



Construção de um conversor CC-CC bidirecional para estudos do estado de saúde de baterias de chumbo-ácido

Construction of a bidirectional DC-DC converter for state of health studies of lead-acid batteries

Gabriel Evilácio Rissa de Souza¹, Beatriz Masquetti Pelz², Osvaldo Jackson Silva Vieira dos Santos², Sebastián de Jesús Manrique Machado³, Vinícius Dário Bacon³.

RESUMO

Baterias possuem diversas aplicações na sociedade moderna, por consequência disso, se faz fundamental o conhecimento sobre indicadores que possibilitem a verificação se a bateria está em um bom estado de uso, ou se está no fim de sua vida útil, sendo que uma das principais referências é o estado de saúde. Para a obtenção desse parâmetro, dentre os principais métodos presentes na literatura, este trabalho teve como foco a técnica de espectroscopia eletroquímica de impedâncias. Não obstante, para realizar estudos de impedâncias de baterias são necessários dispositivos capazes de efetuar trocas energéticas entre a bateria e outro circuito, de tal forma, para a aplicação desse artigo foi realizado a construção de um conversor CC-CC bidirecional em laboratório, servindo para operações de carga de uma bateria de chumbo-ácido. Com isso, o estudo foi realizado em dois níveis distintos de frequência, obtendo sinais de tensão e corrente que são necessários para o uso da técnica estudada, além de validarem a sua aplicabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: baterias; conversor CC-CC bidirecional; estado de saúde.

ABSTRACT

Batteries have diverse applications in modern society, by consequence it is fundamental the knowledge of indicators that enable the verification if the battery is in a good condition of use, or if it is in the end of its useful life, whereas one of the main references is the state of health. To this parameter obtainment, among the main methods present in the literature, this paper focused in the electrochemical impedance spectroscopy technique. Although, to realize studies of battery impedance it is necessary capable devices to perform energetic changes between the battery and other circuit, in such a way, to this paper application it was built a bidirectional DC-DC converter in laboratory, serving for load operations of a lead-acid battery, to validate the studied method. Therefore, the study was made with two different frequencies, obtaining voltage and current signals that are necessary to use the studied technique, in addition to validating its applicability.

KEYWORDS: batteries, bidirectional DC-DC converter, state of health.

INTRODUÇÃO

Desde sua invenção, as baterias têm desempenhado um papel fundamental nos tempos modernos, podendo ser utilizada em inúmeras aplicações que contribuem com a sociedade. Em decorrência de tamanha importância, diversos estudos foram desenvolvidos com o decorrer dos anos, tendo como objetivo desenvolver novas tecnologias, e novos métodos de gerenciamento de baterias (KULARATNA, 2011).

¹ Bolsista do Edital 2022-3 de Iniciação Tecnológica. Fomento: CNPq. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: gabrielsouza.2001@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 3299790965405349.

² Aluno Voluntário. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: beatrizpelz@alunos.utfpr.edu.br, osvaldojackson@hotmail.com. ID Lattes: 2450702055816920, 5695994762052933.

³ Docente no Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: sebastiand@utfpr.edu.br, viniciusbacon@utfpr.edu.br. ID Lattes: 2866118071883988, 0702667817086590.



A continuidade de realização de estudos sobre baterias é primordial para o avanço tecnológico de vários setores, como o sistema elétrico, mediante aos recentes acontecimentos no Brasil, onde energias renováveis começam a apresentar uma parcela importante na matriz elétrica brasileira, correspondendo a mais de 20% do total da geração no ano de 2021 (EPE, 2022). Parte dessa porcentagem é composta por energia solar e eólica, sendo que, tais fontes de geração são intermitentes. Visando contornar este comportamento, torna-se viável a aplicação das baterias para o armazenamento de energia elétrica, além de auxiliar com a grande inserção da geração distribuída no Brasil, que não é contabilizada na matriz elétrica.

As baterias podem ser divididas em dois grandes grupos, as que são recarregáveis, e as que não possuem tal característica, sendo que, para a aplicação de mitigação da intermitência, e para outros empregos, as baterias devem pertencer ao primeiro grupo. De tal forma, faz-se necessário o uso de um dispositivo capaz de realizar diversos ciclos de cargas, e descargas da bateria, podendo ser utilizado um conversor CC-CC (Corrente Contínua) bidirecional. Esta ferramenta também é fundamental para a realização de estudos relacionados com baterias.

