



UMA CONCEPÇÃO CONSTRUTIVISTA NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE ROBÔS MÓVEIS USANDO *KITS* LEGO

Leandro dos Santos Coelho – lscoelho@rla01.pucpr.br

Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Grupo Produtônica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas

Laboratório de Automação e Sistemas, LAS/PPGEPS/CCET/PUCPR

Rua Imaculada Conceição, 1155, CEP 80215-901 – Curitiba – PR

Ricardo Gielow – rigielow@terra.com.br

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Graduação em Engenharia da Computação

Rua Imaculada Conceição, 1155, CEP 80215-901 – Curitiba – PR

Viviana Cocco Mariani – mariani@rla01.pucpr.br

Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Rua Imaculada Conceição, 1155, CEP 80215-901 – Curitiba – PR

Resumo: *A robótica é uma área multidisciplinar que motiva o desenvolvimento de aplicações práticas e o cruzamento de fronteiras de disciplinas tradicionais dos cursos de Engenharia. O objetivo deste artigo é apresentar conceitos vinculados à construção de robôs móveis baseados em kits LEGO Mindstorms. Neste caso foi adotada a concepção de robôs móveis baseada nos princípios dos veículos de Valentino Braitenberg.*

Palavras-chave: *Kits LEGO, Robótica móvel, Novas metodologias de ensino, Veículos de Braitenberg.*

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia digital, hoje praticamente em todos os seguimentos da vida moderna, e em especial na área de controle de processos industriais, onde os processos tornaram-se cada vez mais complexos e as especificações demandam flexibilidade, tornou-se imprescindível um enfoque prático no ensino e pesquisa em diversas áreas de tecnologia de ponta. Conseqüentemente, os requerimentos de ensino, pesquisa e integração com o meio industrial têm ocasionado diversas mudanças e aprimoramentos dos cursos de graduação e pós-graduação das universidades brasileiras e do exterior.

A robótica é uma área emergente de pesquisas e aplicações industriais. Especificamente, a área de robótica móvel tem recebido atenção crescente por ser um veículo de motivação para os estudantes no aprendizado dos fundamentos de inteligência artificial, ciência da computação, eletrônica, sistemas de controle, sistemas dinâmicos e pesquisa operacional. Como exemplo, pode-se citar os casos da utilização de sistemas nebulosos, algoritmos evolutivos e redes neurais em pesquisas e competições, tais como a Robo-Cup (Asada *et al.*, 2000).

O ensino de concepções de projeto, oferecido por muitos currículos dos cursos de graduação em Engenharia, são em sua maior parte ineficientes na preparação dos estudantes

para a prática em Engenharia. Os graduados em cursos de engenharia e tecnologia para serem líderes e/ou profissionais destacados na indústria ou meio acadêmico devem desenvolver várias aptidões, entre as quais: (i) espírito crítico, (ii) criatividade, (iii) conhecimento da teoria como uma base para a prática, (iv) trabalho em equipe, (v) inspirar confiança nos seus esforços, e (vi) habilidade de comunicação eficiente em palavras bem como em conceitos matemáticos.

Estas habilidades devem ser inculcadas nos alunos desde o início de suas formações profissionais (ou mesmo antes no ambiente familiar). Neste sentido, várias experiências em robótica móvel têm abrangido vários destes aspectos da formação de graduados conceituados, motivados e motivadores do meio onde exercerão suas atividades profissionais.

Muitas disciplinas do ensino de graduação e pós-graduação têm explorado os conceitos e experimentos de robótica móvel. A robótica móvel proporciona o desenvolvimento de exploração de conceitos matemáticos, projetos em equipes, ambientes de *software*, dispositivos eletrônicos, sensores, motores elétricos, conversão de sinais analógicos-digitais e digitais-analógicos, projeto de *hardware*, microprocessadores, inteligência artificial, metodologias de controle avançado, entre outras. De forma muitas vezes lúdica a robótica torna-se um catalisador eficiente e motivador para a aquisição de novos conhecimentos proporcionando avanços tecnológicos em pesquisas relevantes por parte de alunos de graduação, pós-graduação, professores e pesquisadores.

