

# Robo rubik, um projeto para o ensino interdisciplinar de engenharia

Ruan Leitão, Lucas E. P. Mizusaki ,  
Felipe Ávlila Soares e Dante A. C.  
Barone

## Resumo

Uma grande falha no ensino de engenharia é a falta de trabalhos que envolvam projetos complexos, onde os alunos tenham que desenvolver projetos com limitações ambientais e que interajam com outros sistemas. As atividades pedagógicas são simples, concentrando-se em seus âmbitos específicos de conhecimento, e acabam não contemplando a complexidade que os futuros profissionais encontrarão. Fatores ambientais e a interação com outros sistemas, assim como a interação com outros profissionais, acabam sendo ignorados devido a complexidade de simulá-los, além da necessidade de requisitos de conhecimento prévios. O projeto Robo Rubik foi uma iniciativa do grupo PET Computação, que acreditamos ser um caso bem sucedido de construção de um desafio interdisciplinar para estudantes de graduação de ciências da computação e engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O objetivo foi construir um robô capaz de resolver o cubo de Rubik a partir de um outro projeto anterior. Contento aspectos mecânicos, mecatrônicos e computacionais, foi desenvolvido simultaneamente por diferentes equipes, utilizando uma estratégia modular a partir do estabelecimento de protocolos claros entre cada parte. Trabalhando tanto com tecnologias de código aberto e patenteadas, foi necessário buscar a ajuda de profissionais que já possuíam experiência de trabalho com as mesmas. Acreditamos que esse tipo de trabalho é um modelo de ensino que é consistente com uma formação profissional mais completa.

Palabras Claves: Robótica Educativa, Problem Based Learning, Educación en Ingeniería.

Instituto Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

rlnunes@inf.ufrgs.br, lepmizusaki@gmail.com,  
fsoares@inf.ufrgs.br, dante.barone@gmail.com

## 1. Introdução

O grupo PET (Programa de Ensino Tutorial) Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul é um grupo de doze alunos que recebem bolsas para trabalhar com projetos de pesquisa, ensino e extensão, suas atividades são coordenadas por um professor tutor. Parte de um programa do governo federal brasileiro [1], o grupo foi criado em 1988, e tem desenvolvido uma série de atividades na área de robótica educativa desde o ano de 2006.

No ano de 2011, o Ministério Brasileiro de Ciência e Tecnologia criou uma parceria com o Instituto de Informática para construir um robô que deveria montar automaticamente cubos mágicos para exposição na Semana Nacional de Ciência e Tecnologia. Devido ao curto prazo para a realização, o projeto acabou incompleto, sendo concluídas apenas as etapas de descrição, compra dos equipamentos e programação de alguns componentes. Esses equipamentos foram então entregues ao grupo PET Computação, o qual deu continuidade ao projeto a partir do segundo semestre de 2013 vindo a concluí-lo no final do primeiro semestre de 2014.

A atividade tomou inspirações das próprias ações do grupo em Robótica Educativa dentro da linha de outros trabalhos publicados[2], e acredita-se que tenha contribuído para a formação dos alunos envolvidos através de um

caso muito bem sucedido de uma atividade de Problem Based Learning (PBL) [3], ou aprendizagem baseada em problemas. Os alunos tiveram que trabalhar com uma série de limitações impostas pelo projeto anterior e de uma forma sistêmica, pois esse incluía a necessidade de várias competências trabalhando em conjunto. Espera-se agora, utilizar o robô como plataforma para atividades que despertem estes mesmos valores e desafios utilizando-o em competições de programação e demonstrando seu funcionamento em apresentações didáticas.

