

Inversor de baixo custo controlado por voz integrado a sistema fotovoltaico automatizado

Marcos Paulo Guimarães Guerra

Edson Mancuzo

Edio Roberto Manfio

Resumo

Os sistemas fotovoltaicos estão gradativamente mais comuns e com melhor relação custo/benefício em função do avanço das tecnologias relacionadas. Nesses sistemas, os inversores são indispensáveis pois são responsáveis pela conversão da corrente contínua gerada pelos painéis fotovoltaicos em corrente alternada convencional. Entretanto, embora todos os inversores sejam passíveis de serem controlados e gerenciados de modo diferenciado e otimizado por softwares de monitoramento, esses recursos estão disponíveis a poucos equipamentos dessa categoria. O objetivo deste trabalho é apresentar maneiras alternativas de gerenciamento de energia limpa por meio do Processamento de Linguagem Natural - PLN - utilizando um inversor de baixo custo personalizado e um sistema fotovoltaico dotado de buscador solar automatizado. Para a realização deste estudo, foi feita pesquisa bibliográfica em áreas relacionadas como Eletrônica, Programação, PLN e Energia Fotovoltaica e o desenvolvimento do inversor. Os resultados foram satisfatórios tendo em vista que o controle do inversor e seu respectivo monitoramento dão maior autonomia ao operador quanto uso de energia limpa.

Palavras-chave: Inversor; energia fotovoltaica; comandos por voz.

Low-cost, voice-controlled inverter integrated with automated photovoltaic system

Abstract

Photovoltaic systems are increasingly common and with best cost/benefit in relation to the advancement of related technologies. On these systems, the inverters are indispensable because they are responsible for converting the direct current generated by the photovoltaic panels in alternating current. However, although all inverters are likely to be monitored and managed separately and optimized by monitoring software, these features are available within that category equipment. The aim of this work is to present alternative ways of clean energy management through Natural Language Processing - PLN - using a custom low cost inverter and a photovoltaic system with solar searcher automated. For this study, bibliographical research in related fields such as Electronics, Programming, PLN and Photovoltaics and the development of the inverter. The results were satisfactory considering that the inverter control and your respective tracking give greater autonomy to the operator as use of clean energy.

Keywords: *Inverter; photovoltaic energy; voice commands.*

1 INTRODUÇÃO

A energia fotovoltaica vem ganhando mais espaço entre as fontes de geração de energia convencionais existentes. Atualmente, ela corresponde a cerca de 1 (um) por cento da matriz energética mundial (TOLMASQUIM, 2016; TIBA, 2000). Comparativamente com as energias limpas e renováveis como a oceânica, eólica e heliotérmica a fotovoltaica diz respeito a menos de 1 (um) por cento do montante (TOLMASQUIM, 2016; TIBA, 2000). Porém, mesmo aparentemente pouco expressivo, são porcentagens recorde na história das energias renováveis. Entretanto, a maior parte da energia solar coletada pelos sistemas em todo o mundo não é armazenada em baterias, ou seja, é gerada e injetada na rede elétrica convencional por meio de inversores de grande potência e a concessionária de energia correspondente realiza o abatimento na conta de energia de acordo com a potência gerada pelo sistema em questão.

Uma possível aplicação deste inversor é auxiliar na implementação do Gerenciamento Pelo Lado da Demanda (GLD) em residências, escolas ou escritório, onde necessita-se retirar cargas específicas da rede elétrica em horários pré-estabelecidos, como por exemplo quando utiliza-se a tarifa branca.

Com a tarifa branca que o cliente da concessionária de energia elétrica pode vir a aderir, consiste em uma tarifa mais baixa fora dos horários de pico, tarifa intermediária entre as 17:00h e 18:00h e também 22:00h e 23:00h e tarifa mais alta nos horários de pico, considerado entre as 18:00h e 21:00h. Esta sistemática de cobrança é válida apenas para os dias da semana. Para os sábados, domingos e feriados a tarifa é única, ou seja, não há variação (ANEEL, 2016).

