

INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA SUPLEMENTAR COM ONDAS SONORAS

SUPPLEMENTARY POWER INTEGRATION WITH SOUND WAVE GENERATED ENERGY

Antônio Cabral Rebello^{1*}

* Autor para correspondência: rebello.acr@gmail.com

Resumo: Este artigo visa consolidar informações pertinentes às possibilidades de geração de energia com ondas sonoras, partindo de materiais derivados de pesquisas para futura dissertação acadêmica de mesma autoria. A combinação desses dados sob uma ótica especulativa do *design* permite-nos condições de elaborar princípios conceituais de produtos e serviços que promovem o aproveitamento de uma fonte de energia abundante e limpa, que ainda apresenta desafios singulares para ser integrada em capacidade significativa. A produção de som, de forma geral, é encontrada em ambientes naturais e objetos manufaturados, tendo a possibilidade de obtenção dessa energia por meios sequer imaginados até então. Como inspiração, aqui são comentados o sistema auditivo humano e algumas de suas funções, como a conversão de sinais mecânicos para elétricos, auxiliando em uma compreensão elaborada da escuta e carregando oportunidades criativas para formulação de soluções em matéria de geração de energia. Investigando também o fenômeno da piezoelectricidade, as *wireless sensor networks* e a produção de carga elétrica por meio de materiais sintéticos, abre-se espaço para novas formas de manipular propriedades biológicas. As conclusões aqui presentes são abordagens para as condições de implementação das frequências e ondas sonoras como princípios para um entendimento de uma nova fonte de energia.

Palavras-chave: *design* especulativo; neurociência; ondas sonoras; energia elétrica.

Abstract: This article aims to consolidate information pertinent to the possibilities of generating energy from sound waves, using materials derived from research for a future academic dissertation by the same author. The combination of this data from a speculative design perspective allows us to develop conceptual principles for products and services that promote the use of an abundant and clean energy source, which still presents unique challenges to be integrated into a significant capacity. Sound production, in general, is found in natural environments and also manufactured objects, presenting the possibility of obtaining this energy through means not even imagined until then. As inspiration, the human auditory system and some of its functions are discussed

¹ Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

here, such as the conversion of mechanical signals to electrical ones, helping in an elaborate understanding of listening and providing creative opportunities for formulating solutions in terms of energy generation. Also investigating the phenomenon of piezoelectricity, Wireless Sensor Networks, and the production of electrical charge through synthetic materials, opens up space for new ways of manipulating biological properties. The conclusions presented here are approaches, in this context, to the conditions for implementing frequencies and sound waves as principles for understanding a new energy source.

Keywords: speculative design; neuroscience; sound waves; electrical energy.

INTRODUÇÃO

Em Sacramento, na Califórnia, a companhia Linevision comentou sobre o princípio do uso de uma caixa de sensores a *laser* em torres de transmissão de energia. John Marmillo, representante da companhia na reportagem (Akhtar; Rehmani, 2015), identifica que a implementação dessa tecnologia a várias utilidades, principalmente as torres de transmissão, poderia alterar significativamente a distribuição de energia de forma limpa e com rapidez, pois ele afirma que as necessidades energéticas atuais visam substituir os combustíveis fósseis claramente o mais rápido possível e comenta que muitos outros projetos ainda se encontram em espera para se mostrar mais concretos e entrar em vigor.

Entende-se que a proposta envolvendo as torres de transmissão se assemelha ao modo como as *wireless sensor networks* funcionam, abastecidas por uma fonte energética e usadas para transmissão de dados entre dispositivos para monitoramento de áreas com diversos objetivos. Existem estudos particulares sobre elas, buscando torná-las mais eficientes e sustentáveis, por meio de soluções para o reabastecimento da rede, uma vez que os sensores precisam de troca de baterias (Akhtar; Rehmani, 2015).