A filosofia de aprendizado denominada de *construtivismo* (uma extensão da teoria de desenvolvimento construtivista de Jean Piaget) também enfatiza a importância da construção de artefatos como um catalisador dos modelos mentais construtivistas. Nesta abordagem, o aprendizado dos estudantes é centralizado, pois a aquisição e o desenvolvimento da informação ocorre através da ação e investigação do aluno.

A área de robótica móvel é uma área relevante e com o avanço da tecnologia digital, em muitos seguimentos da vida moderna, e em especial na área de controle de processos industriais, onde os processos tornam-se cada vez mais complexos e as especificações demandam flexibilidade, é imprescindível um enfoque prático no ensino de robótica. O estado da arte de experiências, em diferentes universidades, no ensino da teoria, montagem, e validação experimental de robôs móveis com a utilização de *kits* educacionais são obtidos em um grande número de publicações, alguns exemplos recentes são Beer *et al.* (1999), Murphy (2000), Horswiill (2000), Maxwell & Meeden (2000), Sutherland (2000) e Rosenblatt & Choset (2000).

O objetivo principal deste artigo é apresentar aspectos de projeto relativos à construção de robôs móveis baseados em *kits LEGO Mindstorms*. Os objetivos secundários são os de: (i) proporcionar uma nova base didática para atividades de robótica móvel para um laboratório de instrumentação e controle de processos; (ii) possibilitar a análise e construção de robôs móveis; (iii) configurar robôs que possibilitem a implementação de algoritmos avançados de controle de processos; e (iv) possibilitar o aprimoramento do ensino de graduação e o desenvolvimento de diversas pesquisas nas áreas de robótica e manufatura.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a concepção de um robô móvel, usando *kit LEGO Mindstorms*, empregou os princípios dos veículos de Valentino Braitenberg. Em síntese, o projeto do robô móvel abrangeu as seguintes etapas: (i) o estudo e a implementação em *software ROBO LAB* da programação das ações e reações do robô; (ii) o estudo, a análise e a validação da navegação e comportamento reativo do robô; e (iii) escolha da disposição dos sensores para dar percepção ao robô quanto ao seu entorno. A seguir são apresentados os

resultados obtidos com a metodologia proposta em um projeto realizado por alunos de graduação em um curso de Engenharia.

3. RESULTADOS

O projeto desenvolvido, usando um *kit LEGO MindStorms*, teve como objetivo principal enriquecer e aprimorar o conhecimento sobre robótica móvel, bem como de controle de processos, entre outros. Visando cumprir estes objetivos, progressivamente foram alcançados os resultados. Inicialmente, o objetivo é somente fazer a movimentação do robô (seção 3.1), para familiarização com o *kit LEGO MindStorms*. Depois, avançada esta primeira etapa, utilizou-se o robô para transpor obstáculos (seção 3.2), na tentativa de ver sua resistência e suas limitações. Numa terceira etapa, a prioridade foi o aprendizado do *software Robolab*, para que fosse possível a utilização de sensores (seção 3.3). Durante a fase final do projeto foi implementado um algoritmo de controle que capacitava o robô encontrar a luz (seção 4.4).

3.1 Movimentação simples

Nesta etapa, a ênfase maior foi à montagem de vários protótipos de robôs, com o intuito de adquirir habilidade com o *kit LEGO MindStorms*. Foram montados modelos diferentes de robôs, na tentativa de verificar todas as suas características. Nestes primeiros testes, foram feitos robôs com movimentação simples (somente em linha reta).

Dentre os vários modelos construídos, o primeiro passo foi verificar como era feita a locomoção do robô móvel. Na figura 1 são apresentados os robôs com esteiras e rodas, respectivamente. Notou-se que nos modelos que utilizavam rodas a agilidade do robô era maior, já nos robôs com esteiras, as esteiras tornavam os robôs menos ágeis. Ao observar a movimentação destes dois tipos de robôs, verificou-se que apesar da maior agilidade dos modelos com rodas, eles eram mais susceptíveis aos obstáculos, ao contrário dos modelos com esteiras que eram menos afetados pelos obstáculos.



Figura 1. Robôs com esteiras e rodas.

