

O segundo estágio de operação ocorre em $T_{off} = d_2 T_s$ em que d_2 é a parcela do período de chaveamento em que ambas as chaves encontram-se abertas, conforme ilustrado na Figura 8. A energia fornecida a carga é oriunda do capacitor C_o e L_2 , o capacitor C_1 recebe energia do indutor L_1 carregado no estágio anterior.

O último estágio é o de roda livre, em que impõe-se uma tensão nula no indutor L_1 durante o intervalo $t_{rl} = d_3 T_s$, no qual a chave S_b conduz durante o ciclo positivo da forma de onda da tensão de entrada.

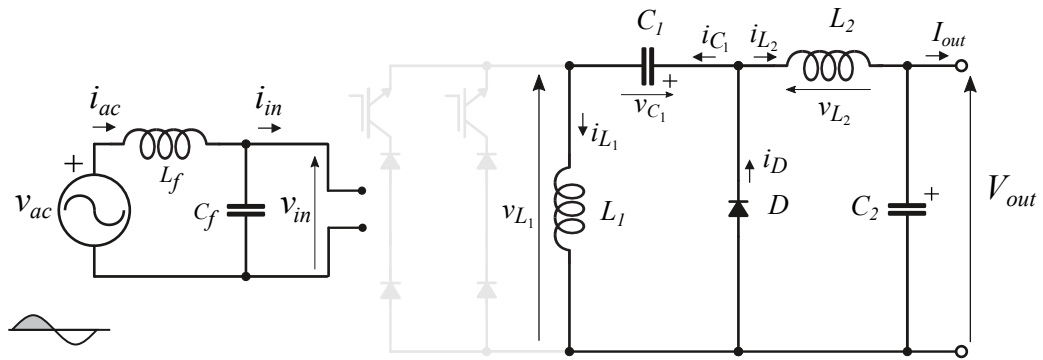
A Figura 10 mostra as principais formas de onda em um período de chaveamento do retificador Zeta com desacoplamento de potência.

Figura 7 – Esquemático do retificador Zeta com desacoplamento de potência para o instante t_{on} .



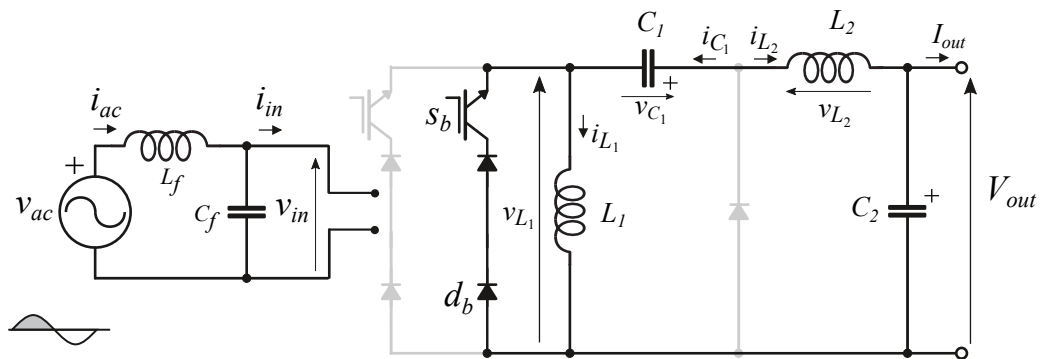
Fonte: Próprio Autor

Figura 8 – Esquemático do retificador Zeta com desacoplamento de potência para o instante t_{off} .



