

# A construção de um minirobô controlado por dispositivos móveis: uma nova abordagem ao ensino de eletrônica

Douglas S. dos Santos\*      Gabriel A. de Melo †      Cairo L. Nascimento Jr. ‡

2019

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil

## Resumo

Este artigo expõem o projeto realizado por alunos de graduação de um minirobô movido por vibração, de baixo custo, com comunicação *Bluetooth* para dispositivos móveis, controlado a partir de um aplicativo projetado para *smartphones*. Utilizou-se uma metodologia de educação que mescla um ensino teórico tradicional com a aplicação em um projeto de engenharia *hands on* usando os ensinamentos adquiridos, a fim de melhorar o aprendizado e a motivação dos estudantes de engenharia nos cursos de circuitos eletrônicos.

**Palavras-chaves:** ensino, engenharia, eletrônica, robô, vibração, móvel.

## Abstract

This article shows the undergraduate project of a low-cost vibration-driven mini-robot with Bluetooth communication for mobile devices, controlled from an application designed for smartphones. We used an education methodology that combines a traditional theoretical teaching with the application in a hands-on engineering project using the acquired lessons in order to improve the learning and the motivation of the engineering students in the courses of electronic circuits.

**Key-words:** teaching, engineering, electronics, robot, vibration, mobile.

## 1 Introdução

Com a grande disponibilidade de conhecimento, principalmente a nível de graduação, em meios eletrônicos e de fácil acesso, é necessário, segundo Righetto (2017), que haja liberdade na aprendizagem. A geração atual, que cresceu em conjunto com a Internet e com o acentuado desenvolvimento

tecnológico, é caracterizada por conseguir realizar várias tarefas ao mesmo tempo, com indicadores de um caráter imediatistas, influenciados por uma complexidade e por uma velocidade crescente estabelecida pela tecnologia (BARDINI; SPALDING, 2017).

De acordo com Righetto (2017), os jovens que iniciam uma nova etapa de suas vidas nas faculdades estão, em sua maior parte, nos últimos anos de suas adolescências e ainda vivem com alterações e com

---

\* dsoares@ita.br

† gam@ita.br

‡ cairo@ita.br

modificações tumultuadas e conflitivas em suas condutas, em suas liberdades e em seus modelos sobre a realidade. Nesse contexto, ainda segundo Righetto (2017), esses jovens universitários são levados pelo convívio social em detrimento de seus estudos, priorizando experiências que despertem as suas inteligências emocionais. Assim, as aulas teóricas formais as quais formam grande parte da grade curricular desses estudantes tendem a ser tratadas com pouca dedicação, caracterizado por uma baixa participação nas aulas e por um desempenho escolar estagnado. “Esperar que a maioria desses estudantes se compenetre nas disciplinas, siga as regras rígidas das aulas teóricas, provas, aprovação é ignorar a realidade atual.”(RIGHETTO, 2017, p. 1)

Segundo Bressane et al. (2017), é necessário que haja cada vez mais a integração dos saberes na engenharia, uma ciência reconhecida por transformar conhecimentos em soluções práticas. Assim, o foco do projeto está em procedimentos voltados para a aprendizagem, por meio de ações desempenhadas pelos alunos. O seu intuito é trazer o interesse dos alunos para dentro da sala de aula e colocá-los como o centro do binômio ensino-aprendizagem, bem como situar o professor como responsável por criar condições para a efetiva construção de conhecimento. O projeto tem o potencial de despertar a curiosidade, à medida que os alunos se inserem na teorização e trazem elementos novos, ainda não considerados nas aulas ou na própria perspectiva do professor (BARDINI; SPALDING, 2017). O estudante passa a ter uma atuação mais ativa na construção das suas aprendizagens, e o docente a responsabilidade de criar condições para que isso aconteça. Essas mudanças, em parte, são decorrentes da necessidade de uma adaptação para atender à nova geração de discentes que está inserida na rede de ensino.

