

# SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE UMA BICICLETA ERGOMÉTRICA

Leandro Rosa Dias<sup>1</sup>, Gustavo Brito de Lima<sup>2</sup>, Danillo Borges Rodrigues<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) – Universidade de São Paulo (USP), São Carlos – SP

<sup>2</sup> – Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas (ICTE), Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), Uberaba – MG  
rosadias.leandro@gmail.com, gustavo.brito.28@gmail.com, danillorodrigues@yahoo.com.br

**Resumo** - O presente trabalho propõe a análise e desenvolvimento experimental de um protótipo que substitui o freio mecânico de uma bicicleta ergométrica por um conversor eletrônico capaz de converter a energia mecânica gerada pela atividade física em energia elétrica, sendo possível sua injeção na rede através de um estágio inversor. A conversão da energia mecânica em energia elétrica é realizada através de uma máquina de corrente contínua (CC) acoplada ao eixo da bicicleta ergométrica e o controle da potência extraída dessa máquina é realizado através de um conversor CC-CC do tipo Boost, que por sua vez é controlado por um microprocessador DSP (*Digital Signal Processing*). Serão apresentados os detalhes de projeto do conversor CC-CC, da interface gráfica que permite ao usuário definir e monitorar em tempo real as condições operacionais da estrutura, além dos resultados experimentais preliminares da estrutura operando e extraindo potência da máquina de corrente contínua.

**Palavras-Chave** - Bicicleta Ergométrica, Conversor Boost, Energia Elétrica, Meio Ambiente, Potência Elétrica.

## INJECTION SYSTEM OF ACTIVE POWER IN THE ELECTRIC NETWORK THROUGH A STATIONARY BICYCLE

**Abstract** - This paper proposes the analysis and experimental development of a prototype that replaces the mechanical brake of a stationary bicycle for an electronic converter capable to convert the mechanical energy generated by physical activity into electrical energy, being possible its injection into the power network through an inverter stage. The conversion of the mechanical into electrical energy is performed through a DC machine coupled to the stationary bike shaft and the control of the extracted power from this machine is made via a Boost type DC-DC converter, which is controlled from microprocessor DSP (*Digital Signal Processing*). Furthermore, this paper will present the DC-DC converter design details, the graphical interface

which allows the user to set and monitor the operating conditions of the structure in real time and the preliminary experimental results of the structure in operation and drawing power from the DC machine.

**Keywords** - Boost converter, Electrical Energy, Electric Power, Environment, Stationary bicycle.

## I. INTRODUÇÃO

A energia elétrica tem tornado a sociedade moderna cada vez mais dependente do seu fornecimento, devido ao fato dela permitir trabalho, produtividade, desenvolvimento, conforto, comodidade, bem-estar e praticidade aos seus cidadãos [1].

Atualmente a questão energética obteve um significativo papel no contexto ambiental e na busca pelo desenvolvimento sustentável, sendo forte ocasionadora do aquecimento global. O principal motivo é o fato da matriz energética mundial ainda ser muito submissa à queima de combustíveis fósseis, cerca de 80%, cuja queima contribui para aumentar de forma ágil a concentração de gases-estufa na atmosfera [2]. Tal situação tem obrigado instituições não governamentais e órgãos públicos a adotarem estratégias que corroborem com a minimização destes impactos ambientais associados à realidade atual. Esta postura direciona minuciosos olhares de pesquisadores, engenheiros e cientistas ao campo das fontes renováveis de energia, o qual tem ganhado amplo espaço e contribuído significativamente para a diminuição deste problema.

Neste contexto, a literatura apresenta alternativas como a conversão de energia solar em elétrica para atendimento à demanda imposta [3], ou uma segunda opção que seria o aproveitamento de energia proveniente dos ventos, processo que vem se destacando e tem demonstrado grandes potenciais para contribuir incisivamente no atendimento dos requisitos necessários quanto aos custos de produção, segurança de fornecimento e sustentabilidade ambiental [4], ou também, uma terceira alternativa, a qual se baseia este trabalho, consiste em aproveitar o potencial energético humano despendido no dia-a-dia.