Já o GLD tem como objetivo reduzir consumo ou custos para a geração, transmissão e distribuição de energia utilizando de diversas estratégias, como o gerenciamento de carga, conservação de energia estratégica, geração de energia pelo lado do consumidor, entre outras (MANCUZO, 2017).

O sistema aqui proposto, embora seja um protótipo com um painel ‘fotovoltaico de 20 watts, não opera ligado diretamente à rede de abastecimento elétrica (*on-grid*) mas de modo autônomo (*off-grid*), carregando suas baterias durante o dia e fornecendo a energia acumulada a um circuito de iluminação compatível com a potência gerada, somente no período da noite. A conversão de corrente contínua das baterias em corrente alternada para o circuito de iluminação é feita a partir de um inversor de baixo custo desenvolvido e programado por alunos da Fatec Garça.

O circuito de iluminação pertence à sala de RJI da Faculdade de Tecnologia de Garça e conta com o recurso de desacoplamento da rede convencional. Isso significa que o circuito pode operar tanto com energia convencional da rede concessionária quanto com um sistema autônomo de geração, como é o caso. A comutação, por hora, é feita manualmente em função na natureza da atividade que visa demonstração ao público acadêmico e testes preliminares. O controle de operação e autonomia do inversor é realizado pelo mesmo aplicativo que monitora o buscador solar, cujas grandezas físicas - tensão, corrente, potência entre outras - podem ser consultadas a partir de um robô de conversação - *chatbot*.

Os testes preliminares mostram que a praticidade de controle e monitoramento do inversor gerada pelo aplicativo - desenvolvido para este fim - permitem não apenas ligar/desligar o inversor por voz no momento desejado, mas também controlá-lo à distância, condição em que o usuário/operador pode avaliar se de fato é necessário utilizar a energia acumulada para determinado fim.

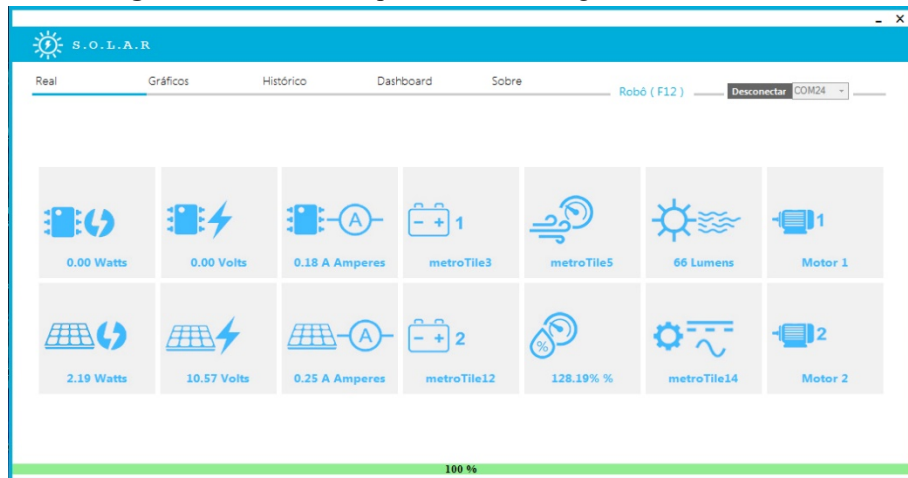
2 PROJETO S.O.L.A.R., ROBÔ SOLAR E INVERSOR

O Projeto S.O.L.A.R. – *Sistema de Orientação Latitude-Longitudinal Automático Regenerativo* (doravante apenas Solar) surgiu em 2016 com o desenvolvimento de dois protótipos para busca solar automatizados - *solar trackers* - denominados Protótipo Solar I e II. Com o Protótipo I em plena operação, desenvolveu-se um aplicativo para monitoramento e controle, tendo em vista a necessidade de se estabelecer comparações do sistema de busca solar automático com outros sistemas fixos quanto ao rendimento e viabilidade econômica.