### 1.1. Robótica Educativa

A Robótica Educativa é o uso de robôs como plataforma de ensino, um campo prolífico e diverso. Por um lado, robôs são usados como um artifício para chamar atenção do público. Mecanismos complexos atraem a atenção, e historicamente tem sido comercializados como artigos de luxo. Ainda hoje é comum empresas levarem grandes robôs para feiras de tecnologia com o interesse em atrair público. Da mesma forma, os estudantes de engenharia se sentem mais motivados em trabalhar com a tecnologia de ponta, já que, muitas vezes, este recurso é substituído em sala de aula por simulações computacionais por terem um custo mais baixo. Isto acaba por limitar o contato do aluno aos equipamentos e materiais que ele terá que utilizar após ingressar no mercado de trabalho. Outra limitação das simulações computacionais é a sua tendência a ignorar um panorama maior de interações vistas em uma situação real, pois costumam tratar de uma quantidade limitada de fenômenos e situações.

Além disso, robôs móveis constituem-se em uma plataforma tecnológica que está conquistando espaço. Seja em parte pelo seu barateamento, seja pela agilidade dos sistemas mais recentes, observa-se um crescente uso em aplicações de monitoramento e mapeamento. Constata-se a versatilidade do campo quando o seu desenvolvimento é impulsionado por competições de robótica diversas, tais como a ROBOCUP e a FIRA, que se focam em futebol de robôs, e a ROBOCUP Rescue, e a DARPA Robot Challenge, sendo que as duas últimas se focam no combate a diversos tipos de catástrofes.

Limitações ambientais levam a uma infinidade de diversidade de designs desenvolvidos, observando-se diversas categorias de robôs, tais como: “humanoides”, chassis com múltiplas rodas, chassis omnidirecionais e até com múltiplas pernas. Versatilidade e diversidade são as palavras-chave para a Robótica Educativa. O trabalho por desafios também permite o desenvolvimento em escala das soluções. Enquanto construir robôs maiores e capazes de manobrar maiores cargas é necessário para que eles tenham alguma aplicação verdadeira, são as soluções de design que são incentivadas.

Por fim, o trabalho com o desenvolvimento de projetos de robótica também aparece como uma forte ferramenta para o aprendizado em todas as idades. Em trabalhos com crianças e pré-adolescentes [4], normalmente usam-se kits com peças e mecanismos específicos para se construir um projeto. Esses jovens fazem uso dessas peças com a finalidade de montar projetos baseando-se nos materiais didáticos disponíveis. A construção na Robótica Educativa deve ser um processo gradual e de experimentação que, ao mesmo tempo, elucida o estudante sobre as características e capacidades de cada peça utilizada, como também ensina sobre as diferentes configurações e disposições que as peças podem assumir. Isso garante ao aluno embasamento técnico suficiente para começar a desenvolver seus próprios mecanismos. De maneira análoga, mas muito mais avançada, o engenheiro também precisa buscar mecanismos e soluções de design para resolver problemas. Sua busca é um processo ainda mais complexo, que envolve medidas, conjecturas e simulações, para definir quais materiais irá usar para que possa trabalhar de forma segura e em escala.

## 2. O projeto

O projeto do robô foi especificado em 2011 sendo composto por duas garras mecânicas perpendiculares que giram em planos independentes. Cada garra é rotacionada por um servo motor e por um atuador pneumático para que abram e fechem. As garras são controladas por um computador equipado com uma Webcam que identifica a distribuição das cores em cada face do cubo a partir de imagens e determina

a sequência de movimentos necessários para a sua resolução. Esses movimentos são então enviados sequencialmente para uma unidade de controle no robô responsável por comandar os movimentos dos motores e os acionamentos pneumáticos. A quantidade e disposição dos atuadores foi escolhida por sua simplicidade e por ela se assemelhar com os braços de um ser humano, há projetos mais eficientes por possuírem mais atuadores e serem capazes de movimentar mais faces, podendo resolver o cubo mágico em segundos. O robô não foi finalizado a tempo para a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia de 2011, não sendo concluída a sua montagem e nem a integração entre os motores e atuadores pneumáticos, acabando por ser guardado desmontado e sem muita documentação.