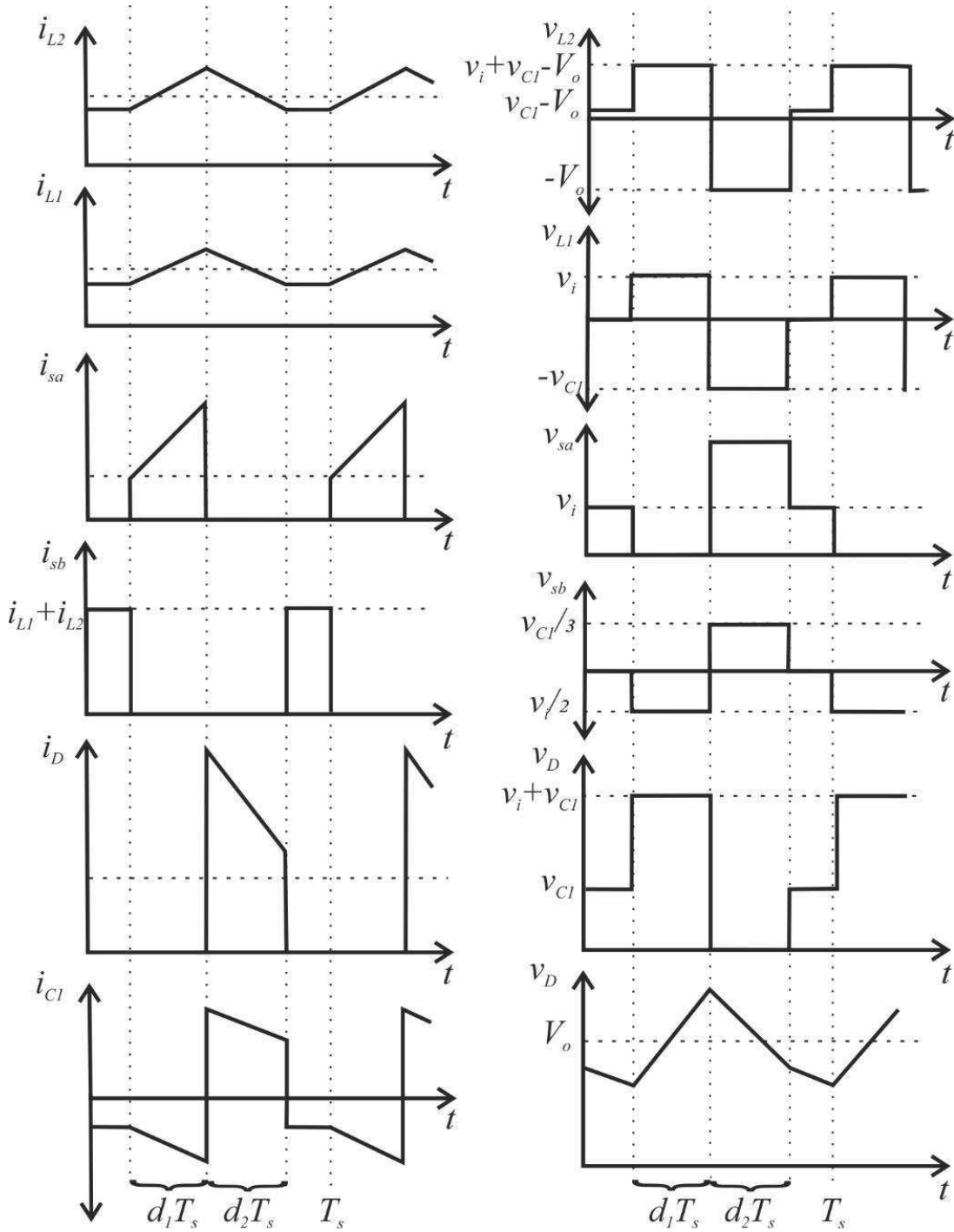
Fonte: Próprio Autor

Figura 9 – Esquemático do retificador Zeta com desacoplamento de potência para o instante t_{rl} .



Fonte: Próprio Autor

Figura 10 – Formas de onda em um período de chaveamento para o retificador Zeta com desacoplamento de potência.



