

## INVERSOR CC/CA BAIXO CUSTO PARA EMPREGO EM SISTEMAS DE 12 VOLTS

*SILVA, Edson Geraldo da*<sup>1</sup>  
*Centro Universitário Academia – UniAcademia*  
*MAGRI, Luiz Paulo*<sup>2</sup>  
*Centro Universitário Academia – UniAcademia*

Linha de pesquisa: Eletrônica de Potência

### RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo sobre um inversor CC/CA de baixo custo, onde em sua entrada possa ser conectada uma tensão de 12 volts CC, e na sua saída obtenha-se uma tensão que se aproxime de 127 volts rms (*root mean square*) alternados (CA), assim como, uma revisão bibliográfica e também um projeto de um inversor, a fim de comprovar a teoria encontrada na literatura, usando componentes de fácil aquisição e de custos baixos, buscando extrair do circuito o máximo desempenho possível e comparar com os resultados práticos. Com o estudo aprofundado da literatura e com testes realizados nos laboratórios foi possível apresentar um circuito simples e eficaz, com preços relativamente baixos, com forma de onda e frequência que é a literatura recomenda para um circuito inversor CC/CA de meia ponte, que não seja conectado diretamente a rede de distribuição das concessionárias de energia elétrica (sistemas isolados). Foi analisado que este circuito apresentado cumpre os requisitos para que seja usado como alternativa para aproveitamento do uso de fontes de corrente contínua de 12 volts disponíveis, em sistemas de iluminação residenciais, fazendo a transformação de 12 volts contínuos para 127 volts rms alternados e com uma frequência de 60 hertz.

**Palavras-chave:** Inversor CC/CA. Inversor baixo custo. Revisão Bibliográfica. Projeto de inversor. Eletrônica de Potência.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia - UniAcademia.

<sup>2</sup> Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - UniAcademia.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento dos tiristores proporcionou um significativo avanço da Eletrônica de Potência, isto foi possível principalmente a partir de 1960 depois que a General Electric (GE) começou a fabricar os SCRs (*Silicon Controlled Rectifier*), a partir desse momento acontece o desenvolvimento de outros componentes de pequeno porte capazes de fazer chaveamentos de grandes cargas sendo empregado para controle de aquecimento e iluminação. Para Barbi (2006), o tiristor foi um marco muito importante para melhorar os processos produtivos.

Uma definição importante para a Eletrônica de Potência é a classificação como ciência que estuda o comportamento dos conversores estáticos de energia elétrica, tendo em vista o controle e manuseio de energia elétrica, precisando por vezes fazer o controle das formas de potência função fundamental dos conversores/inversores.

Os inversores CC/CA têm por objetivo principal converter uma tensão contínua em uma tensão alternada (senoidal, quadrada ou quadrada modificada), fazendo o uso de retificadores controlados, que podem ser os MOSFETs, IGBTs, Tiristores, etc, entretanto como ressalta (PINHO; GALDINO, 2014), chaves ideais diferem dos componentes reais estes apenas aproximam das características ideais.

Para sintetizar o estudo dos inversores/conversores precisa-se entender e aplicar as diversas formulas disponíveis para o cálculo destes, observando matematicamente seu comportamento e fazer estudo laboratorial realizando uma comparação do ideal ao real, deixando o legado para que se possa utilizar conversores eficientes e com baixos custos favorecendo o acesso a todos pois a necessidade de energia é crescente, mas a disponibilidade não segue o mesmo ritmo.

Por fim a Eletrônica de Potência é responsável por controlar grandes cargas a partir de pequenos sinais fazendo uma integração entre eletrônica, controle e potência.

## 2 OBJETIVO

O presente estudo tem por finalidade realizar uma revisão bibliográfica e projetar um conversor CC/CA de baixo custo que possa ser utilizado em sistemas fotovoltaico, banco de baterias de 12 volts, ou outro elemento que seja capaz de

fornecer 12 volts CC, a fim de possam minimizar interrupções causadas por chuvas, raios e problemas da rede de distribuição pública, principalmente na zona rural, que por muitas vezes e levam até 48 horas para restabelecimento pois seguem a normativa 414/2010 artigo 176 da ANEEL (MOREIRA et al., 2012) e deixam referidas populações sem iluminação sem comunicação, já que muitos possuem aparelhos celulares que usam sistemas de antenas externas e baterias auxiliares não podendo ser removidos do local.

Para que se tenha um estudo mais robusto fez-se necessário um projeto experimental didático – de custos baixos e de bom rendimento – de um conversor CC/CA que entregue em sua saída uma tensão alternada de 60 hertz e 127/ 220 volts com forma de onda quadrada conforme prevê a literatura (PINHO; GALDINO, 2014).

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA**

#### **3.1 CONCEITOS BÁSICOS**

Eletrônica de Potência ficou conhecido como a técnica de controlar ou chavear altas correntes em altas tensões com confiabilidade ficando conhecido por este nome a partir da década de 60 com a criação dos Retificadores Controlados de Silício os populares SCR fabricados pela General Eletric (GE), a partir de então, tem-se um desenvolvimento expressivo de outros componentes que são capazes de fazer chaveamentos, além do fato de serem de pequeno porte e poderem ser empregados para controles de aquecimento e iluminação (AHMED, 2000).

De acordo com Barbi (2006), o tiristor mudou de maneira significativa a trajetória da engenharia e das atividades industriais melhorando processos produtivos, marcando o início da Eletrônica de Potência que é definida como a ciência que estuda o comportamento de conversores estáticos de energia elétrica, considera-se ainda como uma das mais importantes áreas da engenharia elétrica no mundo, fundamental para o desenvolvimento industrial e social dos povos.

Referir-se à Eletrônica de Potência já nos liga diretamente a potência, eletrônica e controle. Potência é quando refere a equipamentos de potência estáticos e rotativos empregados nos diversos sistemas elétricos. A eletrônica aborda os

circuitos e dispositivos de estado sólido para o processamento de sinal, fazendo o casamento com o controle que trabalha com as características dinâmicas e de regime permanente de sistemas de malha fechada (RASHID, 2014).

O desenvolvimento de microprocessadores e microcontroladores contribuíram grandiosamente com o controle e a estratégia de controle para dispositivos semicondutores de potência. Os equipamentos modernos de Eletrônica de Potência fazem uso de semicondutores que podem ser comparados como músculos e a microeletrônica utilizada tem poder e a inteligência de cérebro (RASHID, 2014).

Apesar de ter começado a ser usada em 1900 com retificador de arco de mercúrio, considera-se que a primeira revolução da Eletrônica de Potência ocorreu em 1948, com a invenção do transistor de silício por Bardeen, Brattain e Schokley nos laboratórios da Bell Telephone. Já a segunda se dá por volta de 1958 com desenvolvimento do SCR pela General Electric Company (GE) e por fim com a crescente demanda de energia no mundo, surge a necessidade das energias renováveis e para tanto a Eletrônica de Potência é necessária para transmissão distribuição e armazenamento, intensificando no fim dos anos 1980 e início da década 1990, com constantes desenvolvimentos e pesquisas com dispositivos de potência de carbeto de silício permitindo aplicações de alta eficiência, alta frequência e alta temperatura, devido seu bom desempenho deu-se o início da terceira revolução da eletrônica de potência com expectativa que deve permanecer por mais 30 anos (RASHID, 2014).

A fim de controlar e manusear energia elétrica tem-se a necessidade de converter as formas de potência elétrica, seja de corrente contínua para corrente contínua CC/CC, corrente contínua para corrente alternada CC/CA e corrente alternada para corrente contínua CA/CC (RASHID, 2014).

Por se tratar de alvo de estudo será dada uma ênfase maior nos conversores CC/CA.

### 3.2 CONVERSORES CC/CA

De acordo com Pinho e Galdino (2014) e Rashid (2014), inversor é um dispositivo capaz de fornecer em sua saída energia em corrente alternada (CA), com amplitude e frequência que as cargas necessitem, podendo ter na sua entrada

baterias, células de combustível, sistemas fotovoltaicos, ou seja, fontes de corrente contínua (CC). Caso o inversor seja conectado à rede elétrica de distribuição sua tensão precisa ser sincronizada com a mesma.