3.2 Transposição de obstáculos

Neste momento do projeto foi observada a resistência e a versatilidade dos robôs móveis. Essa análise é necessária para tornar possível a construção de modelos resistentes a impacto e quedas. Para tanto, foi iniciada uma série de testes. No primeiro teste, utilizou-se o robô de movimentação simples para transpor um obstáculo, uma rampa. Neste teste, o robô

movimentava-se a partir de duas esteiras. Estas esteiras não foram capazes de ultrapassar a rampa. Isso ocorreu devido ao contato entre a rampa de plástico e a esteira de borracha, porque o robô patinava. Na figura 2 esta situação é ilustrada.



Figura 2. Robô tentando transpor o obstáculo.

Notando a dificuldade, trocou-se o obstáculo por um teclado de computador. Após algumas tentativas, o robô conseguiu transpor o teclado, porém a rampa não foi ultrapassada. Para transpor a rampa, foi necessária uma modificação no protótipo, colocando uma roda auxiliar, na sua parte traseira. Com essa modificação o objetivo foi alcançado, isto é, o robô ultrapassou o obstáculo, porém após a ultrapassagem a roda auxiliar estava destruída. Para isso não ocorrer novamente, o protótipo sofreu um reforço na estrutura auxiliar, conseguindo êxito na passagem dos obstáculos, o que é ilustrado na figura 3, onde pode-se observar a roda auxiliar no robô móvel.

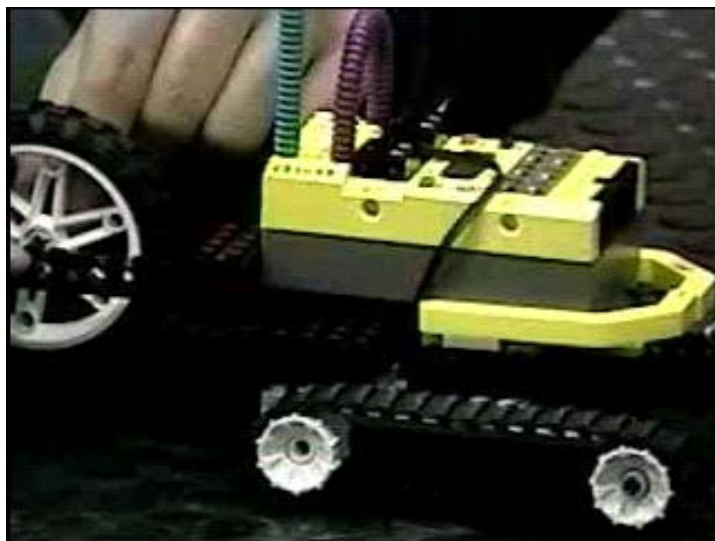


Figura 3. Robô com roda auxiliar.

3.3 Percepção através de sensores

Nesta fase foi iniciada a utilização de sensores para possibilitar a utilização dos sensores foi necessário o aprendizado do *software Robolab*. Após a leitura dos manuais disponíveis

com o *kit LEGO MindStorms* tornou-se “fácil” programar no *Robolab*. Assim, foi possível incluir os sensores no robô, fazendo com que o mesmo funcionasse adequadamente. Na figura 4 ilustra-se a fase de programação do robô.



Figura 4. Programação do robô.

Os testes com o sensor de toque tiveram êxito, contudo quando foram colocados dois sensores com uma mesma finalidade surgiram problemas. Depois de algumas tentativas, foi percebido que realmente o *software* era limitado e não suportava dois sensores funcionando da mesma forma. Assim sendo, após alguma investigação notou-se que utilizando a mesma entrada no *RCX* era possível a conexão de mais de um sensor do mesmo tipo, resolvendo assim o problema. Esta etapa foi projetada com a finalidade do robô desviar os obstáculos fixos. Na figura 5 o robô detecta a mão do aluno e desvia-se da mesma.



Figura 5. Robô detectando o toque.

3.4 Detecção da presença de luz

Familiarizados com o *software Robolab* e conhecendo a forma apropriada de utilizar os sensores, foi possível projetar robôs com funcionalidades mais complexas, tais como fazer o robô navegar na direção da luz integrada com a sua capacidade de evitar obstáculos. Para esta etapa foi necessário o aprendizado da teoria: de veículos de Braitenberg.