Além de realizar um breve estudo sobre baterias, bem como alguns de seus métodos de gerenciamento, este trabalho objetiva a construção de um conversor CC-CC bidirecional em laboratório. Com isso, e com os resultados obtidos, é possível realizar análises significativas de conceitos técnicos sobre baterias, bem como fundamentar uma primeira etapa de um dos métodos de se determinar a vida útil de uma bateria, cujo objetivo é que seja concluído em trabalhos futuros.

ESTUDO SOBRE BATERIAS

Dentre as principais tecnologias de baterias, as de chumbo-ácido são as mais antigas, e também as mais utilizadas no mercado de baterias recarregáveis, sendo empregada em larga escala nas aplicações automotivas, além de terem um papel significativo no ramo industrial, bem como para armazenamento de energia em sistemas de geração fotovoltaicos, e também eólicos (JIANG; SONG, 2022; KULARATNA, 2011).

ESTADO DE SAÚDE DE BATERIAS

Em virtude das diversas aplicações mencionadas, é importante que existam estudos sobre parâmetros para obter uma melhor eficiência ao utilizar baterias de chumbo-ácido, e também para prolongar sua vida útil. Além disso, operações inadequadas, bem como a idade da bateria, pode acarretar em diversos problemas, desde a perda da capacidade de carga, até a explosões. Sendo assim, é aplicável um indicador para medir o envelhecimento de uma bateria, conhecido como o estado de saúde (SOH – *State of Health*), que é a relação da capacidade atual de armazenamento da bateria, com a sua capacidade no início de sua vida (JIANG; SONG, 2022).

Decorrendo do fato que a determinação do SOH de uma bateria não é trivial, inúmeras pesquisas foram realizadas com o decorrer do tempo, estruturando diversos métodos para determinação do estado de saúde (HUET, 1998; JIANG; SONG, 2022; KULARATNA, 2011; XIONG; LI; TIAN, 2018). Com isso, é possível apresentar os métodos fundamentais de determinação do SOH separados em quatro grupos, conforme consta na Figura 1, sendo dividido pela linha tracejada as vantagens e desvantagens.

Figura 1 – Métodos de determinação do estado de saúde

MÉTODOS PARA DETERMINAR SOH (State of Health)			
MEDIÇÃO DIRETA	ANÁLISE INDIRETA	ALGORITMOS	DATA-DRIVEN
<p>Contador de Coulomb</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erro praticamente nulo. - Necessita ambiente controlado; - Monitoramento demorado. <p>Espectroscopia Impedâncias</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modelo SOH de outras baterias. - Necessita ambiente controlado; - Longo tempo de teste. 	<p>Curva de carga</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fácil aplicação. - Não é possível aplicar carga rápida. <p>Inspeção Ultrassônica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Possibilita analisar defeitos internos de difícil detecção. - Não é trivial determinar SOH. 	<p>Circuito Equivalente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alta precisão; - Não precisa medição constante. - Grande esforço computacional. <p>Descarga em corrente constante</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desconsidera efeitos eletroquímicos da bateria. - Insatisfatório em bateria de lítio. 	<p>Empírico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aspectos inexplicados pelo circuito equivalente. - Grande esforço computacional. <p>Rede Neural</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fácil implementação. - Alta quantidade de dados; - Processo muito caro.

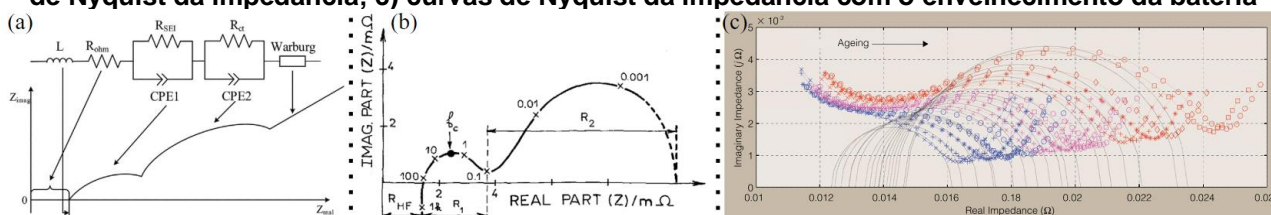
Fonte: Adaptado de Souza (2022)