A implementação de uma mini base robótica controlada através de um dispositivo móvel com tração baseada em vibração, RoboComp, foi inspirada no projeto Kilobot

(RUBENSTEIN et al., 2014). Deste modo, propõe-se uma aplicação para o mundo real, com trabalhos orientados, busca de informação, discussão de conceitos e, sobretudo, com responsabilidade de acordo com a progressão da maturidade do estudante de engenharia.

Na primeira seção deste artigo, um modelo teórico de vibração do robô é apresentado, explicando fisicamente o seu movimento. Em seguida, o projeto de desenvolvimento é explicado, indicando os seus componentes e plataformas utilizadas. Por fim, mostra-se o trabalho e o empenho dos alunos na execução do projeto.

## 2 Modelo de vibração

A estrutura projetada é composta por dois motores de vibração, montados em uma base circular que apresenta três apoios dispostos com simetria radial.

A força normal de repouso  $N_0$ , em Newtons, de cada apoio, está descrita na Equação 1, na qual  $M$  é a massa total do robô em kg,  $g$  é a aceleração da gravidade em  $m/s^2$ . Considera-se a hipótese simplificadora de que o centro de massa do robô está no eixo de simetria da base. Tal modelo pode ser observado na Figura 1.

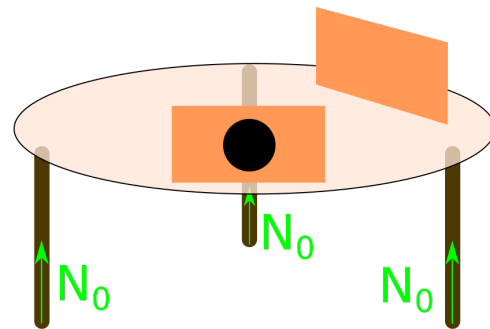


Figura 1 – Modelo esquemático da base de vibração.

$$N_0 = \frac{Mg}{3} \quad (1)$$

Em cada motor, há uma massa assimétrica que gira, provocando uma força

centrípeta  $F_c$  em seu eixo de rotação pode ser modelada conforme descrita pela Equação 2, onde  $I_R$  Representa o momento de inércia da massa interna que gira em torno do eixo do motor, em  $kgm^2$ , e  $\omega$  representa a velocidade angular dessa massa em  $rad/s$ .

$$F_c = I_R \omega^2 \quad (2)$$

Dessa forma, utilizando-se as Equações 1 e 2, pode-se determinar o ângulo  $\theta$  do giro do motor no qual o apoio perde contato com o solo, conforme descrito na equação 3. Isto é, a componente vertical da força centrípeta sobre o eixo supera o peso do robô sobre o apoio.

$$2N_0 = F_c \cos(\theta) \implies \cos(\theta) = \frac{2Mg}{3I_R \omega^2} \quad (3)$$

Em regime permanente, o ângulo no qual o apoio perde contato com o solo é simétrico ao que ele atinge o solo novamente (AKBARIMAJD; SOTOUDEH, 2014). Dessa forma, considerando um movimento circular uniforme, pode-se calcular o tempo no qual não há contato com o solo por meio da Equação 4.

$$t_s = \frac{\Delta\theta}{\omega} = \frac{(2\pi - \theta) - \theta}{\omega} \quad (4)$$

A dinâmica do movimento horizontal é expressa pela Equação 5. Definiu-se  $x$  como a posição do robô em metros,  $\mu$  é o coeficiente de arrasto linear, em  $Ns/m$ ,  $F_A$  é a força de atrito e  $F_{ex}$  uma força externa que atue sobre o robô, em Newtons.

$$M\ddot{x} = F_{ex} - \mu\dot{x} + F_A \quad (5)$$

O atrito é modelado considerando-se a estática e a dinâmica do corpo, isto é, para os casos no qual o apoio está parado ou deslizando (SOBOLEV; SOROKIN, 2007).