O neurobiologista Valentino Braitenberg foi diretor do *Max Planck Institute of Biological Cybernetics* e era professor do *Information Science da German University of Tuebingen* quando publicou um livro clássico (Braitenberg, 1984). Neste livro, Braitenberg tentou abstrair as contribuições de Grey Walter em um conjunto de modelos simples que ele denominou de *veículos*. Nestes modelos de comportamento Braitenberg introduziu a idéia de criar agentes autônomos nos quais a ação e a percepção estão diretamente acopladas.

Os veículos de Braitenberg consistem de robôs que podem demonstrar vários sentimentos através da interação dos seus sensores, motores e rodas. Os veículos de Braitenberg são movidos por rodas onde os sensores são sensíveis a diferentes estímulos que são passados aos motores, isto é, os mecanismos de controle das duas rodas do robô móvel.

Os veículos de Braitenberg são abordagens especiais de robôs móveis que podem exibir comportamentos de medo, atração, repulsão, persistência, exploração, entre outros (Koball & Wharton, 1988; Hogg *et al.*, 1991; Nehmzow, 2000).

Nos veículos de Braitenberg assume-se que o sensor gera um sinal que é proporcional ao estímulo. A abordagem de Braitenberg classifica seus *veículos* baseados nas personalidades humanas, isto é, o que se observa no comportamento dos mesmos. A figura 6 apresenta a configuração de um veículo com um comportamento de medo, onde cada um dos sensores de proximidade do robô está conectado no seu lado correspondente e a velocidade de cada um dos motores é proporcional à intensidade de percepção dos sensores.

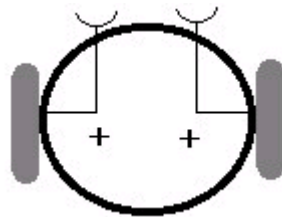


Figura 6. Veículo de Braitenberg com comportamento de medo (temor).

Braitenberg denominou de veículo agressivo o robô que possui o sensor direito conectado ao motor esquerdo. Em contra-partida o sensor esquerdo é conectado ao motor direito, conforme apresentado na figura 7. Neste caso, quando o robô detecta um obstáculo ele se dirige rapidamente em direção a ele e o ataca.

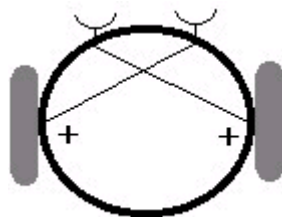


Figura 7. Veículo de Braitenberg com comportamento agressivo.

Braitenberg concebeu também veículos nos quais a percepção e a ação estão acopladas de forma “negativa”, ou seja, significa que quanto maior a percepção, menor e negativa é a velocidade que giram as rodas. Neste caso quando a intensidade de percepção é zero obtém-se uma velocidade máxima dos motores. Com esta configuração de veículos de Braitenberg pode-se criar veículos com comportamento amistoso e explorador, conforme figura 8.



Figura 8. Veículo de Braitenberg com comportamento amistoso e explorador.

Outras concepções de comportamento podem ser analisadas com a proposta de Braitenberg, onde se pode analisar a fusão de comportamentos de ambientes com múltiplos robôs e simulações simples de vida artificial.

Após este conhecimento sedimentado em relação à teoria proposta por Braitenberg, os alunos passaram a etapa de montagem do protótipo, objetivando a funcionalidade de encontrar o foco luminoso, com a tarefa de também desviar de supostos obstáculos. O funcionamento do robô se apresentou da seguinte forma: inicialmente o robô seguia em frente até encontrar o obstáculo ou o foco de luz, se a luz fosse alcançada o robô ficava parado. Caso o robô se deparasse com um obstáculo, o mesmo retornaria por cinco segundos e então faria um giro, rodando somente um dos motores, porque havia um motor para cada roda, para a sua direita buscando desviar o obstáculo. Neste contexto, também foram realizados experimentos com robôs *Carpet Rover* e robôs com patas da empresa *Lynxmotion* (detalhes em www.lynxmotion.com).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como base os objetivos propostos e a discussão do projeto. Entende-se que o trabalho surtiu o efeito desejado, já que os objetivos foram quase que totalmente alcançados. As dificuldades que surgiram no meio do caminho, não impediram a evolução do projeto, graças à extensa literatura que há sobre o assunto e a ajuda dada pelo orientador.