O aplicativo, desenvolvido em C#, pode monitorar grandezas físicas diversas como tensão, corrente e potência, tanto aquelas geradas pelo painel fotovoltaico quanto aquelas relativas ao consumo do Protótipo durante operação (Figura 1). Há também opções de monitoramento da quantidade de luz – futuramente calibrada em lumens (Figura 2) temperatura ambiente, umidade do ar velocidade do vento e movimento

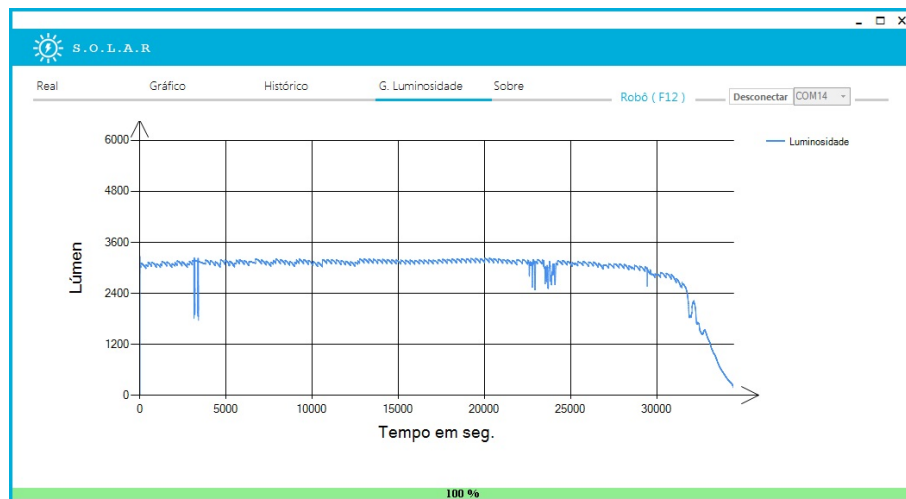
latitude-longitudinal do sol (Figura 3). Além desses, há também possibilidade de serem monitoradas outras grandezas como autonomia de baterias em tempo real para otimizar gerenciamento de energia por parte do usuário/operador.

Figura 1 – Interface do aplicativo exibindo grandezas físicas



Fonte: os autores.

Figura 2 – Gráfico do aplicativo exibindo quantidade de luz na transição dia, fusco-fusco e noite.



Fonte: os autores.

Figura 3 – Traçado latitude-longitudinal do sol em dia específico



Fonte: os autores.

Todas essas informações podem ser consultadas por meio dos dispositivos de entrada convencionais - teclado e mouse - ou pelo robô Solar (MANFIO; MORENO; GUERRA, 20XX), que é parte integrante do aplicativo de monitoramento do Projeto Solar. O robô Solar, cuja interface é representada na Figura 06, é baseado em outro robô já existente denominado Tical - Tecnologia Interativa Conversacional sobre Assuntos Linguísticos (MANFIO, 2016; MANFIO, MORENO, BARBOSA, 2014a; 2014b), utilizado para outros fins e relacionado à área de Linguística. Válido salientar que ambos, embora sejam muito parecidos em termos de linguagens de programação utilizadas, recursos e técnicas de busca por sinônimos, suas respectivas aplicações são bastante diversificadas.

Entretanto, diferentemente do simples monitoramento de grandezas físicas de um modo geral, o inversor necessita de recursos extras do aplicativo. Em outras palavras, não basta apenas saber se ele está ligado/desligado ou obter informações sobre autonomia das baterias – recursos que, por si só são bastante úteis e completos. É necessário também prover ao usuário/operador a possibilidade de controlar sua atividade – ligado ou desligado.

Isso significa que, diferentemente de um inversor de grande potência utilizado em sistemas *on-grid* nos quais é necessária sua operação em tempo integral, o inversor do Protótipo Solar só deverá ser acionado quando solicitado pelo usuário/operador. Note-se que é justamente este recurso que permite gerenciamento da energia armazenada e, portanto, possibilita otimização de recursos energéticos desta ordem.