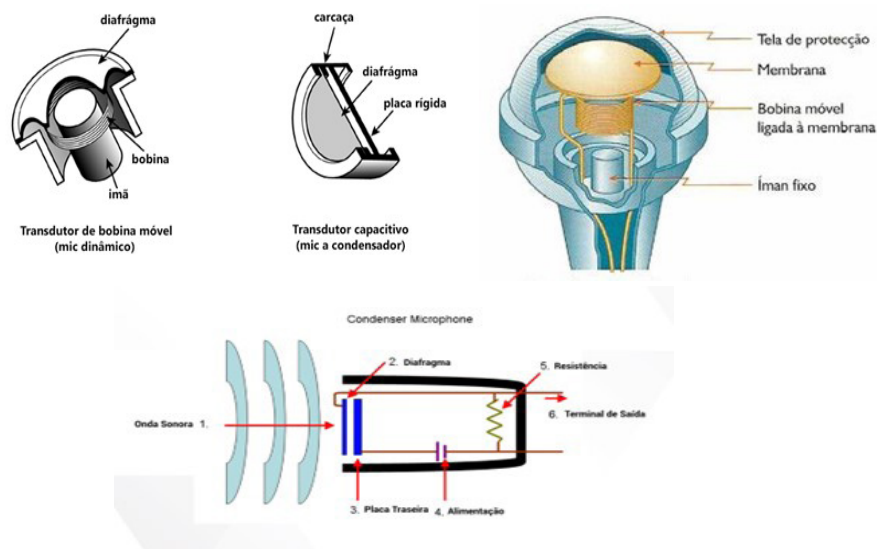
Como atualmente nos encontramos em uma transição energética, com uma crescente propagação de acesso a painéis solares, motores elétricos e tecnologias para melhorar acesso e eficiência a energia, investir em mais uma fonte de energia é algo que deve acontecer mais adiante, considerando que o domínio do potencial de uso das ondas sonoras ainda não se mostra firme para ser desenvolvido em projetos mais elaborados, como será discutido a seguir.

Por meio de um olhar especulativo no âmbito do *design*, busca-se aqui apresentar maneiras pelas quais a energia captada por uma fonte sonora pode começar a ajudar na formação de conceitos para auxílio aos novos aparelhos responsáveis por entregar energia que estão se tornando cada vez mais comuns, além de possibilitar a integração da energia gerada por ondas sonoras plenamente no futuro, sendo assim uma nova fonte de energia sustentável independente.

CAPTAÇÃO DE ÁUDIO PARA ENERGIA

A execução de uma onda sonora é uma agitação nas moléculas de ar variando a pressão do ambiente. A movimentação de componentes correspondentes a esse feito é o que muitos mecanismos em equipamentos eletrônicos realizam durante um processo de transdução, a exemplo de um microfone, que por meio desse processo faz com que nossa voz se transforme em um sinal elétrico. Tais equipamentos estão ilustrados na figura 1.

Figura 1 – Transdutores em microfones dinâmicos e condensadores e sistemas transdutores em um microfone dinâmico



Fontes: Microfone [...] (2009) e Microfone dinâmico [...] (2020)

É importante compreender que a transdução vai permitir a mudança, mecanicamente, entre estados do elemento em questão, áudio como sinal mecânico para sinal elétrico. Diferentemente, um experimento realizado em laboratório utilizou o processo de indução magnética, evidenciado por Michael Faraday em 1831, como um princípio para geração de energia elétrica (Freitas, 2010).

No experimento foram colocados um gerador de sinal, um *speaker* de som e um gerador elétrico em conjunto. De forma simples, em uma sala de 60 m² evidenciou-se que as ondas sonoras podem ser captadas e realizam a indução nesse gerador, ao aplicar um material simulando a forma de um funil virado para a fonte sonora, pois assim aumenta a área de contato, dispersando menos ondas.

Esse princípio gerador, por conter uma característica construtiva simples e funcional, pode se tornar viável a utilização para fins de produção de energia elétrica, podendo atender as necessidades de pessoas onde o acesso à energia convencional não se torna viável, pois o custo com linhas de transmissão é alto e mesmo alimentando diversos aparelhos de pequeno porte, no somatório será capaz de economizar muita energia gerada nos moldes convencionais (Freitas, 2010).

Dentre os dados da proposta por Freitas (2010) ao longo da descrição de seu experimento estão documentadas as melhores frequências, que, emitidas pelo gerador de sinal utilizado, permitiram melhor valor de rendimento na parte da geração de eletricidade (118Hz a 120Hz), e a influência da distância entre os componentes que interferem no desempenho final. A principal conclusão é de que a proporção de aproveitamento em geração de energia elétrica é maior em condições que captam o máximo da frequência emitida, no caso, utilizando o acessório em forma de funil, aumentando em 6 vezes a eficiência do sistema.