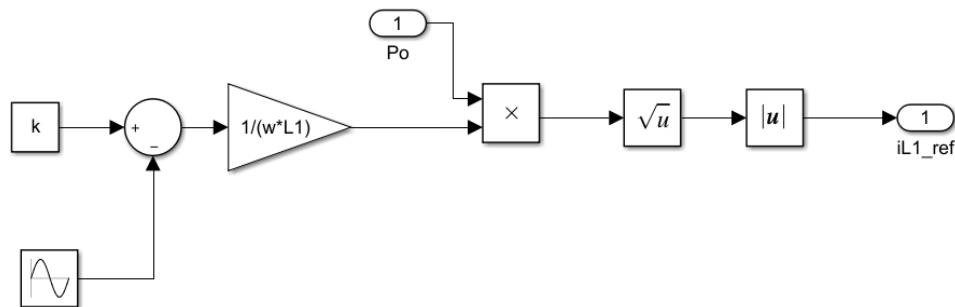
Fonte: (AGUIAR, 2018)

2.2 Uso do *Simulink* para simulação do circuito

Realizou-se simulações em ambiente *Simulink* do Matlab para verificar o controle PI em malha fechada proposto no trabalho de conclusão de curso de Roniel Cruz (CRUZ, 2019), que se baseia no controle em malha fechada a partir do monitoramento da variável $iL1$ (corrente do elemento de desacoplamento) que deve seguir a corrente de referência dada pela equação $iL_{ref} = \sqrt{\frac{P_o}{L_1\omega} (K - \text{sen}(2\omega t))}^1$ e da tensão de saída V_{out} .

A Figura 11 mostra em detalhes o bloco para o cálculo da corrente de referência, necessária para que o sistema de controle em malha fechada tenha a ação de fazer o circuito impor ao indutor de desacoplamento as devidas formas de ondas de tensão e corrente para que a potência oscilante não seja transferida para a carga

Figura 11 – Cálculo da corrente de referência para o sistema de controle.