Os inversores podem ser usados em diversas aplicações, por isso, há uma grande diversidade de tipos dependendo de seu uso específico. Em sistemas fotovoltaicos se classificam em SIFs (Sistema Fotovoltaicos Isolados) que utilizam baterias como acumuladores de energia e suas formas de onda podem ser quadrada ou quadrada modificada e SFCRs (Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede), estes porém, requerem características semelhantes às da rede de distribuição (PINHO; GALDINO, 2014).

Quando for projetado como monofásico, seu funcionamento é semelhante à de um retificador a diodo, sendo que o valor médio da tensão de saída pode ser controlado pelo tempo de condução dos tiristores (Chaves controladas), ou seja, seu ângulo de disparo, justificando o propósito de serem chamados de retificadores controlados (RASHID, 2014).

Ao referir a saída de inversores CC/CA o ideal é que se tenha uma forma de onda senoidal, o que nem sempre é possível, ela possui determinadas harmônicas, muitas vezes o que se consegue é uma forma de onda periódica, mas para aplicações de baixa e média potência, tensões de onda quadrada ou quase quadrada, são perfeitamente aceitáveis, já nas aplicações de altas potências são necessárias formas de ondas senoidais com baixa distorção (RASHID, 2014; AHMED, 2000).

### 3.3 COMPONENTES USADOS COMO CHAVES CONTROLADAS

De acordo com Barbi (2006), nos anos 60 surgiu o tiristor para suprir a necessidade de obter interruptores mais eficientes, compactos e rápidos, o que ocasionou o desenvolvimento dos interruptores eletrônicos de estado sólido.

Tiristores fazem parte dos componentes eletrônicos de três terminais e se classificam em SCR (*Silicon Controlled Rectifier*), TRIAC (*Triode for Alternating Current*), GTO (*Gate Turn Off*), MCT (*MOS - Controlled Thyristor*) e o tiristor controlado por MOS (metal-óxido-semicondutor), seus terminais são respectivamente anodo, catodo e porta (gate), para os MOSFETs temos a porta ou gate, Dreno e Source, nos IGBTs os terminais são porta ou gate, coletor e emissor. Devido as características

destes componentes de suportarem altas correntes e altas tensões de bloqueios, são usados em aplicações de alta potência (HART, 2001) (PINHO; GALDINO, 2014).

Chaves controladas ideais são capazes de bloquear elevadas tensões diretas e reversas e suas correntes de fuga são consideradas desprezíveis, quando conduzindo correntes elevadas a queda de tensão é desconsiderada, apresentam chaveamento instantâneo e para o sinal de controle, bastam apenas de potências muito baixas, contudo, os componentes reais apenas se aproximam destes fatos (PINHO; GALDINO, 2014).

O SCR e o TRIAC foram os primeiros a serem usados nos inversores devido a suas características de chaveamento de poderem ser postos em corte ou condução em qualquer parte do ciclo, mas, embora robustos e mais simples a tensão e corrente apresentados em sua saída possuem muitos harmônicos tornando-o de baixa qualidade, para correção dependem de filtros que podem implicar perdas, atualmente são utilizados em sistemas de potências acima de 100 kW e motores de grande porte, entretanto, estão sendo substituídos pelos MOSFETs e IGBTs devido a seu desenvolvimentos e por apresentarem chaveamentos em alta velocidade (PINHO; GALDINO, 2014).

Em explicação mais sucinta, o SCR conduz como um diodo comum porém seu disparo é controlado, são conhecidos também como tiristores controlados por fase e o sentido de condução único, o TRIAC foi desenvolvido para se evitar usar dois SCRs em antiparalelo, justificando a palavra TRIAC, TRI triode (triodo), AC alternating current (Corrente Alternada), ou tiristores bidirecionais. (ALMEIDA, 2014; RASHID, 2014)

Seguindo a classificação dos tiristores, segundo Rashid (2014), tiristores assimétricos de chaveamento rápido ASCRs podem ser utilizados em chaveamentos de alta velocidade, tiristores controlados de silício ativados por luz LASCRs, podem ser empregados em aplicações de transmissão de altas tensões e altas correntes, tiristores de condução reversa RCTs, são muitos usados em circuitos conversores inversores porém suas aplicações ficam condicionadas a circuitos específicos, tiristores por desligamento de porta GTOs pode ser ligado por um pulso positivo e desligado por uma pulso negativo em baixa tensão apresenta vantagens com relação aos BJTs também são usados de forma especial nos conversores de fonte de tensão,

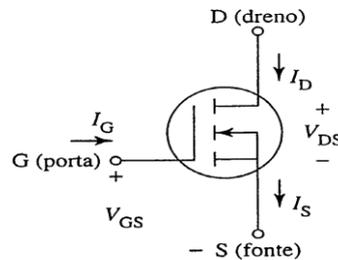
importante salientar que os GTOs de carbeto de silício apresentam chaveamentos rápido com um tempo de desligamento menor que  $1\mu\text{s}$  (RASHID, 2014).

Também os tiristores controlados por FET, conhecidos por FET-CHT, que na realidade é a soma de um MOSFET com um transistor de paralelo e tem velocidades chaveamento altas e elevados  $di/dt$  e  $dv/dt$  suas aplicações em geral são para acionamento ótico fornecendo isolação elétrica entre a entrada ou sinal de controle em o dispositivo de chaveamento do conversor de potência, MTOs são uma soma de um GTO com um MOSFET e sua estrutura é semelhante a do GTO e tem a vantagem de alta tensão (até 10KV) e corrente elevada (até 4000A) sendo útil a aplicações de alta potência, ETOs são dispositivos híbridos MOS-GTO tem duas portas uma para acionamento e outro com o MOSFET para o desligamento, também são construídos na composição de carbeto de silício (RASHID, 2014).

O IGCT na verdade é um GTO de chaveamento dissipativo com um pulso de corrente muito grande e rápido, o MCT traz características de um tiristor regenerativo de quatro camadas com estrutura de porta MOS, agregando vantagens da junção bipolar com a estrutura de efeito de campo e por fim o SITH sendo conhecido como diodo controlado por campo, apresenta alta velocidade de chaveamento e capacidades elevadas de  $di/dt$   $dv/dt$  (RASHID, 2014).

Os MOSFETs (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), ou, em português transistor de efeito campo metal-óxido-semicondutor que se caracteriza por chaveamentos rápidos, alta impedância de entrada, sendo indicado para potências consideradas baixas segundo (AHMED, 2000) cerca de alguns quilowatts e para frequência chegando até o limite de 100 KHz. Os MOSFETs têm importantes aplicações em fontes chaveadas, estão disponíveis no mercado do tipo canal N e Canal P, a figura 1 retrata o símbolo de um MOSFET de canal N.

**Figura 1-Simbolo do MOSFET canal N**



Fonte: Livro Eletrônica de Potência (AHMED, 2000).

Os terminais do MOSFETs são o Gate ou porta representada pela letra G, o Dreno representado pela letra D e Source ou fonte representado pela letra S, também conseguem chaveamentos mais rápidos entre o estado ligado e desligado se comparados a um Transistor de Junção Bipolar (BJT) por isso tem sido usado pra substituí-los (AHMED, 2000).

Geralmente as configurações mais básicas de inversores CC/CA são monofásicos e suas topologias são meia ponte quando usam duas chaves semicondutoras, ou ponte completa (ponte H) neste caso usando quatro chaves semicondutoras (AHMED, 2000).