A fonte de transmissão citada e o custo ainda podem ser encarados como uma barreira para a eficiência em nossa busca por distribuição de energia sustentável, já há alguns anos. O estado atual dessa questão, de forma geral, pode ser mais bem compreendido olhando com mais afinco a situação enfrentada nos Estados Unidos em relação à estrutura das linhas de transmissão, de acordo com a reportagem na National Public Radio (Simon, 2023), da qual podem ser lidos os seguintes trechos:

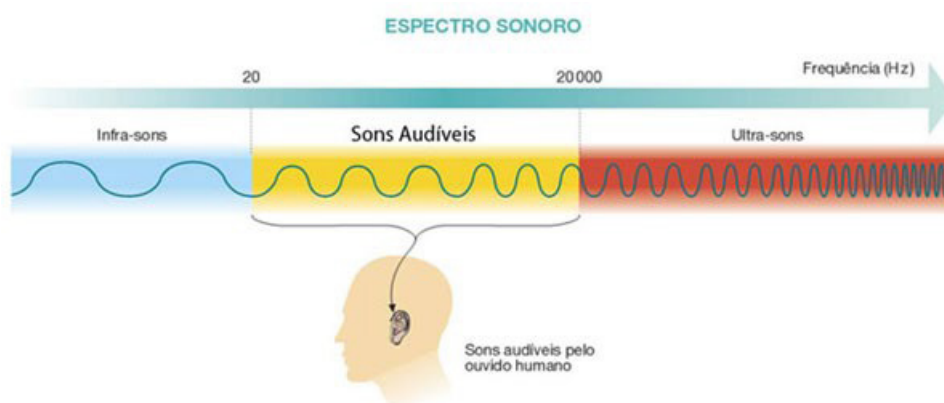
The climate crisis demands replacing fossil fuels with green energy quickly, but thousands of wind and solar projects are looking at several-year wait times to get connected to transmission lines. To reach the country's goals to sharply cut planet-warming pollution, the U.S. needs to expand transmission capacity by 43% by 2035, according to the REPEAT Project led by Princeton University. Sensors can help utilities get real-time data on their power lines, which can allow them to send more renewable electricity through the wires. This tech is part of a suite of innovations that could help the U.S. increase its grid capacity faster and cheaper than building new transmission lines.

A questão que precede a concretização de propostas para novas formas de se obter energia renovável é, portanto, a capacidade da infraestrutura atual. O cofundador da Linevision, companhia que cria sensores a *laser*, foi destacado na matéria sobre a aplicação desses sensores à grade de energia comentando que se trata de uma excelente resposta que poderia facilitar a situação e que reduziria o custo e tempo de projeção de aumento na capacidade das linhas de transmissão.

Encontra-se na mesma situação um exemplo de um conceito para um projeto que se relaciona à qualidade de entrega dessa energia renovável. Uma nova realidade energética demanda ajustes em logística também; esse é o princípio que nos auxilia a entender onde se encaixariam a energia por pressão sonora e seu potencial futuro. O ponto levantado pelo cofundador da empresa Linevision é de que poderíamos começar a resolver um problema que pode impactar positivamente o andamento dos projetos ligados à aquisição de energia renovável, pensando nos sensores a *laser* como alicerces às tecnologias já empregadas a sistemas de transmissão, como é o caso das WSN. Como dito no início, são sistemas usados para monitorar áreas com finalidades distintas, como temperatura, proximidade, gás, operados sem fio por uma fonte de energia (Choi; Jung; Kang, 2019),

Essas redes de sensores são abastecidas e possuem sensores levemente energizados, como citado antes. Naturalmente, desde que permitam que sejam recarregados, a energia à base de som poderia otimizar tal etapa, uma vez que, dependendo de onde o sistema estiver, é provável que haja alguma fonte sonora. Nas frequências otimizadas documentadas anteriormente, a energia foi gerada com frequências baixas, menores que 250Hz, como indicaria o espectro sonoro (figura 2).

Figura 2 – Localização da audição humana no espectro sonoro



Fonte: Som [...] (s.d.)

Segundo Choi, Jung e Kang (2019), os desafios estão relacionados à baixa densidade da onda sonora oferecendo pouca eficiência energética, embora isso possa depender do contexto. Os sons ultrassônicos também são estudados para gerar energia, de acordo com

Zhou *et al.* (2023), e apresentam relações mais concretas com seu uso e o potencial real. Os relatos de seu trabalho mostram que a coleta de energia por ondas ultrassônicas é factível e pode gerar mais de 50 mW, o que seria mais do que suficiente para alimentar certos aparelhos eletrônicos de baixa potência.

Esses dados ainda não são conclusivos em relação a sensores especificamente, mas, de acordo com a informação, para produzir a quantidade de energia mencionada, foram utilizados dois componentes em formato anelar, um deles um atuador piezoelétrico que responde a outro contendo características de polarização apropriadas para coletar a energia das vibrações ultrassônicas.