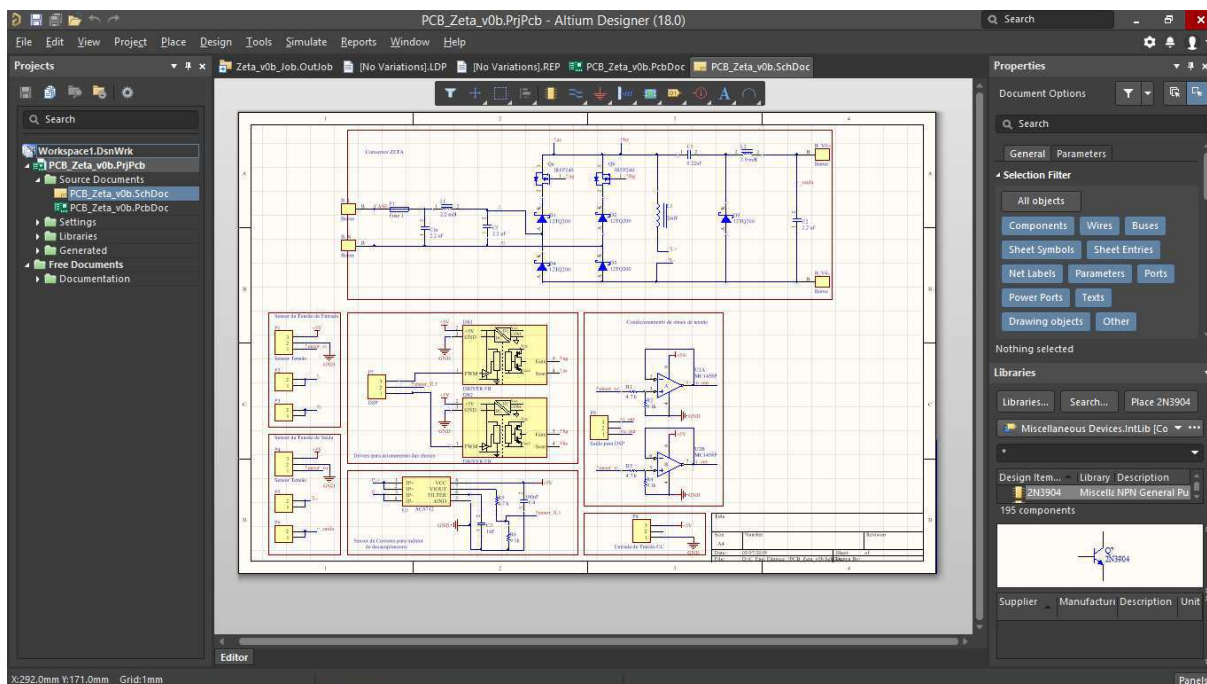
Fonte: Próprio Autor

2.3 Aprendizagem e utilização do software *Altium Design*

O *Altium Design* é um poderoso software utilizado por profissionais para confecção de placas de circuito impresso (ALTIUM, 2019). Dentro do tempo de estágio, uma semana foi dedicada ao aprendizado dessa ferramenta para posterior uso no projeto a ser posto em prática. A Figura 12 ilustra a interface principal desse programa que possibilita desenhar esquemáticos de circuitos e, a partir disso, projetar as respectivas PCIs.

A Figura 13 mostra todo o esquemático do circuito Zeta com desacoplamento de potência em conjunto com alguns circuitos adicionais para condicionamento de sinais. Definiu-se que todos esses circuitos devem fazer parte da mesma PCI, que uma vez confeccionada possibilitará a realização de testes práticos e, a partir disso, validar ou não toda a estruturação teórica estudada para esse retificador.

¹ $k = \frac{L_1\omega(iL_{max})^2}{P_o} - 1$, sendo $k > 1$. O coeficiente k é definido como o *Coefficiente Marginal de Armazenamento de Energia*, e expressa o quanto de energia restará no indutor após um ciclo completo (AGUIAR, 2018).

Figura 12 – Interface do *Altium Design*.

Fonte: Próprio Autor

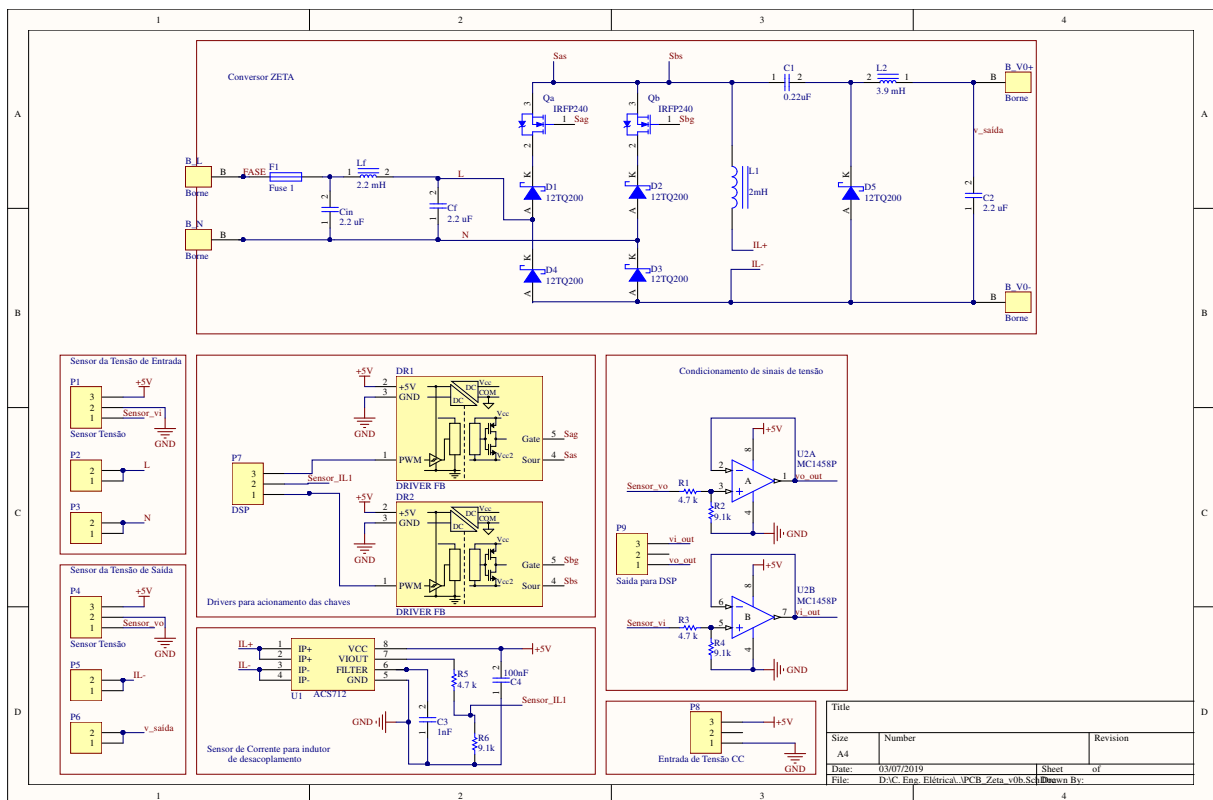
De posse de todos componentes eletrônicos referenciados na Figura 13, adquiridos na distribuidora *Digi-Key Electronics* ([DIGI-KEY, 2019](#)), a última etapa do estágio consistiu em projetar a PCI desse circuito. Atentou-se por dispor os componentes com a maior proximidade possível para se evitar longas trilhas e dessa forma diminuir os possíveis efeitos de indutâncias parasitas durante o funcionamento do circuito. Considerando-se também que as trilhas para o circuito de potência precisam ser mais espessas que as trilhas de sinal, o resultado final do projeto em ambas as faces da placa pode ser visto nas Figuras 14 e 15.

