

# Métodos de coleta de energia para equipamentos portáteis

Joana Margarida Ribeiro Paulo e  
Pedro Miguel Figueiredo Dinis Oliveira Gaspar -  
Universidade da Beira Interior, Portugal

*Os avanços dos dispositivos tecnológicos portáteis não foram acompanhados pelo aumento da disponibilidade de energia das baterias. Dado o baixo consumo desses equipamentos, alternativas como a coleta de energia a partir do corpo humano e do ambiente ganharam relevância, principalmente para dispositivos de uso médico. Este artigo analisa métodos de coleta baseados na piezo e termoelectricidade e no eletromagnetismo.*

Desde os tempos antigos existe uma demanda constante por novas fontes e formas de utilização de energia. Essa demanda é ainda maior atualmente devido à necessidade de reduzir a dependência global das fontes energéticas baseadas em combustíveis fósseis e à consciência de seus efeitos nocivos ao meio ambiente.

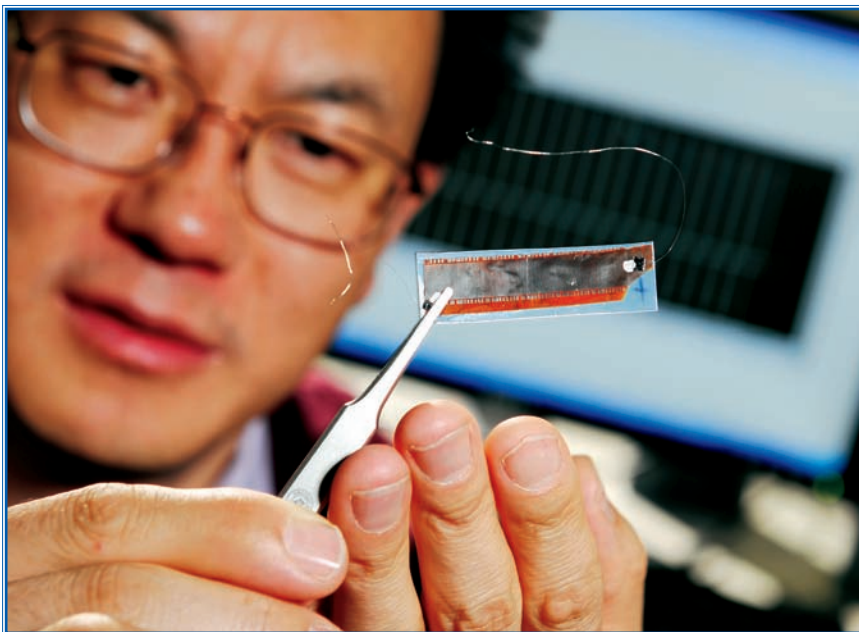
Nesse contexto, surge o conceito da coleta de energia. Sob uma perspectiva mais ampla, os sistemas de coleta de energia podem ser baseados em diversas fontes, incluindo a energia cinética (vento, ondas, gravidade, vibração), energia eletromagnética (fotovoltaica, radiofrequência), energia térmica (térmica solar, geotérmica, gradientes de

temperatura, combustão) e energia atômica (nuclear, decaimento radioativo) ou a energia biológica (biocombustíveis, biomassa) [1].

Atualmente, todos os dispositivos eletrônicos portáteis são alimentados apenas por baterias. No entanto, a coleta de energia a partir de fontes ambientais ou humanas tem comprovado ser um complemento ou uma alternativa efetiva.

À medida que a dimensão dos eletrônicos diminui, o consumo de energia também é reduzido. Nesse sentido, espera-se que as baterias também se-

*Uma das tecnologias mais promissoras, o nanogerador elétrico conta com o efeito piezoelétrico de materiais nanocristalinos, como o óxido de zinco, que não é tóxico e, portanto, pode ser usado dentro do corpo humano, alimentando, por exemplo, marca-passos. A eletricidade é produzida quando as estruturas feitas a partir do material são flexionadas ou comprimidas. Pela captura e combinação das cargas de milhões de fios de ZnO em nanoescala, o dr. Zhong Lin Wang (foto), do Instituto de Tecnologia da Geórgia, EUA, conseguiu produzir até 3 V, 300 nA, no ano passado*



Gary Meek/Georgia Tech

## A MAIS ALTA TECNOLOGIA EM TRANSFORMADORES



Transformadores Potencial e  
Corrente. Uso: Interno ou  
Externo. Classe de Isolação:  
0,6kV a 36,2kV.



Pioneiros soluções  
compactas !



Atendemos as exatidões  
conforme Normas NBR,  
ANSI e IEC.

Estrada das Lágrimas, 3.034 / 3.128

Fone: +55 11 2969-2244

www.brasformer.com.br

São Paulo - SP

## TECNOLOGIA

jam fabricadas em menor tamanho e com maior capacidade de armazenamento. Contudo, devido a questões técnicas e tecnológicas, as baterias não têm seguido a mesma tendência de evolução, limitando o tempo de operação e desempenho dos dispositivos portáteis, uma vez que precisam ser substituídas ou recarregadas periodicamente, acrescentando também peso e volume não desejados.

A figura 1 exibe a melhoria no desempenho computacional dos equipamentos portáteis a partir de 1990. Conforme pode ser observado, a tecnologia das baterias apresentou a evolução mais lenta [2]. Para resolver esses problemas, existem várias baterias alternativas no mercado que substituem ou complementam as atuais, tais como as usadas nos rádios, lanternas e telefones, as quais podem ser carregadas manualmente por meio de rotação. Esses mecanismos não são totalmente sustentáveis para todas as aplicações, pois exigem entradas de baixa energia e participação ativa do usuário.

O conceito energético tem importância fundamental na física do corpo humano. Todas as atividades, incluindo o pensamento, envolvem trocas de energia. A conversão de energia em trabalho representa apenas uma pequena fração do total de energia gasto pelo corpo. De acordo com [3], mesmo em repouso, o corpo continua a gastar cerca de 100 W para manter os tecidos, células e órgãos internos em funcionamento. Aproximadamente 25% dessa energia é usada pelo esqueleto e coração, 19% pelo cérebro, 10% pelos rins e 27% pelo fígado e baço.