Há um lastro grande de vibrações que permitem um processo de transdução. Altas frequências parecem ser mais comumente estudadas do que as baixas, apesar de estas possuírem mais resistência e transmissibilidade maior (Zhou *et al.*, 2023). É perceptível que tal forma de produção de energia, de maneira independente, é ainda imatura, todavia demonstra um potencial relevante para a necessidade infraestrutural atual.

Para que não se deixe de explorar o potencial energético através das ondas sonoras, seria importante começar por questionar o que poderia ser feito em relação à capacidade de armazenamento de energia, por configurar uma situação fora da problemática de distribuição. Para essa elaboração, seria benéfico mais entendimento sobre o rumo que as frequências do som tomam, principalmente dentro de um corpo humano, pois a audição é um processo que gera carga elétrica.

INSPIRAÇÃO NA NEUROCIÊNCIA

Tendo estabelecido anteriormente a definição de transdução, ela ajudará a entender com mais facilidade como o aparelho auditivo humano funciona. Ele é um transdutor natural que todos os seres humanos possuem, transformando a movimentação das moléculas de ar em carga elétrica no sistema nervoso.

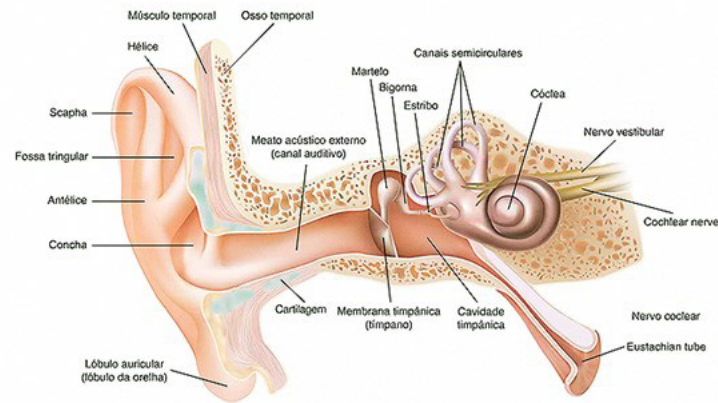
Trata-se do mais complexo de nossos sistemas sensoriais e que se divide em múltiplas camadas no cérebro, além do aparelho auditivo, que compreende o exterior e o interior do ouvido, como é colocado por Nina Kraus (2021): “An intact ear and a full complement of functioning subcortical nuclei, dutifully firing electrical impulses in response to sound, will not result in what we perceive as sound without the auditory cortex”.

Seguindo a extensão dos dados que a autora apresenta, a partir do ouvido externo as frequências tomam forma no canal auditivo e são levadas até a membrana timpânica, onde as moléculas de ar em movimento realizam pressão. Uma pressão de uma ordem infinitesimal; a exemplo de uma corda de guitarra sendo tocada, Nina (2021) descreve uma mudança de 14.7psi para 14.700003psi.

Esse movimento é o que guia todo o estímulo do conjunto ósseo e então para a cóclea, estrutura que lembra uma concha que contém um líquido chamado perilinfa, recebendo todos os impulsos citados e através de pequenos fios. O movimento, agora desse líquido, vai estimulá-los para gerar a carga elétrica por uma combinação de componentes químicos em nosso corpo, especificamente íons de cálcio e potássio (Kraus, 2021).

O nervo coclear, visualizado na figura 3 na extremidade lateral direita, é a parte responsável por encaminhar todos esses dados na forma de energia elétrica para uma sequência de áreas do cérebro que vão processar propriedades diferentes do som, até chegar ao córtex cerebral, a parte comumente entendida como, imageticamente falando, o cérebro.

Figura 3 – Sistema auditivo humano



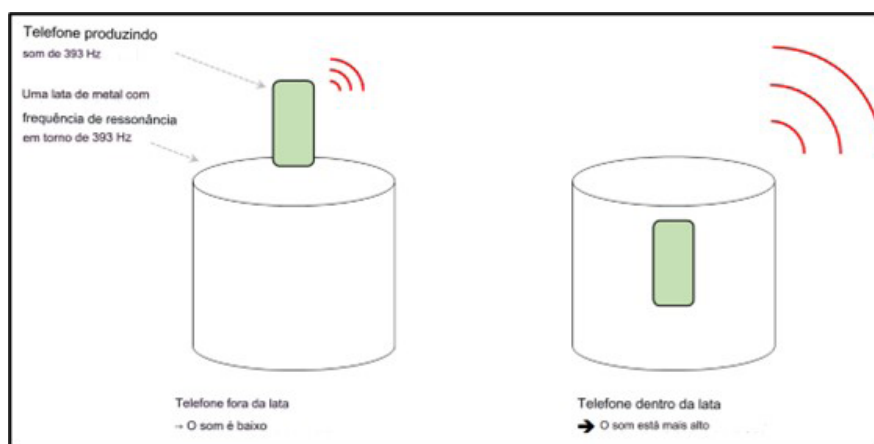
Fonte: Saiba [...] (s.d.)

