

## PROPOSTA DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL ATRAVÉS DE UM DISPOSITIVO AUTÔNOMO

GABRIEL MARTINELLI ZAPATA\* & MARCEL KUHNE \*

Curso de Graduação – Faculdade de Engenharia Mecânica/UNICAMP

E-mail dos autores correspondentes: [gabrielzapata6@gmail.com](mailto:gabrielzapata6@gmail.com) e [marcelk9@hotmail.com](mailto:marcelk9@hotmail.com)

**RESUMO:** Um dispositivo autônomo é aquele que se move sozinho, dispensando qualquer forma de energia auxiliar para seu funcionamento, tais como elétrica, química, solar, etc. O trabalho consiste na apresentação de um modelo computacional e um protótipo construído, feitos pelos integrantes. Sua vantagem é simples e impactante, uma vez que reduz a zero a energia no transporte interno de objetos. Além da construção de um protótipo para demonstração e teste da eficácia de um dispositivo autônomo, foi modelado num software CAD um dispositivo da mesma natureza, mas com o devido dimensionamento para aplicação industrial ou comercial. Concluiu-se que o protótipo funciona e demonstra bem o conceito envolvido enquanto o modelo computacional é aplicável, tendo retorno garantido por ser uma máquina com gasto zero de energia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dispositivo autônomo, energia potencial gravitacional, energia potencial elástica, *karakuri*, energia limpa.

### PROPOSED FORM OF EXPLOITATION OF GRAVITATIONAL POTENTIAL ENERGY BY AN AUTOMATON

**ABSTRACT:** An automaton is a self-operating device, eliminating any form of auxiliary energy, such as electrical, chemical, solar, etc. The paper consists in presenting a computational model and a built prototype, the two of them having been made by members of the group. The advantage is simple and dramatic, since it drops the costs with inside transport to zero. Besides the construction of a with means to demonstrate and test the efficiency of an automaton device, a similar device was modeled with a CAD software, now following due dimensions and calculations for commercial or industrial application. The conclusion is that the prototype works well and shows the concept behind the automata while the computational model is perfectly applicable and has evident return for its zero-costs with energy.

**KEYWORDS:** Automata, gravitational potential energy, elastic potential energy, *karakuri*, clean energy.

### INTRODUÇÃO

A ideia fundamental do presente artigo não tem vínculo algum com a proposta de uma nova forma de geração de energia limpa, mas sim, com a apresentação e descrição de uma alternativa para economia de gastos desenfreados numa empresa, com um dispositivo cuja aplicação resulta em gastos zero de energia elétrica, de manutenção e investimentos.

Dispositivos autônomos, inspirados em bonecos conhecidos como *karakuri ningyō*, usados tradicionalmente no Japão, segundo o Karakuri INFO\_1 (BOYLE, 2008a), há mais de trezentos anos (período Edo), são, por definição, armazenadores de energia potencial gravitacional e a base para a proposta feita.

Segundo o Karakuri INFO\_2 (BOYLE, 2008b), os relógios de corda chineses inspiraram

os japoneses a iniciar a tradição do *karakuri*, bonecos usados como atrativos de festivais religiosos, peças de teatro ou mesmo para uso

doméstico, como brinquedos ou para servir chá, segundo o WIKIPEDIA\_1 (2013).

### PROTÓTIPO CONSTRUÍDO



**Figura 1.** Protótipo de dispositivo autônomo construído (direita) e materiais usados na sua construção (esquerda e meio)

A Figura 1 mostra a construção feita pelos integrantes do grupo de um protótipo daquilo que poderia ser um dispositivo de aplicação comercial ou industrial.

O dispositivo construído foi feito com cordas de relógio de parede cedidas por uma relojoaria de Ibitinga, cidade no interior do estado de São Paulo. As engrenagens de madeira foram esculpidas pela oficina mecânica do Instituto de Física Gleb Wataghin (IFGW) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). As molas helicoidais foram cedidas por uma oficina mecânica da cidade de Ibitinga-SP. A cadeira foi cedida pela E. E. Prof. Victor Maida, da mesma cidade. Tubos de fibra de carbono, para os eixos das rodas, foram comprados da equipe extracurricular de aerodesign Urubus, da

Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM) da Unicamp.

O assento da cadeira, ao ser abaixado pelo peso da massa a ser transportada, faz comprimir as quatro molas que estão embaixo dele e, simultaneamente, retorna as cordas de relógio, que são molas em espiral, aos seus estados não deformados (quando não há um peso no assento, elas estão em estados tracionados), acionando então o eixo do pinhão através de pregos, peças responsáveis pela transmissão de torque. Então, o pinhão engrena a coroa dentada do eixo das rodas dianteiras, que fazem o carrinho andar. Com a retirada da massa, as molas tendem a voltar ao seu estado inicial, gerando a elevação do assento e simultaneamente, a tração das cordas de relógio,

fazendo com que todo o movimento ocorra no sentido reverso e o carrinho volte à posição original.