O corpo humano produz energia durante várias atividades, variando entre 81 (dormindo) e 1630 W (correndo), consistindo num sistema capaz de manter sua temperatura mesmo quando a temperatura do ambiente varia. Isso permite a ma-

nutenção dos processos metabólicos de produção de energia mesmo nos climas frios.

A proporção do calor dissipado por diferentes atividades, desde dormir até correr, depende de diversos fatores como temperatura, umidade, velocidade do ar, meio ambiente, atividade física, corpo, área do corpo exposta e sua isolamento térmica, tais como roupas e gordura [3 e 4].

Estudos realizados sobre o assunto têm analisado várias técnicas de coleta de energia passiva para dispositivos portáteis, como, por exemplo, termopares, para obter energia por meio do gradiente térmico do corpo, vibração mecânica, e, ainda, materiais piezoelétricos instalados no corpo e submetidos a vibração/deformação mecânica [5].

### Métodos de coleta

#### *Piezoelétricidade*

Os irmãos Pierre e Jacques Curie descobriram o efeito piezoelétrico nos cristais de quartzo em 1880. De forma geral, isso pode ser definido como a conversão de energia mecânica em energia elétrica (efeito direto) ou conversão de energia elétrica em energia mecânica (efeito inverso) [6]. O efeito piezoelétrico direto baseia-se no fato de que uma carga elétrica é gerada quando o material é submetido a uma energia mecânica, seja fornecida por compressão, tração ou apenas vibração. Por sua vez, o efeito piezoelétrico inverso é a capacidade de o material piezoelétrico produzir energia mecânica

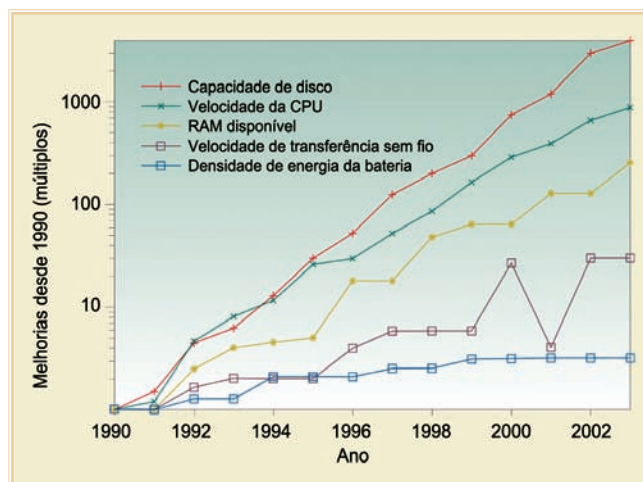


Fig. 1 – Evolução dos eletrônicos desde 1990 [2]

quando submetido a uma carga elétrica em lados opostos [6].

### Energia térmica

A temperatura do corpo varia quando ele recebe ou fornece energia. Nesta situação, as moléculas estão em constante movimento e essa agitação é medida pela temperatura.

Apenas pela diferença de temperatura pode-se extrair energia a partir de um reservatório térmico (por exemplo, o corpo). A possibilidade de conversão entre calor e trabalho tem sido restrita às máquinas térmicas. O segundo princípio da termodinâmica, desenvolvido por Sadi Carnot em 1824, afirma o seguinte [3]: “Para que a conversão de calor em trabalho seja contínua, um sistema tem de efetuar ciclos entre as fontes quente e fria continuamente. Em cada ciclo, é extraída certa quantidade de calor da fonte quente (energia útil), que é parcialmente convertida em trabalho, sendo o restante rejeitado para a fonte fria (energia dissipada)”.

A equação de Carnot, baseada na 1ª e 2ª leis da termodinâmica, é uma expressão matemática de referência para conversão de energia térmica em trabalho. Sua máxima eficiência teórica em uma máquina a vapor está relacionada aos reservatórios térmicos mantidos na temperatura quente,  $T_h$ , e fria,  $T_c$  [7]. A conversão termoelétrica baseia-se na absorção e liberação de calor na interface de conexão entre diferentes condutores elétricos (termopares ou termojunções). Um termopar é definido como um transdutor composto por dois metais ou ligas, conectados eletricamente nas suas extremidades, resultando em duas junções. Quando essas junções são submetidas a diferentes temperaturas, o circuito termopar tem uma corrente elétrica. Uma dessas junções é denominada junção de medição e é submetida à temperatura a ser medida, enquanto a outra junção, a junção de referência, é aplicada a uma temperatura conhecida, normalmente a temperatura de um banho de gelo [6].

A força eletromotriz, que gera corrente elétrica, é gerada pela diferença entre as temperaturas das junções. Para medir a força eletromotriz térmica



Solicite um orçamento:  
www.painel.ind.br - vendas@painel.ind.br

**Nosso Objetivo é Ser Seu Fornecedor!**  
Adquira vantagem competitiva com invólucros de qualidade!

QUALIDADE EFICIÊNCIA BAIXO CUSTO RAPIDEZ NA ENTREGA

- Painéis Modulares
- Mesas de Comando
- Armários Modulares

- Colunas de Distribuição
- Cubículos de Média Tensão
- Caixas para Montagens

PRODUTOS  
PADRONIZADOS

PRODUTOS  
SOB ENCOMENDA



O UNIVERSO DE SEUS EQUIPAMENTOS  
PROTEGIDOS COM INVÓLUCROS  
DE QUALIDADE.

Produtos em:  
\* Aço Carbono  
\* Aço Inóx



**Linha CCM:**

- Estrutura, base soleira, compartimentos individuais, portas frontais, tampas e placas de montagens.
- Tratamento de superfície por Fosfatização, Pintura Eletrostática a pó.
- Grau de proteção: IP44-NBR-IEC-60529.

Fone: (16) 3626-1966

Rua: Barretos, 1421/41 - Vila Elisa

Ribeirão Preto/SP

ca, o circuito termopar é aberto em um determinado ponto, onde um voltímetro é introduzido.

