

CONVERSOR ABAIXADOR CHAVEADO CC/CC 24-12 TOPOLOGIA PUSH-PULL PARA CORRENTE LIMITE DE 100 [A]

Evelone Pereira Portela¹
Wbirailton Lopes Gomes²
Jeferson Santos Barros³
Marilia de Jesus Oliveira⁴

RESUMO:

Este trabalho descreve o estudo e projeto do protótipo de um conversor isolado chaveado CC-CC abaixador de 24-12 [V] do tipo *push-pull* com potência de 1200 [W] para aplicação em frota automotiva pesada, em especial ônibus e caminhões. O objetivo é atender as demandas por energia nesses tipos de veículos proveniente da instalação de novos equipamentos que não são itens de série e que, portanto, não são atendidos pela tensão original da bateria do veículo, que é de 24 Volts. No decorrer do trabalho são informadas questões relacionadas quanto à escolha da topologia, ao cálculo para a escolha dos componentes, ao desenvolvimento do desenho do *layout* para a placa de circuito impresso (PCB) e por fim os testes teóricos e práticos. Foi desenvolvido o protótipo de um conversor capaz de fornecer uma corrente máxima de 100 [A]. O equipamento foi feito com dimensões reduzidas e contando com ventilação forçada para manter a temperatura normal de funcionamento dos componentes eletrônicos dispostos na placa. Ao final desse trabalho obteve-se um conversor capaz de atender as demandas que sejam solicitadas, dentro da sua limitação de potência, de acordo como demonstrado e discutido nos resultados e discussões.

Palavras-chave: Chaveamento. Frota pesada. Potência. Protótipo. Tensão.

ABSTRACT:

This paper describes the study and design of the prototype of an isolated DC-DC converter switched step down of 24-12 [V], push-pull type, power of 1200 [W] for application in heavy automotive fleet, especially buses and trucks. The goal is to fulfill the demand for energy in these types of vehicles from the installation of new equipment that is not standard items and therefore are not served by the original battery voltage of the vehicle, which is 24 Volts. During this work, related issues are informed about the choice of the topology, the calculation for the choice of the components, to the development of the layout design for the printed circuit board (PCB) and finally the theoretical and practical tests. It was developed a prototype converter capable of supplying a maximum current of 100 [A]. The equipment was made with reduced dimensions and it counts with a powerful ventilation to maintain at a normal operating temperature of the electronic components arranged on the

¹ Graduado em Engenharia Elétrica. FAINOR, 2015, BA. Email: eve_lonny@hotmail.com

² Graduado em Engenharia Elétrica. FAINOR, 2015, BA. Email: blaudio@blaudio.com.br

³ Graduado em Engenharia Elétrica. FAINOR, 2015, BA. Email: mjefersonchaos@hotmail.com

⁴ Graduanda em Engenharia Ambiental. IFBA, 2015, BA. Email: marilia.vcd@hotmail.com

plate. At the end of this work we obtained a converter capable of fulfilling the demands that are requested within its power limitations, according to the results shown and discussed during this work.

KEYWORDS: Switching. Heavyfleet. Power. Prototype. Tension.

1 INTRODUÇÃO

A indústria de comunicação e entretenimento automotivo fabrica seus equipamentos com tensão de alimentação em 12 Vcc, sendo de início impossível a utilização de qualquer tipo de aparelho destinado a esse fim em automóveis que tenham de natureza o circuito elétrico alimentado por tensão distinta da que foi feita os dispositivos. Por esse motivo para que haja a possibilidade do uso de equipamentos com tensão de entrada diferente do circuito alimentado pelo veículo é que requer a necessidade da utilização de um dispositivo de conversão, nesse caso específico de 24- 12 Vcc. Porém se o usuário desejar equipar o seu transporte com uma quantidade de aparelhos eletrônicos que demandam uma corrente superior a 50 [A] encontrará problemas por não existir no mercado tal produto.

O que ocorre atualmente é que os conversores abaixadores de tensão 24-12 Vcc existentes no mercado são limitados para baixa potência, além da maioria ser do tipo regulador de tensão transistorizado, o que implica uma perda com a queda de tensão ocasionada pelo efeito Joule.

Uma possível forma de evitar perdas pelo efeito Joule seria utilizar um circuito chaveado. Este circuito regulará a tensão na carga, evitando deste modo a transformação de energia elétrica em energia térmica, ocasionando assim o problema em questão.

Esse artigo visa o desenvolvimento do protótipo de um conversor de tensão automotivo chaveado CC-CC abaixador de 24-12 Vcc com potência limite de 1200 [W].

Masson e Monteiro (2010) dizem em seu artigo que a idade média dos motoristas de caminhão é de 37,5 anos e que eles ficam por várias semanas longe da família. Partindo do primeiro dado da pesquisa em questão, pode-se chegar à conclusão que por conta desses motoristas serem boa parte jovens, acaba tendo uma maior necessidade de estarem ligados a tecnologia, estando assim com veículos equipados com as mais variadas formas de entretenimento e também com aparatos para suas necessidades diárias, tornando menos exaustiva a jornada de trabalho enfrentada diariamente pelos mesmos.

Foi aprovada pelo Congresso Nacional e sancionada pela Presidente da República a Lei Nº 13.103, mais conhecida como a “Lei dos caminhoneiros”, que dispõe sobre o exercício da profissão de motorista de transporte rodoviário de passageiros e de transporte rodoviário de cargas. Na seção IV- A, no art. 235-C da referida lei estipula que a jornada de trabalho para esses profissionais em questão será de 8 horas diárias. Na § 3º do mesmo artigo assegura que dentro de um período de 24 horas, eles terão 11 horas de descanso.

Retomando o que abordaram Masson e Monteiro (2010) em relação a ausência desses profissionais nos seus lares por várias semanas consecutivas, sabe-se que boa parte desses profissionais estaciona em postos de combustíveis para pernoitar, e fazem do seu transporte a sua casa, tendo eles agora por força da lei que passar quase 46% de um dia parados. Tudo explicitado até aqui justifica a vontade desses condutores em deixar seus meios de transporte cada vez mais

incrementado, para assim tentarem ter um conforto similar ao que teriam em seus lares. Diante do exposto, o presente trabalho busca sanar a deficiência encontrada hoje no mercado para o seguimento de veículos alimentados com 24 Vcc e que demandam por alta corrente, seguimento este em que os entrevistados do trabalho citado acima pertencem. Ao tempo em que crescem as ofertas de diferentes equipamentos automotivos, o produto que permite a conversão da tensão, o que conseqüentemente possibilitará a utilização desses produtos, continua defasado com a corrente máxima muitas vezes inferior a necessidade do usuário.