O protótipo construído foi capaz de transportar um saco de arroz de cinco quilogramas [kg] por cinco centímetros [cm] e voltar a sua posição original, após a retirada do saco.

Fica evidente que não é nada eficaz, devido aos materiais utilizados, sendo estes descartáveis, e seus dimensionamentos, vagamente projetados. Isso se deu pelas limitações financeiras, de tempo disponível dos integrantes e por falta de locais propícios para o teste e, após o término do projeto, de armazenamento do dispositivo. No entanto, a ideia principal do projeto era demonstrar o funcionamento de um dispositivo autônomo. Assim, foram aplicados com sucesso os princípios que são envolvidos num *karakuri*.

### MODELO COMPUTACIONAL

Em vista da necessidade do transporte de objetos, desde peças automotivas numa linha de produção até bandejas e/ou pratos num restaurante universitário ou mesmo bolas de boliche retornando aos jogadores, propõe-se mostrar as vantagens da implementação de um dispositivo que evita o gasto de energia de fontes que geram problemas ambientais, como as que alimentam a rede elétrica de uma cidade ou que alimentam motores à combustão.

O modelamento foi feito no software CAD (sigla em inglês de *computer-aided design*,

desenho auxiliado por computador) *SolidWorks*® e salvo num arquivo de extensão “.STL” – sigla em inglês que vem de *Stereo Lithography*, uma forma de prototipagem rápida (*rapid prototyping*), ou seja, os arquivos das peças modeladas podem servir como dados de entrada para uma máquina de prototipagem.

O dispositivo se trata de uma plataforma levadiça sobre rodas para mover objetos pesados. Seu princípio é aproveitar a energia potencial gravitacional disponível na massa de algo a uma determinada altura. Isso é feito convertendo-se uma parcela dela em energia potencial elástica, armazenando-a em molas, outra parte em energia cinética de engrenagens e eixos, que movimentam a estrutura inteira numa trajetória retilínea até um local determinado e, por fim, outra fração é dissipada em pistões hidráulicos, que servem para aliviar o movimento brusco de retorno da mola ao seu estado inicial de deformação. Vale notar que uma pequena parcela é dissipada na forma de calor e barulho, porém torna-se desprezível com uma boa lubrificação dos componentes da estrutura. Posteriormente, a massa é retirada e aquela energia potencial elástica contida nas molas, pelo projeto do dispositivo, é transformada em energia cinética, forçando o sistema motor de engrenagens a funcionar no sentido contrário, retornando o dispositivo ao seu local original, permitindo que ele refaça todo o processo (ROBOTS AND KARAKURI, 2008).

A simulação estimou que submetendo o dispositivo a um peso de uma caixa de

transmissão automotiva de aproximadamente 85 quilogramas [kg], a distância percorrida seria de 3 a 4 metros [m]. Para a simulação, foi pré-definida uma constante elástica,  $K$ , de 5500 Newton por metro [N/m] de cada mola – as quatro dispostas “em paralelo” se equivalem a uma mola de  $K = 22000$  N/m. As rodas tinham dimensão de 380 milímetros [mm]. A engrenagem menor do eixo de acionamento

possuía 42 dentes, enquanto a maior, 90. A engrenagem do eixo motor possuía também 42 dentes. Os pistões tinham coeficiente viscoso de 82,5 quilo Newton segundo por metro [kN\*s/m].

O estudo do movimento desse dispositivo envolve conhecimentos de dinâmica, parte da mecânica que estuda o comportamento dos corpos em movimento e a ação das forças que produzem ou modificam seus movimentos.