Após a descoberta da termoelectricidade por Alexandre Volta (1800), outros estudos foram desenvolvidos sobre os efeitos da geração de energia térmica, como, por exemplo, os realizados por Thomas Seebeck (1821), Jean Peltier (1834) e William Thomson - Lord Kelvin (1848-1854). Estes cientistas de-

ram origem à denominação dos três efeitos básicos da termometria termoelétrica, que estão inter-relacionados, apesar de serem diferentes. Estes efeitos são conhecidos como efeitos termoelétricos, uma vez que envolvem a temperatura ou a eletricidade.

O efeito Seebeck transforma a energia térmica em eletricidade, enquanto o efeito Peltier está relacionado à absorção ou emissão de calor na presença de uma corrente elétrica nas junções. No entanto, ambos os efeitos atuam em diferentes materiais. Finalmente, o efeito Thomson apresenta similaridades com o efeito Peltier, uma vez que a corrente elétrica produz um efeito diferente de aquecimento de acordo com a direção da fonte quente/fria, porém no mesmo material [6].

### Eletromagnética

Um campo elétrico sempre produz um campo magnético; de forma inversa, um campo magnético variável no tempo sempre produz um campo elétrico. A lei de indução de Faraday descreve a modificação que um campo magnético induz em uma corrente elétrica. Por sua vez, a equação de Ampère-Maxwell estabelece a modificação gerada por um campo elétrico em um campo magnético.

Já existem vários tipos de geradores elétricos que usam vibrações mecânicas, incluindo os que são utilizados nos circuitos de radiofrequência e relógios. Esses são capazes de usar a energia recuperada a partir do ambiente natural. Há dois tipos de geradores mecânicos: aqueles que usam o movimento relativo dos objetos nos quais o sis-

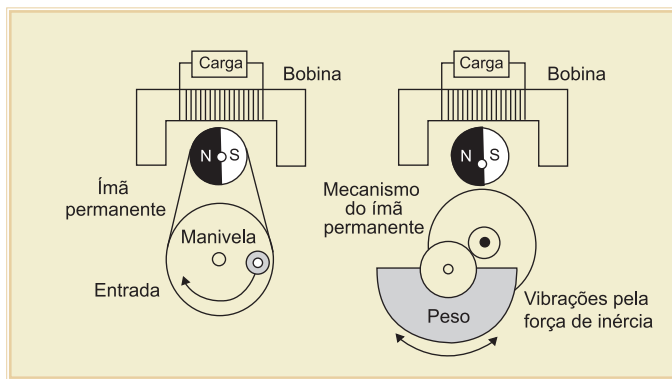


Fig. 2 – Tipos de geradores mecânicos: a) movimento relativo, b) corpo rígido [8]

tema de geração está conectado e aqueles que usam o movimento do corpo rígido. A figura 2 exibe as estruturas básicas dos geradores.

Ambos os sistemas utilizam o princípio de indução eletromagnética para converter o movimento em energia elétrica. O movimento relativo da armadura correspondente ao ímã permanente é fornecido pelo movimento relativo do objeto no qual o sistema de geração está fixado. No caso do movimento de corpo rígido, a força da inércia do peso é instalada no gerador. Esses sistemas de movimento relativo são utilizados nos geradores de bicicletas, rádios e telefones celulares. Quando a manivela se move 10 cm (diâmetro), por meio de uma força de 10 N, a uma taxa de 3 rev/s, há uma geração de 9,3 W (desprezando as perdas), dez vezes mais do que a energia produzida pelo corpo rígido [8].

O tipo de movimento do corpo rígido é mais suscetível a movimentos vibratórios do que a movimentos constantes, uma vez que usa a inércia, ou seja, a resistência ao movimento. A energia disponível para cada ciclo de

vibração é apenas a energia cinética que permanece no sistema. Assumindo que o equipamento esteja fixado junto ao corpo de uma pessoa e considerando que o movimento do peso é equivalente ao movimento do corpo humano, a energia cinética é de aproximadamente 10  $\mu$ J e a energia elétrica gerada é de aproximadamente 10  $\mu$ W, que são valores inferiores aos produzidos pelo movimen-

to relativo. Portanto, esse gerador pode operar involuntariamente e pode ser instalado em qualquer lugar, obtendo-se uma quantidade considerável de energia. Existem alguns métodos efetivos para este mecanismo, tais como os geradores ressonantes, geradores de auto-excitação e geradores rotativos, como os giroscópios.

### Aplicações industriais

Na década de 80, a Seiko desenvolveu um relógio cinético alimentado pelo movimento humano que dispensava as baterias convencionais, substituídas pelo movimento do braço humano. Desde então, vários relógios cinéticos foram desenvolvidos, porém, o potencial desse sistema para alimentar dispositivos maiores é limitado pela lentidão com que as pessoas se movem e, conseqüentemente, pelo movimento reduzido do braço.

De acordo com a referência [2], os exércitos americano e britânico tentaram alimentar sensores colocados nas botas dos soldados. Esses dispositivos permitem a operação de radiotelefonos, que freqüentemente são equipados com

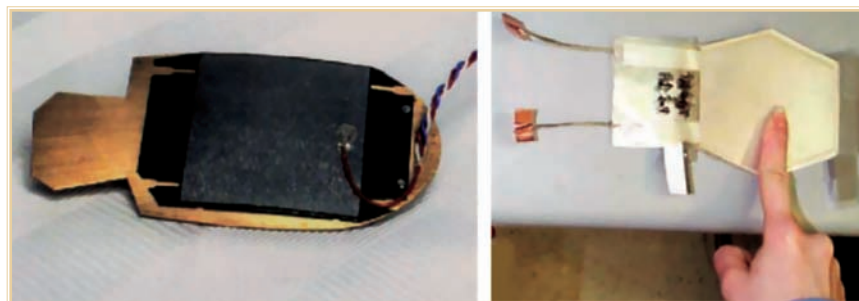


Fig. 3 – Aplicação piezoelétrica [10]

baterias pesadas. No entanto, os dispositivos de coleta de energia não eram suficientemente robustos para suportar condições extremas [4]. No início dos anos 90, a *Freeplay* comercializou equipamentos como rádios, lâmpadas e lanternas com manivelas para proporcionar maior disponibilidade de energia utilizando esse tipo de sistema de coleta de energia. Desde então, desenvolveu geradores com manivelas para carregar telefones celulares, bombas de pé com capacidade de alimentar dispositivos maiores e diversos protótipos de equipamentos médicos com manivelas.