Dessa forma, foi adicionado às rotinas de programação do robô o recurso de acionamento/desacionamento do inversor. Frases equivalentes como ‘ligar inversor’ ou ‘acionar inversor’ ativam a mesma rotina que solicita réplica por parte do robô para confirmar se o procedimento deve mesmo ser feito: ‘deseja ligar o inversor?’. Da mesma maneira, construções como ‘desligar inversor’ ou ‘desacionar inversor’ ativam uma rotina que também solicita réplica por parte do robô, para confirmar se a ação deve ser efetuada (Figura 06).

Esse cuidado em verificar com o usuário/operador se determinado procedimento deve mesmo ser feito é comum em sistemas operacionais, aplicativos e linguagens de programação e muito importante no Projeto Solar por diversos motivos: diminui a possibilidade de efetuar tarefas desnecessárias acidentalmente; minimiza a chance de o inversor ser ligado de imediato por falha do reconhecedor de voz; maximiza o efeito dos recursos voltados à preservação da energia acumulada.

Em versões futuras o robô poderá indicar a autonomia aproximada das baterias disponíveis para o inversor antes de pedir confirmação. Em projetos de domótica, por exemplo, o usuário/operador terá como escolher entre iluminação básica por tempo prolongado ou iluminação completa por tempo reduzido. Este tipo de recurso está alinhado ao conceito básico de eficiência energética (TOLMASQUIM, 2016; TIBA, 2000), uma vez que cabe também ao usuário – e não apenas ao sistema - decidir sobre como a energia deve ser utilizada.

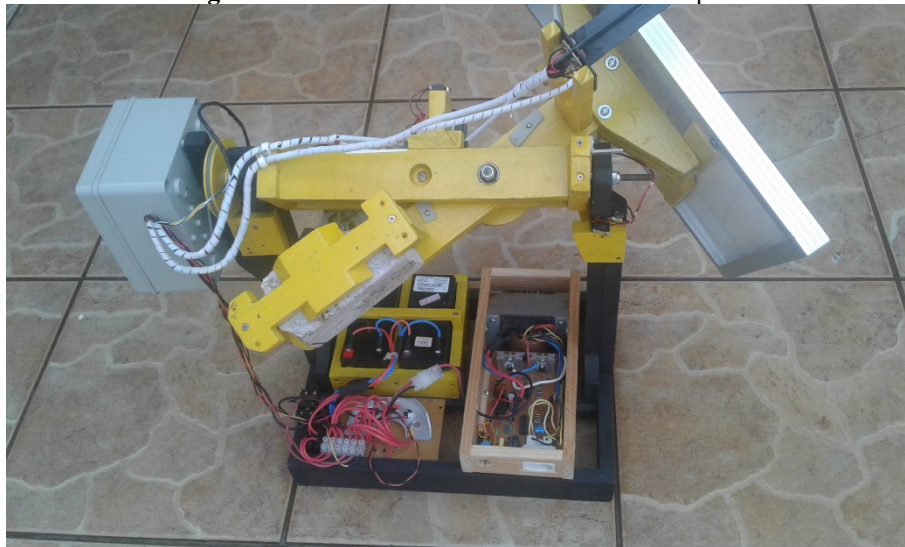
3 SOBRE O INVERSOR

De acordo com Matakas e Komatsu (2011, p.1) inversores correspondem a designação genérica referente a conversores estáticos que realizam a transformação de tensão (ou corrente) contínua em tensão (ou corrente) alternada e, por esse motivo, têm ampla aplicação nos diferentes âmbitos sociais: escolas, empresas e residências.

O inversor utilizado no Projeto Solar para testes foi desenvolvido por discente da Fatec Garça sob orientação de um professor da área e Engenharia Elétrica. Trata-se de um equipamento que trabalha alimentado com 12 volts em corrente contínua, fornece 110 volts em corrente alternada e tem capacidade de carga de até 350 watts.