Concentrando as análises em perspectivas que englobe aspectos econômicos, tecnológicos e ambientais, é possível citar algumas vantagens em utilizar o potencial humano para geração de energia elétrica, tais como: 1) aplicabilidade tanto em países em desenvolvimento quanto em áreas remotas; 2) utilização independente em momentos em que haja falta no fornecimento de energia provenientes de fontes tradicionais; 3) conscientização ambiental; 4) e uso em dispositivos eletrônicos portáteis, pois suas tecnologias tem se



XIV CEEL - ISSN 2178-8308  
03 a 07 de Outubro de 2016  
Universidade Federal de Uberlândia - UFU  
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

desenvolvido a passos mais largos do que a vida útil de suas baterias.

Vinculado ao conceito de novas técnicas para geração de energia elétrica, tem-se a grande importância da eletrônica de potência que há décadas passa por aprimoramentos, principalmente após o desenvolvimento de semicondutores e microprocessadores. Esta é a tecnologia associada ao eficiente processamento e controle da energia por meios estáticos a partir das formas disponíveis de entrada e a forma desejada em sua saída.

Gerar energia elétrica por meio de bicicletas estacionárias é um processo que tem proporcionado trabalhos acadêmicos como em [5] e [6], que fizeram uso de alternadores para gerar a energia e armazená-la em bancos de baterias. Em [7] foi adaptada uma máquina CC ao eixo da bicicleta e a energia gerada poderia ser acessada por meio do barramento CC, logo após o conversor CC, ou no barramento CA, passando pelo estágio do inversor. Este tema também tem feito com que *start-ups* dos EUA iniciem seus projetos voltados à adequação dos equipamentos nas academias, tornando-as “amigas do meio ambiente” e permitindo descontos nas faturas mensais de energia elétrica [8].

No Brasil, a Resolução Normativa 487 da ANEEL [9], de 212, possibilitou nos últimos anos um crescimento exponencial no número de instalações de micro e minigeradores no próprio sistema de distribuição [10]. Em 2015, esta norma passou por revisões dando origem à Resolução Normativa 687 da ANEEL, a qual simplifica alguns aspectos para que os consumidores gerem suas próprias energias com acesso ao sistema de distribuição e recebam créditos junto às concessionárias de energia [11].

Desta maneira, o presente trabalho apresenta a análise e o desenvolvimento do protótipo de um conversor CC-CC capaz de processar o montante da energia elétrica gerada a partir de uma máquina de corrente contínua (CC) acoplada a uma bicicleta ergométrica tradicional. A máquina CC é responsável por converter energia mecânica em energia elétrica e o conversor CC-CC por controlar o nível de potência extraído da máquina CC, além de disponibilizar um barramento CC adequado para conexão de um conversor CC-CA de modo a injetar essa potência na rede elétrica local e, com isso, enquadre o protótipo no contexto de microgeração distribuída de energia elétrica, contribuindo parcialmente com os números de geração de energia de maneira limpa.

## II. COMPOSIÇÕES DO TRABALHO

Nesta seção são descritos os procedimentos adotados que em conjunto levaram à elaboração deste trabalho.

### A. Projeto mecânico

A elaboração deste projeto contou com a utilização de uma máquina que permitisse a conversão de energia mecânica em elétrica. Na Tabela I são apresentados os valores nominais referentes à máquina CC selecionada para tal uso e na Figura 1 é ilustrado o protótipo desenvolvido neste artigo, sendo composto por uma estrutura mecânica projetada e desenvolvida de maneira a permitir o acoplamento do gerador à bicicleta ergométrica vertical convencional.

Tabela I – Valores nominais do gerador de corrente contínua.

Tensão [V]	Potência [W]	Rotação [rpm]	Corrente [A]
24	210	2655	8,75



Fig. 1. Projeto mecânico para acoplamento do gerador à bicicleta ergométrica vertical convencional, permitindo uma velocidade angular próxima à nominal da máquina CC.