O coeficiente de atrito estático é dado por  $k$ , uma grandeza adimensional.

$$F_A = \begin{cases} -kN \operatorname{sgn}(\dot{x}) & \text{se } \dot{x} \neq 0 \\ -F_{ex} & \text{se } 0 < F_{ex} \leq kN \\ -kN \operatorname{sgn}(F_{ex}) & \text{se } F_{ex} > kN \end{cases} \quad (6)$$

A função *sign* (*sgn*) é definida com o objetivo de extrair o sinal (positivo ou negativo de um número), isto é, de acordo com a Equação 7.

$$\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} -1 & \text{se } x < 0 \\ 0 & \text{se } x = 0 \\ 1 & \text{se } x > 0 \end{cases} \quad (7)$$

Considerando-se os sistemas da massa móvel e do robô separadamente, no qual a massa móvel está acoplada ao robô, tem-se um sistema de equações diferenciais apresentadas por Bolotnik et al. (2006), e cuja aproximação em regime estacionário para a velocidade  $v_s$  encontra-se na Equação 8, expressa em  $m/s$ , cujos parâmetros foram definidos anteriormente.

$$v_s = \frac{I_R \omega}{M} \mu k \quad (8)$$

Quando a massa interna está em sua posição mais baixa, a força normal é maior, aumentando o atrito estático no apoio, restringindo o seu movimento. Neste momento, as forças de atrito estáticas ainda são suficientemente grande para se opor à força de reação no eixo do motor, como descrito na Figura 2. A medida que a componente vertical da força de reação do rotor começa a aumentar, a força de reação normal e, portanto, a força de atrito estático é reduzida, até o ponto em que a força de atrito estático é apenas correspondida pela componente horizontal da força de reação do motor (KÜHNEL; HELPS; ROSSITER, 2016). Além deste ponto, a componente horizontal da força do motor é maior do que a força de

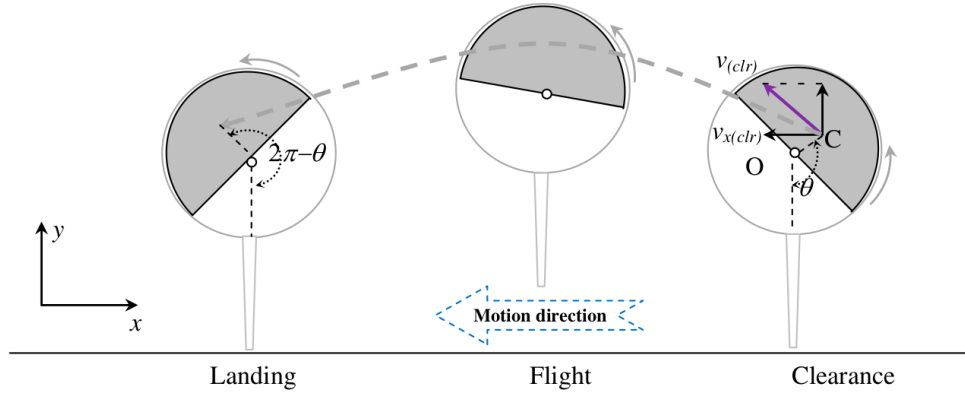


Figura 2 – Modelo para o movimento da estrutura por vibração. Fonte: (AKBARIMAJD; SOTOUEH, 2014)

atrito, e o robô começa a mover. Enquanto o robô estiver em movimento, a força de atrito cinético atua sobre ele, sendo o coeficiente de atrito cinético menor que o coeficiente de atrito estático anterior (ZHAN; XU; FANG, 2018). Como a componente vertical da força de reação do motor continua a aumentar, haverá um momento no qual um dos apoios perde contato com o solo. Assim, enquanto a componente vertical da força de reação do rotor for contrária à ação da gravidade, as forças que resistem ao movimento para frente são menores do que as que resistem ao movimento para trás. Consequentemente, a simetria da oscilação é quebrada e o movimento para frente ocorre durante um ciclo de rotação. Desta maneira, a massa desbalanceada produz um movimento para frente e pulos no robô. (KÜHNEL; HELPS; ROSSITER, 2016)