Sua construção, bastante simplificada, conta com placa de circuito impresso, transformador e estrutura em madeira (Figuras 4 e 5). A escolha por esse aspecto construtivo leva em consideração alguns quesitos como baixo custo, adaptabilidade e compatibilidade às dimensões físicas ao Protótipo I (Figura 4) e maior disponibilidade de ventilação natural.

Figura 4 – Inversor encaixado na base o Protótipo I



Fonte: os autores.

A simplificação do inversor inclui os elementos dispostos em seu painel frontal que conta apenas com uma tomada padrão e a chave para acionamento manual (Figura 5).

Figura 5 – Painel frontal do inversor

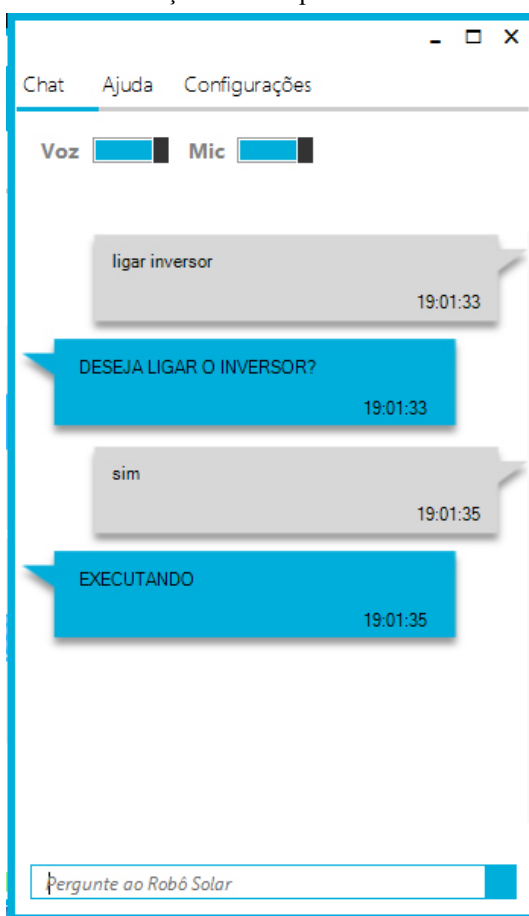


Fonte: os autores.

A forma de onda quadrada mista pode ser observada na Figura 09 cujas medições foram efetuadas com o inversor sem carga.

Vale lembrar que o outro diferencial deste inversor, além de ter sido desenvolvido especificamente para o projeto e ter características como simplicidade e baixo custo, é que pode ser totalmente controlado e monitorado pelo aplicativo Solar. Até o presente momento, efetuamos os testes de acionamento e desligamento do inversor utilizando o robô Solar como IHC principal. O robô, acessível a partir do aplicativo, controla a operação do inversor por meio de comandos por voz. Embora sejam basicamente dois comandos – “ligar inversor” e “desligar inversor” – o sistema conta com uma rotina de confirmação para as duas ações, ou seja, verifica novamente com o usuário/operador se o comando deve ser de fato atendido. A Figura 06 demonstra parte da conversa em que o usuário/operador solicita que o inversor seja ligado e o robô pede confirmação da ação. O mesmo ocorre para o desligamento, condição em que o desligamento não é efetuado caso não haja confirmação.

Figura 6 – Verificação do robô para confirmar tarefa



Fonte: os autores

Além da rotina de confirmação, outros cuidados foram tomados para que quando o usuário solicitar que o inversor seja desligado sem o mesmo estar ligado, isso não cause erros e “bugs” ao aplicativo, pois isso poderia travar o sistema. Para tanto, o código em C# se encarrega de utilizar variáveis para verificar se o inversor realmente está ligado ou desligado.