ESPECTROSCOPIA ELETROQUÍMICA DE IMPEDÂNCIAS

Dentre os métodos apresentados na Figura 1, o vigente trabalho destinou atenção aos estudos sobre o método de determinação da espectroscopia eletroquímica de impedâncias (EIS – *Electrochemical Impedance Spectroscopy*), técnica que é realizada em quatro etapas. Primeiramente, é calculado vários valores de impedância em diversas frequências, depois é determinado o SOH por meio do método de contador de Coulomb, posteriormente é feita uma análise regressiva dos valores, e por fim, por meio da equação obtida na etapa anterior, é determinado o SOH de outras baterias (JIANG; SONG, 2022).

Para fazer o uso da EIS é necessário compreender conceitos do circuito equivalente de uma bateria, como o visto na Figura 2 (a), relacionando com algumas características eletroquímicas. É possível compreender melhor esses comportamentos associando a níveis diferentes de frequência, por meio da curva de Nyquist da impedância apresentada na Figura 2 (b), sendo identificado dois *loops* capacitivos, o primeiro entre frequências de 0,1 e 100 Hz, e o segundo para frequências menores do que 0,1 Hz, já para frequências maiores que 100 Hz, há um comportamento indutivo, e também uma resistência de baixa magnitude em altas frequências. Essas características são importantes, pois a impedância de uma bateria varia conforme a idade, de acordo com o que é visto na Figura 3 (b), onde é visualizado várias curvas de Nyquist, realizadas com o envelhecimento da bateria, sendo que cada um dos pontos representa a medição da impedância em um determinado nível de frequência.

Figura 2 – Conceitos sobre o método EIS: a) circuito equivalente eletroquímico da bateria; b) curva de Nyquist da impedância; c) curvas de Nyquist da impedância com o envelhecimento da bateria



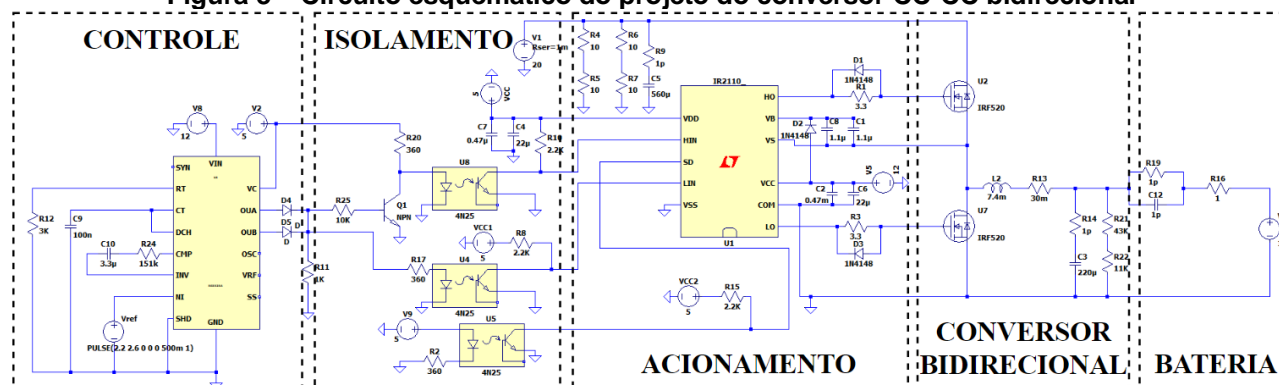
Fonte: GOEBEL et al. (2008); HUET (1998); XIONG; LI; TIAN (2018)

CONVERSOR CC-CC BIDIRECIONAL

Seguindo o que foi exposto anteriormente, este trabalho propôs a construção de um conversor CC-CC bidirecional para efetuar, de forma segura, tanto a carga, quanto a descarga, de uma bateria em laboratório. Na primeira operação, o conversor seguirá o fluxo de energia de um conversor *buck*, enquanto que, no momento de descarga, a energia fluirá conforme um conversor *boost* (SWAIN; PATI; KAR, 2023). O uso deste conversor CC-CC é essencial para garantir a maior estabilidade dos dados obtidos.