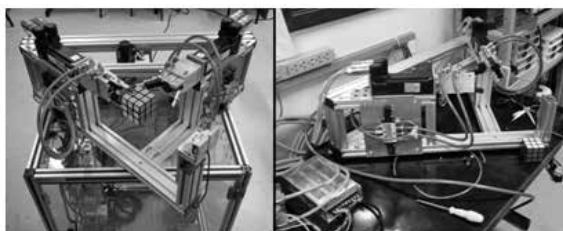


Figura 1 O Robo Rubik finalizado (esquerda), e o estado em que foi recebido pelo grupo PET Computação (direita)

Na metade de 2013, um dos integrantes do projeto inicial sugeriu que o grupo PET desse continuidade na confecção do robô. Composto por estudantes dos cursos de Ciências e Engenharia da Computação, com eventuais bolsistas de cursos de Engenharia Elétrica e Mecânica, houve um grande interesse, visto que o projeto apresentava oportunidades nas áreas de pesquisa ensino e extensão. O trabalho foi dividido em duas frentes principais, uma voltada para o desenvolvimento dos aspectos computacionais, e outra na qual foram enfocados aspectos mecânicos e mecatrônicos. Cada frente definiu um conjunto de módulos independentes que poderiam ser desenvolvidos de forma paralela. A saber, esses são, na área computacional: Processamento visual, algoritmo de solução, e sequenciador de solução, na área mecânica e mecatrônica: Placa de controle Arduino e sistema motor. Na figura 2 encontra-se

um esquemático dos módulos e da comunicação entre eles:

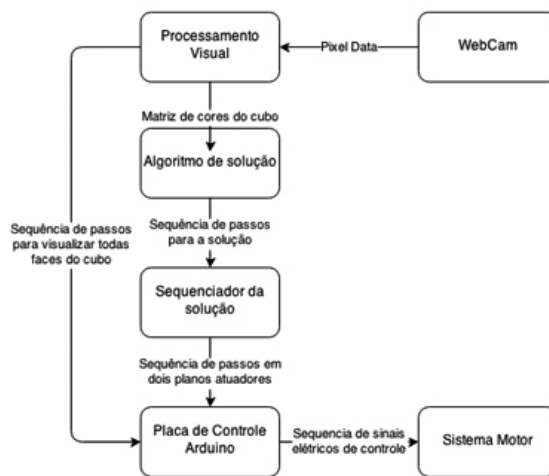


Figura 2 Diagrama esquemático dos módulos e sua respectiva comunicação

Figura 2 Diagrama esquemático dos módulos e sua respectiva comunicação

Cada módulo representado tem definido um protocolo próprio de recebimento de dados, o qual é utilizado pelos módulos que se comunicam com o mesmo. O desenvolvimento destes protocolos visa manter cada um dos módulos autocontido, possibilitando que os mesmos possam ser modificados e otimizados independentemente do restante do projeto. Entre as possíveis modificações, ressalta-se a substituição de bibliotecas de código por outras equivalentes, otimização dos algoritmos utilizados, utilização de sinais disponibilizados pelos drivers dos motores para sinalizar a finalização de um movimento, dentre outras.

O módulo de processamento visual foi desenvolvido com o auxílio da biblioteca open-source opencv [5] para auxiliar no tratamento de imagens. Seu funcionamento se resume ao reconhecimento de cada face do cubo independentemente, e a formação de uma sequência de caracteres na forma esperada pelo módulo de resolução. No seu desenvolvimento foram enfrentadas dificuldades ambientais diversas, como variação da iluminação local e ruído da imagem, exigindo algoritmos de calibragem em tempo real para o contorno das mesmas. Com a necessidade de visualizar todas as faces do cubo, este módulo se comunica também com o módulo de controle, para

qual envia os cubos para movimentar o cubo conforme sua necessidade e, após o término do reconhecimento, recoloca o cubo em sua posição inicial.