A introdução de materiais piezoelétricos como fluoreto de polivinilideno (PVDF) nos sapatos, visando recuperar uma parte da energia produzida pelo processo de andar, oferece diversas vantagens. Observe que uma placa piezoelétrica tem apenas 1,1 mm de espessura (sem eletrodos), com peso reduzido e alta duração, promovendo assim a flexão necessária para geração de energia por meio da deformação natural do calçado durante a caminhada [9]. Para recuperar a energia através da força exercida sobre o calcanhar e os dedos, elementos piezoelétricos foram integrados à sola removível do sapato [10]. A figura 3 mostra esse tipo de material e de que forma ele é projetado para ser colocado em um sapato. Devido à eficiência limitada da conversão eletromecânica, a potência média produzida durante uma caminhada é 8,3 mW no calcanhar e 1,3 mW nos dedos.

Visando melhorar esses resultados, foi aplicado um gerador de elastômero

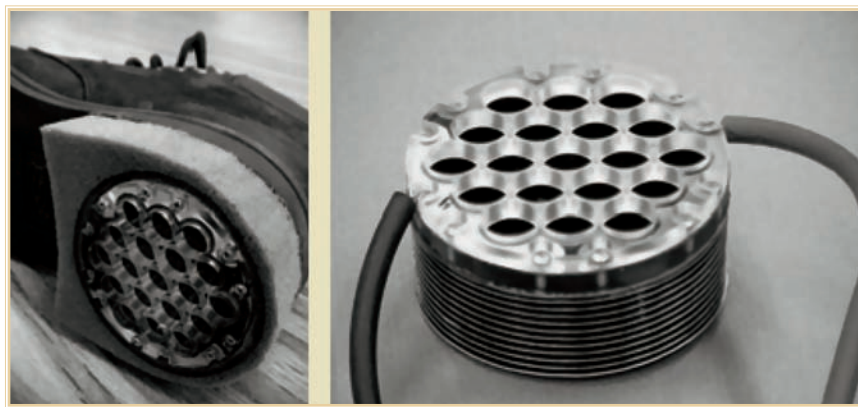


Fig. 4 – Gerador eletrostático baseado na compressão de um elastômero dielétrico [11]

no salto de uma bota [11], conforme mostra a figura 4.

Quando o calcanhar é pressionado contra o chão, a almofada comprime a membrana elastomérica implementada, produzindo uma tensão. Quando uma tensão é aplicada através dos eletrodos, ocorre a produção de energia. Outra aplicação que utiliza o movimento da caminhada para gerar energia considera a inserção dos materiais piezoelétricos no piso. Nesse caso, o piso sob nossos pés coleta, acumula e converte em eletricidade a energia gerada pela passagem de indivíduos, ao invés de aplicá-la ao sapato [6].

De acordo com os estudos apresentados em [12], cada passo produz 8 W. Essa energia é absorvida pelo piso, sendo possível coletar pelo menos 30% dela. Nesse contexto, é possível imaginar uma pista de dança cujo piso seja projetado para reduzir a vibração e dispersar a energia, coletando essa energia

e gerando eletricidade por meio de coletores sob a superfície.

Considerando o movimento do andar natural, foi realizada uma tentativa de implementação de geradores magnéticos nos sapatos [14], conforme mostra a figura 5. Esse protótipo foi implementado em um sapato apenas com uma mola, um pêndulo e um sistema gerador que produz uma potência de pico próxima de 1 W, ou seja, energia suficiente para alimentar um rádio durante uma caminhada. Contudo, estes geradores são difíceis de serem integrados ao sapato sem causar desconforto para o usuário, pois o sistema mecânico comprovou ser bastante intrusivo.

Em consequência, foi desenvolvido um modelo para melhorar a integração do gerador na sola do sapato [15], conforme mostra a figura 6. Como os geradores rotativos precisam girar rapidamente para obter a eficiência desejada, todos os outros sistemas associa-



Fig. 5 – Gerador rotativo adaptado a um sapato [14]

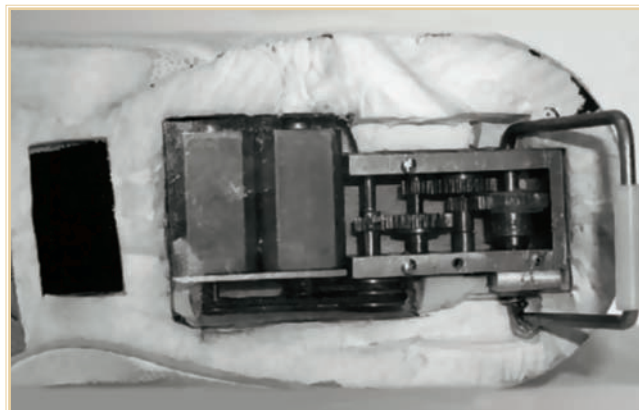


Fig. 6 – Melhoria do gerador rotativo, com dois geradores magnéticos instalados na sola do sapato [15]

# FASTWELD

TECNOLOGIA EM  
MATERIAIS PARA  
SISTEMAS DE  
ATERRAMENTO E  
PROTEÇÃO ELÉTRICA

10 ANOS DE  
QUALIDADE  
E SEGURANÇA



ISO 9000

Ensaio  
IEEE-837

Ensaio Lactec,  
CEPEL, IEE, IPT



Consulte-nos:

(11) 2421-7150

[www.fastweld.com.br](http://www.fastweld.com.br)

## TECNOLOGIA

dos ao mecanismo possuem uma considerável complexidade mecânica e um torque razoavelmente elevado, aumentando enormemente a probabilidade de colapso.