Durante uma atividade física, a rotação média verificada no eixo da roda é igual a 320 rpm. Assim sendo, como o gerador apresenta rotação nominal de 2655 rpm, foi necessário promover um ganho à velocidade angular, almejando chegar o mais próximo possível do valor definido na ficha técnica da máquina CC. Para isso, um jogo de correia com polias foi projetado resultando em um ganho de 9 vezes, tornando compatível a rotação do eixo da bicicleta com a máquina CC.

A máquina CC utilizada possui como característica uma relação proporcional entre a rotação aplicada a seu eixo e a tensão gerada em seus terminais de saída. Uma vez que a tensão de saída é atrelada à rotação, o ajuste da potência extraída da máquina é alcançado por meio do controle sob sua corrente elétrica. Destaca-se que o nível de potência extraído da máquina CC é diretamente proporcional ao nível de carga do exercício físico, ou seja, quanto maior o nível de potência requerido do conjunto, maior será o esforço físico necessário para o acionamento do conjunto. Nas bicicletas ergométricas tradicionais o controle da carga é implementado utilizando os freios mecânicos, com a energia mecânica sendo dissipada em sua totalidade na forma de calor. Assim sendo, este freio tradicional não é necessário no protótipo proposto, uma vez que a energia mecânica será convertida em energia elétrica, salvo as perdas da máquina CC.

### B. Projeto do conversor CC-CC

A topologia do conversor CC-CC Boost é mostrada na Figura 2, a qual foi escolhida para a elaboração deste trabalho por possuir característica de elevação de tensão e possibilidade de controle da sua corrente de entrada. O cálculo da indutância deste conversor pode ser realizado com base na expressão matemática dada pela Equação 1.

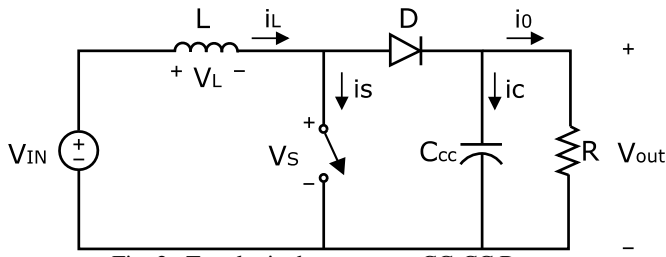


Fig. 2. Topologia do conversor CC-CC Boost.

$$L = \frac{V_{in} * D}{ripple * F_s} \quad (1)$$

Onde:

- $V_{in}$  - Tensão entrada do conversor Boost (V).
- $D$  - Razão cíclica do conversor.
- $ripple$  - Ondulação de corrente (A).
- $F_s$  - Frequência de chaveamento (Hz).
- $L$  - Indutância do conversor Boost (H).

Este projeto é bastante semelhante aos utilizados em sistemas fotovoltaicos, porém, nesta aplicação, não se necessita do capacitor de entrada, pois o controle é realizado apenas sobre a corrente e não tensão, como feito nos módulos solares. Com isso, o único capacitor que se fez presente na configuração é o do barramento CC, considerado como parte do inversor (conversor CC-CA), mas indispensável nas análises que validam este trabalho.

A partir das deduções realizadas por [12], foi possível utilizar a Equação 2 que fornece condições de projetar o capacitor do barramento CC.

$$C_{CC} = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot F_{rede} \cdot V_{out} \cdot \Delta V_{out}} \quad (2)$$

Onde:

- $P$  - Potência máxima do arranjo (W).
- $F_{rede}$  - Frequência da rede a qual será acoplado (Hz).
- $V_{out}$  - tensão para potência máxima (V).
- $\Delta V_{out}$  - ripple de tensão, 10% de  $V_{out}$  (V).
- $C_{cc}$  - Capacitância de saída do arranjo (link DC) (F).

O interruptor de chaveamento utilizado foi o MOSFET IRFP250N e o diodo da configuração foi o U1620G. O circuito eletrônico desenvolvido referente ao conversor Boost é ilustrado na Figura 3.