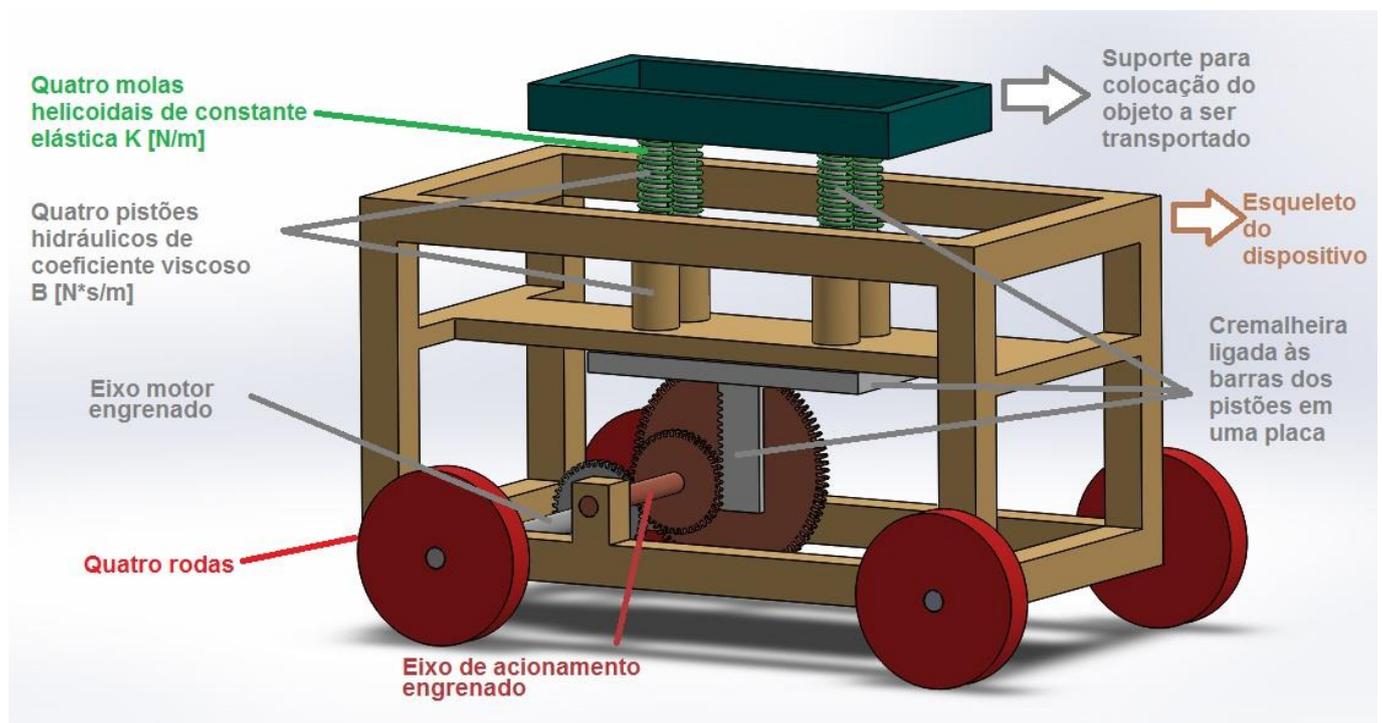


Figura 2. Detalhamento do modelo do dispositivo construído numa plataforma CAD (SolidWorks®)

No caso contemplado no modelo, o mecanismo possui apenas um grau de liberdade, ou seja, de uma maneira simplificada, ele tem o movimento de translação retilínea restrito a um único deslocamento, sendo este o do “Suporte do Objeto a ser Transportado”, elemento especificado na Figura 2, que é um movimento totalmente vertical. O fato de ele ter só um grau de liberdade reforça sua característica principal,

a autonomia, pois garante que todo o seu movimento seja desencadeado apenas pela ação de uma força e também justifica o estudo do movimento através da Equação do Movimento de Eksergian, forma mais eficiente da Equação de Lagrange para estudo de um sistema de apenas um grau de liberdade.

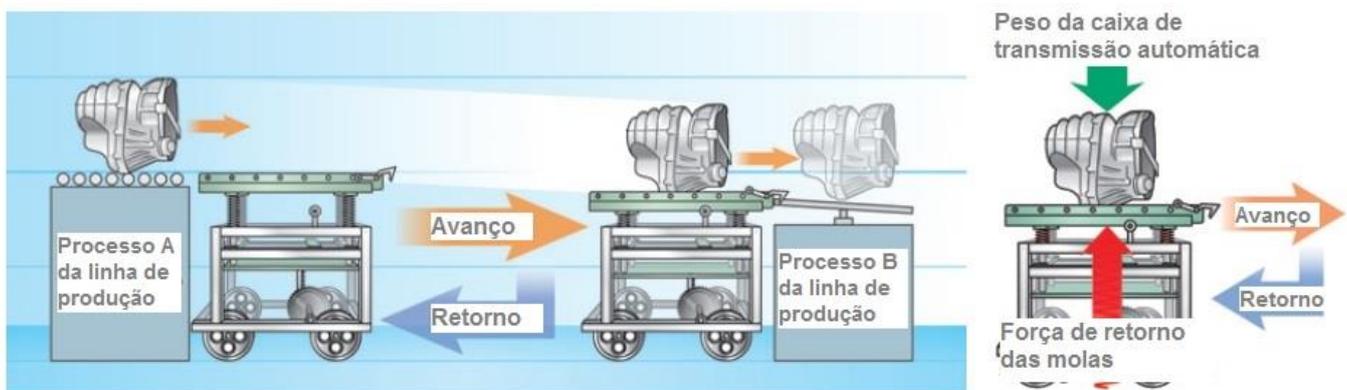
As simulações se basearam na equação supracitada em sua forma que considera a inércia