Uma das formas de documentação que o *Altium Design* disponibiliza para os projetistas de PCI é a geração da modelagem tridimensional do projeto, que se torna mais fidedigna se houver na biblioteca todos os modelos 3D de cada componente inserido no esquemático. A visualização 3D do projeto do circuito ZETA com desacoplamento de potência pode ser visualizada nas Figuras 16 e 17.

Conforme pode ser verificado na Figura 17, os transistores e os diodos foram projetados para ficarem posicionados com seus encapsulamentos deitados horizontalmente, para que todos façam contato em uma mesma superfície de alumínio (dissipador de calor) que também será uma base de apoio para a placa.

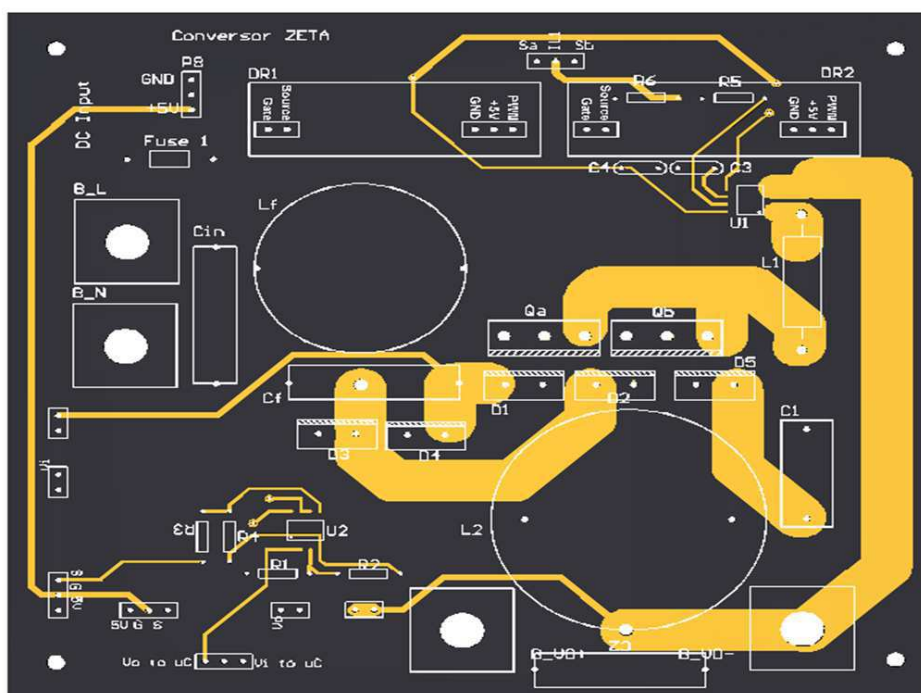
A última atividade em tempo de estágio foi acompanhar o processo de confecção da PCI projetada, o resultado está mostrado nas Figuras 18 e 19.