Pela inexistência atualmente no mercado de conversores abaixador para altas cargas se faz necessário a criação do protótipo de um conversor CC-CC 24-12 Vcc com o dobro da corrente e potência dos existentes hoje, para que assim os usuários possam acompanhar a oferta dos mais variados tipos de equipamentos oferecidos no mercado, onde essa demanda só visa contribuir para uma melhor viagem e satisfação para quem os utiliza, sempre priorizando o melhor custo benefício da aquisição e um maior aproveitamento do espaço físico onde será instalado o produto.

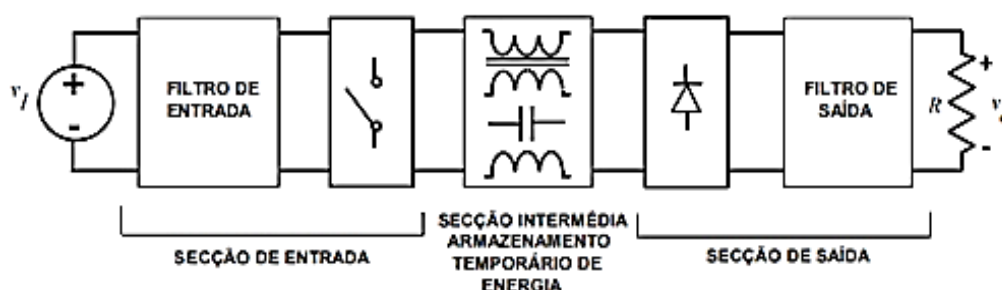
2 REFERENCIALTEÓRICO

2.1 DEFINIÇÃO DE CONVERSOR

Segundo Hard (2001), os conversores CC-CC são equipamentos eletrônicos que convertem uma determinada entrada de tensão contínua em outro valor de saída, sendo está regulada. Eles são compostos por blocos e descritos como arranjos construídos por elementos ativos como semicondutores de potência funcionando como chaveadores, por elementos passivos costumeiramente diodos, indutores e por fim elementos reativos como capacitores.

Corrêa (2011) aponta que a conversão é feita por meio da acumulação por um determinado tempo da tensão de entrada, e posteriormente liberando uma tensão alterada na saída em relação à entrada. Essa via de conversão é mais proveitosa em comparação a regulação linear de tensão, chegando a atingir oitenta por cento de eficiência e conseqüentemente tendo uma maior autonomia em dispositivos abastecidos por meio de baterias. Os conversores com circuito integrado, por exemplo, são os responsáveis por uma considerada redução de equipamentos, se comparados com os lineares.

Figura 01: Secções constituintes dos conversores CC-CC.



Fonte: (COSTA, 2000, p. 45)⁵

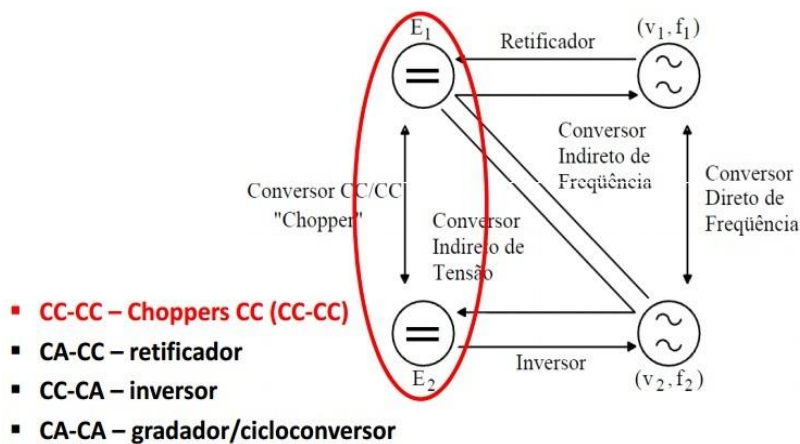
Já como desvantagens desses tipos de conversores CC- CC, pode- se destacar uma maior dificuldade no seu desenvolvimento, os materiais utilizados refletirão no custo final do produto e em uma possível emissão de ruídos.

⁵ Disponível em: <http://www.enautica.pt/publico/professores/dcosta/elpot_cap2.pdf>. Acesso em: Maio 2015.

De toda a forma os conversores CC-CC viabilizam o uso de apenas uma bateria para gerar uma tensão de saída diferente e controlada, proporcionando assim um ganho de área, uma vez que com esses equipamentos se torna dispensável a utilização de várias baterias com tensões diferentes para a alimentação dos mais variados tipos de dispositivos, com alimentação diferente do circuito elétrico original, que venha ter o veículo.

Atualmente esses dispositivos não estão restritos apenas para o uso automotivo, e tem dualidade de nomenclatura, podendo ser chamado tanto de conversor quanto de inversor. Em relação ao seu emprego, ele é utilizado para mais diferentes fins, pois podem converter uma determinada tensão de entrada CC em outra CC de valor distinto, assim como também inverter uma tensão CA em uma CC, e vice-versa.

Figura 02: Principais tipos e funções dos conversores.



Fonte: (ASSEF, S/d, p. 02)⁶

2.2 TOPOLOGIAS DOS CONVERSORES

Há vários tipos de topologias de conversores CC-CC, onde cada qual possui suas peculiaridades e tem aplicações definidas de acordo com a necessidade de cada usuário. Existem os conversores isolados e não isolados, o primeiro é chamado assim por utilizarem no seu circuito transformador de potência, os não isolados não apresentam tal componente. Barbi e Martins (2006) ressaltam que entre os conversores não isolados existem seis tipos, que são os mais populares, onde os ganhos dos mesmos estão representados no quadro 01.

Quadro 01: Conversores estáticos básicos não isolados.

Conversor	Ganho estático
Buck	D
Boost	1/(1-D)
Buck-Boost	D/(1-D)
Cúk	D/(1-D)
Sepic	D/(1-D)
Zeta	D/(1-D)

Fonte: (BARBI e MARTINS, 2006, p. 3)

⁶ Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/amauriassef/disciplinas/eletronica-de-potencia/apresentacoes/Eletr_Pot1_21.pdf/view>. Acesso em: Abr. 2015.

Informa Pomilio (2014) que os conversores também podem ser classificados pelos tipos *Flyback* e *Forward*. No caso do *Flyback*, ele é um derivado do abaixador-elevador, onde a energia é transmitida diretamente para a unidade magnetizada, que tem um comportamento similar a um indutor bifilar, e posteriormente será disponibilizada na carga. Já o segundo tipo, que é conhecido como derivado do abaixador de tensão, a energia atravessa ao mesmo tempo tanto para o membro magnetizado como para a carga, fazendo assim somente um estágio, diferentemente do primeiro tipo.