O projeto proporcionou uma nova base didática para atividades de robótica móvel para um laboratório de instrumentação e controle de uma universidade brasileira. Além disso, possibilitou uma grande melhora na análise e construção de robôs móveis. Abrindo caminho para o aprimoramento do ensino de graduação, possibilitando também o desenvolvimento de diversas pesquisas nas áreas de robótica e manufatura.

Com esse trabalho também pode-se perceber a vasta gama de possibilidades que a robótica, facilitada pelo *kit* LEGO *Mindstorms*, de quem se interessa em desenvolvê-la. Os futuros trabalhos, neste contexto, visam a integração de técnicas de inteligência computacional (algoritmos evolutivos, redes neurais e sistemas nebulosos) em implementações de algoritmos de planejamento de caminhos e controle para robôs móveis usando *kits* LEGO integrado a concepção de algoritmos na Hand-Board proposta por Fred Martin, do MIT.

AGRADECIMENTOS

Aos alunos de graduação do curso de Engenharia da Computação, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Miguel Angelo B. Moutinho, Rafael Luis Carneiro, Raphael Jacinto e Ricardo Folador que contribuíram no projeto de robôs móveis usando *kits* LEGO.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASADA, M.; VELOSO, M. M.; TAMBE, M.; NODA, I.; KITANO, H.; KRAETZCHMAR, G. K., 2000. Overview of RoboCup-98, **AI Magazine**, v. 21, n. 1, p. 9-19, 1998.
- BEER, R. D.; CHIEL, H. J.; DRUSHEL, R. F. Using autonomous robotics to teach science and engineering, **Communications of the ACM**, v. 42, n. 6, p. 85-92, 1999.
- BRAITENBERG, V. *Vehicles: experiments in synthetic psychology*, The Cambridge, MIT Press, 1984.
- DANIELS, M. W., KUMAR, P. R., Racing with the sun: the optimal use the solar powered automobile, **IEEE Control Systems**, v. 19, n. 3, p. 12-22, 1999.
- HOGG, D. W., MARTIN, F., RESNICK, M., Braitenberg Creatures, *Epistemology and Learning Memo 13*, MIT Media, Lab, 1991.
- HORSWILL, I. A., Laboratory course in behavior-based robotics, **IEEE Intelligent Systems**, v. 15, n. 6, p. 16-21, 2000.
- KOBALL, B. R., WHARTON, J. H., A test vehicle for braitenberg control structures, **33th IEEE International Conference of IEEE Computer Society**, Comcon Spring' 88, San Francisco, CA, USA, p. 394-398, 1988.
- LIAN, S. H., Fuzzy logic control of an obstacle avoidance robot. **Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Fuzzy Systems**, FUZZY-IEEE, New Orleans, Louisiana, p. 26-30, 1996.
- MAXWELL, B. A., MEEDEN, L. A., Integrating robotics research with undergraduate education, **IEEE Intelligent Systems**, v. 15, n. 6, p. 22-27, 2000.
- MURPHY, R. R., Robots and education, **IEEE Intelligent Systems**, v. 15, n. 6, p. 14-15, 2000.
- NEHMZOW, U., *Mobile robotics: a practical introduction*, Springer Verlag, London, 2000.
- OSUNA, R. G., JARET, J. A., LUO, R. C., Modeling of ultrasonic range sensors for localization of autonomous mobile robots, **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 45, n. 4, p. 654-662, 1998.
- ROSENBLATT, M., CHOSET, H., Designing and implementing hands-on robotics labs. **IEEE Intelligent Systems**, november/december, p. 32-39, 2000.
- SUTHERLAND, K. T., Undergraduate robotics on a shoestring. **IEEE Intelligent Systems**, v. 15, n. 6, p. 28-31, 2000.

A CONSTRUTIVIST APPROACH IN DEVELOPMENT OF MOBILE ROBOTS DESIGN USING KITS LEGO

Abstract: *The robotics is an area multidisciplinary that motivates the development of practical applications and the transposition the bounds of traditional disciplines of Engineering courses. The objective of this paper is the presentation of concepts related with the building of mobile robots using kits LEGO Mindstorms. In this case, the conception of mobile robots is based on principles of Valentino Braitenberg vehicles.*

Key-words: *kits LEGO, mobile robotics, new approach for learning, Braitenberg vehicles.*