O percurso descrito demonstra como o sistema auditivo utiliza o movimento de moléculas de ar como instrumento para gerar a carga necessária para realizar a interpretação do som, assim dependendo de uma transdução para funcionar. Como visto no microfone e também agora parecido com uma caixa de som, que transforma o sinal elétrico em sinal mecânico.

O POTENCIAL DA PRESSÃO SONORA

Em uma explicação dada por Choi, Jung e Kang (2019) sobre o panorama tecnológico para geração de energia por som, coletam-se práticas e reflexões em relação a pesquisas no mundo todo, em tentativas de projetar mecanismos que aumentem seu potencial. O principal componente citado para realizar essas propostas é o ressonador (figura 4). “Typical sound energy harvesters usually consist of resonator, membrane and piezoelectric material [...]” (Choi; Jung; Kang, 2019).

Figura 4 – Representação do fenômeno da ressonância



Fonte: Why [...] (2022, com modificações do autor)

O ressonador produz oscilação sonora em sua frequência de ressonância. Uma membrana que um lado está ligado a um ressonador e outro ligado a um material piezoelétrico oscila junto por oscilação sonora. O material piezoelétrico converte a energia mecânica em energia elétrica. Ressonadores são geralmente usados em coletores de energia sonora para amplificar o som incidente [...] (Choi; Jung; Kang, 2019, tradução livre).

Apropriando-se desse raciocínio de conversão e geração de energia, mantém-se uma espécie de sequência entre os materiais, muito semelhante aos transdutores. As pesquisas derivam de estudos sobre amplificação da pressão sonora e mecanismos de transdução, deixando destacado que a primeira se expande para sistemas geradores por ressonador, que amplificam a frequência, e o outro por metamateriais.

Os materiais denominados dessa forma são confecções sintéticas para realizar experimentos que possibilitam alterar propriedades eletromagnéticas a fim de se obter resultados além do que é possível por meio de materiais na natureza (Ghatak; Gorai, 2023).

Uma das principais aplicações dos metamateriais é a manipulação das propriedades das ondas eletromagnéticas, já que cada elemento individual que compõe o metamaterial interage de uma forma diferente com a luz incidente, podendo modificar a amplitude e a fase da onda em cada região de maneira independente (Alves, 2018).

Sua alta capacidade manipulativa tem levado ao seu estudo dentro da geração de energia por ondas sonoras, aplicações tratadas como metamateriais acústicos, que vão trabalhar com base na propriedade denominada piezoelectricidade, fenômeno que materiais, no caso naturais, apresentam quando geram um campo elétrico interno ao sofrerem perturbações mecânicas. Cristais como o quartzo, por exemplo, são minerais com propriedades piezoelétricas (Damjanovic, 2005).

As interferências ou estímulos mecânicos funcionam como as frequências que acontecem, são captadas pelo sistema gerador e criam movimentação, no caso vibrações, que geram carga elétrica. Portanto, as vibrações não precisam ser derivadas do som, mas, considerando que o limite humano de audição está entre 20hz e 20.000hz, há de considerar outras frequências fora desse espectro que possam servir ao propósito de maneiras inusitadas.

The acoustic waves are classified into infrasonic, sonic and ultrasonic waves by the ascending order of the frequency. Seismic wave is one common infrasonic wave containing substantial energy and propagating in the earth's crust. The acoustic wave that is audible is the sonic wave. In nature, the sounds of wind flows and raindrops are common sonic energy sources (Tan *et al.*, 2019).