O controle do Boost é realizado através do DSP TMS320F38335, o qual é responsável por receber os sinais proporcionais de corrente e tensão lidos por meio dos sensores presentes na configuração, manipulá-los através de um programa computacional desenvolvido no *software* Code Composer Studio (CCS 6.1.0) de modo a acionar o interruptor de potência do conversor Boost. O algoritmo do referido programa computacional é apresentado na Figura 4.

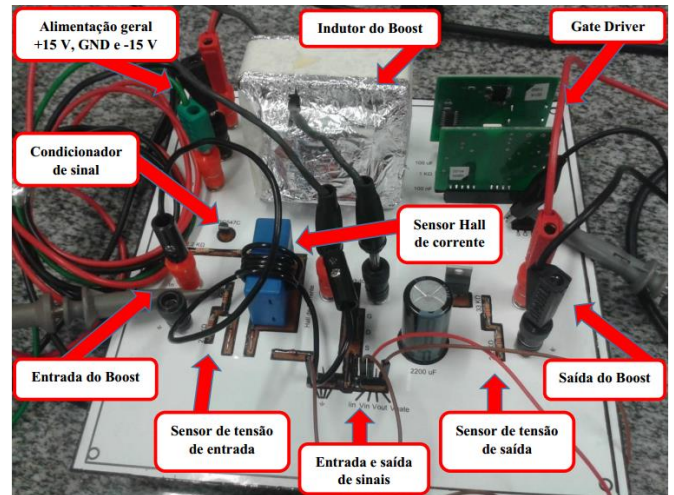


Fig. 3. Placa de circuitos eletrônicos contemplando o conversor Boost, sensores de tensão e corrente, *gate driver*, condicionador de sinal e conexões de entrada e saída de sinais.

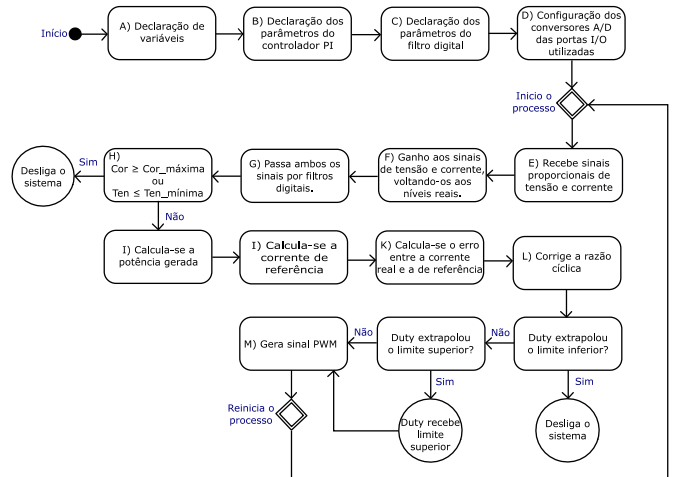


Fig. 4. Fluxograma do código de controle e etapas de execução.

Visando um correto acionamento da chave do conversor Boost, foi desenvolvido um circuito eletrônico auxiliar, chamado de condicionador de sinal. O DSP gera em suas portas I/O um sinal máximo de 3,3 V, inadequado para o acionamento do *gate-driver* que faz a interface entre o circuito de potência e o circuito de controle. Desta maneira, o condicionador de sinal é responsável por adequar o nível de tensão de saída do DSP (0 a 3,3 V) para o nível de tensão propício para o acionamento do *gate-driver* (0 a 15 V).

A estrutura do *gate driver*, além de realizar a interface entre o circuito de potência e o de controle, protege o interruptor de potência contra curto-circuito e sobrechaveamento, garantindo a integridade do circuito.