O algoritmo de solução do cubo mágico foi desenvolvido utilizando a biblioteca open-source disponibilizada com fins educacionais kociembaRubikSolver [6], que recebe uma sequência de caracteres que caracterizam o estado do cubo, e retorna uma sequência de caracteres representando a sequência de rotações necessárias para a resolução do cubo. Para sua utilização no projeto, a mesma foi refatorada e adaptada para respeitar os protocolos definidos e ser executada no ambiente de execução (sistema operacional Linux).

Não basta ter-se a sequência de passos necessários para a resolução do cubo, visto que o robô possui apenas dois motores dispostos perpendicularmente. Foi necessário criar um sequenciador para traduzir a solução em uma sequência de movimentos executados pelo robô. Foi necessário levar em conta uma série de limitações da estrutura física. Em primeiro lugar, há apenas dois planos que o robô pode girar o cubo, e os movimentos do algoritmo são realizados sobre as seis faces. Além disso, as garras não podem realizar rotações de mais de  $180^\circ$  e nunca podem fazer movimentos simultaneamente, ou corre-se o risco de choque que pode danificá-las. Aqui perde-se a característica da solução ótima do algoritmo. No entanto há a possibilidade de criar-se um sequenciador mais eficiente.

Por fim, a sequência de movimentos é passada para a placa de controle Arduino (Figura 3) como uma rotação do servo motor esquerdo ou direito em  $-90^\circ$ ,  $+90^\circ$ , girando o cubo inteiro ou apenas a face. Usamos a placa de controle desenvolvida pelo PET para fazer a comunicação com estes motores que, apesar de possuírem uma interface própria com o computador, eram de tecnologia proprietária, e faltavam manuais para sua programação. A interface com os atuadores foi feita de forma paralela, com sinais elétricos sendo enviados para cada motor assumir uma posição específica, assim como sinais independentes para cada uma das

garras pneumáticas abrir e fechar. Assim, caso se deseje fazer um giro de  $90^\circ$  do cubo com a garra esquerda, envia-se a sequência de sinais: abrir a garra direita,  $+90^\circ$  para o atuador esquerdo e fechar a garra direita.

Há uma interessante limitação do projeto quanto às garras: como são acionadas pneumicamente, as mangueiras podem se enrolar e acabam limitando o giro que os motores podem fazer. A solução encontrada foi “desenrolar” as garras após cada movimento. Assim, o robô sempre volta à sua posição original após ter executado um comando. O controle de abertura e fechamento das garras está sendo feito apenas pelo tempo médio delas fecharem e abrirem; uma solução não muito adequada que será corrigida em trabalhos futuros sobre o robô.

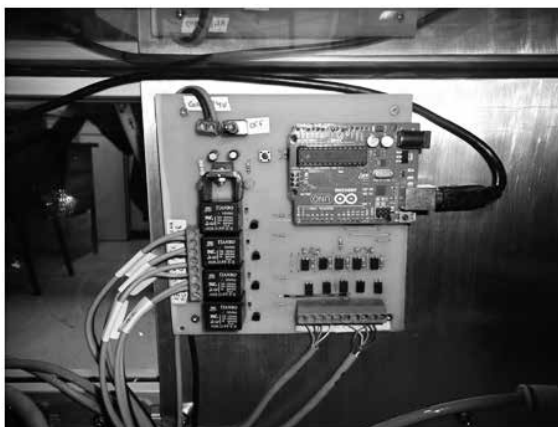


Figura 3 Placa de controle Arduino utilizada no projeto

### 2.1 Avaliação dos alunos

Os alunos envolvidos no desenvolvimento adquiriram diversas experiências que certamente serão úteis no futuro, durante sua ascensão no mercado de trabalho, quando lidarem com desafios pelos quais já passaram por situações semelhantes, abaixo segue o relato fornecido por dois dos alunos envolvidos no projeto:

Filipe Ávila Soares, graduando em Engenharia da Computação e bolsista no grupo PET Computação: “Quando o projeto do Robô Rubik foi apresentado ao grupo PET em 2013, fiquei bastante interessado em participar. Abracei a ideia e, junto de mais alguns colegas, começamos a tentar montar o quebra-cabeças que seria reconstruir o robô sem quase nenhum

material para referência. Inicialmente tivemos bastante dificuldades pois precisávamos primeiro compreender o funcionamento de cada componente para, então tentar descobrir onde ele deveria ser ligado. O projeto se mostrou bastante complexo no início e por isso foi necessário dividir as tarefas. Eu e mais um colega nos encarregamos da montagem mecânica do robô enquanto outra parte do grupo se dedicou aos algoritmos para resolução de cubos e de como os movimentos seriam passados para o robô. Ainda fui o responsável por refazer a placa de controle do Arduino que continha erros de projeto e não funcionava corretamente. Passei bastante tempo pesquisando para entender o funcionamento dos componentes, em especial os opto acopladores, que necessitavam de valores certos de resistências para que a corrente necessária passasse quando ligássemos nas tensões de operação que o robô utilizava. Os desafios não foram apenas na remontagem do robô e na confecção da placa pois, após isso passamos a enfrentar problemas que antes não haviam nem sequer sido atingidos pelos desenvolvedores antigos. Dentre estes problemas, os principais foram a troca de uma das fontes de alimentação do robô que não fornecia corrente suficiente para ativar o sistema pneumático e a troca dos cilindros de armazenamento de ar que eram muito pequenos e não eram capazes de manter a pressão necessária até o fim da resolução do cubo, fazendo com que o robô derrubasse o cubo.”

Ruan Leitão Nunes, graduando em Ciência da Computação e voluntário no grupo PET Computação: “Quando passei a integrar o grupo PET Computação, o projeto Robô Rubik já estava em andamento, tendo sua parte mecânica muito adiantada, então voltei a minha atenção para organizar e efetuar o desenvolvimento dos módulos em software. Durante o processo de desenvolvimento, com a aparição de diversos desafios, adquiri experiência na análise dos fatores externos que podem afetar o funcionamento de um determinado programa, como limites de espaço e memória disponíveis, limitação na taxa de transferência de dados entre dispositivos, excesso ou falta de luz ambiente,

entre outros.”

### 3. Problem based learning

O Problem Based Learning (PBL) é o ensino através da contextualização: o professor apresenta conteúdos aos alunos através de problemas que devem ser resolvidos. Trabalhando em equipes, a administração do tempo e dos recursos (como o conhecimento) de cada aluno se torna importante. Enquanto lidam com a aplicação de seu projeto, procura-se ativamente aprender os conteúdos necessários para atender adequadamente as tarefas complexas que tem diante de si, nota-se que a autonomia revela-se em característica importantíssima e valorizada pelos alunos [3].

O ensino de engenharia através de PBL é, no mínimo, custoso. Exige-se equipamentos como kits de peças e equipamentos, laboratórios e um planejamento criativo de desafios interessantes relacionados ao currículo. Nota-se que há um problema de conhecimentos pré-requisitos para se desenvolver o trabalho, pois os kits e equipamentos requerem certos conhecimentos prévios para serem lidos. Como linhas gerais, a atividade se desenvolveu através dos seguintes passos principais:

- Definição de um problema a ser resolvido - Término da construção de um robô que resolve cubos mágicos.
- Reconhecimento do problema - Entendimento do projeto original e montagem das peças.
- Pesquisa e Definição de competências para resolvê-lo - Definição de que partes faltavam e organização dos protocolos de comunicação.
- Divisão do trabalho - Desenvolvimento independente de partes.
- Aplicação - União das partes e teste de aplicação.
- Avaliação - Reflexões sobre o projeto original e preparo do robô para ser usado em outras atividades.