Após a confirmação da ação pelo usuário, o robô Solar envia um pequeno pacote de dados por um cabo USB/Serial contendo um único byte de caractere. O dado é recebido pelo Protótipo Solar e tratado pela programação em C armazenada na plataforma Arduino. Na figura 07 pode-se observar um pequeno trecho do código que utilizado. A rotina aguarda até que algum dado esteja disponível na porta serial, então a prevê algumas condições, cada condição procura uma letra específica, atualmente existem duas, porém

muitas condições podem ser adicionadas utilizando essa mesma lógica. Como exemplo, a letra referente ao acionamento e desacionamento do inversor é a letra ‘I’, após a condição da letra ‘I’ ser verdadeira, é utilizada uma lógica booleana de negação, ou seja, o inverso de verdadeiro é falso e o inverso de falso é verdadeiro, essa lógica é conhecida como negações de proposições simples (FORBELLONE e EBERSPACHER, 2005), onde se tem uma verdade e para negá-la basta invertê-la como é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo de negações de proposições simples

P	~P
Inversor ligado (Verdade)	Não ligar inversor (Falso)
Inversor ligado não (Falso)	Não Inversor ligado não (Verdade)

Fonte: os autores

Em outras palavras, o pino que ativa fisicamente o inversor inicialmente está desativado quando o protótipo é ligado, então a rotina referente ao acionamento do inversor lê em qual situação o pino se encontra se está em “High” ou “Low”, e então inverte sua condição. Caso esteja desligado (Low) ele passa a ligá-lo (High) e o inverso da lógica também é verdadeira, indefinidamente (Forbellone e Eberspacher, 2005). Essa prática evita que sejam utilizadas condições diferentes para ligar e desligar o inversor para evitar repetição de código, cujo detalhe da lógica está representado na Figura 07.

Figura 7 - Código em C do Arduino

```

if(Serial.available() > 0) {
  char a = Serial.read();
  switch(a) {
    case 'R': // atribuir R para resetar
      Serial.println("Resetando...");
      digitalWrite(ModoEspera, HIGH);
      MoverSul();
      delay(500);
      MoverLeste();
      cont=0;
      break;
    case 'I': //atribui I para trocar o inversor
      digitalWrite(Inversor,!digitalRead(Inversor));
      break;
  }
}

```

Fonte: os autores.

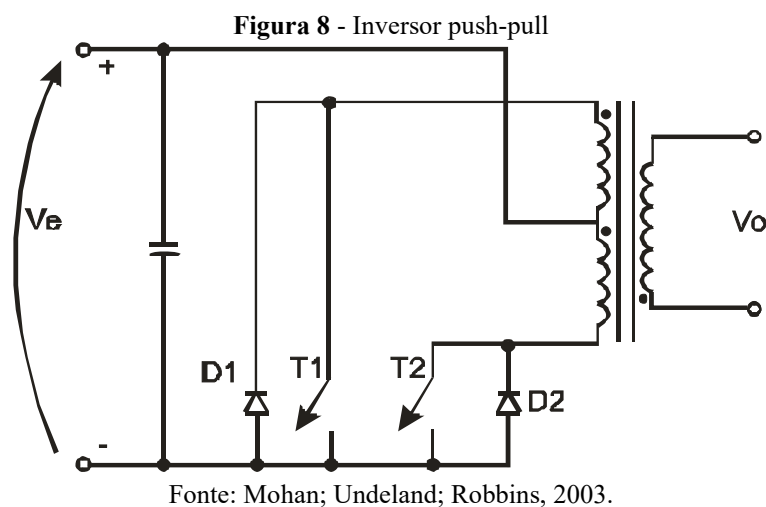
Como dito anteriormente, as rotinas de confirmação de ações em equipamentos que operam com comandos por voz são importantes quanto aqueles presentes em aplicativos e sistemas operacionais pois minimizam a possibilidade de o usuário/operador cometer falhas ao dar um comando inadequado para determinada circunstância. Embora o Projeto Solar atual opere com baixa potência - máximo de 350 watts – com o Protótipo I, em sistemas maiores como o de uma pequena residência ou escritório, desligar um dispositivo como um computador, iluminação ou modem pode trazer prejuízos ao bom andamento das tarefas diárias.