### C. Projeto de controle do conversor Boost

O controle do conversor Boost para imposição de corrente foi implementado de tal forma a garantir uma operação estável e robusta. Dessa forma, a margem de fase (MF) deve ser no mínimo de 60° e a largura de banda (*bandwidth*) deve ser no mínimo 5 vezes menor que a frequência de chaveamento. Com relação ao regime transitório, o *overshoot* foi limitado em 10% e o tempo de acomodação projetado para 1 ms.

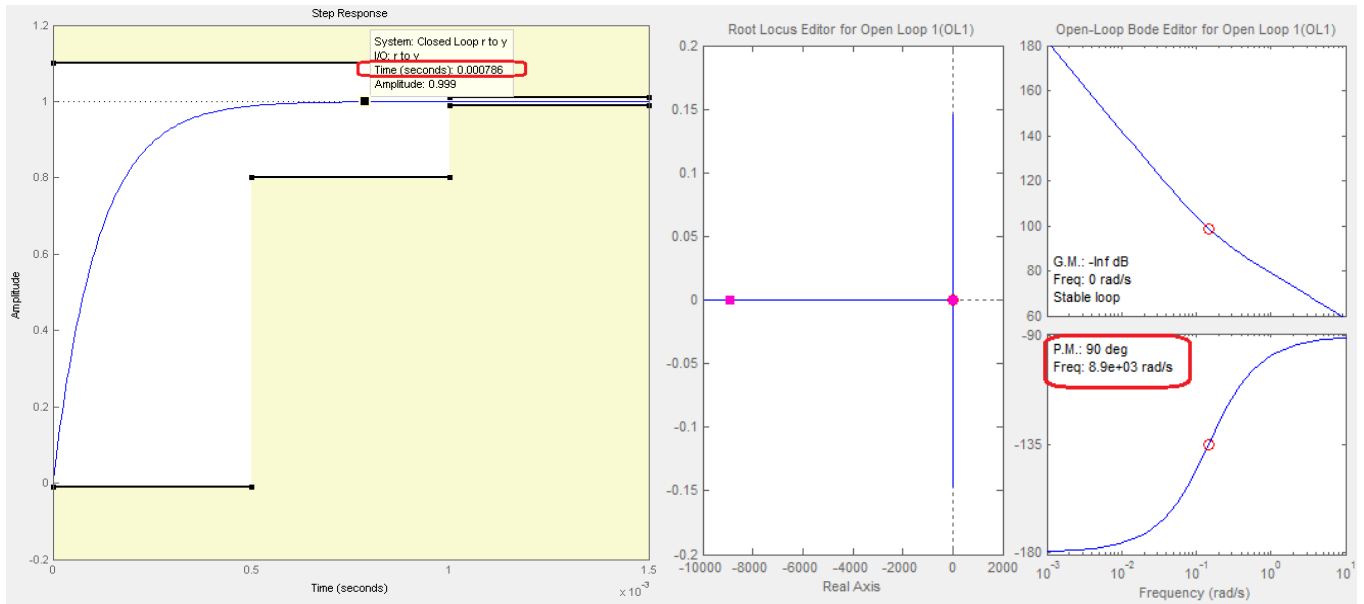


Fig. 5. Controle de corrente: a) resposta a um degrau unitário de referência; b) Lugar geométrico das raízes e diagrama de Bode.

A função de transferência reportou a um controlador Proporcional Integral (PI) que é evidenciado na Equação 3.

$$C(s) = 48 \cdot \frac{1}{s \cdot 0,001704} \quad (3)$$

O ganho do compensador é alterado de forma a ajustar os critérios de projeto. Quando se aumenta o ganho, a largura de banda aumenta, tornando o sistema mais rápido. Contudo, a margem de fase é reduzida tornando a resposta do sistema menos amortecida e, conseqüentemente, a resposta fica mais oscilatória diante de transitórios. Quanto mais próximo de 90° for a margem de fase, mais a resposta do sistema se comportará como a resposta de um sistema de primeira ordem. Sendo assim, o ideal é buscar um equilíbrio entre velocidade e estabilidade do sistema.

A resposta ao degrau unitário e o lugar geométrico das raízes com o diagrama de Bode são mostrados na Figura 5.a e Figura 5.b, respectivamente.