Em síntese, é necessário que a força de atrito que resiste ao movimento na direção desejada seja menor que a força de atrito que resiste ao movimento na direção oposta. Esta “assimetria” do atrito é fornecida na assimetria das oscilações das massas internas na direção do movimento e da força de atrito alterada pela pressão normal (BOLOTNIK et al., 2006). A pressão normal é controlada pelas oscilações das massas internas na direção perpendicular à superfície na qual o corpo se move. As oscilações horizontal e

vertical têm a mesma frequência, mas são deslocadas em fase, por serem componentes do movimento circular da massa interna.

### 3 Projeto do robô

O projeto do robô se baseia em uma estrutura modular nas quais cada camada possa ser substituída sem necessidade de alteração das outras camadas. O modelo padrão, após prototipagem e testes experimentais, foi construído em uma plataforma robótica composta por três partes:

- base com os motores vibradores;
- circuito de controle dos motores; e
- dispositivo de comunicação.

A base com os motores vibradores, conforme indicado na Figura 3, é composta por: dois motores do tipo *vibracall*, aqueles utilizados nos aparelhos de telefonia celular; uma bateria recarregável de lítio-íon de 3,7V @ 110mAh, reaproveitada de dispositivos *MP3-player*; e uma placa de circuito impresso, face simples, em forma circular com 33 mm, que acomoda a bateria, os motores, os apoios da estrutura e a conectorização do circuito de controle.

O circuito de controle dos motores é composto por um microcontrolador do tipo

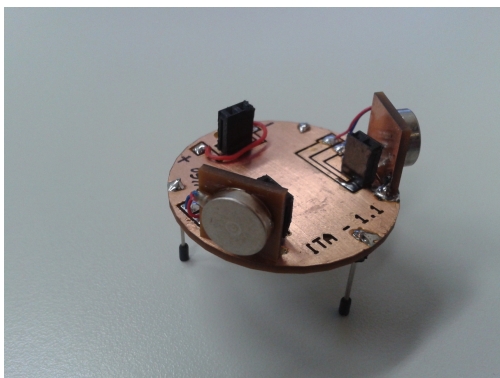


Figura 3 – Base com motores vibradores.

PIC modelo 16F648A com as seguintes características de modo a atender os requisitos deste projeto:

- circuito com 18 pinos;
- baixo consumo, menor que 1 mA;
- interface serial; e
- 4 Kbytes de memória de programa.

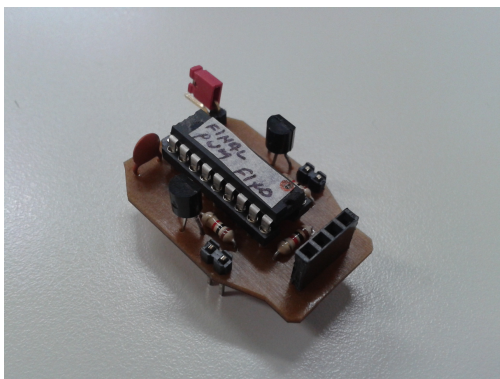


Figura 4 – Módulo de treinamento.

Ligado às saídas do microcontrolador foram implementados os circuitos *drivers* para cada motor vibrador. Assim a Figura 4 mostra o circuito de controle montado em uma placa de face simples, que se conectoriza com a base. O circuito controlador disponibiliza também a conectorização necessária para o dispositivo de comunicação.

No microcontrolador, está implementado o software que controla a velocidade

dos motores, utilizando modulação por largura de pulso (PWM), baseada nos comandos enviados pelo sistema de comunicação *Bluetooth*. O ambiente de desenvolvimento para a criação do software de controle foi o MPLAB-X, fornecido pelo fabricante do microcontrolador (MICROCHIP, 2018).