Uma vez que os sistemas eletromagnéticos podem ser formados por uma bobina e um ímã permanente ligado a uma mola, esse movimento mecânico causado pela vibração estrutural induz uma tensão no terminal da bobina que a converte em uma carga elétrica. O campo magnético da bobina será facilmente induzido se o ímã for grande. No entanto, o tamanho e o desenho do ímã são limitados pela mola e a estrutura do próprio dispositivo.

### Aplicações médicas

Conforme [16], os indivíduos que usam marca-passos alimentados por baterias de lítio requerem cirurgia a cada oito anos para substituição da bateria. Já bombas de infusão e neuroestimuladores implantáveis demandam mais energia do que os marca-passos, com tempo de vida útil estimado entre três e cinco anos [17]. Portanto, é importante reduzir a dependência das baterias neste campo, pois isso vai propiciar vários benefícios para o paciente. Em consequência, baseando-se nos métodos já mencionados, foi criado um nanogerador elétrico para ser usado na fabricação de sensores e implantes médicos [18].

O nanogerador é capaz de converter a energia mecânica do movimento do corpo humano em eletricidade através do alongamento dos músculos e até mesmo através do fluxo sanguíneo.

O nanogerador é construído com nanofios de óxido de zinco — um material piezoelétrico e semicondutor. A eletricidade é gerada quando os nanofios são dobrados e retornam à sua posição original, um movimento de vaivém. O resultado é uma separação das cargas no nanofio — carga positiva no lado dobrado e carga negativa no lado comprimido — provocada pelo efeito piezoelétrico. Mesmo sendo um material cerâmico, o nanofio de óxido de zinco pode ser dobrado até 50° sem quebrar. O óxido de zinco não é tóxico, diferentemente dos componentes das baterias, o que o torna ideal para ser usado dentro do corpo humano.

De acordo com a referência [18], o batimento arterial pode ser usado para gerar energia e alimentar sensores e nanodispositivos médicos projetados para monitorar sinais vitais como batimentos cardíacos e pressão arterial.

Outra aplicação na medicina consiste na utilização de sensores sem fio em diversas aplicações que requerem fontes de energia auto-sustentáveis. Logo, os dispositivos termoeletrônicos são mais atrativos como fonte energética porque convertem diretamente gradientes de temperatura em fonte de alimentação.

Embora alguns geradores termoeletrônicos já estejam disponíveis no mercado há algum tempo, o desenvolvimento de implantes médicos de baixa potência foi iniciado apenas recentemente. Para os dispositivos biomédicos, são considerados dois casos de interesse: os implantados na superfície da pele e os subcutâneos [19]. Uma utilização prática dessas fontes de energia requer a proximidade com o alvo mecânico. Em [19] relatam-se estudos experimentais para avaliar a viabilidade dos geradores termoeletrônicos para alimentar dispositivos médicos, nos quais se observaram uma diferença das temperaturas disponíveis variando entre 1 a 5 K no tecido adiposo. Num teste experimental *in vivo*, foi implementado um dispositivo termoeletrônico comum no abdômen de um coelho, sendo medido 1,3 K em repouso. Esses resultados demonstraram a viabilidade da utilização de geradores termoeletrônicos para alimentar implantes médicos. No entanto, é necessário realizar pesquisas adicionais sobre modelos mais avançados para transferência do calor biológico juntamente com testes experimentais das variações da temperatura corporal. Conforme mencionado anteriormente, características fisiológicas como altura, peso, porcentagem de gordura corporal e tom de pele podem afetar o gradiente térmico nas camadas subcutâneas do corpo.

A tentativa de combinar os geradores termoeletrônicos com as aplicações biomédicas exige a consideração da biocompatibilidade dos materiais. Sobre o tema, a maior preocupação consiste na toxicidade do telureto de bismuto, utilizado como material termoeletrônico. Embora esse telureto tenha uma toxi-

cidade relativamente baixa, seus componentes são conhecidos por causarem danos aos rins. Portanto, pode ser fatal em grandes quantidades [20].

Contudo, se este método for aplicado corretamente dentro do corpo humano, a diferença de temperatura entre a superfície interna da pele e a temperatura corporal central pode ser usada, por exemplo, para produzir eletricidade e aumentar a vida útil da bateria de um marca-passo [22], conforme mostra a figura 7.

Usando uma película fina termo-elétrica, pode-se gerar mais de  $100 \mu\text{W}$  de energia com apenas uma pequena diferença de temperatura, de  $0,3$  a  $1,7^\circ\text{C}$  [21]. Os marca-passos são dispositivos de baixo consumo de energia, não requerendo o carregamento contínuo da bateria como um coração totalmente artificial. Contudo, conforme já mencionado, a bateria tem um tempo de operação limitado. Sendo assim, foi proposto um método eletromagnético para carregar a bateria através de um campo magnético rotativo de baixa frequência [22]. Este sistema consiste num microgerador com engrenagens, um ímã e excitação de duas fases de uma bobina, instalada fora do corpo humano (figura 8).

Quando as bobinas são excitadas, um campo magnético rotativo é aplicado ao ímã que está implantado no corpo, disparando o microgerador. A velocidade de rotação do microgerador é aproximadamente 100 vezes maior do que a velocidade de rotação do ímã, uma vez que o sistema de engrenagem está instalado entre eles, obtendo assim a tensão elevada usada para carregar a bateria do marca-passo.

Conforme [22], foi desenvolvido um conversor de energia baseado em microeletromagnetismo com capacidade de armazenar energia em uma bateria AA. O conversor é capaz de carregar um capacitor com  $1,6 \text{ VCC}$  em menos de um minuto. Esse dispositivo foi usado para suportar um sistema sem fio de um sensor de temperatura.