generalizada (duas vezes a energia cinética dos elementos do sistema dividido pelo quadrado da velocidade da coordenada generalizada), aqui denotada por  $I$ , a aceleração da coordenada generalizada, aqui denotada por  $d^2q/dt^2$ , o coeficiente centrípeto (metade da derivada da inércia generalizada em relação à coordenada generalizada), aqui denotado como  $C$ , o quadrado da velocidade, denotado como  $(dq/dt)^2$ , a derivada da energia potencial do sistema em relação à coordenada generalizada,

denotada como  $dV/dq$ , sendo  $V$  a energia potencial gravitacional somada à energia potencial elástica, e por fim, a força generalizada não-conservativa,  $Q_{NC}$ , que envolve todas as forças não conservativas do sistema. No caso, é a força praticada pelos pistões hidráulicos (DOUGHTY, 1988).

$$I*(d^2q/dt^2) + C*(dq/dt)^2 + dV/dq = Q_{NC}$$

(Equação do Movimento de Eksergian)



**Figura 3.** Esquematização do movimento do dispositivo. Fonte: (AISIN AW ENVIRONMENTAL REPORT 2012, 2012)

A Figura 3 mostra como se dá o transporte de uma caixa de transmissão automática numa linha de produção por um dispositivo semelhante ao modelado, feito pela Aisin AW, da Aisin Seiki Company, uma indústria japonesa de componentes automotivos do Grupo Toyota, situada em Anjō, na província de Aichi, fundada em 1949, segundo o WIKIPEDIA\_2 (2013). Fica evidente a não utilização de qualquer outra fonte de energia que não seja a potencial gravitacional para desencadear os movimentos da estrutura.

O trabalho da Aisin AW (2012) anuncia as reduções palpáveis de energia alcançadas após a aplicação dos dispositivos autônomos na empresa. O tipo de dispositivo utilizado anteriormente aos autônomos era de alimentação elétrica, e cada unidade consumia cerca de 1000 quilo Watt hora por ano [kWh/ano]. Esse gasto em consumo de eletricidade foi reduzido a zero.

A maneira de funcionamento do modelo projetado faz necessário um novo dimensionamento da disposição dos processos da linha de produção, para torná-las apropriadas

para a instalação desses dispositivos. Como é claro na Figura 3, deve existir uma linha reta com dimensão igual ao quanto o dispositivo anda no avanço e no retorno.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AISIN AW ENVIRONMENTAL REPORT 2012, Cidade de Anjō, província de Aichi, Japão, Outubro, 2012, p. 19, disponível em: [http://www.aisin-aw.co.jp/en/csr/report/pdf/e\\_report\\_2012\\_automn\\_all.pdf](http://www.aisin-aw.co.jp/en/csr/report/pdf/e_report_2012_automn_all.pdf) Acesso em: 20 de maio de 2013
- BOYLE, K., 2008a, *Karakuri Info\_2, Zashiki karakuri*, Disponível em: <http://www.karakuri.info/origins/index.html>, Acesso em: 29 de Junho de 2013
- BOYLE, K., 2008b, *Karakuri Info\_2, Karakuri origins*, Disponível em: <http://www.karakuri.info/zashiki/index.html> Acesso em: 29 de Junho de 2013
- DOUGHTY, S., *Mechanics of Machines*, 1 Ed, Patteville, WI, Estados Unidos: John Wiley & Sons Inc., 1988
- ROBOTS AND KARAKURI, Science Channel, programa: “What The Ancients Knew: Karakuri: The 1st Robots”, 2008, Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=UIOJUXeDbcE> Acesso em: segundo semestre de 2011
- THIRD MONOZUKURI NIPPON GRAND AWARD, 2010, p. 29, disponível em: [http://www.monodzukuri.meti.go.jp/news/file/TheMonodzukuriNipponGrandAward\\_3rdPrizes\\_e.pdf](http://www.monodzukuri.meti.go.jp/news/file/TheMonodzukuriNipponGrandAward_3rdPrizes_e.pdf) Acesso em: 20 de maio de 2013
- WIKIPEDIA\_1, 2013, *Karakuri ningyō*, Disponível em: [http://en.wikipedia.org/wiki/Karakuri\\_ningy%C5%8D](http://en.wikipedia.org/wiki/Karakuri_ningy%C5%8D) Acesso em: 29 de Junho de 2013
- WIKIPEDIA\_2, 2013, Aisin Seiki Co., disponível em: [http://en.wikipedia.org/wiki/Aisin\\_AW#Aisin\\_AW](http://en.wikipedia.org/wiki/Aisin_AW#Aisin_AW)>, acesso em: 30 de Junho de 2013