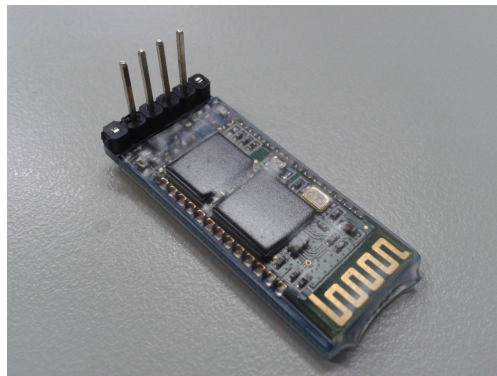


Figura 5 – Módulo de comunicação *Bluetooth*.

O dispositivo de comunicação mostrado na Figura 5, é do tipo *Bluetooth* e possui características importantes para este projeto, como o baixo consumo, alcance razoável, disponibilidade em telefones do tipo celular, *tablet*, etc. A escolha deste tipo de dispositivo foi feita para que a implementação do sistema de controle fosse realizado através de um dispositivo móvel. Assim, com um telefone celular será possível, usando um aplicativo, atuar no robô. O aplicativo criado e implementado no celular terá então a capacidade de receber dados telemétricos e enviar comandos para atuar sobre os motores tipo *vibracall*.

Com todos os subsistemas já incorporados em uma única estrutura a Figura 6 mostra o diagrama de hardware que compõe o robô.

Apresenta-se, na Figura 7, os diagramas de blocos estruturados que compõem o software implementado no microcontrolador. O software tem a função de perceber se algum dado é recebido na interface de comunicação, interpretá-lo e resolver caso seja um comando válido.

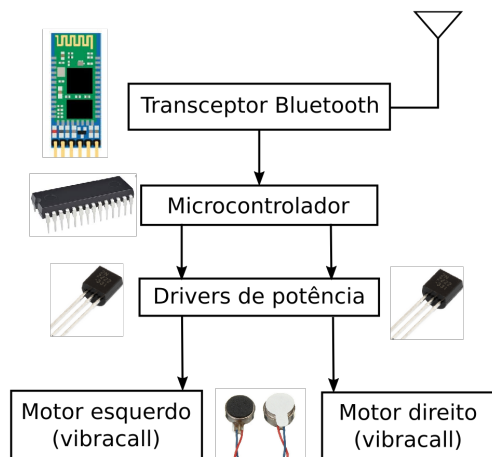


Figura 6 – Diagrama de hardware.

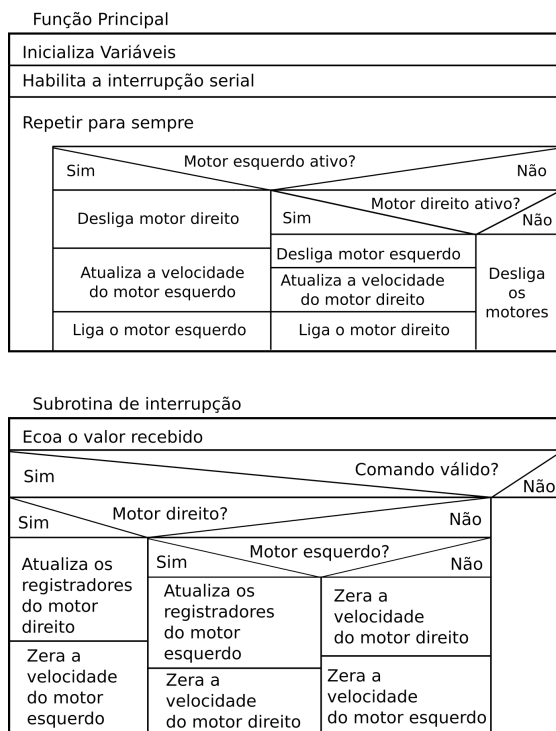


Figura 7 – Diagrama de Nassi-Shneiderman do software.

Os comandos se resumem em além ligar e desligar os motores, de também atuar sobre a velocidade de cada um dos motores. A velocidade de cada motor é controlada usando a técnica de largura de pulso, implementada em software, e a informação da largura está contida no comando recebido do dispositivo remoto.