### 3.4 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DOS CONVERSORES CC/CA

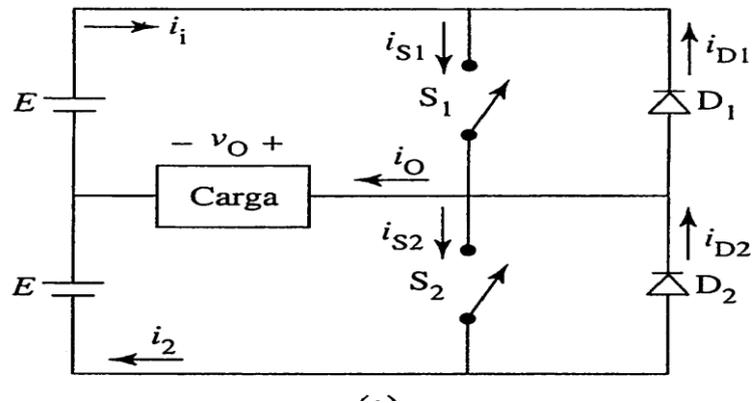
Para o funcionamento dos conversores CC/CA tipo meia ponte temos:

Nessa topologia os inversores são compostos por dois pulsadores, que são configurados de modo que as duas chaves controladas não conduzam ao mesmo tempo, sendo assim  $S_1$  fica ligado por um tempo  $t_0/2$ , a tensão na carga  $v_0$  é  $v_s/2$ . Já no momento em que  $S_2$  está ligado por um tempo  $t_0/2$  tudo se inverte e a tensão será  $-v_s/2$  (RASHID, 2014).

Para Ahmed (2000), as duas chaves ligam e desligam a fonte CC, de forma alternada gerando na saída uma tensão CA com forma de onda retangular.

O diagrama de um inversor CC/CA meia ponte é mostrado na figura 2.

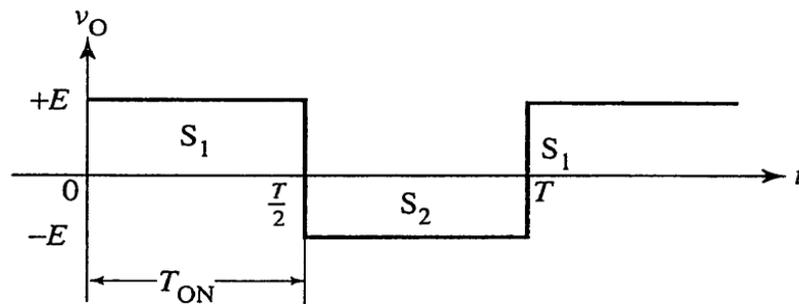
**Figura 2-**Diagrama do inversor CC/CA meia ponte



Fonte: Livro Eletrônica de Potência (AHMED, 2000).

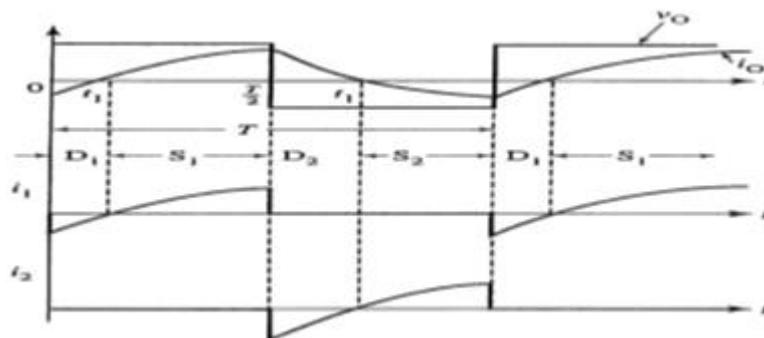
A figura 3 representa a forma de onda de um circuito CC/CA com carga Resistiva enquanto a figura 4 mostra a forma de onda com a carga RL (características resistivas e indutivas).

**Figura 3-**Forma de onda do circuito da figura 2 com carga R (resistiva)



Fonte: Livro Eletrônica de Potência (AHMED, 2000).

**Figura 4-**Forma de onda do circuito da figura 2 com carga RL(resistivo indutivo)



Fonte: Livro Eletrônica de Potência (AHMED, 2000).

Para calcular a frequência, segundo Ahmed (2000), usa-se a fórmula1:

$$f = \frac{1}{T} \text{ (HZ)} \quad \text{fórmula (1)}$$

Para a tensão de saída (rms):

$$V_0 = \sqrt{\frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} \frac{V_s^2}{4} dt} = \frac{V_s}{2} \quad \text{fórmula (2).}$$

Tensão instantânea de saída:

$$v_0 = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)) \quad \text{fórmula (3).}$$

Devido a simetria por conta do quarto de onda ao longo do eixo x considera-se  $a_0$  e  $a_n$  iguais a 0 então  $b_n$  define-se por:

$$b_n = \frac{1}{\pi} \left[ \int_{-\pi/2}^0 \frac{-V_s}{2} \sin(n\omega t) d(\omega t) + \int_0^{\pi/2} \frac{V_s}{2} \sin(n\omega t) d(\omega t) \right] = \frac{2V_s}{n\pi} \quad \text{fórmula (4).}$$

Então tem-se a tensão  $V_0$  instantânea:

$$v_0 = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \sin(n\omega t) \text{ e } v_0 = 0 \text{ para } n = 2,4, \dots \quad \text{fórmula (5).}$$

Onde  $\omega = 2\pi f_0$  é frequência da tensão de saída em rads/s, para componente fundamental  $n=1$  tem-se o valor da fundamental pela fórmula 6.

$$V_{01} = \frac{2V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0,45V_s \quad \text{fórmula (6).}$$

Para Ahmed (2000), pode-se calcular usando as seguintes fórmulas:

Para a tensão de saída (RMS):

$$V_0 = E \frac{T_{on}}{T/2} = 2E \frac{T_{on}}{T} = 2Ed \quad \text{fórmula (7).}$$

Para  $d$  tem-se:

$$d = \frac{T_{on}}{T} \quad \text{fórmula (8).}$$

Para tensão RMS ( $V_{rms}$ ):

$$V_0 = \sqrt{2d} E \quad \text{fórmula (9).}$$

Ao tratar-se da corrente deve-se considerar o tipo de carga a ser utilizado se for resistiva:

$$I_0 = \frac{V_0}{R} \quad \text{fórmula (10).}$$

Nas chaves tem a corrente:

$$\frac{I_0}{2} \quad \text{fórmula (11).}$$

Na carga de acordo com Ahmed (2000), a potência media absorvida:

$$P_L = \frac{V^2_{0(RMS)}}{R} = 2d \frac{E^2}{R} \quad \text{fórmula (12).}$$

Nas topologias onde se tem uma fonte CC com valores fixos, como baterias os inversores mais utilizados são os do tipo VSI (voltage source inverter) ou em português inversor fonte de tensão (AHMED, 2000).

Quando usado a topologia ponte H com quatro chaves tem-se a seguinte explicação:

Fórmulas para topologia em ponte H completa.

Tensão de saída rms:

$$V_0 = \sqrt{\frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} V_s^2 dt} = V_s \quad \text{fórmula (13).}$$

Tensão instantânea:

$$v_0 = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \text{sen}(n\omega t) \quad \text{fórmula (14).}$$

De acordo com Rashid (2014), para  $n=1$

$$V_{01} = \frac{4V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0,90V_s \quad \text{fórmula (15).}$$

---

## 4 PROJETO

Para melhor compreender e comprovar o estudo, foi desenvolvido um projeto de um inversor de fonte de tensão (VSI) em meia ponte com transformador de núcleo central center-tap com os seguintes parâmetros:

Tensão da fonte de 12 volts, por estar presente na maioria dos veículos no Brasil através das baterias de chumbo-ácidas e ser de fácil aquisição, também ter um preço mais acessível, sendo um dos fatores importantes no propósito do baixo custo deste projeto e também sendo a alternativa para consumidores sujeitos a normativa 414/2010, artigo 176 da ANEEL, usarem a bateria de seus próprios veículos como fonte de tensão.

As Chaves comutadoras MOSFETs IRF 3205 escolhidas para satisfazer as necessidades do projeto como a tensão e corrente suportada bem como a frequência de chaveamento acordo com a folha de dados (datasheet) visando uma resposta eficiente.