Figura 13 – Esquemático completo para confecção da PCI.



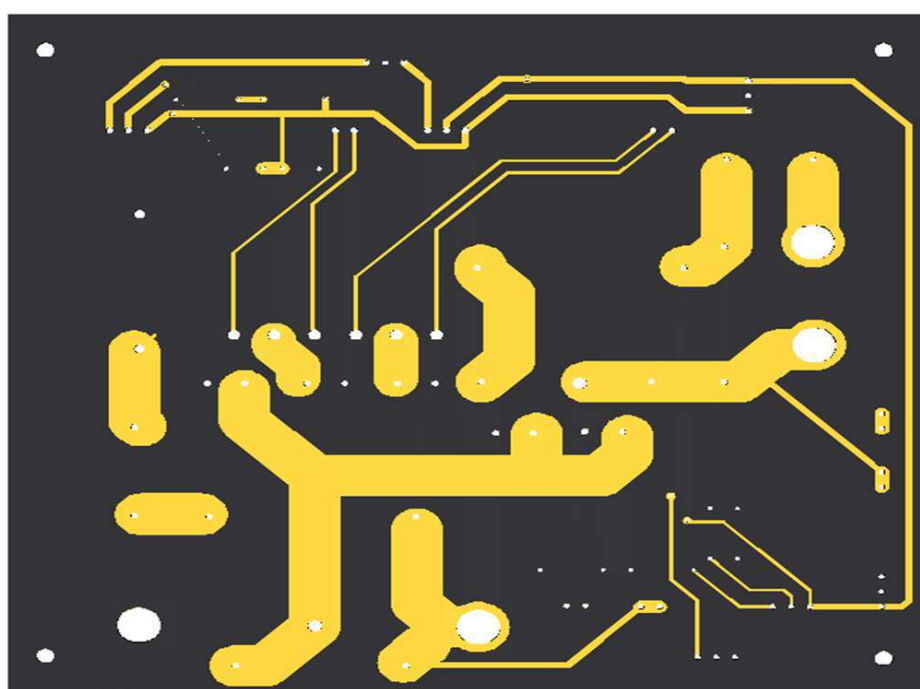
Fonte: Próprio Autor

Figura 14 – Camada superior da placa (*TOP*)



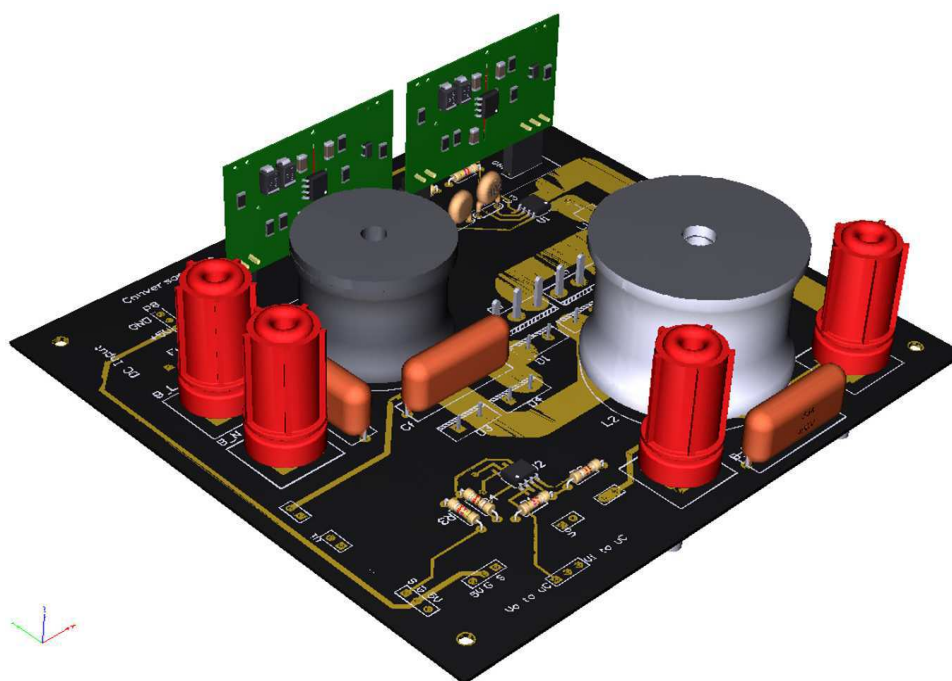
Fonte: Próprio Autor

Figura 15 – Camada inferior da placa (*BOTTOM*)