Figura 8 – Protótipo funcional.

A Figura 8 mostra versão protótipo de teste do robô já com todos os subsistemas incorporados e funcionais.

O aplicativo de controle deste projeto pode estar instalada em um dispositivo do tipo *smartphone* ou *tablet* que contemple além da interface *bluetooth* o sistema operacional *android*. Para a geração do software de controle foi utilizado o ambiente de desenvolvimento de aplicativos *online* disponibilizado pelo MIT através do APPinventor. Este ambiente de desenvolvimento possui simplicidade na edição e permite experimentar e gerar o aplicativo quase que em tempo real (depende da velocidade da rede) e para que isto seja possível é fundamental que os dispositivos estejam na mesma rede local. (MIT, 2018)

A seguir apresentamos na Figura 9 uma das telas de teste para o projeto usando o ambiente do *appinventor*. Este é um ambiente de desenvolvimento bastante amigável e baseado em objetos e sua propriedades, possuindo recursos suficiente para criar aplicativos baseados em comunicação remota.

## 4 Implementação dos alunos

Em uma etapa inicial, os alunos foram instruídos por meio do esclarecimento sobre os propósitos do projeto, quanto ao papel que o professor desempenharia e o que se esperava como conduta a ser desempenhada pelos alunos no desenvolvimento do projeto.



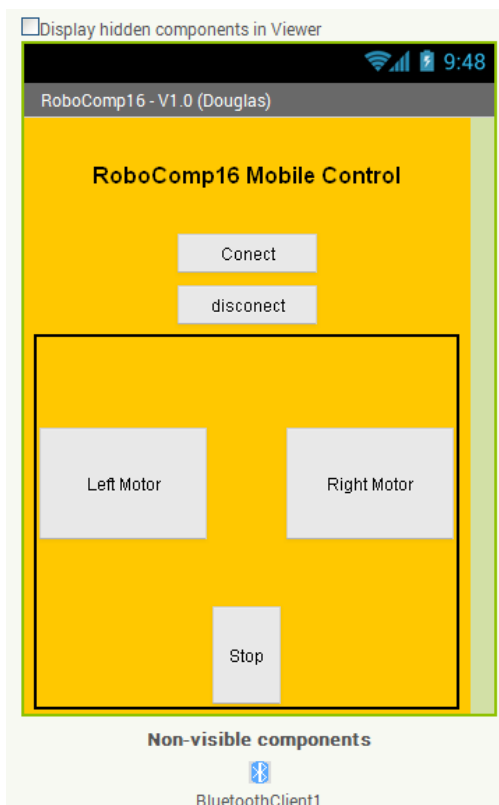


Figura 9 – Captura de tela do aplicativo desenvolvido.

Para tanto, utilizou-se uma que apoia na concepção de uma educação problematizadora, para a qual são construídas situações didáticas nas quais se fomenta a busca por soluções, que segundo Bressane et al. (2017), chama-se abordagem construtivista.

A concepção da proposta foi inicialmente motivada para cumprimento da carga horária da disciplina Circuitos Eletrônicos (ELE-53) do curso de graduação em Engenharia de Computação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP. Essa disciplina teve como finalidade preparar os futuros engenheiros para que sejam capazes de projetar circuitos eletrônicos analógicos, por meio do emprego de amplificadores, osciladores, fontes de alimentação e geradores de forma de onda.

A disciplina foi dividida em duas etapas: iniciou-se pela aprendizagem teórica convencional e finalizou-se com a aprendizagem livre, isto é, com o desenvolvimento do pro-

jeto do robô movido a vibração. No projeto, os alunos escolheram a formação de grupos, denominados escuderias, e a divisão preliminar de trabalho entre seus integrantes, escolhendo entre o projeto do hardware, do software ou do aplicativo celular. Convencionou-se um cronograma do projeto, dividido entre duas fases: cooperativa e competitiva.