Transformador com núcleo ferromagnético na configuração center-tap por ser o mais comum, embora apresente perdas, seu custo é o mais baixo justificando o propósito do estudo, sua configuração foi a de tomada central (center-tap) encontrado no mercado pronto para uso e para frequência de 60Hertz.

O sinal de onda quadrada foi gerado através do circuito integrado 555 na configuração astável, devido a sua versatilidade e custo relativamente baixo, em sua saída foi conectado outro circuito integrado o LM 4013, usado como flip-flop tipo D, no qual o sinal foi extraído pelos pinos 1 e 5 respectivamente, onde os sinais de onda quadrada, são invertidos para que as chaves usadas sejam iguais, sendo acionadas em tempos alternados.

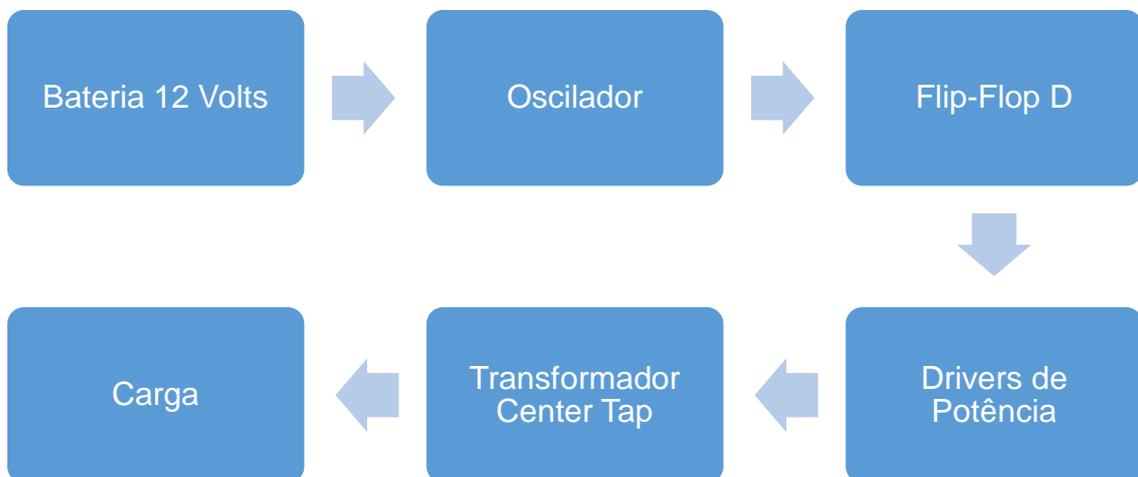
Os resistores R1 de 470 ohms, R2 de 27 Kohms, R3 de 1 Kohm, R3 e R4 de 1,5 Kohms todos de 1/8 de Watts, o potenciômetro de 100 Kohms linear, capacitores de poliéster sendo C1 10 nF (Nanofarads) e C2 de 100 nF.

### 4.1 DIAGRAMA DE BLOCOS

Diagrama de blocos do inversor CC/CA proposto na figura 5 é composto por uma fonte de tensão de 12 volts (bateria), oscilador responsável por gerar uma onda

retangular, com o circuito integrado 555 na configuração astável, um flip-flop tipo D, para que se tenha na saída dois sinais de forma inversa, ou seja, enquanto um estiver positivo o outro estará negativo, para isso foi usado o circuito integrado 4013, os drivers de potência são os MOSFETs IRF3205, responsáveis pelo chaveamento, um transformador elevador, para elevar o nível da tensão de 12 Volts para 127 Volts e finalmente, a carga, que são preferencialmente as lâmpadas resistivas ou de LED.

**Figura 5-** Diagrama de blocos do projeto do inversor CC CA



Fonte: O autor.

## 4.2 CÁLCULOS DO PROJETO

Para frequência fundamental precisamos de 60 Hertz isto significa que temos:

$$F = \frac{1}{T}$$

Temos:

$$T = \frac{1}{F}$$

Logo:

$$T = \frac{1}{60} \quad T = 0,0167\text{seg}$$

Para a saída do flip-flop devemos ter as características descritas acima, para sua entrada devemos ter o dobro da frequência saída, ou seja, 120 Hertz, com isso a saída do CI 555 deverá entregar:

$$F = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{F}$$

Então temos:

$$T = \frac{1}{120} \quad T = 0,00834\text{seg}$$

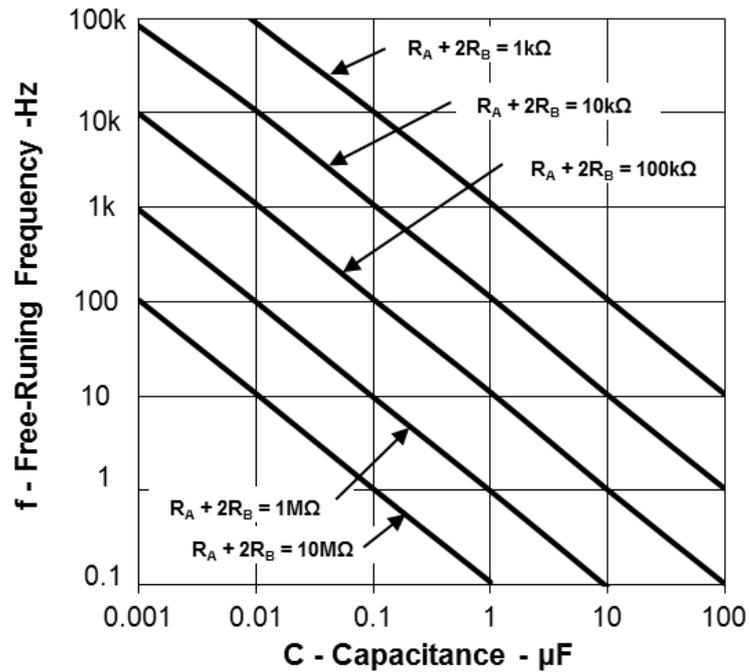
Consultando o datasheet (Folha de dados dos fabricantes de componentes) do CI 555 para calcular os intervalos de tempo em que a saída é alta ou baixa podem se usar as relações seguintes:

$$T_{alta} = 0,693(R_A + R_B)C$$

$$T_{baixa} = 0,693R_B C$$

Conforme tabela apresentada, na figura 6, extraída, também, do datasheet como sugestão para o capacitor na faixa de frequência estabelecida no projeto (120Hz) temos um capacitor de 100 nF, então atribuindo um valor para  $R_B$  e sabendo que  $T = 0,00834\text{seg}$  calculamos:

**Figura 6-** Diagrama para calcular os componentes do oscilador com CI 555 na configuração astável



Fonte: Datasheet CI 555.

$$T_{baixa} = 0,693R_B C$$

$$T_{baixa} = 0,693 * 27 * 10^3 * 100 * 10^{-9}$$

$$T_{baixa} = 0,001871seg$$

Para  $T_{alta}$  temos:

$$T_{total} = T_{baixa} + T_{alta} = 0,00834seg$$

$$T_{alta} = T_{total} - T_{baixa}$$

$$T_{alta} = 0,00834 - 0,001871$$

$$T_{alta} = 0,006469 seg$$

Para  $R_A$ :

$$T_{alta} = 0,693(R_A + R_B)C$$

$$0,006469 = 0,693( R_A + 27 * 10^3)100 * 10^{-9}$$

$$0,006469 = 0,0000000693( R_A + 27 * 10^3)$$

$$0,006469 = 0,0000000693R_A + 0,001871$$

$$0,004598 = 0,0000000693R_A$$

$$R_A = 66349,21 \text{ Ohms}$$

Mediante o resultado convencionou usar um potenciômetro de 100 Kohms para que seja possível fazer ajustes finos na forma de onda, equalizando o circuito com objetivo de aproximar o máximo possível da frequência de 60 Hertz

Então para a montagem do oscilador com CI 555 na configuração astável tem-se os seguintes componentes:

CI 555

RA=Potenciômetro de 100 Kohms

RB= 27 Kohms

R1= 470 ohms

R3= 1 Kohm

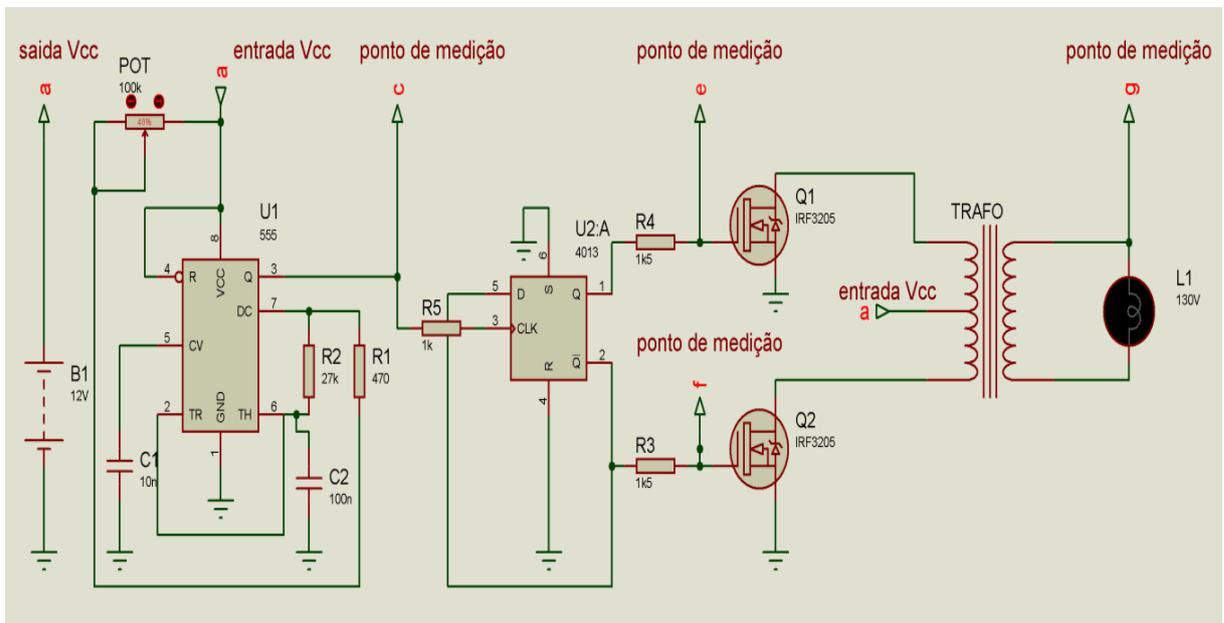
C1= 10 nF

C2=100 nF

### 4.3 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO

O diagrama esquemático do circuito, objeto do estudo, e seus pontos de medição onde foram coletadas as formas de ondas pode ser visto na figura 7, para confecção do circuito foi utilizado o software Proteus.

**Figura 7-** Esquema do projeto do inversor CC/CA.



Fonte: O autor

### 4.4 FORMAS DE ONDA PARA O CIRCUITO DA FIGURA 7

Formas de onda coletados no software Proteus com circuito utilizando como carga uma lâmpada (carga resistiva).

**Figura 8-**Formas de onda do circuito da figura 7 com carga R(resistivo)



Fonte: O autor

#### 4.5 TENSÃO E FREQUÊNCIA

Tensão e frequência encontrados no software proteus.

**Figura 9-** Tensão e frequência para o circuito da figura 7



Fonte: O autor

#### 4.6 FONTE DE 12 VOLTS CC

Como fonte de corrente continua foi sugerido uma a bateria de 12 volts podendo ser do tipo Chumbo-ácido, que são as mais comuns e mais baratas, mas tem baixa vida útil e requerem manutenção também necessita de flutuação (processo de carga que busca manter as baterias ou células um estado de carga próximo a carga plena), mas também podem ser baterias abertas com ligas de baixo-Antimônio nas placas positivas, baterias sem manutenção (usam liga de chumbo cálcio), baterias

seladas que podem ser chumbo-ácido reguladas a válvulas não requerem nenhum tipo de manutenção, baterias estacionárias com placas tubulares geralmente de liga Pb-Sb e podem ser usadas em qualquer posição de maneira geral como sugestão para recarregar estas baterias pode ser até mesmo um sistema de painéis solares, ou carro ou dispositivo eletrônico tendo em vista que o Inversor será usado de forma alternativa (somente em caso de falta de energia pela concessionária) (PINHO; GALDINO, 2014).

#### 4.7 OSCILADOR

Um dos amplificadores operacionais mais usados o Circuito Integrado 555, podem ser aplicados para diversas finalidades devido seu baixo custo e versatilidade. De acordo com Boylestad e Nashelsky (2013) este CI é uma combinação de comparadores lineares e flip-flops digitais, geralmente encapsulado com oito pinos (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2013).

Os valores de referência de tensão para os comparadores são feitos por uma conexão em série de três resistores ( $2/3 VCC$  e  $1/3 VCC$ ), a saída dos comparadores habilita ou desabilita o Flip-Flop, a saída deste é conectada a um estágio saída de amplificador operacional de ganho unitário.

Para o oscilador do projeto o CI 555 foi montado na configuração Astável, produzindo uma saída digital com uma determinada frequência também conhecido como clock ou multivibrador astável.

Com objetivo de fixar a temporização, no sinal de saída é usado um potenciômetro de 100K ohms em série com um resistor de 470 ohms ligados ao pino 7 do CI 555, o pino 7 é ligado ao pino 6 através de um resistor de 27K ohms e deste pino também sai um capacitor de 100 nF ligado para o terra, ainda o pino 2 é diretamente ligado ao pino 6.

A carga do capacitor acontece através dos resistores RV1 e R1 até ultrapassar  $2/3$  de VCC essa tensão é a referência do pino 6 fazendo o comparador disparar o Flip-Flop colocando o pino três em nível baixo, juntamente o transistor de descarga é ligado fazendo que o capacitor descarregue através de R2 pelo pino 7 com isso a tensão do capacitor cai ficando abaixo de  $1/3 VCC$ . A partir daí o Flip-Flop é disparado, a saída volta para nível alto e o transistor de descarga é desligado reiniciando o ciclo.

#### 4.8 FLIP-FLOP D

Para o flip-flop tipo D deste estudo foi usado um circuito integrado CD 4013 que de acordo com datasheet é um circuito integrado da família MOS sendo complementar monolítico (CMOS) com transistores de modo de aprimoramento de canal N e P, composto de dois flip-flop com entradas, clock, set, reset, e saídas independentes. Suas aplicações podem ser para fornecimento de energia, infraestrutura de rede, medicina saúde e fitness, eletrônica e iluminação, automação predial, infraestrutura de telecomunicações, teste e medição.

O flip-flop é um elemento de memória implementada a partir de portas lógicas, para o tipo D o nível lógico presente na entrada D será armazenada no flip-flop no instante em que ocorrer a borda de (subida ou descida), do clock (SILVEIRA).

A entrada de clock no pino 3 do CI 4013 foi ligada a saída do CI 555 através de um resistor de 1K ohms, os pinos 6 e 4 foram ligados ao terra nível baixo, o pino 5 foi ligado ao pino 2 de saída Q' e pino 1 fornece a outra saída Q, assim, quando o pino 1 estiver em nível lógico alto o pino 2 estará em nível lógico baixo obtendo o sinal de forma alternada pra enviar aos drivers de potência.

#### 4.9 DRIVERS DE POTÊNCIA

Para os drivers de potência foram utilizados MOSFETs IRF3205, cujas características mais se enquadraram para o projeto.

Possui baixa resistência de entrada, velocidade de comutação rápida, VDSS de 55 Volts RDS (on) de 8 m ohms ID 110<sup>a</sup>.

No terminal gate é conectado o sinal proveniente do flip-flop através de uma resistência de 1,5 Kohms.