No quadro 02 fica possível um melhor entendimento sobre os dois tipos de conversores descritos acima.

Quadro 02: Topologias dos Conversores CC- CC

	Com Transformador	Sem Transformador
<i>Flyback</i>	Flyback Cúk isolado	Inversor: <i>Buck- Boost</i> Cúk
		Não Inversor: <i>Step- up (Boost)</i> SEPIC
<i>Forward</i>	<i>Forward (Buck Isolado)</i> <i>Push- Pull</i> Meia Ponte Ponte Completa	<i>Step- down (Buck)</i>

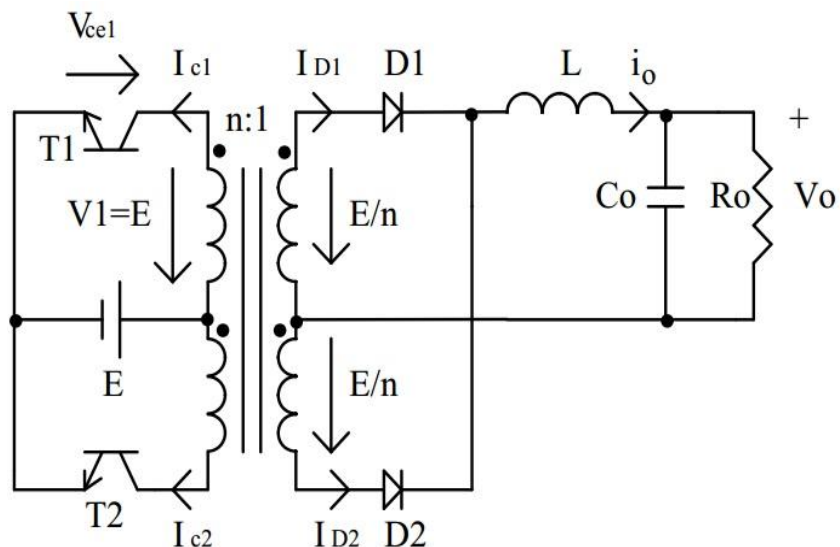
Fonte: (CORRÊA, 2011, p. 19)

2.3 Conversor Push-Pull

A topologia *push- pull* é uma junção de 02 conversores *forward* trabalhando em contra fase, mais precisamente ele é um dos derivados do conversor Buck. Essa derivação se fez necessária por causa de algumas deficiências que a topologia *Buck* apresentava, como por exemplo, a falta de isolamento entre a tensão de entrada e a tensão de saída. Na Figura 03 mostra que tanto a magnetização quanto a desmagnetização do núcleo são usadas a fim de mandar energia para o secundário, o que mostra uma melhora no uso do mesmo.

Esse tipo de conversor consente que se tenha um valor de tensão de saída maior ou menor que o de entrada, e a isolamento entre as tensões é feita por meio de um transformador, mas para que isso seja possível é preciso ter um diodo, um transistor e um transformador a mais se comparado as topologias básicas.

Figura 03: Conversor Topologia *Push- Pull*



Fonte: (POMILIO, 2014, Cap. 05, p. 19)

Elucida Pomilio (2014) quanto ao funcionamento desta topologia, em que quando T1 conduz, a considerar as polaridades dos enrolamentos, nos secundários surgem tensões como serão vistas na forma de onda do mesmo. Neste intervalo D1 não conduz e D2 conduz, fazendo com que o fluxo no transformador se mantenha nulo, desconsiderando a magnetização.

O autor prossegue dizendo que é possível notabilizar no intervalo que ocorre entre as conduções dos transistores, os diodos D1 e D2 passam a conduzir simultaneamente (nesse mesmo momento em que T1 é desligado, o fluxo nulo é assegurado por conta da condução dos 02 diodos, cada qual conduzindo metade da corrente) funcionando como diodos de livre circulação e conseqüentemente curto- circuitando o secundário do transformador.

Alerta ainda Pomilio (2014) que o ciclo de trabalho do conversor *push-pull* deve ser menor que 0,5, evitando assim a condução simultânea dos transistores.

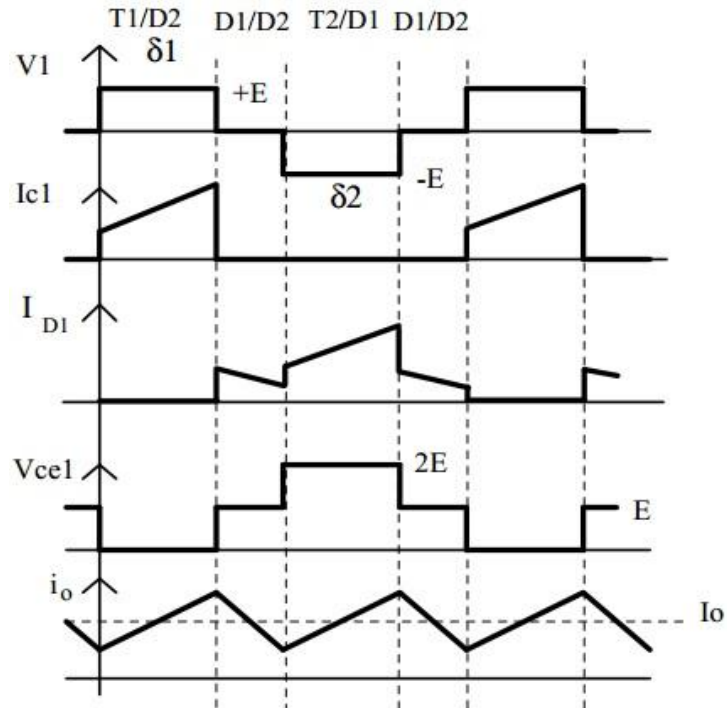
A tensão de saída dessa topologia é dada por:

$$V_o = \frac{2 \cdot \delta \cdot V_i}{n} \quad (01)$$

- n = Relação de espiras do transformador.
- δ = Razão cíclica (< 0,5)
- V_i = Tensão de entrada.

Um problema encontrado nos circuitos dessa topologia é quanto à possibilidade de saturação do transformador caso a condução dos transistores não seja igual (o que garante uma tensão média nula aplicada ao primário), e também os transistores devem suportar uma tensão com o dobro do valor da tensão de entrada.