Durante a fase cooperativa, todos os integrantes das funções de todos os grupos puderam desenvolver seus projetos em conjunto. Nessa etapa, os melhores projetos foram selecionados para a manufatura. Já na fase competitiva, com todos os grupos recebendo o mesmo conjunto de software, microcontrolador e hardware, deu-se a liberdade de se modificar o projeto, tornando-o mais eficiente.

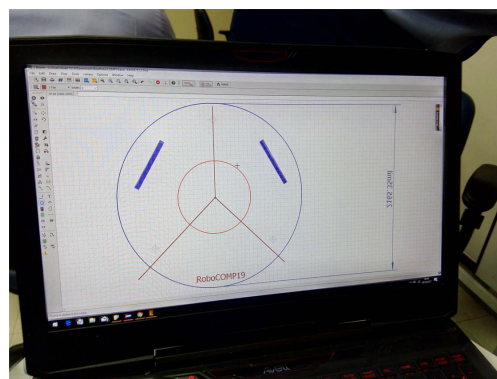


Figura 10 – Desenvolvimento do circuito pelos alunos.

Os alunos utilizaram o software Eagle, da Autodesk, para o projeto do hardware, conforme indicado na Figura 10.

Espera-se que, para além da resolução de um problema aplicado a uma situação prática de engenharia, os alunos compreendam os procedimentos de: especificação de requisitos, projeto, prototipação, solda de componentes e teste do circuito, como indicado na Figura 11.

Seguindo as orientações propostas, os alunos desenvolveram o aplicativo celular na plataforma AppInventor, conforme ilustra a Figura 12.

Ao final da fase competitiva, ocorreu



Figura 11 – Confecção do circuito.

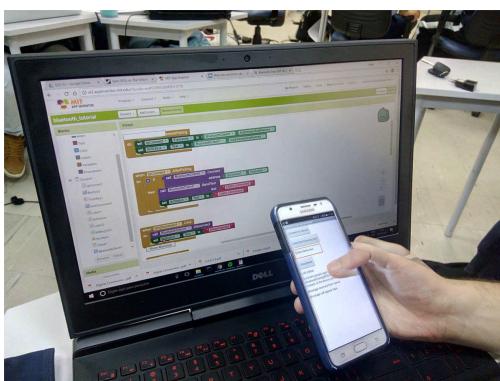


Figura 12 – Desenvolvimento do aplicativo.

a competição entre os robôs, mostrando qual grupo será o ganhador, como indicado na Figura 13. Houve a corrida em um circuito fechado, em circuito aberto, observado na Figura 13, e também houve duelo de robôs em uma arena.

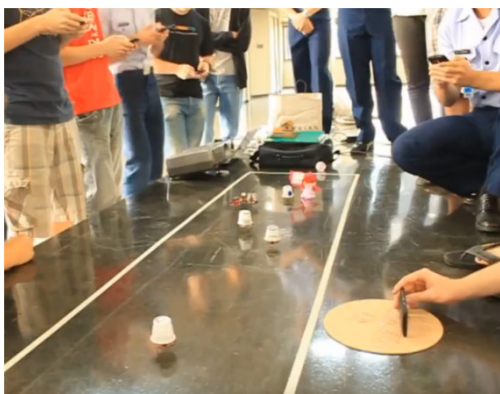


Figura 13 – Corrida de robôs realiza pelos alunos.

ção dos estudantes, tornando-os mais comprometidos e participativos nas aulas e provocou uma postura ativa por parte de cada estudante frente à sua aprendizagem. O aprendizado em equipe foi mais fácil e dinâmico que o individual. Porém, o papel do professor foi fundamental: comentar os trabalhos das equipes, esclarecer dúvidas e sintetizar os conceitos essenciais que devem ser aprendidos. A criação de ambientes de aprendizagem que permitam ao estudante “aprender a aprender”, para o desenvolvimento de competências que atendam às exigências profissionais necessárias ao engenheiro. (BARDINI; SPALDING, 2017)

## 5 Considerações finais

Este trabalho apresentou uma proposta de plataforma didática de baixo custo para desenvolvimento de robôs controlados por bluetooth cujos movimentos foram baseados na vibração produzida por motores do tipo *vibracall*, que são utilizados em celulares.