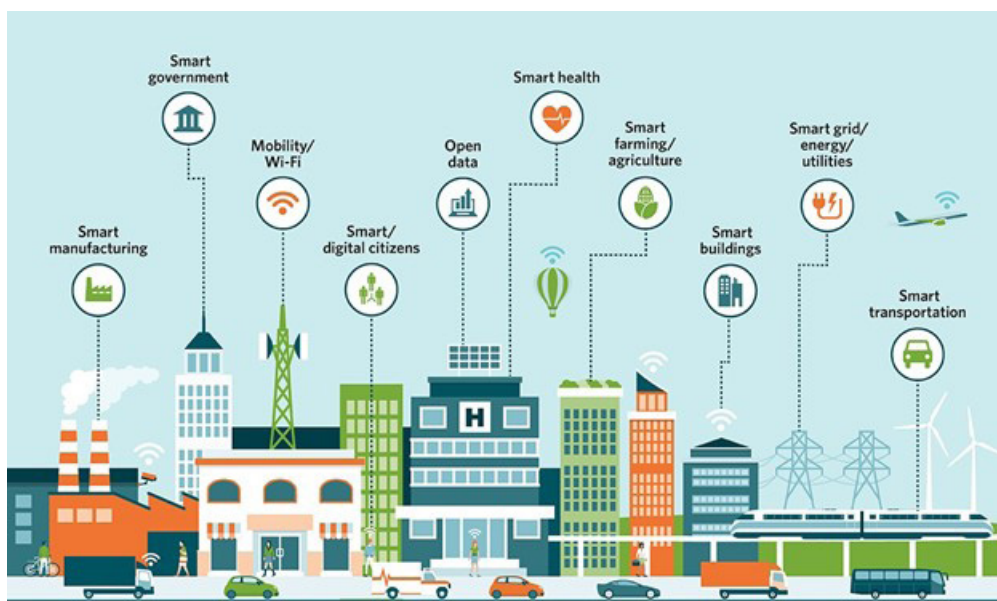
Então, o potencial energético sonoro acompanhará a evolução em metamateriais acústicos para, principalmente, baseado em um fenômeno natural, poder gerar um saldo em energia significativo. De formas especulativas, por enquanto, é possível idealizarmos equipamentos ou projetos que levam em conta os dados sobre o comportamento neurológico humano, os desafios apresentados até aqui e as possibilidades materiais atuais.

A primeira indagação dessa exploração relaciona-se à infraestrutura complexa da audição humana. Retomando o funcionamento da cóclea: o líquido em seu interior, junto com as suas células capilares, desencadeia uma reação a diferentes químicos ao ser agitado, deixando-os carregados eletricamente; esse processo gera mínimas cargas elétricas e leva-as para o cérebro, dividindo-as em diferentes camadas, acabando por resultar nas informações necessárias para concretizar a escuta.

Muitas partes orgânicas estão envolvidas no momento da percepção do som, que incluem uma geração interna de energia elétrica. Como os metamateriais comentados anteriormente apresentam capacidades de simular propriedades de materiais naturais piezoelétricos, pode-se trabalhar a composição desses materiais sintéticos pensados para reproduzir tais reações químicas, visando à potencialização de geração de energia.

Pode-se apresentar uma forma de maior coleta de energia e otimização de seu armazenamento em baterias, tal feito a princípio pode abastecer as redes WSNs, que terão assim mais confiabilidade e quantidade de energia a oferecer para lugares com dificuldades de acesso à eletricidade. A autonomia e velocidade com a qual, teoricamente, “baterias” poderiam ser enviadas a tais locais trazem mudanças significativas. Os projetos que visam a instalações complexas otimizadas de sistemas para *smart cities* também se beneficiam da integração de uma fonte de energia de apoio, na missão de reduzir emissões e aumentar a eficiência de sistemas (Conheça [...], 2023).

Figura 5 – Pontos de foco dos projetos de *smart cities*



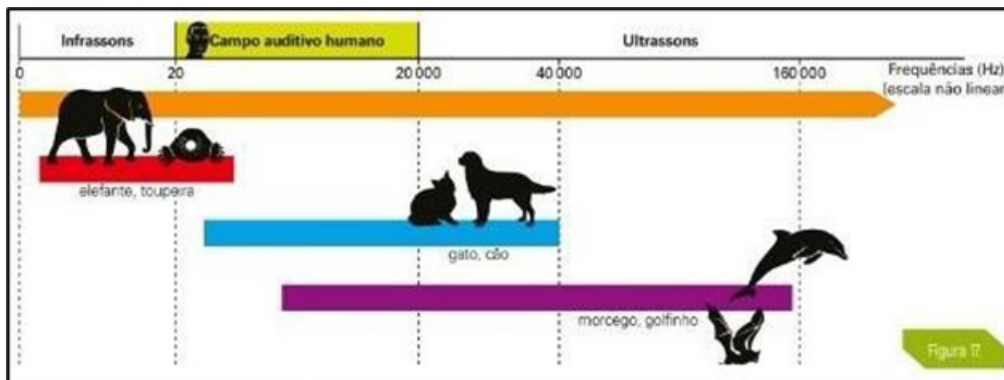
Fonte: Connected [...] (2020)