#### Futuro

Considerando que é possível coletar energia de várias partes do corpo humano, como por exemplo durante caminhadas, ciclismo, movimentos dos



# 1º Lugar nas pesquisas

*A Sindal é a preferida e a mais  
indicada nos projetos pelos  
profissionais das maiores  
indústrias do país.*



## Há 50 anos sendo sinônimo de qualidade

Os produtos SINDAL são fabricados com alta qualidade de isolamento em polietileno, poliamida, baquelite ou porcelana. Parafusos e terminais em latão com tratamento em banho de níquel. Seu rigoroso controle de qualidade e pontualidade na entrega fazem da SINDAL uma empresa líder no mercado.

R. Tapajós, 145/149  
Luz - São Paulo - SP  
www.sindal.com

(11) 3326-3144  
(11) 3227-9522

braços, pressão dos dedos, respiração e pressão arterial, uma das futuras aplicações associadas será o desenvolvimento de uma bateria humana que extrai eletricidade a partir da glicose do sangue, capaz de gerar até 100 W [23]. Ela será baseada em uma enzima com capacidade de extrair elétrons da glicose, ou seja, alimenta-se de açúcar. Uma vez que os dispositivos de monitoramento do diabetes tipo 1 estão em constante contato com o sangue para controlar os níveis de glicose, essa interação pode ser usada para gerar energia para sustentar o dispositivo. Como o dispositivo de monitoramento e ajuda no tratamento é portátil, é necessária uma bateria para sua operação. Logo, essa bionobateria pode ser implementada na bomba usada na terapia de infusão.

Todos os dispositivos médicos implantáveis (DMI), incluindo marcapassos, desfibriladores, bombas de infusão e neuroestimuladores, requerem energia elétrica. As baterias não recarregáveis são usadas como fonte de energia para esses dispositivos. Uma das limitações dos DMIs é o tempo de vida útil da fonte de alimentação. Quando a bateria se torna incapaz de sustentar o dispositivo, o DMI tem de ser removido e/ou a bateria ou o dispositivo tem de ser substituído, muitas vezes pondo em risco a saúde e o bem-estar do paciente. Além disso, a vida da bateria depende da potência requerida pelo DMI e da quantidade de energia armazenada nele [24]. Entretanto, após analisar as características técnicas de alguns dispositivos médicos portáteis, foram encontrados alguns equipamentos que podem ser usados junto ao corpo humano para atuar como um sistema de coleta de energia em função de seu baixo consumo energético. Esses valores típicos são apresentados na tabela I.

Após a condução de uma pesquisa sobre dispositivos médicos portáteis, com objetivo de analisar seu modo de operação, foi possível prever algumas aplicações de coleta de energia para eles. As bombas de infusão de insulina podem também ser carregadas pela

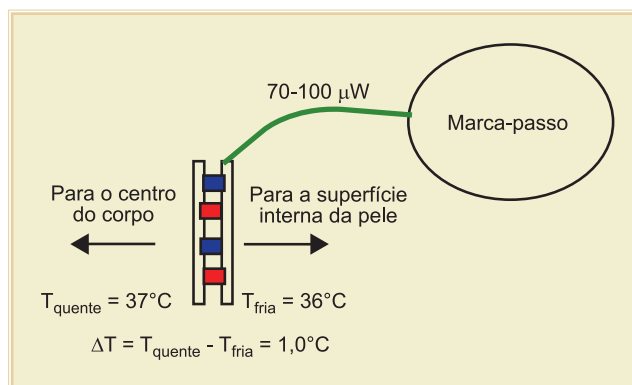


Fig. 7 – Dispositivo termoeletrico para alimentação de um marca-passo [22]

diferença de temperatura, uma vez que esses dispositivos precisam de uma agulha subcutânea. Dessa forma, eles estão em constante contato com o sangue, bem como com a temperatura corporal central. Usando o método termoeletrico, a diferença de temperatura entre os tecidos pode, provavelmente, pelo menos carregar a bateria do monitor de glicose com o propósito de aumentar seu tempo de vida operacional.

A síndrome da morte súbita em recém-nascidos e crianças, que ocorre enquanto eles dormem, consiste numa grande preocupação para a saúde infantil, já que é impossível prevê-la, pois não apresenta sintomas prévios. Os dispositivos existentes monitoram a respiração e o movimento do bebê. Um sinal sonoro é ativado quando o bebê permanece imóvel na cama por um determinado tempo.

Outra maneira de monitorar essa condição consiste em usar uma cinta piezoeletrica ao redor do peito do recém-nascido. Uma deformação mecânica é obtida quando o volume do tórax varia devido à inalação e exalação, produzindo energia e sendo capaz de carregar as baterias do sistema de monitoramento.

Por meio desse método, também é possível utilizar cintas com propriedades piezoeletricas nas mulheres grávidas que precisam controlar os movimentos e batimentos cardíacos do bebê em períodos de gestação avançada.

Atualmente, existem diversas formas de medir a pressão sanguínea, como por exemplo usando um dispositivo de pulso, tal como um relógio. Dessa forma, através do mesmo méto-

do baseado nos sistemas microinerciais, é possível produzir energia para esse dispositivo do mesmo modo que para os relógios. Considerando que o dispositivo é usado no pulso, ele é submetido a movimentos ao longo do dia. Portanto, as pessoas que sofrem de hipertensão ou hipotensão podem verificar constantemente os níveis da pressão sanguínea sem necessidade de trocar a bateria com uma regularidade tão pronunciada.

O método mais utilizado em nível industrial é o piezoeletrico, pois a deformação mecânica do material não é fácil de ser alcançada. Conforme já mencionado, pode ser gerada uma quantidade satisfatória de energia com a introdução desse tipo de material no sapato. Portanto, essa energia pode ser aplicada em tocadores de MP3 e telefones móveis, assim como em DMIs ou qualquer tipo de dispositivo portátil.

A caminhada também é eficaz com outros métodos, como por exemplo o eletromagnético. A aplicação de um ímã permanente em um sapato pode ser viável desde que a caminhada propicie um deslocamento na bobina magnética, gerando um campo magnético que produza energia.