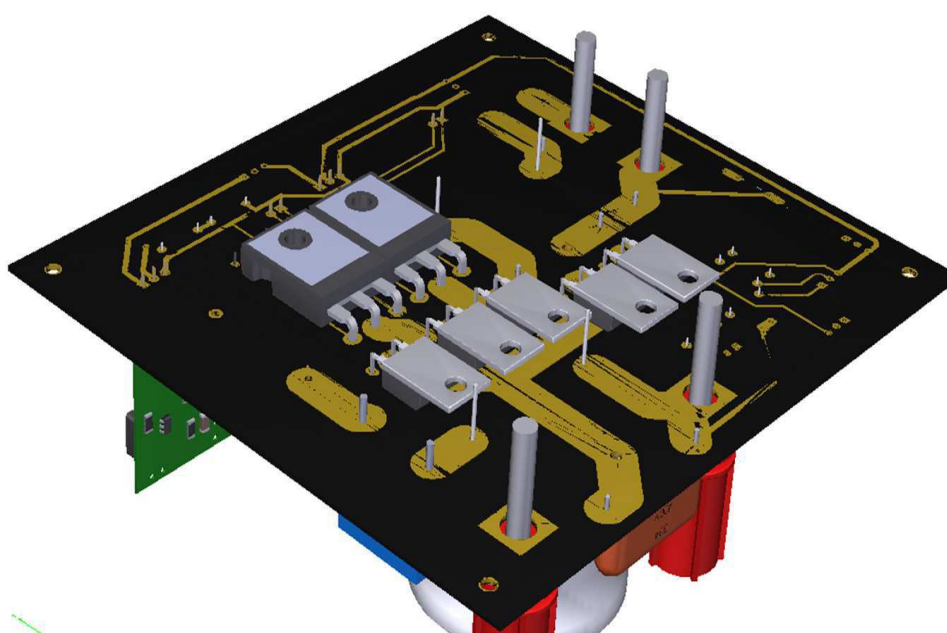
Fonte: Próprio Autor

Figura 16 – Visão da modelagem 3D da camada superior (*TOP*)



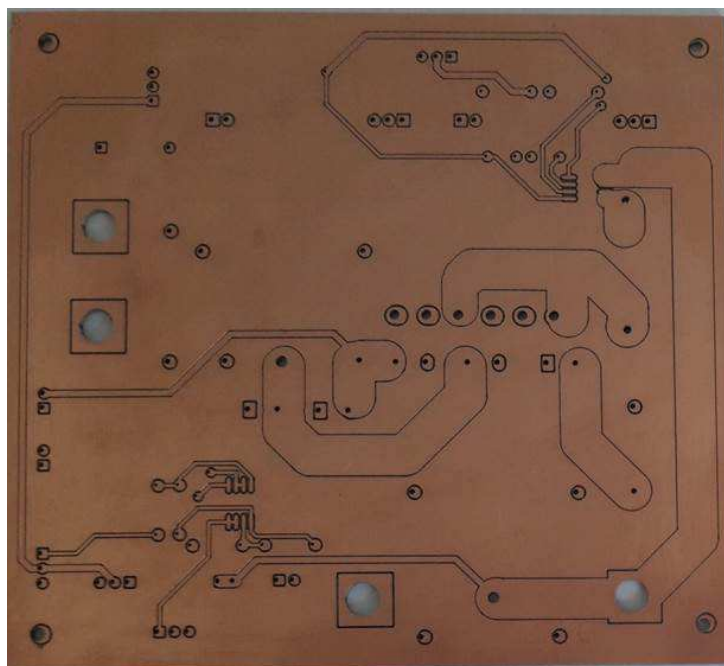
Fonte: Próprio Autor

Figura 17 – Visão da modelagem 3D da camada inferior (*BOTTOM*)