Visando tal objetivo, para a construção do conversor, faz-se necessário a utilização de outros elementos, portanto, foi elaborado o projeto no *software* LTspice de acordo com circuito esquemático apresentado na Figura 3, onde foi feita a divisão em cinco partes. Primeiramente tem-se um estágio de controle, sendo utilizado o circuito integrado (CI) SG3525, que gera os pulsos controlados pela razão cíclica proveniente de um sinal de um gerador de funções. Posteriormente, há uma etapa de isolamento para a proteção de ambos os estágios de controle e potência, por meio dos optoacopladores 4N25. Em seguida, foi utilizado o driver IR2110, que é responsável pelo acionamento das chaves de potência do conversor CC-CC bidirecional, ao qual, por fim, é conectado a bateria.

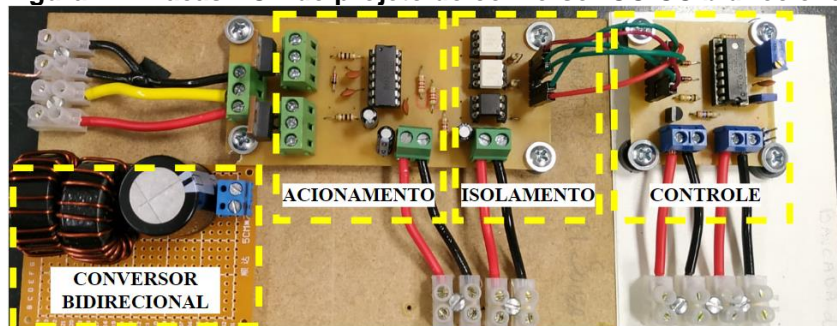
Figura 3 – Circuito esquemático do projeto do conversor CC-CC bidirecional



Fonte: Autoria própria (2023)

Tomando como base o circuito esquemático apresentado na Figura 3, foram construídas em laboratórios placas PCB (*Printed Circuit Board*), a fim de se elaborar o conversor CC-CC bidirecional, e com isso realizar estudos sobre baterias em momentos de carga e descarga. Com isso, na Figura 4 é apresentado as placas que foram produzidas, sendo também divididas nas mesmas partes da Figura 3, exceto a bateria.

Figura 4 – Placas PCB do projeto do conversor CC-CC bidirecional



Fonte: Autoria própria (2023)

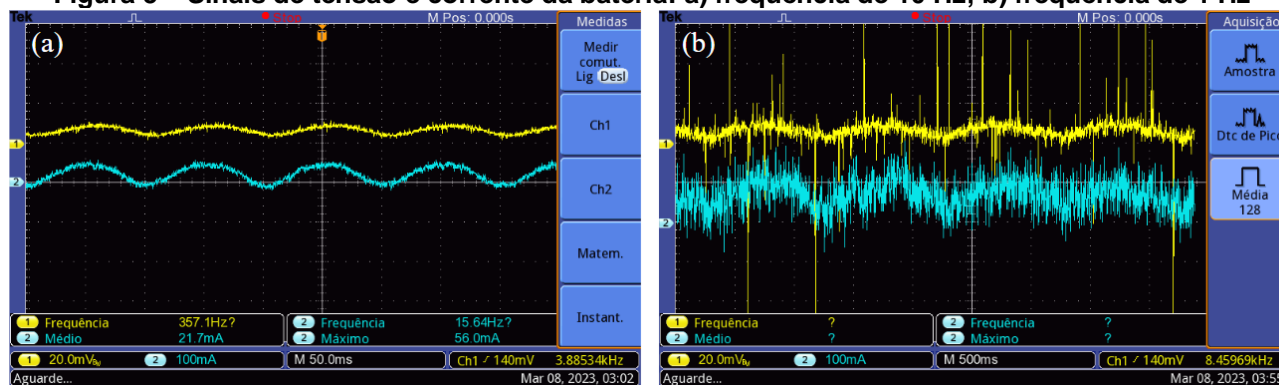


RESULTADOS

Com os conceitos compreendidos sobre baterias, bem como a construção do conversor CC-CC bidirecional, é possível realizar a obtenção de resultados experimentais. Pelo fato de que o atual trabalho destinou o foco para o método da espectroscopia eletroquímica de impedâncias, o objetivo foi realizar procedimentos de carga de uma bateria de chumbo-ácido em níveis diferentes de frequência, com o intuito de dar início a determinação do estado de saúde por meio do método EIS.