Figura 04: Formas de onda da Topologia *Push-pull*



Fonte: (POMILIO, 2014, Cap. 05, p. 19)

2.4 INDUTOR

O indutor é um componente empregado em circuitos elétricos para evitar que haja variações na corrente elétrica. Eles têm também a missão de realizar o acúmulo de energia por meio de um campo magnético, além de que em muitos casos são utilizados para compor um transformador, sem deixar de registrar que por diversas vezes são usados como filtro passa-baixa.

Líbero e Redondo (1996) reforçam que o indutor é uma bobina, mais precisamente um fio condutor enrolado de forma helicoidal por X vezes sobre um núcleo, que pode ser de ar, ferrite, ferro, laminado ou toroidal.

Figura 05: Tipos de núcleos de um indutor.



Fonte: (WESLLEYWMN, 2013, p. 01)⁷

⁷Disponível em: < <https://weslleywmn.wordpress.com/2013/05/24/indutores-e-capacitores/> >. Acesso em: 02 Maio 2015.

Ressaltam os autores que a indutância é calculada de acordo com as propriedades e dimensões magnéticas do núcleo do indutor e do número de espiras. Chega-se a esses números através da fórmula:

$$L = \frac{n^2}{r} \quad (02)$$

- L = Indutância;
- N= Número de espiras;
- R= Relutância magnética.

Fisicamente a indutância aumenta na mesma proporção que o tamanho do indutor, já que a capacidade de formação dos campos magnéticos do indutor aumenta conforme o tamanho de seu núcleo e o número de voltas.

Pode-se calcular a indutância através da relação:

$$L = \frac{\Phi}{I} \quad (03)$$

- L = Indutância;
- Φ = Fluxo magnético [Wb];
- I=Corrente.

A unidade de indutância é Henry [H].

2.5 TRANSFORMADOR

Malvino (S/d) sustenta que entre os diversos transformadores disponíveis no comércio, boa parte não são transformadores ideais por causa da resistência da bobina que produz perdas de potência, sem esquecer-se de mencionar que o núcleo laminado provoca outras perdas adicionais pela corrente *Foucaul*, popularmente conhecida como corrente parasita.

Diante de tudo já exposto, o autor afirma que um transformador real é um dispositivo custoso de ser totalmente especificado, pois as folhas de dados dos transformadores dificilmente dispõem a resistência das bobinas, a relação de espiras e outros valores nominais. O que é habitualmente obtido é somente a tensão no secundário com uma corrente nominal.

No transformador, é no enrolamento primário onde é aplicada a tensão que será convertida (V_p) e no enrolamento secundário é retirada a tensão de saída (V_s). Cada enrolamento tem na sua composição um determinado número de espiras responsáveis pela relação de conversão, assim, pode-se determinar os valores através da seguinte relação:

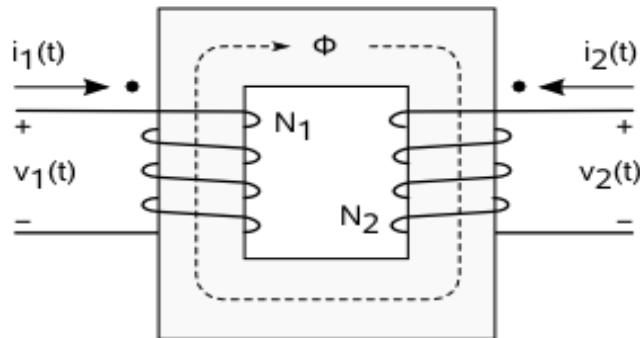
$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (04)$$

V_p = Tensão do Primário

V_s = Tensão do secundário

N_p = Número de espiras do primário
 N_s = Número de espiras do secundário

Figura 06: Esquema de um Transformador básico.



Fonte: (LEAL, 2015, p. 01)

Em um transformador ideal a potência do secundário é igual à potência aplicada ao primário, não havendo perdas. Dessa forma aplica-se a relação:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (05)$$

P_p = Potência do Primário

P_s = Potência do secundário

I_p = Corrente do primário

I_s = Corrente que circula no secundário, quando ligada a uma carga

2.6 CIRCUITO INTEGRADO SG 3525

Hoje em dia é possível encontrar diversos circuitos integrados no mercado para o controle de fontes chaveadas, esses produtos já vêm com toda a lógica necessária que requer um CI para ser usado nessa aplicação.

Dentre os muitos circuitos desenvolvidos para o controle de fontes chaveadas, que operam com a modulação PWM, evidencia-se o SG3525 por ser alimentado com tensões que variam entre 08 [V] e 35 [V], produzindo internamente uma tensão que será estável de 5,1 [V].

De acordo com ST (S/d), o CI SG3525 tem duas saídas complementares com uma capacidade de acionamento de 400 [mA], o que possibilita a operação com frequências de até 400 [KHz] e viabiliza o surgimento de um *soft-start* que pode ser ajustado com um capacitor externo, e possui um pino destinado ao sincronismo de suas saídas.