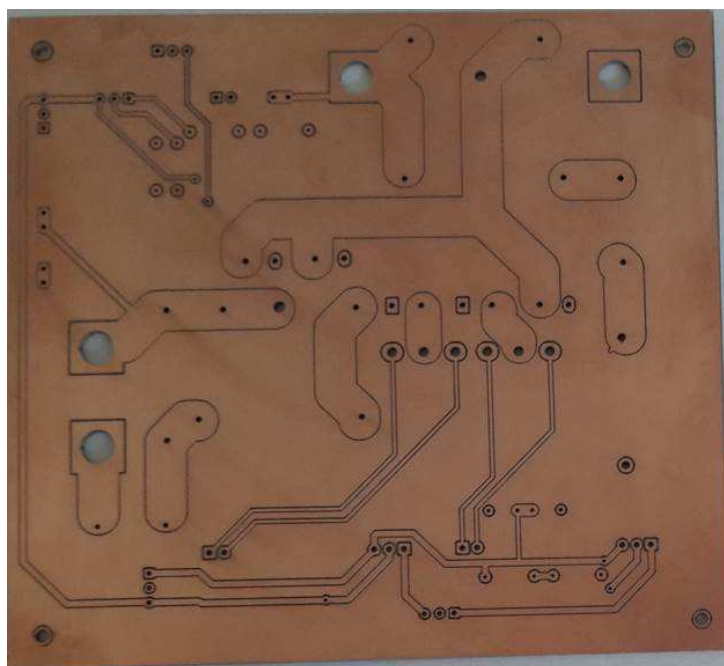
Fonte: Próprio Autor

Figura 18 – Prototipagem da PCI - camada superior



Fonte: Próprio Autor

Figura 19 – Prototipagem da PCI - camada inferior



Fonte: Próprio Autor

3 Conclusões

O estágio curricular, neste caso sob forma de estágio supervisionado, se comprovou importante para formação profissional. Em um primeiro momento, promovendo a inserção do estudante em uma experiência bem diferenciada em relação à sala de aula, sendo possível adquirir uma singela experiência em um ramo específico na área da engenharia elétrica.

Além disso, essa etapa possibilitou uma capacitação no que diz respeito à ideia de execução de atividades envolvendo a colaboração de mestrandos e doutorandos que, neste caso em específico, sempre se mobilizaram para promover auxílio em prol do cumprimento das demandas individuais.

Outro fato a ser destacado foi a liberdade recebida por parte da supervisão para identificar as possibilidades de otimizar o projeto, com estímulo constante para propor ideias. A aplicação de conhecimentos técnicos adquiridos serviu para relembrar e consolidar na prática o conteúdo de disciplinas como: Circuitos Elétricos, Eletrônica, Eletrônica de Potência, Controle Analógico.

Referências

- AGILENT. **AC Power Source/Analyzers... An integrated AC power solution.** 2006. Agilent Technologies - DATASHEET.
- AGUIAR, M. H. de. **Retificador Zeta monofásico com desacoplamento de potência.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Campina Grande, 11 2018.
- ALTIUM. **Altium Design.** 2019. Disponível em: <<https://www.altium.com/>>. Acesso em: 30 de maio de 2019.
- CRUZ, R. F. **Retificador monofásico zeta com desacoplamento de potência utilizando duas chaves ativas.** 2019. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), IFBA (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia), Vitória da Conquista, Brasil.
- DIGI-KEY. **Digi-Key.** 2019. Disponível em: <<https://www.digikey.com/>>. Acesso em: 30 de maio de 2019.
- KEPCO. **Kepeco's BOP family for four quadrant bipolar power supplies.** 2019. KEPCO - PRODUCT CATALOG.
- KEYSIGHT. **Keysight Technologies.** 2019. Disponível em: <<https://www.keysight.com/br/pt/home.html>>. Acesso em: 30 de maio de 2019.
- LPKF. **Inhouse Rapid PCB Prototyping.** 2019. LPKF Laser e Electronics - PRODUCT CATALOG.