Em um primeiro momento, foi aplicado um pulso de característica senoidal com uma frequência de 10 Hz ao conversor CC-CC bidirecional, onde é apresentada na Figura 5 (a) a medição dos sinais de tensão, em amarelo, e de corrente, em azul, da bateria. Já na Figura 5 (b) é exposto os mesmos sinais da bateria, porém agora com um pulso de frequência de 1 Hz.

Figura 5 – Sinais de tensão e corrente da bateria: a) frequência de 10 Hz; b) frequência de 1 Hz



Fonte: Autoria própria (2023)

Realizando uma análise sobre a Figura 5, apesar de bem pequena, é possível identificar uma defasagem entre a corrente e tensão, em que a primeira se encontra adiantada em relação a segunda, ou seja, apresentando um comportamento capacitivo, seguindo conforme o esperado pela Figura 2 (a) e (b). Além disso, especialmente na Figura 5 (b), é verificada uma dificuldade na realização das medições dos sinais, isso decorre do fato que os ruídos causam bastante interferências em baixas frequências. Outro fator limitante do estudo se deve ao fato do comportamento não linear da bateria, sendo assim a impedância pode possuir distintos valores para cada ponto de operação, por tal motivo, a amplitude do pulso senoidal aplicado ao sistema não pode possuir uma ampla variação.

Ao fim, estes sinais de tensão e corrente obtidas são necessários para o cálculo da impedância em distintos de níveis de frequência, sendo este o primeiro passo para o uso da técnica EIS. O objetivo é que este cálculo seja realizado em trabalhos futuros, em conjunto com a obtenção de dados adicionais.

CONCLUSÃO

O presente trabalho retratou a importância dos estudos sobre métodos de determinação do estado de saúde de baterias, decorrente das diversas aplicabilidades que apresentam, sendo evidenciado também a necessidade de outros dispositivos para atuação em conjunto com as baterias, como o conversor CC-CC bidirecional.



Além disso, foi comprovado a aplicabilidade da utilização da técnica da espectroscopia eletroquímica de impedâncias para determinação do SOH, por meio dos resultados experimentais obtidos. Como objetivo futuro, esse trabalho visa a obtenção de novos dados com níveis distintos de frequências, para calcular a impedância e determinar o SOH, realizando ao fim a análise regressiva com os valores obtidos. Dessa forma, poderá ser aplicado de maneira completa o método EIS, e efetuar a determinação do estado de saúde de outras baterias.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CNPq pelo apoio financeiro recebido.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

EPE, 2022. **Balanço Energético Nacional (ano-base 2021)**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 1 maio. 2023.

SOUZA, G. et al.. **Promoção da inovação no norte do paraná por meio da análise de bancos de patentes sobre baterias..** In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais...Santa Helena(PR) UTFPR Santa Helena, 2022. Disponível em: <https://www.event3.com.br/anais/seisicite2022/546877-promocao-da-inovacao-no-norte-do-parana-por-meio-da-analise-de-bancos-de-patentes-sobre-baterias>. Acesso em: 1 set.2023

GOEBEL, K. et al. Prognostics in Battery Health Management. **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, v. 11, n. 4, p. 33–40, ago. 2008.

HUET, F. A review of impedance measurements for determination of the state-of-charge or state-of-health of secondary batteries. **Journal of Power Sources**, v. 70, n. 1, p. 59–69, jan. 1998.

JIANG, S.; SONG, Z. A review on the state of health estimation methods of lead-acid batteries. **Journal of Power Sources**, v. 517, p. 230710, jan. 2022.

KULARATNA, N. Rechargeable batteries and their management. **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, v. 14, n. 2, p. 20–33, abr. 2011.

SWAIN, N.; PATI, N.; KAR, P. **Design, Control and Analysis of Bi-directional DC-DC Converter with Battery Management System for Low Voltage Applications**. 2023 International Conference in Advances in Power, Signal, and Information Technology (APSIT). **Anais...IEEE**, 9 jun. 2023. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10201694>. Acesso em: 1 set. 2023

XIONG, R.; LI, L.; TIAN, J. Towards a smarter battery management system: A critical review on battery state of health monitoring methods. **Journal of Power Sources**, v. 405, p. 18–29, nov. 2018.