Propriedades de metamateriais acústicos também podem ser exploradas com a intenção voltada para as frequências infrassônicas e ultrassônicas, aquelas que são humanamente impossíveis de escutar. As frequências mais baixas são as mais densas e se propagam com maior facilidade, enquanto as mais altas vão oferecer maior oscilação e agitação. Ambas as situações conferem, respectivamente, mais oportunidades de espaço de coleta de energia e potência. Poder captar as vibrações de ondas infrassônicas, presentes na própria superfície terrestre, mudaria o cenário completamente em relação a áreas disponíveis para geração de energia e exploração de materiais condutores dessas vibrações.

É curioso também que sons que são impossíveis para o ser humano reconhecer podem oferecer cenários relevantes para a questão, entretanto tais ruídos inaudíveis continuariam a ser somente imaginados, embora perceptíveis por outros seres vivos com suas particularidades auditivas.

A possibilidade de captar ruídos de baixíssima frequência, a partir de uma superfície que o conduz, certamente elevaria a quantidade de áreas aproveitáveis para que fontes sonoras fossem convertidas em energia. Na figura 6 consta uma relação entre as áreas, além da percepção auditiva humana comparada a outras espécies de seres vivos, tanto para ultrassons quanto para infrassons.

Figura 6 – Espectro auditivo entre seres vivos mostrando audição infrassônica



Fonte: Brainly

CONCLUSÃO

As relações proporcionadas por todos os dados em relação a tecnologias para coleta de energia e o comportamento do áudio nos corpos humanos mostram uma fronteira do entendimento de frequências e ondas sonoras, também ampliando o conhecimento e a aplicação dos metamateriais acústicos para soluções futuras, por ser uma fonte abundante e de origem limpa em grande parte dos casos.

Em especial, destacam-se os infrassons, por representar uma frequência de baixa oscilação, que confere uma transmissão extensa por meio de superfícies materiais. Trata-se de frequências fora do campo de escuta humano, mas que podem ser exploradas para os fins aqui descritos, em virtude da densidade das ondas.

É clara a semelhança entre o corpo humano e as formas de produção de energia elétrica utilizadas. Em uma escala pequena, o sistema auditivo conduz os impulsos elétricos para o sistema nervoso, os quais, processados pelo cérebro, resultam no que ouvimos. A inspiração nesse sistema em relação ao potencial da energia elétrica gerada por som sinaliza a proporção entre os elementos antes da transdução e o som ouvido de fato. O resultado vindo do processo é grandioso, proporcionalmente falando, considerando que é desencadeado por um estímulo quase imensuravelmente pequeno.

O longo estudo relacionado a sensores e transmissão sem fio revela problemas estruturais para o avanço de suas tecnologias a uma escala maior, em que energia gerada por onda sonora possa ser direcionada, em um futuro breve, ao abastecimento de componentes dessas redes de sensores. Um grande benefício também pode ser encontrado nessas capacidades, buscando evoluir sua aplicação para atender a projetos de *smart cities*, como um advento para o armazenamento de energia, que suporta tais sistemas integrados, permitindo que cada componente seja abastecido por reservas de energia obtidas por som.

Haverá, assim, uma possibilidade de evolução para uma distribuição totalmente sem fio e carregamento de veículos por proximidade em larga escala, o que ajuda a diminuir metade dos custos entre montagem de infraestrutura e transmissão (Xie *et al.*, 2023).

REFERÊNCIAS

AKHTAR, Fayaz; REHMANI, Mubashir Husain. Energy replenishment using renewable and traditional energy resources for sustainable wireless sensor networks: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Pakistan, n. 45, p. 769-784, 2015. Anual. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115001094>. Acesso em: 20 out. 2023.

ALVES, Pablo Abreu. **Metamateriais:** uma breve introdução. Fortaleza, 16 nov. 2018. Disponível em: <http://www.petquimica.ufc.br/metamateriais-uma-breve-introducao/>. Acesso em: 16 set. 2023.

CHOI, Jaehoon; JUNG, Inki; KANG, Chong-Yun. A brief review of sound energy harvesting. **Nano Energy**, v. 56, p. 169-183, 2019.

CONHEÇA o conceito de *smart cities* e saiba como funcionam. **Bosch**. Disponível em: <https://www.bosch.com.br/noticias-e-historias/aiot/smart-cities/>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CONNECTED Smart Cities & Mobility Digital Xperience 2020. **Casa e Mercado**, 6 set. 2020. Disponível em: <https://casaemercado.com.br/connected-smart-cities-mobility/>.