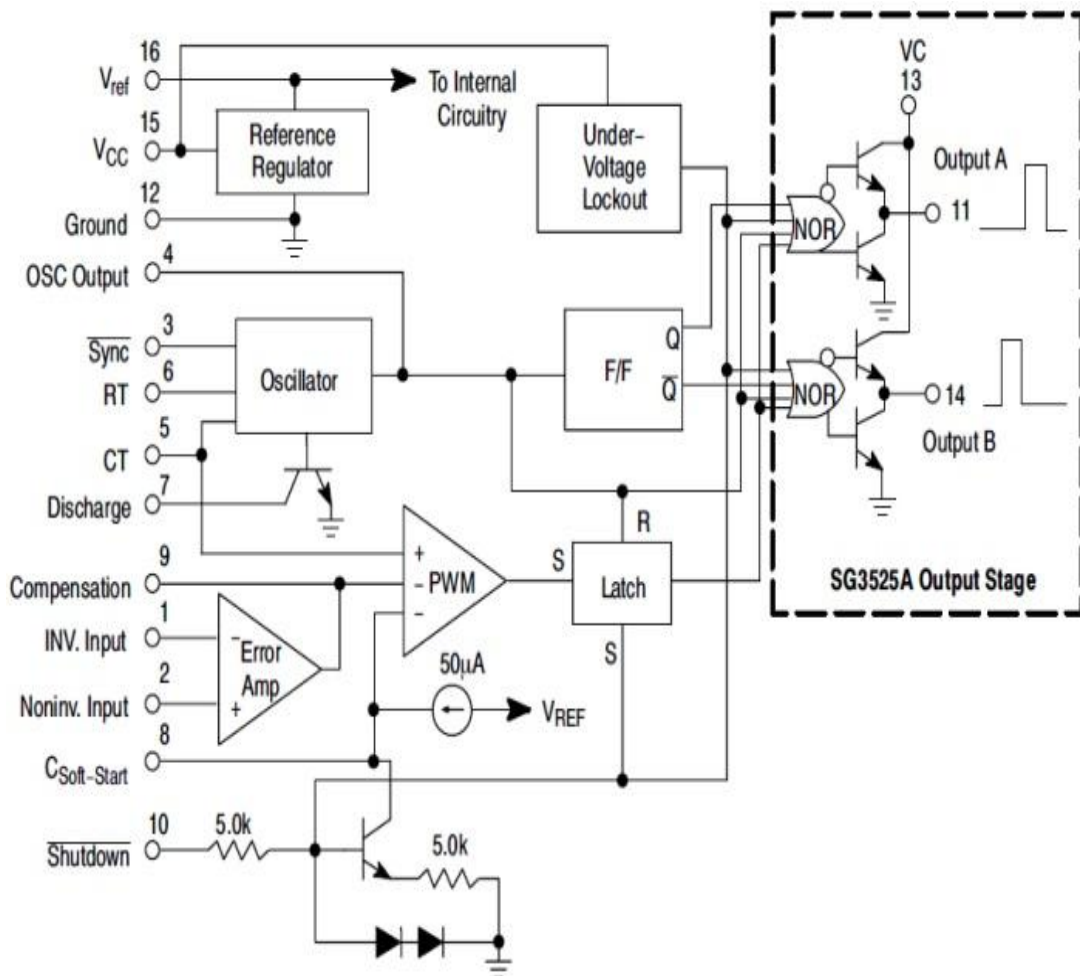
No SG3525 a frequência de trabalho é estabelecida pelo circuito gerador de *clock*, que este por sua vez é composto pelo capacitor e resistor ligados aos pinos 5 e 6, respectivamente, e por fim o resistor de descarga conectado no pino 7, o que torna possível a mudança do tempo morto do chaveamento. Conforme Tahmid (2013) a relação entre os componentes e a frequência de trabalho é dada pela equação:

$$F = \frac{1}{C_T (0,7.R_T + 3.R_D)} \quad (06)$$

Onde R_D é o responsável pelo ajuste do tempo de descarga do capacitor, definindo assim o tempo morto entre os pulsos de saída enquanto o C_T e R_T estabelecem o circuito gerador de *clock*.

Normalmente é recomendado que se opere com o $R_D = 0$, fazendo com que a frequência de cada uma das saídas complementares passe a ser de cinquenta por cento da frequência de trabalho, podendo assim chegar a uma razão cíclica de quarenta e nove por cento.

Figura 07: Esquema do circuito interno do SG3525A.



Fonte: (TAHMID, 2013, p. 01)

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa do ponto de vista da natureza se encaixa como aplicada, já que foram encontrados vastos materiais teóricos que contribuíram de forma muito significativa para o desenvolvimento do dispositivo na prática.

Sabe-se que a pesquisa aplicada é o uso dos conhecimentos provenientes das pesquisas básicas para solucionar impasses que tenham relação a utilidades concretas.

“A pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigida à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais” (KAUARK, MANHÃES, MEDEIROS, 2010, p.26).

A pesquisa proposta nesse trabalho foi produzida nas dependências do laboratório da Master Tecnologia, situada na cidade de Vitória da Conquista. O objeto desse estudo foi o desenvolvimento de um protótipo de conversor 24-12 Vcc para corrente limite de 100 [A], uma vez que os presentes à venda hoje no mercado que tem maior potência são para atender demandas menores, que corresponde à metade do que é proposto por esse trabalho.

Quanto ao tipo de pesquisa ela se enquadra tanto como exploratória quanto descritiva, pois a mesma fornece informações sobre o objeto pesquisado e ao mesmo tempo encaminha para a criação de hipóteses sem a interferência do pesquisador.

Afirma Marques et al (2006) que a pesquisa exploratória é um meio utilizado a fim de se conseguir lograr a maior gama possível de conhecimento sobre certo objeto, e que com isso se tenha o propósito de atacar questões específicas, criando assim as hipóteses, visando futuros estudos. Continua os autores dizendo que a pesquisa também se caracteriza como descritiva pela realização de um estudo, análise, registro e consequentemente interpretação dos resultados.

Levando em consideração a abordagem, a pesquisa se encaixa como qualitativa, pois a mesma além de ter caráter exploratório, possibilita também o alcance, ou não, das motivações e hipóteses iniciais do pesquisador.

4 RESULTADOS DA DISCUSSÃO

4.1 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A topologia escolhida foi a *push-pull* por ela apresentar algumas vantagens, sendo uma delas a transferência de energia para saída pode acontecer no ciclo de magnetização ou desmagnetização do núcleo do transformador, fazendo assim com que ocorra um melhor rendimento do núcleo. Bem como essa topologia apresenta as características de ter as melhores condições e resultados satisfatórios dentre todos para a finalidade desse projeto.

O desenvolvimento do protótipo foi dividido em subtópicos, como serão apresentados a partir de agora. Os parâmetros e requisitos do conversor foram definidos a partir da topologia *push-pull* e do *datasheet* do CI SG3525A.

Quadro 03: Parâmetros para o desenvolvimento do conversor *push-pull*.