Na medicina, esses métodos de co-

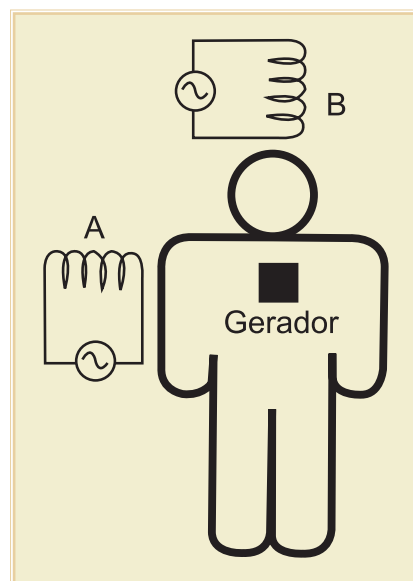


Fig. 8 – Campo magnético no corpo humano

leta de energia podem ser de grande utilidade no controle dos testes físicos de atletas. Como os atletas estão em constante movimento, eles podem produzir, por exemplo, deformação de materiais piezoelétricos ou movimentos magnéticos em ímãs. No entanto, ambos os mecanismos de coleta de energia precisariam ser instalados nos tênis ou braços. Neste caso, o desafio consiste, mais uma vez, na aplicação desses dispositivos sem causar alterações de peso significativas para o atleta nem provocar erros nos resultados.

Outra forma de utilização de energia pelos atletas baseia-se na variação de temperatura que ocorre durante o exercício.

As desvantagens que surgem na aplicação de alguns dispositivos de coleta de energia estão relacionadas aos custos, uma vez que podem ser muito caros e não vantajosos para os dispositivos médicos implantáveis.

Tab. I – Consumo de energia de alguns dispositivos médicos

Equipamento	Potência (W)
Bombas de infusão de insulina	12
Monitor de pressão arterial	3
Monitor da coagulação do sangue	0,5
Marca-passo	5,6
Monitor do nível de glicose	0,5

Como exemplo, embora seja possível implementar um sistema de coleta de energia em um monitor de glicose relativamente barato que não precisa estar constantemente conectado, a aplicação não foi justificada até o momento por ser bem cara.

Por sua vez, a bomba de insulina para monitoramento do diabetes tipo 1 é um instrumento caro (mais de €2000) e, em alguns casos, apresenta um tempo de vida útil médio de apenas dois anos [25]. Neste caso particular, a aplicação de um sistema de coleta de energia e a extensão do tempo médio de vida da bateria pode ser um benefício.

Portanto, é necessário levar em conta onde o dispositivo de coleta de energia será utilizado. Somente haverá benefícios financeiros se forem instalados em dispositivos que estejam constantemente conectados e sejam submetidos a movimentos do corpo para utilização de sua energia.

**Conclusão**

Este artigo discutiu vários métodos de coleta de energia a partir do ambiente e do corpo humano, destacando os dispositivos de baixa potência, em particular os dispositivos portáteis, principalmente para aplicações médicas associadas ao monitoramento de sinais fisiológicos e à terapia assistida.

Com este objetivo, foram apresentadas as principais características dos métodos físico-matemáticos de coleta de energia através da piezoelectricidade, termoelectricidade e eletromagnetismo. As aplicações dos sistemas piezoelétricos, termoeletrônicos e eletromagnéticos

**SUA SOLUÇÃO EM  
CAPACITORES DE POTÊNCIA  
EPCOS**

Fone: (51) 3431.3855 | 3488.2565  
Fax: (51) 3431.3887  
www.ifg.com.br | ifg@ifg.com.br  
Avenida Ely Correa (RS 30), 945  
Parada 88 | Gravataí/RS

**IFG** ELETRÔ MECÂNICA  
INDÚSTRIA E COMÉRCIO

**PanElectric**  
**CABOS ELÉTRICOS ESPECIAIS  
PARA DIVERSAS APLICAÇÕES**

MOTORES INDUSTRIAIS | NÍVEL ESPECIAL DE CERTIFICAÇÃO TYPE APPROVAL BUREAU VERITAS  
Low Smoke | Halogen Free | Flame Retardant

PAINÉIS DE CONTROLE | PAINÉIS INDUSTRIAIS

RETOQUIMIAS

UL | ISO 9001 BUREAU VERITAS Certification | ISO 9001:2000 CERTIFICADO

54 2102 3333  
www.pan.com.br vendas@pan.com.br

cos para coleta de energia são divididas em aplicações industriais/ domésticas e médicas. O trabalho mostrou ainda as tendências futuras das aplicações dos métodos de coleta de energia dos dispositivos médicos portáteis.

A dependência dos dispositivos portáteis em relação às baterias é destacada. O aumento de peso e a capacidade reduzida para armazenamento de energia reduzem o período para uso contínuo dos dispositivos. Considerando a disponibilidade crescente de soluções tecnológicas, é necessário o desenvolvimento de métodos através de recursos ambientais e humanos que atendam às necessidades dos usuários tanto no campo industrial quanto médico. A necessidade de estender a disponibilidade de vários dispositivos de energia é vital. No entanto, a área de dispositivos médicos portáteis e de baixa potência, seja para monitorar vários parâmetros vitais ou para executar uma terapia específica, representa um setor promissor para o uso dessas tecnologias.