#### D. Monitoramentos e Configurações do sistema

Para melhor interação entre os usuários e o referido sistema, uma interface visual foi desenvolvida no *software GuiComposer* de maneira a complementar os objetivos almejados.

A interface é constituída basicamente por duas abas, sendo a primeira denominada de *Monitoramento* que é o caminho para inicializar o programa, realizar as leituras das grandezas e estipular a potência de referência a qual o sistema deve responder de maneira imediata. A segunda aba é chamada de *Configurações* e esta possibilita declarar as condições iniciais para a execução do programa computacional desenvolvido. Têm-se como variáveis a tensão de entrada mínima estabelecida para evitar uma corrente elevada, corrente de entrada máxima, razão cíclica máxima, parâmetros do controlador PI e os ganhos dos sensores, tanto

o de corrente quanto o de tensão, permitindo ajustes finos na calibração dos mesmos.

### III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Uma vez constatado o correto funcionamento dos componentes pertinentes ao projeto, reportou-se às coletas dos resultados experimentais.

#### A. Leituras de potência ativa gerada

Conforme a força aplicada pelo usuário ao eixo do pedal da bicicleta ergométrica, o jogo de polias acionava o eixo da máquina CC, realizando a conversão de energia mecânica em elétrica. O conversor CC-CA é responsável pela injeção da potência na rede elétrica e pela regulação da tensão do barramento CC. Uma vez que este conversor não está previsto nesta parte do projeto, para emular seu efeito foi utilizado uma fonte CC conectada em paralelo com os terminais de saída do conversor Boost. Dessa forma, a potência extraída da máquina CC era injetada diretamente na fonte, a qual passava a assumir o papel de carga nestas condições.

Com o sistema já em funcionamento, foi proposto duas condições, sendo que a primeira consistia em configurar a potência de referência, por meio do *dial* de ajuste na aba *Monitoramento*, em 40 W (Figura 6.a). Os valores mostrados nos *displays* são referentes às leituras instantâneas de tensão, corrente e potência ativa, respectivamente. Estas grandezas foram confrontadas com a oscilografia que também coletava informações instantâneas do protótipo (Figura 6.b). Esta comparação se valeu para garantir que a interface visual se comportava de forma coerente e com ajustes precisos. A segunda situação se traduziu em alterar a potência de referência, no caso para 80 W, e observar o controle agindo sobre a corrente elétrica, fazendo com que o sistema extraia exatamente uma potência de valor igual à de referência.

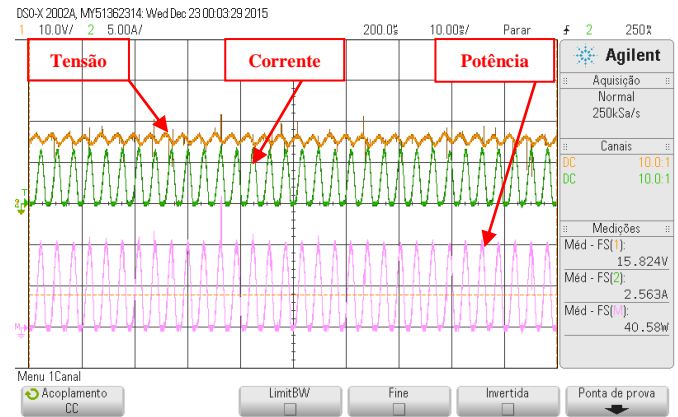


Fig. 6. a) Interface visual onde se estipulou a potência de referência em 40 W e acompanhou-se a tensão, corrente e potência ativa gerada. b) Formas de onda da tensão, corrente e potência ativa obtidas pelo osciloscópio.