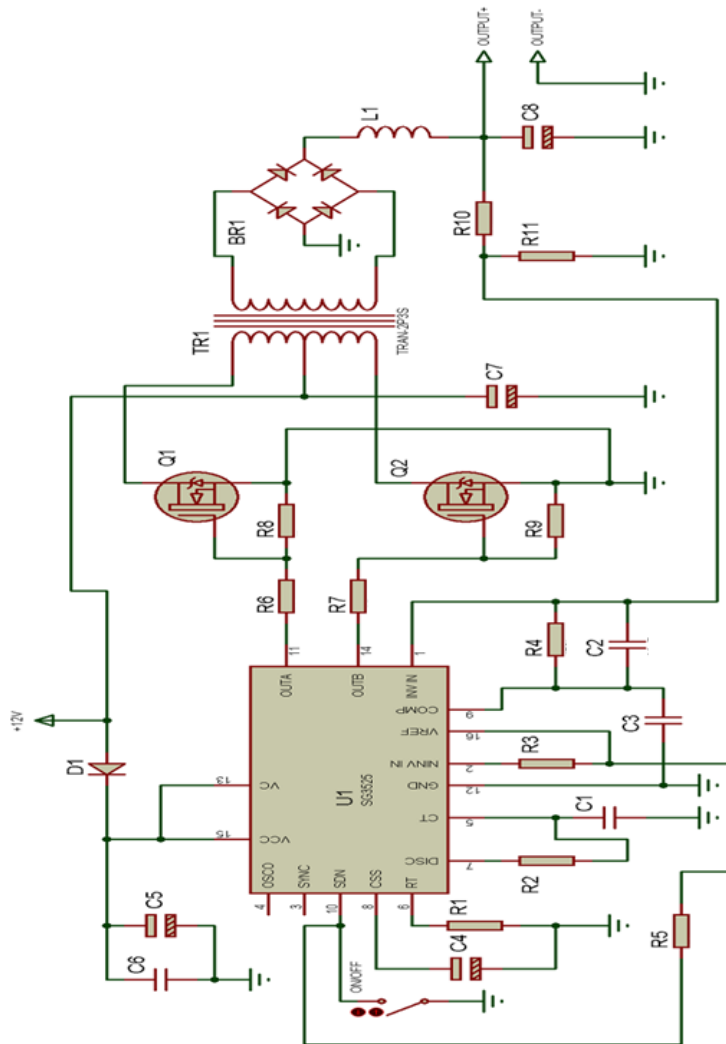
Tensão de entrada (V_i)	24 V
Tensão de saída (V_o)	12 V
Corrente de saída (I_o)	100 A
Potência (P)	1200 W
Comutador do transistor	Modulação por largura de pulso
Frequência Calculada de operação	42 KHz
Operação	Modo Contínuo

Fonte: (Autoria própria, 2015)

4.2 ESQUEMÁTICO

O esquema elétrico representado na figura 08 foi tomado como base para o desenvolvido o conversor *push-pull* PWM.

Figura 08: Esquemático base do protótipo.



Fonte: (TAHMID, 2013, p. 01)

Algumas mudanças realizadas no desenvolvimento do projeto em relação ao esquemático da figura 08 foram:

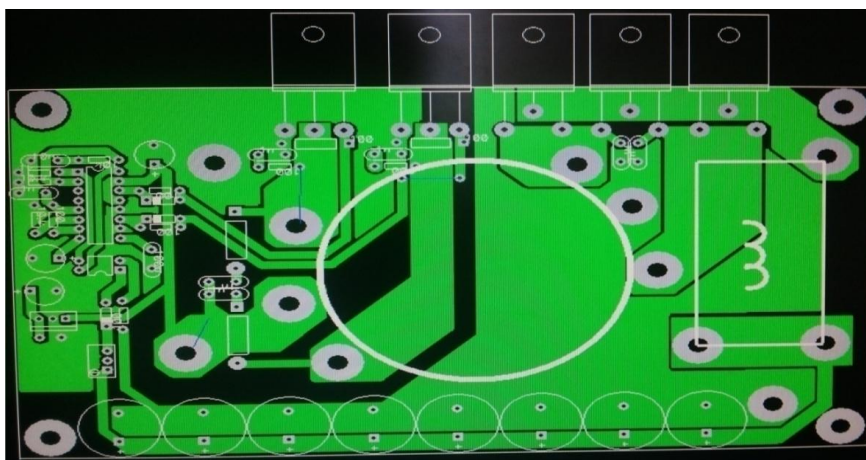
- Substituição do enrolamento secundário simples por um enrolamento secundário com derivação central.
- Substituição da retificação em ponte por retificação de dois diodos com *Center Tape*.
- Foi acrescentado o optocoplador para ajuste de *feedback*.

4.3 PASSO A PASSO NA MONTAGEM DO PROTÓTIPO

A prototipagem é o primeiro passo e ele foi realizado levando em conta as características do circuito elétrico do conversor *push-pull* associado com o circuito integrado SG 3525A, o que possibilitou a criação do PCB da placa, seguindo a rigor todas as recomendações fornecidas pelo fabricante.

O *layout* da placa foi realizado na plataforma do programa P- CAD 2006, adequando da melhor forma a disposição de todos os componentes, como mostrado na figura 09.

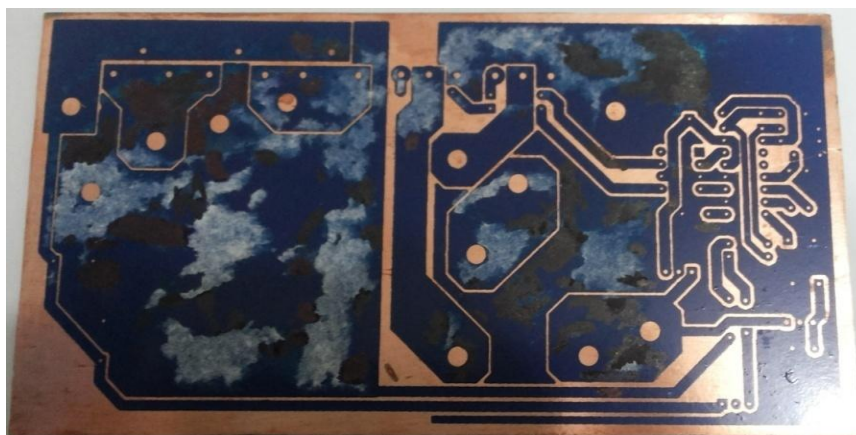
Figura 09: PCB do conversor *push-pull*



Fonte: (Autoria própria, 2015)

Depois do *layout* da placa com todos os seus componentes distribuídos em seus devidos lugares é o momento de realizar a impressão do PCB, que é realizada de forma espelhada. Essa etapa se faz necessária por ser o momento intermediário para transformar o *layout* em uma placa física. A transferência do PCB para a placa de fenolite é feita através do processo de *silkscreen*.

Figura 10: Criação da placa do conversor *push-pull*.

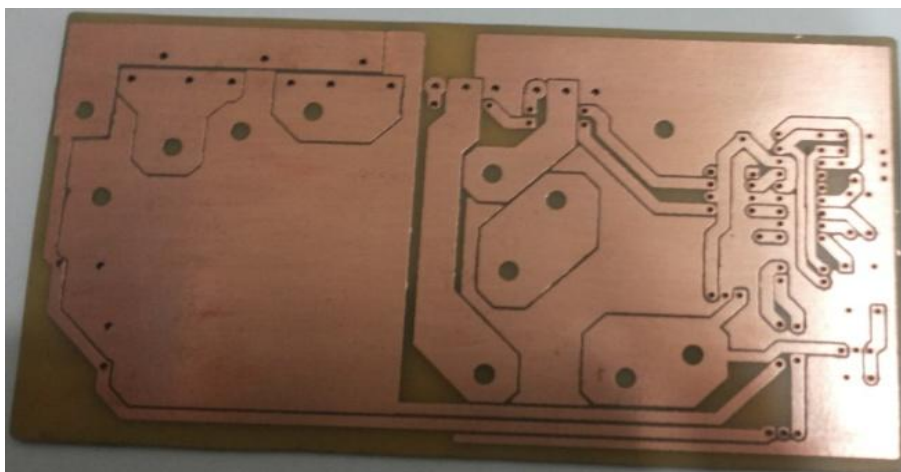


Fonte: (Autoria própria, 2015)

Depois de gerada a placa física a etapa seguinte é realizar a corrosão da mesma, para isso foi usado o perclorato de ferro, onde todo o cobre será removido por essa solução. Após isso lixar a tinta remanescente, onde será deparado com o circuito elétrico pronto para ser perfurado.