3.1 Topologia push-pull

O inversor push-pull modulado por pulso único, é o mais empregado na indústria para alimentar cargas críticas de até 1Kva onde a forma de onda não é importante, como por exemplo equipamentos com fontes chaveadas.

O conversor consiste em dois interruptores conectados entre o transformador e o terra. O transformador necessita de derivação central onde é conectado à fonte de energia (Figura 08).

A grande vantagem da topologia push-pull é que não mais que uma chave em série conduz ao mesmo tempo. Isto pode ser importante se a entrada dc do conversor é uma fonte de baixa tensão, como uma bateria, onde a parcela de tensão que atravessa mais de uma chave em série pode resultar em significativa perda de eficiência energética (MOHAN; UNDELAND; ROBBINS, 2003).



Para garantir na saída do conversor push-pull uma tensão constante independente da carga e compensar as variações da fonte de entrada, a alternativa mais econômica é a criação do terceiro nível de tensão no centro da forma de onda.

Além da vantagem já citada, a isolamento natural da saída devido ao transformador, o uso de apenas duas chaves e o controle relativamente simples torna esta topologia atrativa e de baixo custo.

3.2 FORMA DE ONDA E TENSÃO DE SAÍDA DO INVERSOR

A forma de onda gerada no circuito inversor é do tipo quadrada com passagem por zero (da tensão), e é a mais comum utilizada em inversores de tensão, pelo seu baixo custo e grande área de aplicação.

As tensões obtidas em corrente alternada na saída do inversor podem ser observadas na Tabela 01 e foram extraídas durante a medição com osciloscópio digital representado na Figura 08.

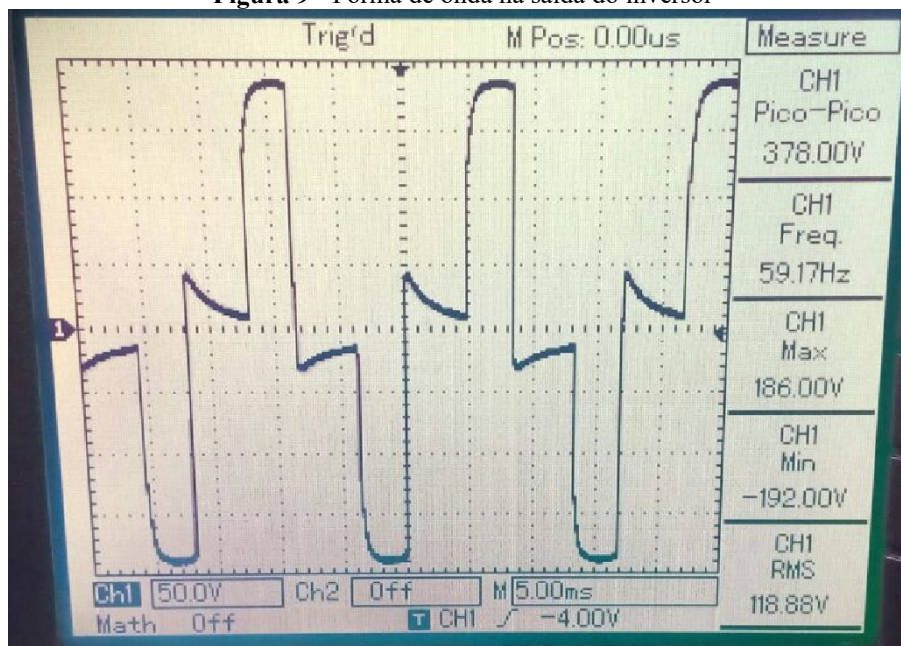
Tabela 2 – Tensões obtidas

Pico a pico	378 V
Máxima	186 V
Mínima	-192 V
Tensão RMS	118.88 V

Fonte: os autores

Estes dados mostram que existe uma parcela de componente dc na tensão de saída, que pode ser proveniente da assimetria do acionamento das chaves.

Figura 9 - Forma de onda na saída do inversor



Fonte: os autores.