A integração de todos os componentes, desde o projeto da placa de circuito impresso até o desenvolvimento do aplicativo de dispositivos móveis possibilitou a aplicação de uma ampla área do conhecimento, e também propiciou o trabalho em equipe. As *feedback* recebido dos alunos sobre o projeto foi positivo, sendo ressaltado a sua aceitação em detrimento de uma avaliação convencional.

Por último, foi apresentado um roteiro que pode ser utilizado em sala de aula para nortear a construção do robô. Dessa forma, pretende-se incentivar que escolas de tecnologia e engenharia ofereçam projetos, fazendo, assim, com que os alunos tenham experiências de aplicações reais e maior contato com um projeto de engenharia eletrônica.

O projeto promoveu maior motiva-



## Referências

- AKBARIMAJD, A.; SOTOUDEH, N. Design and motion analysis of vibration-driven small robot rizeh. *Advanced Robotics*, v. 18, n. 2, p. 105–117, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01691864.2013.843788>>. Acesso em: 15 de julho de 2018.
- BARDINI, V. S. dos S.; SPALDING, M. Aplicação de metodologias ativas de ensino-aprendizagem: Experiência na área de engenharia. *Revista de Ensino de Engenharia*, v. 36, n. 1, p. 49–58, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5935/2236-0158.20170005>>. Acesso em: 07 de julho de 2018.
- BOLOTNIK, N. N. et al. Dynamics of controlled motion of vibration-driven systems. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, v. 45, n. 5, p. 831–840, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1134/S1064230706050145>>. Acesso em: 12 de julho de 2018.
- BRESSANE, A. et al. Aprendizagem baseada em dinâmicas: Uma proposta pedagógica para formação integral na engenharia. *Revista de Ensino de Engenharia*, v. 36, n. 1, p. 59–71, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5935/2236-0158.20170006>>. Acesso em: 07 de julho de 2018.
- KÜHNEL, D. T.; HELPS, T.; ROSSITER, J. Kinematic analysis of vibrobot: a soft, hopping robot with stiffness and shape-changing abilities. *Frontiers in Robotics and AI*, v. 3, p. 60, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3389/frobt.2016.00060>>. Acesso em: 10 de julho de 2018.
- MICROCHIP. *Integrated Development Environment*. 2018. Site da Microchip. Disponível em: <[www.microchip.com/mplabx/](http://www.microchip.com/mplabx/)>. Acesso em: 13 de julho de 2018.
- MIT. *APP Inventor*. 2018. Site da APP Inventor. Disponível em: <[appinventor.mit.edu](http://appinventor.mit.edu)>. Acesso em: 13 de julho de 2018.
- RIGHETTO, A. M. Repensando a grade curricular e a aprendizagem na engenharia civil e ambiental. *Revista de Ensino de Engenharia*, v. 36, n. 2, p. 63–71, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5935/2236-0158.20170014>>. Acesso em: 08 de julho de 2018.
- RUBENSTEIN, M. et al. Kilobot: A low cost robot with scalable operations designed for collective behaviors. *Robotics and Autonomous Systems*, v. 62, p. 966–975, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2013.08.006>>. Acesso em: 10 de julho de 2018.
- SOBOLEV, N. A.; SOROKIN, K. S. Experimental investigation of a model of a vibration-driven robot with rotating masses. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, v. 46, n. 5, p. 826–835, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1134/S1064230707050140>>. Acesso em: 12 de julho de 2018.
- ZHAN, X.; XU, J.; FANG, H. A vibration-driven planar locomotion robot—shell. *Robotica*, Cambridge University Press, p. 1–19, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1017/S0263574718000383>>. Acesso em: 16 de julho de 2018.