DAMJANOVIC, Dragan. Piezoelectricity. *In: ENCYCLOPEDIA of Condensed Matter Physics*. Lausanne, Switzerland: Elsevier, 2005. p. 300-309.

FREITAS, Reginaldo. Geração de energia elétrica por ondas sonoras (uma proposta de sustentabilidade). **FAZU em Revista**, Uberaba, n. 7, p. 154-158, 2010. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/geração-de-energia-elétrica-por-ondas-sonoras>. Acesso em: 22 ago. 2023.

GHATAK, Rowdra; GORAI, Abhik. Metamaterials: engineered materials and its applications in high frequency electronics. **Encyclopedia of Materials: Electronics**, India, ed. 3, p. 419-400, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012819728800022X>. Acesso em: 10 set. 2023.

KRAUS, Nina. **Of sound mind:** how our brain constructs a meaningful sonic world. EUA: MIT Press, 2021. 368 p.

MICROFONE de indução e seu funcionamento. **Perceber o Mundo**, 5 jan. 2009. Disponível em: <https://perceberomundo.blogs.sapo.pt/4233.html>.

MICROFONE DINÂMICO: como funciona e quando usar. **AvMakers**, 2020. Disponível em: <https://www.avmakers.com.br/blog/microfone-dinamico-como-funciona-e-quando-usar>.

SAIBA mais sobre a estrutura do ouvido humano. **Centro Auditivo Líder**. s.d. Disponível em: <https://centroauditivolider.com.br/blog/post/221/saiba-mais-sobre-a-estrutura-do-ouvido-humano>.

SIMON, Julia. Why lasers could help utilities make the electrical grids greener. **National Public Radio**, 11 ago. 2023. Disponível em: <https://www.npr.org/2023/08/11/1193393765/why-lasers-could-help-utilities-make-the-electrical-grids-greener>. Acesso em: 21 set. 2023.

SODANO, Henry A.; INMAN, Daniel J.; PARK, Gyuhae. Comparison of piezoelectric energy harvesting devices for recharging batteries. **Journal of Intelligent Material Systems and Structures**, v. 16, n. 10, p. 799-807, 2005.

SOM – ondas sonoras. *In: Arabibá: mais ciências – 9.º ano*. Manual do professor. s. d. Disponível em: https://apppublico.com.br/educacao_cristais/pdf/20201020162556_9%20CIE.pdf

TAN, Ting; YAN, Zhimiao; ZOU, Hongxiang; MA, Kejing; LIU, Fengrui; ZHAO, Linchuan; PENG, Zhike; ZHANG, Wenming. Renewable energy harvesting and absorbing via multi-scale metamaterial systems for Internet of things. **Applied Energy**, v. 254, p. 113717, 2019.

WHY do we hear louder sound when the source is in a resonator? **Physics**, 2022. Disponível em: <https://physics.stackexchange.com/questions/687554/why-do-we-hear-louder-sound-when-the-source-is-in-a-resonator>.

WU, Nan; BAO, Bin; WANG, Quan. Review on engineering structural designs for efficient piezoelectric energy harvesting to obtain high power output. **Engineering Structures**, v. 235, 2021.

XIE, Haonan; HUANG, Renhao; SUN, Hui; HAN, Zepeng; JIANG, Meihui; ZHANG, Dongdong; GOH, Hui Hwang; KURNIAWAN, Tonni Agustiono; HAN, Fei; LIU, Hu; WU, Thomas. Wireless energy: paving the way for smart cities and a greener future. **Energy and Buildings**, China, ed. 297, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778823006990>. Acesso em: 19 out. 2023.

ZHOU, Suo; HOU, Lugang; WANG, Guangqing; ZHOU, Yuyang. Ultrasound vibration energy harvesting from a rotary-type piezoelectric ultrasonic actuator. **Mechanical Systems and Signal Processing**, China, ed. 197, 2023. Disponível em: [sciencedirect.com/science/article/S0888327023002443](https://www.sciencedirect.com/science/article/S0888327023002443). Acesso em: 19 out. 2023.

REGISTRO DE CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA:

Taxonomia CRediT (<http://credit.niso.org/>)

ACR. Redação – original, Software, Conceitualização, Curadoria de dados, Análise formal, Aquisição de financiamento, Investigação, Metodologia, Gestão de projetos, Insumos, Redação – revisão e edição, Supervisão, Validação, Visualização

Declaração de conflito: nada foi declarado.