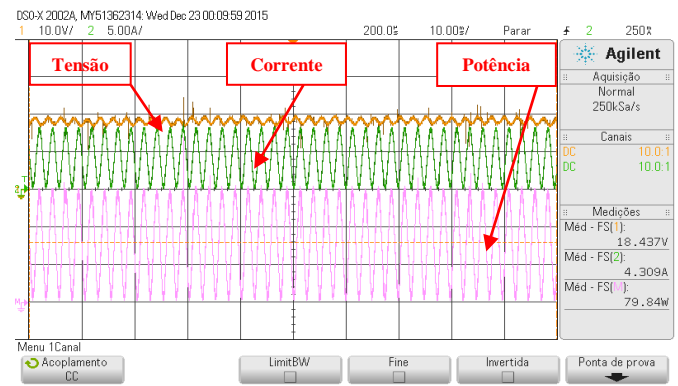


Fig. 7. a) Interface visual onde se estipulou a potência de referência em 80 W e acompanhou-se a tensão, corrente e potência ativa gerada. b) Formas de onda da tensão, corrente e potência ativa obtidas pelo osciloscópio.

Para manter a tensão a mais semelhante entre as duas situações, buscou-se equilibrar a velocidade de rotação da máquina CC, a qual é regida pela intensidade das pedaladas do usuário. No entanto, alcançar exatamente este equilíbrio é uma tarefa complexa, pois conforme a potência estipulada era acrescida, também se observava um aumento proporcional na carga mecânica da bicicleta, demandando maior esforço por parte do usuário. Os resultados desta etapa são mostrados por meio da interface visual (Figura 7.a) e confrontados com a oscilografia (Figura 7.b).

### B. Viabilidade do projeto

Tomando como base o principal local de aplicação deste projeto, academias de ginástica e musculação, foi mensurado o quanto o protótipo poderia fornecer de economia mensal. Considerando uma aula de exercícios aeróbicos típica, foi considerado que 197 watts (W) de potência era despendido em forma de calor em uma bicicleta ergométrica. Sabendo que o horário de funcionamento das academias é de aproximadamente 18 horas diárias, adotando que se tenha em média 20 bicicletas ergométricas operando diariamente em 45% deste período, que o preço do quilowatts\*hora (kWh) é 0,85621238 e que o rendimento típico do conjunto conversor Boost cascateado com um inversor tradicional é de 90%, de acordo com a fatura mensal de energia da Companhia Energética de Minas Gerais S. A. (CEMIG), obtêm-se, por meio da Equação 4, o valor mensal igual a R\$ 582,93 que poderia ser poupado.

$$Desc_{mensal} = V * P * h * D * S * q * n \quad (4)$$

Onde:

- V - Valor do quilowatts\*hora (R\$).
- P - Potência gasta na bicicleta ergométrica (kW).
- h - Quantidade de horas em um dia em utilização.
- D - Quantidade de dias em uma semana em utilização.
- S - Quantidade de semanas em um mês em utilização.
- q - Quantidade de bicicletas ergométricas.
- n - Rendimento do conjunto: Boost e inversor

Buscando visualizar a viabilidade do projeto, confronta-se os números estimados de economia mensal com o investimento inicial. A produção do protótipo ficou em aproximadamente R\$ 1500,00, sendo este montante dividido conforme mostra a Figura 8. Deste total, pode ser decrescido ainda, o valor da bicicleta ergométrica, caso apenas seja efetuado adaptações aos equipamentos já em uso.

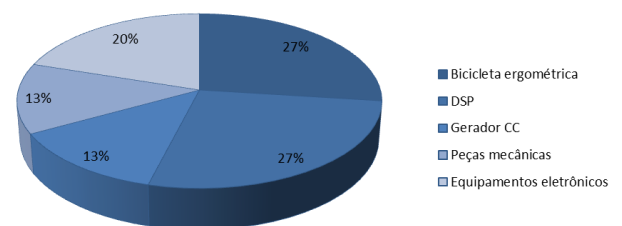


Fig. 8. Custo de elaboração do protótipo.