3.3 Autonomia

Em testes realizados ao sol utilizando uma carga de 65 W, o inversor permaneceu operante durante o período de 2 horas e 40 minutos. Quando as baterias atingiram a tensão mínima de trabalho (10.8 V), o circuito desligou-se automaticamente, garantindo o bom funcionamento das baterias e suas condições ideais de trabalho.

Duas baterias seladas de 12 V. e 7 A. foram montadas em paralelo fornecendo um total de 14 A. Em condições normais, com o sistema sendo abastecido pelo sol por meio do painel de 20 watts, o tempo total de operação de 160 minutos com descarregamento parcial das baterias foi considerado satisfatório.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi possível apresentar algumas maneiras alternativas de gerenciamento de energia limpa por meio do PLN utilizando um inversor de baixo custo personalizado e um sistema fotovoltaico dotado de buscador solar automatizado. Pode-se verificar, entre outros fatos que, dar ao usuário/operador o poder de acionar o inversor quando necessário aumenta as possibilidades de uso.

Com a aplicação do inversor DC/AC para sistemas de captação de energia solar, possibilita-se, utilizar sistemas de painéis solares dotados de banco de baterias, que normalmente fornecem tensão 12 volts, para alimentar eletrodomésticos convencionais que operam com 127 volts, como ventiladores, televisores, computadores, lâmpadas entre outros, seja no âmbito doméstico, comercial, industrial e até na zona rural, considerando a possibilidade de implementação de GLD com a tarifa branca.

Portanto, pode-se verificar que, com um baixo custo e um equipamento compacto, é possível reduzir o consumo de energia elétrica de residências e fazer uso de uma energia

que normalmente é desperdiçada, e, com isso, além da economia ao usuário, contribuir para a não utilização de fontes energéticas que são danosas ao meio ambiente, como usinas termoeletricas por exemplo, uma vez que existe um menor consumo de energia.

REFERÊNCIAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifa Branca - Aneel**. Brasília, 2016a. Disponível em:< <http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>>. Acesso em: 13 de jan. 2017.

FORBELLONE, André Luiz Villar; EBERSPACHER, Henry Frederico. **Lógica de programação: a construção de algoritmos e estruturas de dados**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

MANCUZO, Edson **Impacto do gerenciamento pelo lado da demanda no consumo residencial**. 2017. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2017.

MANFIO, Edio Roberto. **Avaliação de dispositivos acionados por voz e texto para o Português Brasileiro**. 2016. 121 f. Tese (Doutorado em Estudos da Linguagem) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

MANFIO, Edio Roberto; MORENO, Fabio Carlos; BARBOSA, Cinthyan Renata Sachs Camerlengo de. Tecnologia Interativa Conversacional sobre Assuntos Linguísticos - Tical: Linguagem e Significação. In: SEMINÁRIO DE ESTUDOS SOBRE LINGUAGEM E SIGNIFICAÇÃO,9.,2014, Londrina. **Resumos...** Londrina: UEL, 2014a. p. 54-55.

MANFIO, Edio Roberto; MORENO, Fabio Carlos; BARBOSA, Cinthyan Renata Sachs Camerlengo de. Professor Tical: robô de conversação sobre dialetologia e geossociolinguística. In: CIDS - CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIALETOLOGIA E SOCIOLINGUÍSTICA – VARIAÇÃO, ATITUDES LINGUÍSTICAS E ENSINO, 3., 2014b, Londrina. **Resumos...** Londrina: UEL, 2014b. p. 48.

MATAKAS, Lourenço; KOMATSU, Wilson. **Inversores**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1589063/mod_resource/content/1/Apostila_d_e_inversores_v09062011.pdf>. Acesso em: 15 Ago. 2017.

MOHAN, Ned; UNDELAND, Tore M.; ROBBINS, Willian P. **Power electronic, converters, applications, and design**. 3. ed. Minesota: Jonh Wiley & Sons, 2003.

TIBA, Chigueru et al. **Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.

TOLMASQUIM, Maurício T. **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.