## Referências

- [1] Chapman, P. e Raju, M.: *Designing power systems to meet energy harvesting needs*, TechOnline India 8(42), 2008.
- [2] Paradiso, A.: *Energy Scavenging for Mobile and Wireless Electronics*. Massachusetts Institute of Technology Media Laboratory Thad Stamer, Georgia Institute of Technology, GVU Center, 2008.
- [3] Okuno, E., Caldas, I. e Chow, C.: *Conservação de Energia*. Física para ciências biológicas e biomédicas, vol II, pp. 103-105. Lisboa: HARBRA, 1986.
- [4] Morton, D.: *Human Locomotion and Body Form*. The Williams & Wilkins Co., Science Education vol. 36, n.º 312, 1952.
- [5] Amirtharajah, R.; Collier, J.; Siebert, J.; Zhou, B. e Chandrakasan, A.: *DSPs for Energy Harvesting Sensors: Applications and Architectures*, Intel & Massachusetts Institute of Technology, IEEE 1536, pp. 72-74, 2005.
- [6] Casimiro, F.; Gaspar, P.D. e Gonçalves, L.C.C.: *Aplicação do princípio piezoelétrico no desenvolvimento de pavimentos para aproveitamento energético*, III Conferência Nacional em Mecânica de Fluidos, Termodinâmica e Energia: MEFE - 2009, Bragança, Setembro, 2009.
- [7] Monteiro, M.S.: *Avaliação metroológica da estabilidade termoeletrica de termopar AuPt*. Tese de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, pp. 32-36, 2002.
- [8] Hosaka, H.: *Personal electric power generation technology for portable information equipment*, Micro Mechatronics - Journal of the Horological Institute of Japan vol. 47, n.º 3, pp. 38-46, 2003.
- [9] Kagetsu, Y.; Osaki, Y.; Hosaka, H.; Sasaki, K. e Itao, K.: *Research on automatic power generator using self-exciting rotation*, Micro Mechatronics - Journal of the Horological Institute of Japan, vol. 48, n.º 4, pp. 22-33, 2004.
- [10] Paradiso, J. e Shenck N.: *Energy Scavenging with Shoe-Mounted Piezo-Electrics*, IEEE Micro, vol. 21, n.º 3, pp. 30-42, 2001.
- [11] Kornbluh, R.: *Electroelastomers: Applications of Dielectric Elastomer Transducers for Actuation, Generation, and Smart Structures*, In Proc. SPIE 4698, pp. 254-270, 2002.
- [12] <http://www.sustainableclub.com/>, 11/02/2009.
- [13] Vining, C.: *Semiconductors are cool*, Nature, vol. 413, pp. 577-578, 2001.
- [14] Paradiso, J.; Kymissis, J.; Kendall, C. e Gershenfeld, N.: *Parasitic power harvesting in shoes*, In IEEE Intl. Symp. On Wearable computers, vol. 24, pp. 132-139, 1998.
- [15] Hayshida, J.: *Unobtrusive integration of magnetic generator systems into common footwear*. MIT Department of mechanical engineering, pp. 98-104, 2000.
- [16] Parsonnett, V.; Cheema, A.: *The nature and frequency of postimplant surgical interventions: A realistic Appraisal*, Pace vol. 26, pp. 2308-2312, 2003.
- [17] Lanmuller, H.; Saueremann, S.; Unger, E.; Schnetz, G.; Mayr, W.; Bijak, M. e Girsch, W.: *Multifunctional implantable nerve stimulator for cardiac assistance by skeletal muscle*, Artificial Organs vol. 23, pp. 352, 1999.
- [18] Yang, R.; Qin, Y.; Li, C.; Zhu, G. e Wang, Z.: *Converting Biomechanical Energy into Electricity by a Muscle-Movement Driven Nanogenerator*, NanoLett, vol. 9, n.º 3, pp. 1201-1205, 2009.
- [19] Yang, Y.: *Suitability of a thermoelectric power generator for implantable medical electronic devices*, Physics, vol 40, pp. 5790-5800, 2007.
- [20] Rom, N.: *Environmental and Occupational Medicine*. Philadelphia, Pennsylvania: WoltersKluwer/Lippincott Williams & Wilkins, 2006.
- [21] Rowe, D.: *Handbook of Thermoelectric*, CRC, 1995.
- [22] Suzuki, S.; Katane, T.; Saotome, H. e Saito, O.: *A Proposal of Electric Power Generating System for Implanted Medical Devices*, IEEE transactions on magnetic, vol. 35, n.º 5, pp. 21-23, 1999.
- [23] Yuen, S.; Lee, J.; Lee, M.; Chan, G.; Lei, F.; Leong, P.; Li, W. e Yeung, Y.: *AA size Micro power Conversion Cell for wireless applications*, Proc. of the world congress intelligent control and automation (WCICA), vol. 6, pp. 5629-5634, 2004.
- [24] <http://inovacatecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=101115030819> Abril, 09
- [25] Wahlstrand, C.: *Kind Code. Headset recharger for cranially implantable medical devices*. U.S. Pat. Application20050004619, 2005.

Trabalho apresentado no World Congress on Engineering 2010, realizado em junho, em Londres, Reino Unido.

# COMPLETA PROTEÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO

Os relés de proteção Multifunção, da família **High PROTEC** utilizam a tecnologia de última geração com processador "Dual-Core", provendo uma proteção precisa e confiável. Flexibilidade, uso amigável e intuitivo, associadas a análise de consistência de entrada de dados para evitar a colocação de dados errôneos são algumas de suas características principais, que facilitam a sua aplicação e colocação em operação.



## PROTEÇÃO PARA ALIMENTADORES E PARALELISMO COM A REDE

- Oscilografia
- Registro de faltas
- Registro de eventos
- Dados estatísticos
- 4 Grupos de ajuste de parâmetros
- Supervisão de bobina de TRIP
- Supervisão de TCs e TPS
- Medição de energia – Importação e Exportação
- Detecção de corrente de Inrush
- Corrente de medição 5A e 1A
- Tensão de medição direta até 880V
- Faixas para ajuste de corrente, tensão e demais grandezas elétricas, com altíssima sensibilidade



- Comunicação Serial RS485, fibra ótica e frontal RS232
- Software para parametrização, leituras, programação de entradas e saídas binárias, análise de faltas (Smart View)
- Matriz para programação dos relés de saída, seja para trip, alarme ou qualquer outro evento
- Até 16 entradas digitais e 13 saídas binárias (outras configurações sob consulta)
- Bornes de corrente, tensão, entradas e saídas digitais
- Extraíveis
- Proteção Frontal IP 54



# High PROTEC

Power Protection

vendas@woodward.com www.woodward.com  
Campinas/SP - Rua Joaquim Norberto, 284 - Tel.: +55 (19) 3708-4800  
São Paulo/SP - Av. Brigadeiro Faria Lima, 1912 - cj. 7A - Tel.: +55 (11) 3034-1120