Depois da perfuração, a placa já está pronta para receber os componentes eletrônicos de acordo como foi desenvolvida.

Figura 11: Placa do protótipo já perfurada.



Fonte: (Autoria própria, 2015)

4.4 CIRCUITO REAL

Depois de análises feitas a partir das características dos mais diversos tipos de topologia de conversores, chega-se à conclusão que para determinados conversores é necessária estar em alerta com alguns fatos:

- 1. Com relação ao circuito de controle e no circuito de potência no que diz respeito às perdas, onde no primeiro caso elas podem ser desconsideradas, já no segundo não.
- 2. Com o *ripple*. Pois mesmo considerando que na medida em que mais alta é a frequência, menor será a tensão de *ripple*.
- 3. Quanto às tensões no diodo e no transistor que precisam ser consideradas em projetos complexos.
- 4. Em alguns casos é preciso ser feita a atenuação de perdas que podem ocorrer devido à comutação no diodo e transistor.

Se em alguns projetos não for seguido esses quesitos pode implicar diretamente no funcionamento e eficiência do dispositivo. Por isso é de responsabilidade do idealizador levar em conta se o seu projeto precisará levar em conta essas condições.

4.5 EQUAÇÕES DO PROJETO

Depois da placa pronta com os lugares de todos os componentes já furados, e feitas as observações pertinentes é chegada à hora do desenvolvimento do protótipo, mas para tal se fazem necessários alguns cálculos para determinar alguns dados que estarão dispostos a seguir. Esses cálculos foram feitos de acordo com a teoria apresentada nos tópicos

4.5.1 CÁLCULO DO TEMPO DO *DEADTIME*

Deadtime ou traduzido para o português tempo morto, é o tempo após cada evento em que o sistema não é capaz de gravar outro evento. Ele é importante no circuito para evitar que os interruptores possam conduzir ao mesmo tempo, evitando assim que se danifiquem componentes do circuito.

Para esse circuito foi estipulada um *deadtime* de 2%. Com base na frequência desejada para o circuito, como calculada anteriormente, pode-se determinar o tempo de trabalho e determinar os componentes para o ajuste do *deadtime*.

$$DT = \frac{1}{F} \quad (07)$$

$$DT = \frac{1}{42KHz} \quad (08)$$

$$DT = 23,8 \mu s \quad (09)$$

Como foi estipulado um *deadtime* de 2%

$$DT = 23,8 * 0,02 \cong 0,48\mu s \quad (10)$$

Na equação 12 a fórmula mostra o tempo em que o capacitor estará praticamente descarregado.

$$T = 5 * R * C \quad (11)$$

Então como é sabido o tempo de *deadtime*, pode-se usá-lo para calcular o resistor e o capacitor. Neste caso o capacitor foi fixado com valor de (C1) 1nF, e a partir daí é calculado o valor do resistor (R2), como visto nas equações 13 e 14.

$$0,48 * 10^{-6} = 5 * R * 1 * 10^{-9} \quad (12)$$

$$T = 96\Omega \quad (13)$$

Como não se tinha disponível no momento do desenvolvimento do protótipo o resistor com o valor da equação 14, usou-se um de 100Ω que é o valor mais próximo comercial.

4.5.2 CÁLCULO DA FREQUÊNCIA

Para encontrar os valores dos componentes RD, RT e CT, que no esquemático da figura 08, são R2, R1 e C1, respectivamente, usa-se a equação (7), que foi fornecida anteriormente.

$$42KHz = \frac{1}{1 * 10^{-9}(0,7 * RT + 3 * 100)} \quad (14)$$

$$RT = 33.585\Omega \quad (15)$$

De acordo com os cálculos, foi utilizado um resistor que mais se aproximou ao valor obtido na equação, sendo ele o 33KΩ.

4.5.3 CÁLCULO DO TRANSFORMADOR

Para determinar a relação das espiras do transformador foi utilizada a equação (1), levando-se em conta o alerta do autor Pomilio (2014), onde o mesmo diz que a razão cíclica deve ser $\leq 0,5$. No desenvolvimento do presente projeto foi utilizado o valor de razão cíclica = 0,4, valor esse que será provado no decorrer de outros cálculos.

$$12 = \frac{2 * 0,4 * 24}{n} \quad (16)$$

$$n = 1,6 \text{ espiras} \quad (17)$$

Conforme esse valor encontrado, foram dadas 09 (nove) voltas no primário e 06 (seis) voltas no secundário. O valor das voltas do primário dividido pelo secundário = 1,5. Sendo esse valor o mais próximo a n.

Depois de encontrado a relação de espiras entre o primário e secundário do transformador é necessário calcular o valor da razão cíclica máxima e mínima. A razão cíclica é a razão que existente entre o intervalo de um fenômeno periódico e o tempo ligado onde é admitido apenas dois estados: ligado e desligado. De acordo com Neto (2010), a equação é definida por:

Estimando que a tensão direta nos diodos (VD) seja 0,5 [V]

$$\delta = \frac{V_S + V_D}{2 * \frac{N_2}{N_1} * V_I} \quad (18)$$

$$\delta = 0,3906 \cong 0,4 \quad (19)$$

Depois de encontrado o valor da razão cíclica direta, será calculada a razão cíclica mínima e máxima, seguindo da formula nas equações 21 e 23, respectivamente.

$$\delta_{MIN} = \frac{V_S + V_D}{2 * \frac{N_2}{N_1} * V_{I_{MAX}}} \quad (20)$$

$$\delta_{MIN} = 0,347 \cong 0,35 \quad (21)$$

$$\delta_{MAX} = \frac{V_S + V_D}{2 * \frac{N_2}{N_1} * V_{I_{MIN}}} \quad (22)$$

$$\delta_{MAX} = 0,407 \cong 0,41 \quad (23)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 TESTES EM LABORATÓRIO

Fazendo os testes necessários a fonte se mostrou estabilizada pelas características do próprio circuito, onde a saída de tensão é monitorada e na medida em que acontece uma variação no valor dessa tensão o circuito interno do SG3525 faz uma leitura dessa variação e corrige automaticamente, ajustando assim a largura do pulso (PWM).