#### IV. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta a análise, projeto e a construção de um protótipo constituído por uma bicicleta ergométrica vertical convencional adaptada para acoplar uma máquina de corrente contínua que atua como gerador elétrico. Um conversor eletrônico chaveado CC-CC do tipo Boost foi desenvolvido e utilizado para extrair a potência deste gerador. Os testes experimentais se mostraram satisfatórios, uma vez que a extração de potência da máquina foi realizada com os devidos controles atuando, o custo de desenvolvimento apresentou ser baixo, além de corroborar com a perspectiva de geração de energia elétrica eficiente e limpa, fazendo uso apenas da energia despendida através do exercício físico humano.

Em linhas gerais, com o projeto proposto é possível substituir o freio mecânico tradicional por um sistema eletrônico capaz de converter a energia mecânica em energia elétrica (ao contrário do freio mecânico tradicional que converte energia mecânica em calor), permitindo sua injeção na rede elétrica, evitando desgastes mecânicos e gerando créditos junto à concessionária de energia local.

Assim sendo, ressalta-se que na versão final deste artigo será implementado um estágio inversor (conversor CC-CA) possibilitando a injeção do montante de energia gerado pela bicicleta ergométrica diretamente na rede elétrica local, respeitando os devidos sincronismos e regulamentos das concessionárias de energia elétrica

#### AGRADECIMENTOS

Os autores reiteram os agradecimentos à PIBEX/PROEXT/UFTM/2015, pela colaboração no financiamento parcial deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- [1] R. LEÃO, GTD – Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica. Universidade Federal do Ceará (UFC), 2009.
- [2] L. B. REIS, Geração de Energia Elétrica, 2ª Ed. Barueri, SP, 2011.
- [3] L. M. SAEZ, F. M. ECHETO, Energy Harvesting from Passive Human Power. PhD thesis Project, 2004.
- [4] GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL, Global Wind Energy, 2006. Disponível em: <<http://www.gwec.net/index.php?id=65>>.
- [5] LINDBERG-POULSEN, K. et al. Energy harvesting from an exercise bike using a switch-mode converter controlled generator. 2010 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies, ICSET, 2010.
- [6] MEGALINGAM, R. K. et al. Pedalite: Lighting Up Lives in Un-electrified Villages. IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), p. 12–17, 2012.
- [7] STRZELECKI, R.; JARNUT, M.; BENYSEK, G. Exercise bike powered electric generator for fitness club appliances. 2007 European Conference on Power Electronics and Applications. Anais...IEEE, 2007.

- [8] GIBSON, T. Turning sweat into watts. IEEE Spectrum, v. 48, n. 7, p. 50–55, jul. 2011.
- [9] Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2012.
- [10] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Novas Regras Para Geração Distribuída Entram em Vigor, 2016. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=9086&id\\_area=90](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=9086&id_area=90)>.
- [11] Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2015.
- [12] S. B. KJAER; J. K. PEDERSEN, F. BLAABJERG, “A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules”, in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 41, no. 5, pp. 1292 – 1306, 2005.

#### DADOS BIOGRÁFICOS

**Leandro Rosa Dias**, nascido em Uberaba (MG), em 1992, é graduado em Engenharia Elétrica (2015) pelo Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas (ICTE) da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), de Uberaba, MG. Atualmente, está matriculado no Programa de Pós-graduação do Departamento de Engenharia Elétrica e Computação da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP), onde é bolsista CNPq, almejando a obtenção do título de mestre em ciências.

**Gustavo Brito de Lima**, nascido em Ibiassucê (BA), em 1986, é graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU – FEELT), Uberlândia, MG. Obteve o título de mestre junto à Universidade Federal de Uberlândia em 2011 e título de doutor, também pela mesma instituição, no ano de 2015. Atualmente é professor no Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas (ICTE) da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), cuja área de interesse é eletrônica de potência.

**Danillo Borges Rodrigues**, nascido em Uberlândia (MG), em 1986, é graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU - FEELT), Uberlândia, MG. Obteve o título de mestre junto à Universidade Federal de Uberlândia em 2013. Atualmente, está matriculado no programa de Pós-graduação, doutorado, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e é professor no Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas (ICTE) da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), cuja área de interesse é eletrônica de potência.