#### 4.10 TRANSFORMADOR CENTER TAP

Transformador ferromagnético com razão de transformação de 10:1 em sua versão original determinado como sendo entrada de 127volts ou 220 volts com saídas de 12Volts +12volts com núcleo central (center tap), no entanto, para este estudo este transformador foi ligado de forma inversa, pois o projeto precisa de elevação de

tensão, para níveis próximos aos da rede de distribuição 127 volts rms, e esse tipo de configuração é possível para transformadores.

#### 4.11 CARGA

Dar-se-á preferência para Lâmpadas de LED e carregadores de Celulares, que são equipamentos de baixo consumo, e que apresentam bom funcionamento com tensão com as características apresentada neste inversor (forma de onda retangular), permitindo o uso da bateria por mais tempo sem que ela possa ser carregada imediatamente.

### 5 ANÁLISE E CONCLUSÕES

#### 5.1 ANÁLISE

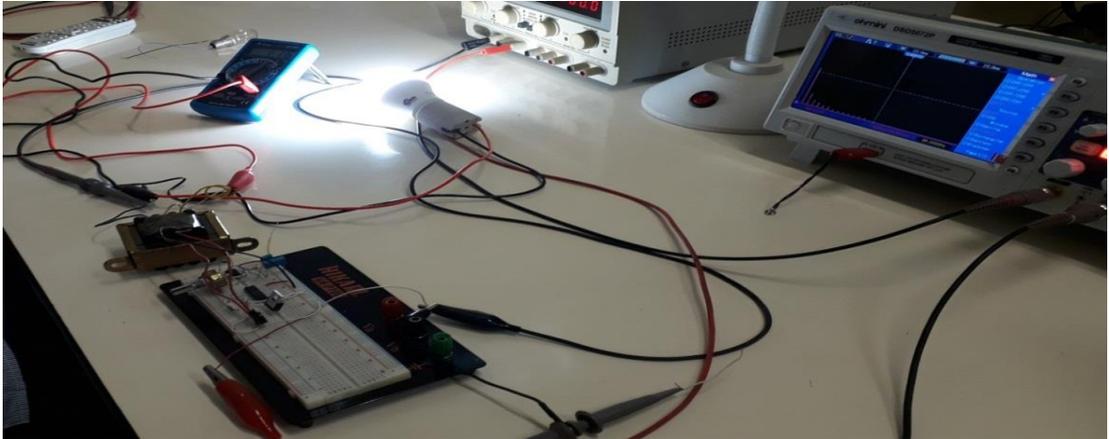
Para uma melhor compreensão do circuito da figura 07 projetado no software Proteus, foi realizado uma montagem pratica na protoboard e coletado as formas de onda pelo osciloscópio com as figuras 10 e 11:

**Figura 10-** Montagem do inversor CC/CA na protoboard em laboratório



Fonte: O autor.

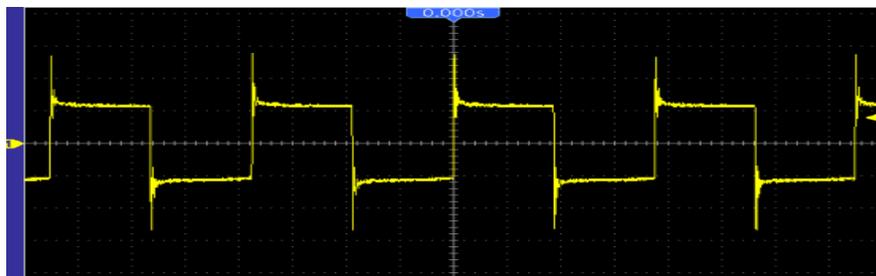
**Figura 11-** Circuito em funcionamento acionando uma Lâmpada LED 6 Watts



Fonte: O autor.

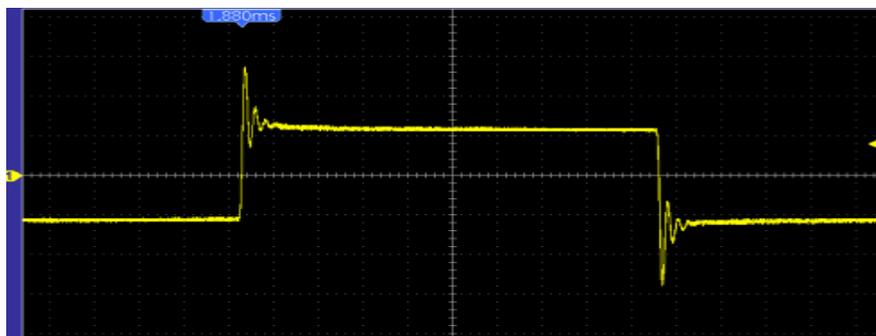
Nas figuras 12 e 13 tem-se as formas de ondas coletadas no pino 3 do CI 555 onde percebe-se uma pequena diferença com relação a onda do circuito da figura 8.

**Figura 12-** Forma de onda no pino 3 do Circuito Integrado 555



Fonte: O autor.

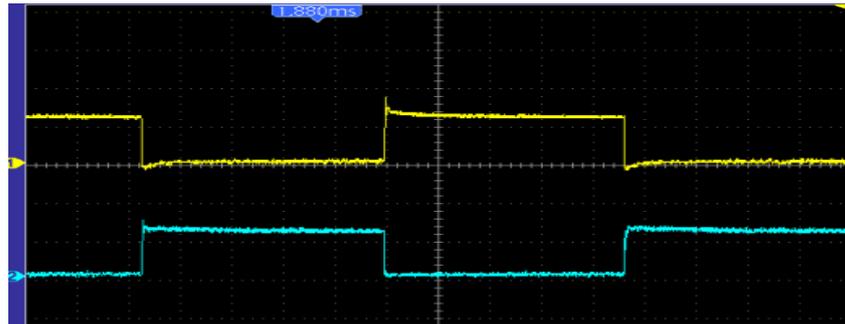
**Figura 13-** Detalhe da forma de onda da figura 12



Fonte: O autor.

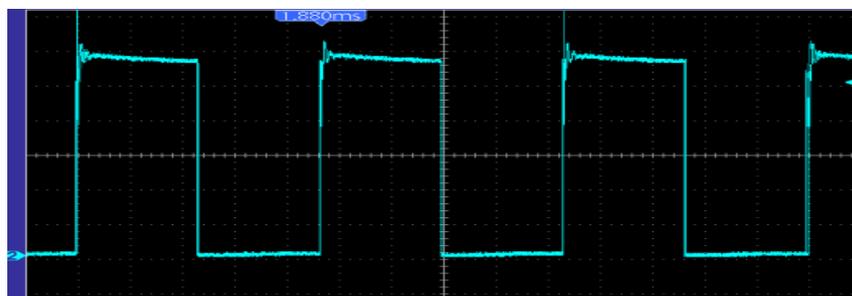
Nas figuras 14 e 15 serão demonstradas respectivamente as formas de onda obtidas nas saídas do flip-flop D, pinos 1 e 2 do CI 4013 e saída do transformador, bem como na figura 16 traz uma série de Fourier também coletada pelo osciloscópio no laboratório.

**Figura 14-** Forma de onda nos pinos 1 e 2 do Circuito Integrado 4013 (Flip-Flop D)



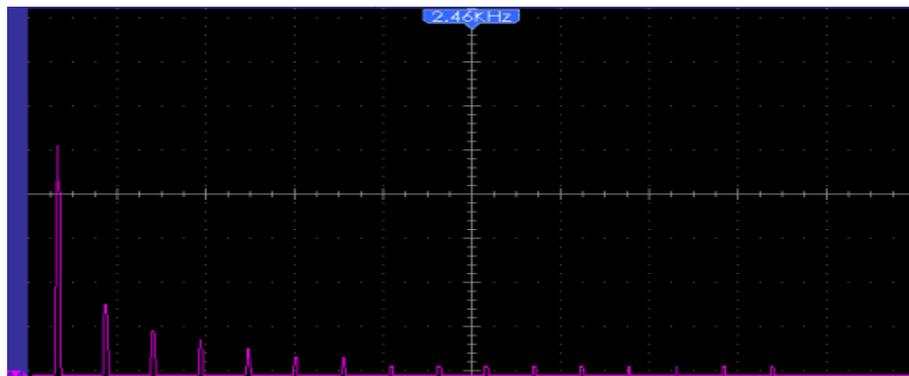
Fonte: O autor.