A experiência adquirida permitiu constatar que houve um trabalho de interdisciplinar em engenharia, pois houve uma necessidade de diferentes áreas de conhecimento se unirem para romper as limitações do projeto original, tais como a falta de documentação e o uso de



tecnologias proprietárias que não disponibilizam tutoriais e materiais para estudo. Também se vê que as limitações do projeto também tiveram que ser carregadas entre as diferentes equipes de trabalho. A mecânica levou a diferentes necessidades nos sistemas de programação. Esses foram os casos da disposição dos atuadores (que giravam em apenas dois planos) e a limitação dos sistemas pneumáticos (que requereram uma reprogramação no nível da placa de controle). Problemas como esse forçaram aos estudantes a trabalhar com o conceito de uma engenharia que se comunica com outras partes e precisa se adequar a necessidades ambientais, além de valorizar sobre maneira o trabalho em equipe, característica ímpar de atuação do grupo PET Computação.

Dispondo de tempo, os alunos puderam fazer um trabalho colaborativo, onde cada um trabalhou na sua área de conhecimento e pode buscar as soluções necessárias. Houve, inclusive, a necessidade de procurarem engenheiros formados que já haviam trabalhado no projeto anterior, afim de encontrar respostas para certas decisões de design.

#### 4. Conclusão

Vemos que há uma grande disparidade entre o que seria o ensino tradicional e a modalidade PBL, em grande parte por essa não estar focada no domínio de certos conceitos pelos alunos. Enquanto há teorias novas de aprendizagem, que tentam quebrar com a ideia conteudista, o ensino na UFRGS (e acreditamos na maioria das faculdades de Engenharia e Ciência da Computação) ainda é bastante focado em disciplinas, o que torna o PBL um desafio. O projeto do Robô Rubik aparece como uma atividade extraclasse, muito bem avaliada pelos alunos e que entraria em uma disciplina de projetos em engenharia. A experiência obtida ainda aparece como uma formação complementar ao ensino tradicional, na qual os envolvidos tiveram que trabalhar com diferentes disciplinas da engenharia, com especial atenção a como as partes de um projeto são limitadas umas pelas outras.

Espera-se, agora que o robô se torne uma plataforma de Robótica Educativa. Seu uso

já está agendado nas mostras dos cursos de engenharia e planeja-se construir desafios de programação utilizando-se a plataforma robótica. Estão previstas competições de programação de algoritmos para solução do cubo mágico, de soluções para o processamento visual, programação de um simulador do robô (que resolve o cubo usando a mesma plataforma de software) e até ensino de microcontroladores, com desafios de reprogramação da placa de controle e a construção de um ciclo de feedback para os movimentos dos atuadores e o abrir e fechar das garras. A universidade também possui um programa chamado Portas Abertas, no qual grupos de alunos do ensino médio são convidados para visitar os laboratórios, e o grupo já agendou a apresentação do robô junto ao instituto para os visitantes.

#### 5. Referências

- [1] Martins, Iguatemy L. "Educação tutorial no ensino presencial – uma análise sobre o PET". Ministério de Educação. Brasil, 2007
- [2] Cássio Klen de Azevedo; Cristian Adolfo; Dante Augusto Couto Barone; Felipe Augusto Chies; "Desarrollo del Proyecto Robótico del Instituto de Informática de la Universidad Federal do Rio Grande do Sul Atendido por una División de Ingeniería Mecánica" CAIM2010
- [3] Mills, Julie E.; Treagust, David F.; "Engineering Education - Is Problem-Based or Project-Based Learning the Answer?" Australasian Journal of Engineering Education, 2004.
- [4] Lopes, Daniel Q.; Fagundes, Lea da C.; "As Construções Microgenéticas e o Design em Robótica Educacional". Revista Novas Tecnologias na Educação, V. 4, Nº 2. 2006
- [5] Bradski, G. "The Opencv library". Doctor Dobbs Journal, 2000.
- [6] Rokicki, T. Kociemba, H. Davidson, M. Dethridge, J. "God's number is 20". Disponible em [www.cube20.org](http://www.cube20.org). 2010