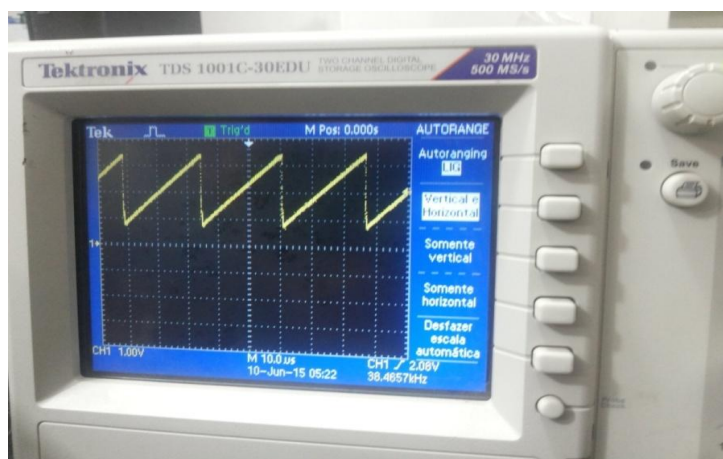
Figura 12: Testes do protótipo no osciloscópio.



Fonte: (Autoria própria, 2015)

No teste no osciloscópio para mensurar a frequência foi detectado que o valor da mesma sofreu uma pequena variação para menos do que o valor inicial, que seria uma frequência de 42 [KHz], porém a frequência alcançada foi de 38.4567. Isto se deu por conta da falta de precisão dos componentes eletrônicos devido as suas perdas inerentes a cada tipo, mas ressalta-se que mesmo mensurando esse resultado de frequência um pouco menor da calculada isso não ocasionou nenhum tipo de problemas no funcionamento do protótipo.

Figura 13: Frequência mensurada do protótipo (foto mais aproximada).



Fonte: (Autoria própria, 2015)

O protótipo se mostrou bastante compacto, eficiente, com boa refrigeração (dissipador de alumínio com aletas compridas e ventilação forçada por *cooler*).

5.2 TESTES NA PRÁTICA

O teste prático com a instalação do protótipo em um caminhão baú Mercedes 1319, ano 2014, de placa OZR 2511, cujo motorista é um jovem que gosta de ouvir músicas com som alto em suas viagens. Apenas o módulo de som instalado nesse caminhão consome corrente máxima de 80 [A] e ainda tem outros dispositivos como televisão e rádio amador. O comportamento do equipamento foi monitorado durante 30 (trinta) dias.

6 CONCLUSÃO

O estudo com conversores CC-CC mostrou-se bem relevante e significativo por serem dispositivos em crescente uso por possibilitarem uma maior liberdade para o usuário que tenha aparelhos com determinada tensão possam usá-los em um circuito com tensão distinta dos aparelhos, assim como esses conversores chaveados também têm sido gradativamente substituídos pelos clássicos conversores lineares.

Com relação à aplicação em frotas pesadas, em especial ônibus e/ou caminhões, os resultados obtidos desse protótipo do conversor isolado *push-pull* confirmam os estudos realizados sobre a funcionalidade do mesmo, sendo que durante os testes teóricos e práticos ele provou ser mesmo viável e adequado ao alcançar os propósitos iniciais desta pesquisa, tendo os níveis de corrente e tensão equilibrados, atendendo assim uma potência limite de 1200 [W].

No projeto do protótipo foi utilizado um banco com oito capacitores de 4700 μ F por 25 [V] a fim de perseguir que o valor do V_{onda} (*ripple*) fosse o mais baixo possível, de forma a ser considerado desprezível no funcionamento do aparelho. Existem no circuito capacitores supressores de ruídos para que os mesmos evitem interferências do conversor em aparelhos sonoros ligados no veículo, assim como também foi colocado um trimpot de 20 [K] para controlar a tensão.

Foi observado também que o modelo do conversor chaveado mostrou-se muito mais eficiente do que seria um conversor do tipo linear, isso devido a sua baixa geração de calor e conseqüentemente mínimas perdas por efeito Joule. Outra vantagem é o protótipo possuir pequenas dimensões, podendo ser instalado em qualquer repartição sem que haja maiores preocupações com espaço físico.

7 REFERÊNCIAS

BARBI, Ivo e MARTINS, Denizar Cruz. **Eletrônica de potência: Conversores CC-CC básicos não isolados**. 2.ed. Florianópolis, 2006.

BRASIL. Lei Nº 13.103, de 02 de março de 2015: “Dispõe sobre o exercício da profissão de motorista”. **Este texto não substitui o publicado no Diário Oficial da União**. Brasília- DF, Terça-Feira, 03 de março de 2015.

CORRÊA, Priscilla Braga Pinheiro. **Desenvolvimento de um sistema de instrumentação para controle de temperatura e umidade via CLP**. Viçosa, Dezembro de 2011.

HART, Daniel W. **Electrónica de potência**. Madrid. 2001.

KAUARK, Fabiana da Silva; MANHÃES Fernanda Castro; MEDEIROS Carlos Henrique. **Metodologia da Pesquisa. Um Guia Prático**. Itabuna, 2010.

Líbero, V. L. e Redondo, Djalma M. **Conceitos básicos sobre capacitores e indutores**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 18, nº. 02 de junho de 1996. São Carlos.

MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica**. São Paulo. 4ª Ed. Vol. 1.

MARQUES, Heitor Romero et al. **Metodologia da pesquisa e do trabalho científico**. 2.ed. Campo Grande, 2006.

MASSON, Valéria Aparecida e MONTEIRO, Maria Inês. **Estilo de vida, aspectos de saúde e trabalho de motoristas de caminhão**. Campinas, Junho 2010.

(Pomilio, 2014) POMILIO, José Antenor. **Eletrônica de potência**. Publicação FEEC 02/1998 e revisado em 07/2014. Campinas.

(TAHMID, 2013) – **USING THE PWM CONTROLLER – EXPLANATION AND EXAMPLE: CIRCUIT DIAGRAM/ SCHEMATIC OF PUSH PULL CONVERTER**. Disponível em: <<http://tahmidmc.blogspot.com.br/2013/01/using-sg3525-pwm-controller-explanation.html>>. Acesso em Junho de 2015