**Figura 15-** Forma de onda na saída do transformador tendo como carga lâmpada de LED 6 Watts



Fonte: O autor.

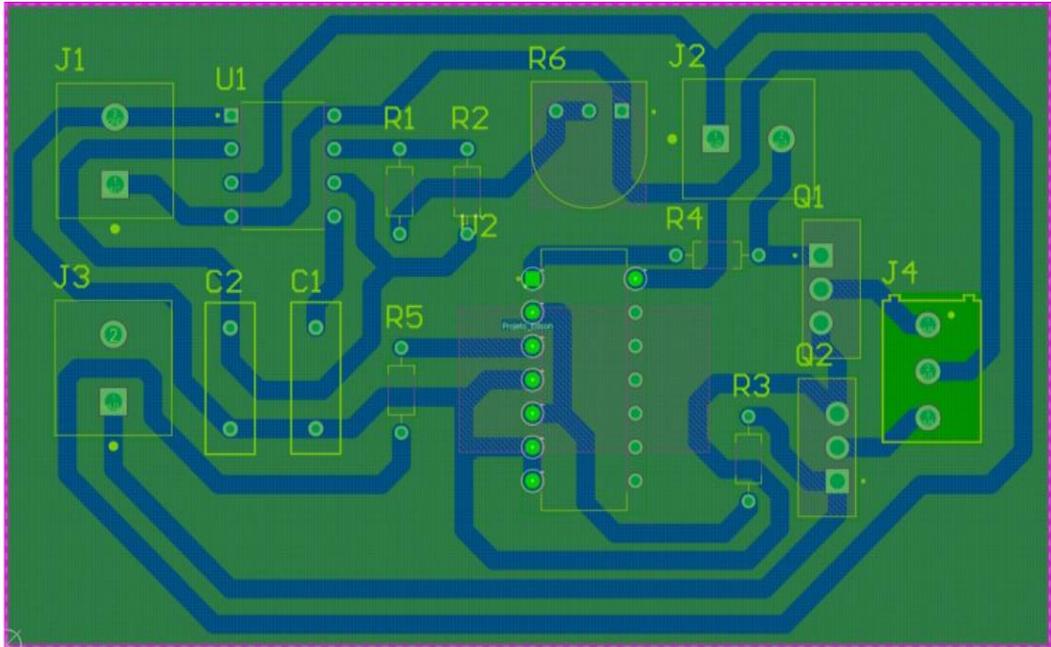
**Figura 16-** Serie de Fourier na saída do circuito com lâmpada de LED 6 Watts.



Fonte: Livro Eletrônica de Potência (AHMED, 2000).

A figura 17 mostra a preparação das trilhas do circuito através do software Altium.

**Figura 17-** Confeção das trilhas do circuito em placa de no software Altium



Fonte: O autor.

A figura 18 representa as trilhas de cobre do circuito do inversor CC/CA confeccionado em uma placa de circuito impresso.

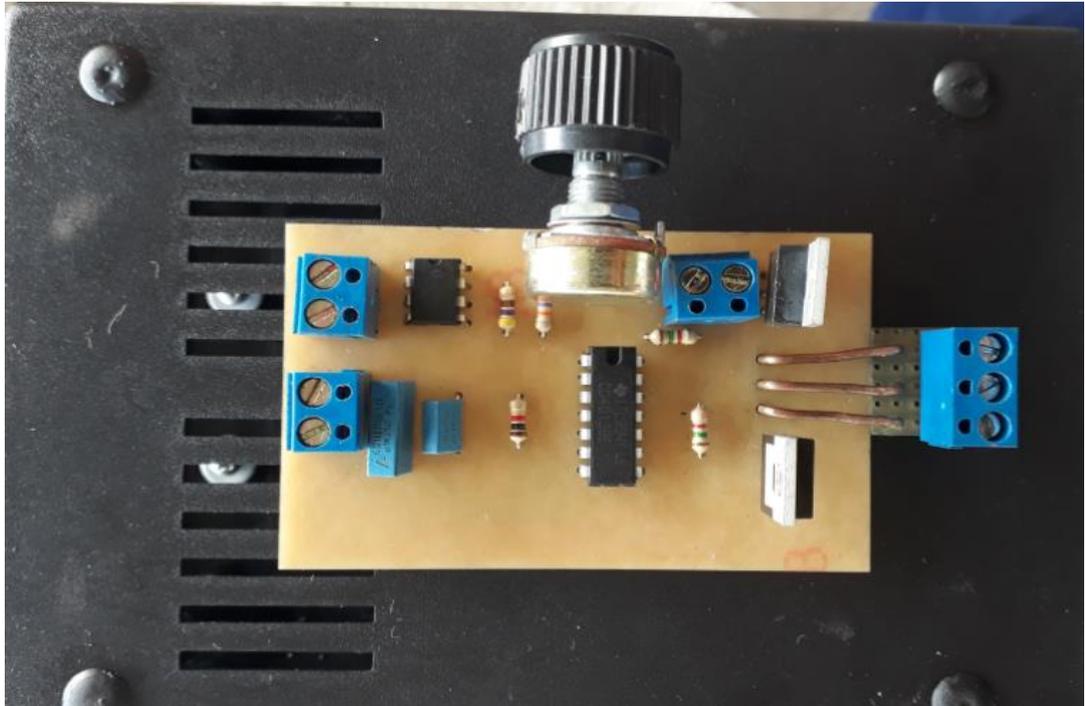
**Figura 18-** Confeção das trilhas do circuito em placa de circuito impresso



Fonte: O autor.

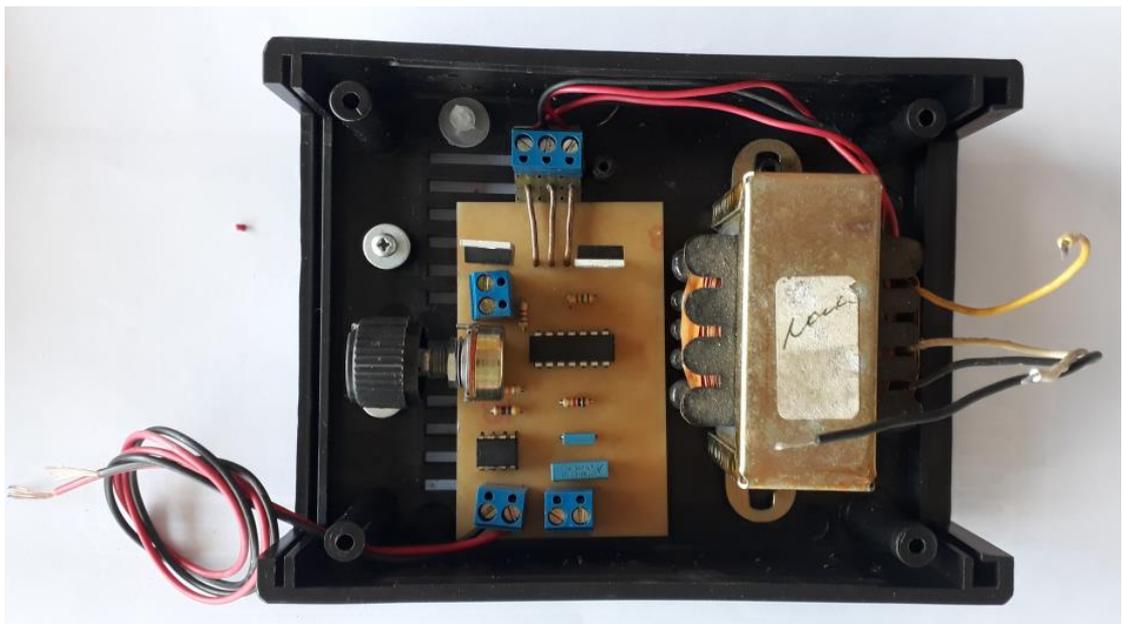
As figuras 19 e 20 respectivamente apresentam o circuito do inversor CC/CA confeccionado em uma placa de circuito impresso e montado em uma case.

**Figura 19-** Circuito inversor CC/CA confeccionado em placa de circuito impresso



Fonte: O autor.

**Figura 20-** Inversor CC/CA montado em uma case vista interna.



Fonte: O autor.

A figura 21 representa a sugestão final para o inversor CC/CA na sua CASE mostrando seu aspecto final externo.

**Figura 21-** Inversor CC/CA montado em uma case vista externa.



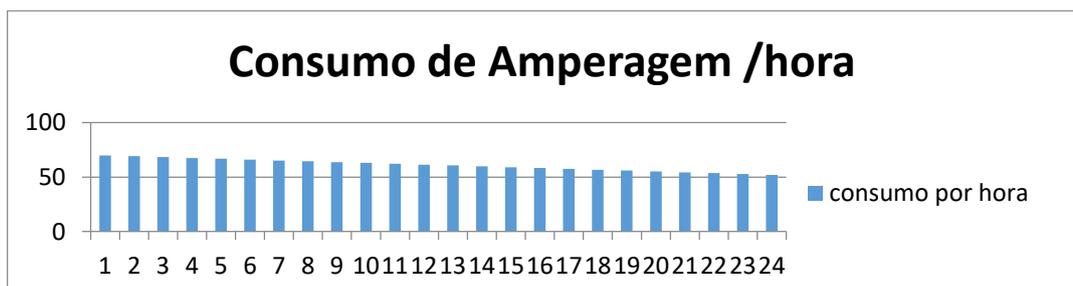
Fonte: O autor.

## 5.2 CONCLUSÃO

De acordo com o estudo realizado sobre os inversores CC/CA e seus componentes, tanto a parte da literatura, quanto as simulações via software e práticas laboratoriais realizadas, foi possível comprovar o dimensionamento, o funcionamento e o comportamento do circuito proposto apresentando, obtendo o resultado esperado.

O circuito se mostrou eficiente para o uso de iluminação com lâmpadas de Leds sendo possível estimar um tempo de duração de uma carga de bateria de 12 volts 70 amperes conforme linha do tempo mostrada na figura 22.

**Figura 22-** Projeção do consumo da bateria com carga de 6 Watts



Fonte: O autor.

No gráfico está o consumo relativo de uma lâmpada de 6 watts 127 volts acrescido de 3 watts referente ao consumo do circuito sendo possível afirmar que para esta carga a bateria teria carga para pelo menos 72 horas interrompidas, como objetivo é suprir faltas de energia, esta lâmpada seria acionada por aproximadamente 8 horas diárias, sendo assim esta bateria seria capaz de alimentar esta carga por aproximadamente 11 dias.

O circuito mostrou-se eficiente para o uso de carregadores de celulares. O custo de construção do circuito foi relativamente baixo, com tecnologia acessível, disponível nas literaturas, de fácil confecção e reparo, de pequeno porte, permite o aumento do transformador elevador seguindo critérios do datasheet dos MOSFETs e das fontes de tensão disponíveis.

Na tabela 1 traz os preços dos componentes utilizados para confecção do circuito inversor CC/CA proposto, está montado em uma placa de circuito impresso e em uma case, os preços dos componentes estão na nota fiscal Eletrônica NFE 000.036.899 07 Junho de 2022 serie1 e NFE 000.037 200 serie1 de 09 de Junho de 2022 não constam nas notas o transformador e a placa de fenolite cujos preços estão disponíveis em <https://www.baudaeletronica.com.br>.

**Tabela 1-** Tabela de preço dos componentes do inversor CC/CA

	<b>Valor Unitário</b>	<b>Quantidade</b>	<b>total</b>
Borne KRE 2 vias	R\$ 1,30	3	R\$ 3,90
Resistor 470 ohm 1/8 w	R\$ 0,10	1	R\$ 0,10
Resistor 1 Kohm 1/8 w	R\$ 0,10	1	R\$ 0,10
Resistor 1,5 Kohm 1/8 w	R\$ 0,10	1	R\$ 0,10
Resistor 27 Kohm 1/8 w	R\$ 0,10	1	R\$ 0,10
Potenciômetro	R\$ 3,00	1	R\$ 3,00
Capacitor 10nf	R\$ 0,40	1	R\$ 0,40
Capacitor 100nf	R\$ 0,70	1	R\$ 0,70
Transistor Irf 3205	R\$ 8,90	2	R\$ 17,80
CI 555	R\$ 1,20	1	R\$ 1,20
CI 4013	R\$ 1,60	1	R\$ 1,60
Gabinete	R\$ 21,00	1	R\$ 21,00
Placa fenolite virgem	R\$ 10,00	1	R\$ 10,00
Transformador center tap 500 mA	R\$ 32,00	1	R\$ 32,00
<b>Valor final</b>			<b>R\$ 92,00</b>

Fonte: O autor.

Por fim o circuito apresentou os resultados satisfatórios e esperados, podendo ser utilizado para iluminação e para recarregar aparelhos celulares conforme proposto pelo estudo apresentado.

## **ABSTRACT**

The objective of this work is to present a study on a low cost DC/AC inverter, where a voltage of 12 volts DC can be connected at its input, and at its output a voltage approaching 127 volts rms (root mean square) alternating (AC), as well as a literature review and also a project of an inverter, in order to prove the theory found in the literature, using components of easy acquisition and low cost, seeking to extract the maximum possible performance from the circuit. and compare with practical results. With an in-depth study of the literature and tests carried out in the laboratories, it was possible to present a simple and effective circuit, with relatively low prices, with a waveform and frequency that the literature recommends for a half-bridge DC/AC inverter circuit, which does not be directly connected to the distribution network of electricity concessionaires (isolated systems). It was analyzed that this circuit presented meets the requirements to be used as an alternative to take advantage of the use of available 12 volt direct current sources in residential lighting systems, transforming 12 continuous volts to 127 volts rms alternating and with a frequency of 60 hertz.

**Keywords:** DC/AC inverter. Low cost inverter. Literature review. Inverter design. Power Electronics.

## **REFERÊNCIAS**

AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de Potência**. São Paulo: Prendice Hall, 2000.

RASHID, Muhammad H. **Eletrônica de Potência Dispositivos, circuitos e aplicações**. 4ª ed. São Paulo: Pearson, 2014.

BARBI, Ivo. **Eletrônica de Potência, Projeto de fontes chaveadas**. Florianópolis-SC: Edição do Autor, 2001.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia pra Sistemas Fotovoltaicos**. Revisada e Atualizada ed. Rio de Janeiro: CEPTEL-DTE-CRESESB, 2014.

PACHECO, Juliano de Oliveira. **Desenvolvimento de um Sistema Didático para o Ensino de Conversores CC-CA com Monitoramento por Microcontroladores**. Monografia (Pos Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Florianópolis Santa Catarina, 2012.

BOYLESTAD, Robert L; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos Eletrônicos Teoria e Circuitos**. 11<sup>a</sup> ed. São Paulo: Pearson, 2013.

SILVEIRA, Daniel D. **Circuitos Lógicos Biestáveis R-S, J-K e D**.

Elétrica. Brasília: **ANNEEL 2012**: Centro de documentação CEDOC Agencia Nacional de energia Elétrica, 2012.

MOREIRA, José Hubner et al. **Resolução Normativa nº 414/2010: Atualizada até a REN 499/2012 Agência Nacional de Energia Elétrica**. Brasilia: ANEEL2012: Centro de Documentação CEDOC Agencia Nacional de Energia Elétrica, 2012.

OLIVEIRA, Alessandro Ricardo De. **Estudo da viabilidade de fabricação de dispositivos semicondutores baseados em filmes de carbeto de silício crescidos por PECVD**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

HART, Daniel W. **Electrónica de Potência**. Edição Espanhol ed. Madrid: Prendice Hall, 2001.