

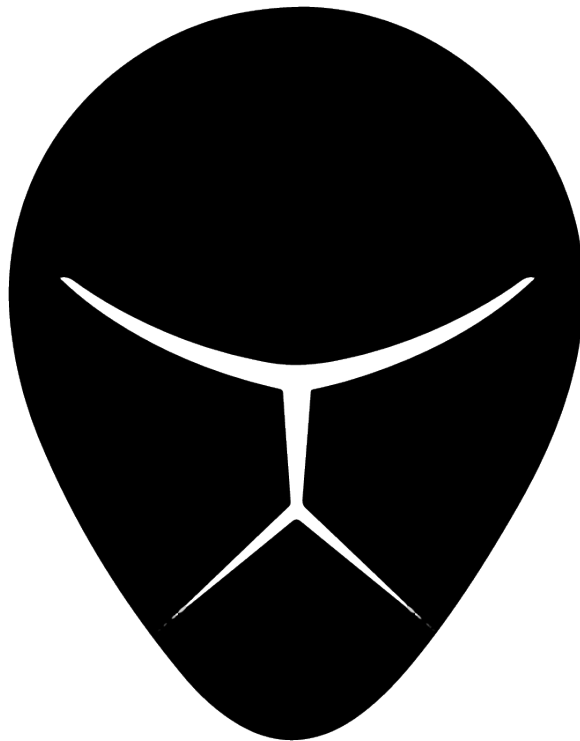
# Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

Chamada de projetos para o segundo semestre de 2016  
ITAEx – Ex-alunos apoiando o ITA

Projeto: Desenvolvimento de categoria Futebol de robôs  
Small Size League

Professor responsável: Marcos Ricardo Omena de Albuquerque  
Máximo

Equipe ITAndroids



## 1. Introdução/ Histórico

O robô Small Size, doravante neste documento, denominado simplesmente por “robô”, faz parte de um time de robôs que jogam futebol em um campo contra outro time robótico. Cada robô de um time com 6 jogadores recebe os comandos via radiofrequência do computador central, responsável pelas jogadas. Esse computador é alimentado com a imagem vinda de uma câmera instalada acima do campo. A câmera envia as imagens para os computadores das duas equipes competidoras em tempo real. Essas imagens são processadas por um sistema de visão computacional fornecido pela RoboCup (competição mundial de robótica).

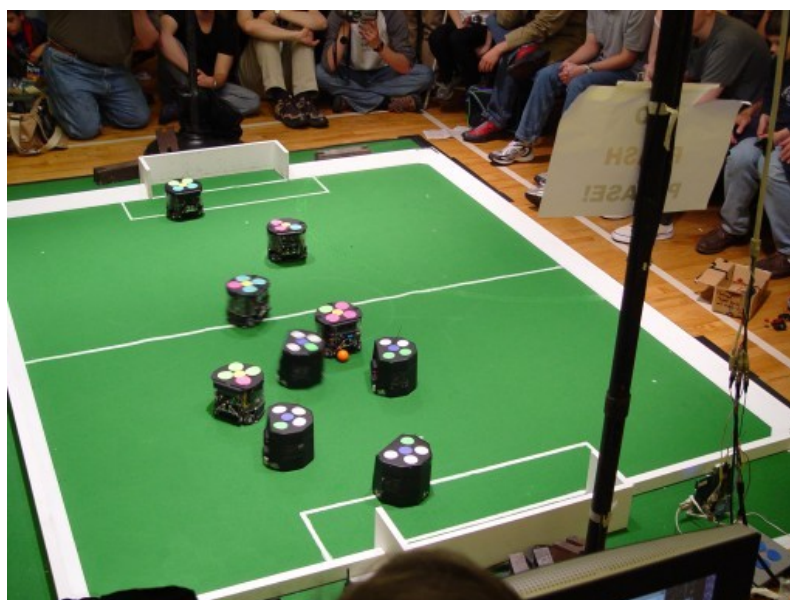


Imagem de uma partida de robôs Small Size

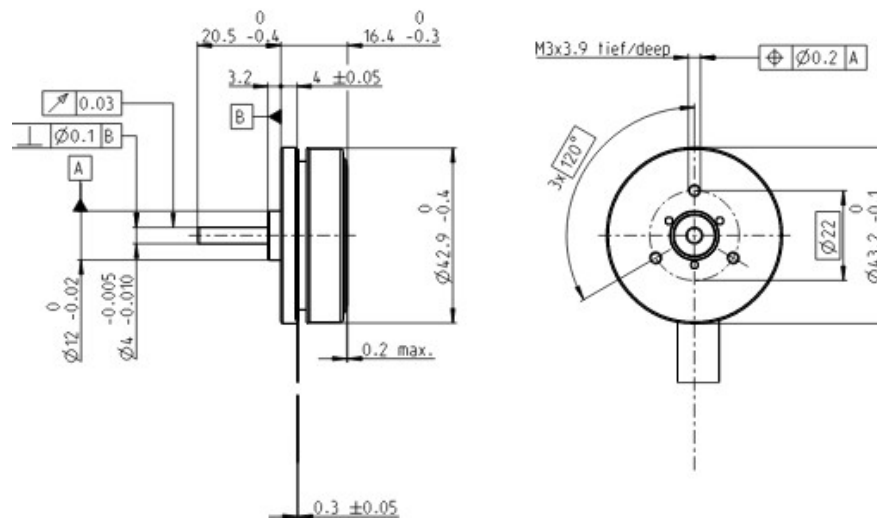
O desenvolvimento de uma equipe Small Size será realizado pela ITAndroids (grupo de robótica do ITA). A ITAndroids participa, atualmente, de 5 categorias: Soccer 2D e Soccer 3D (simuladas), humanoide, Very Small Size (VSS) e a recém fundada Small Size. A ITAndroids participa de campeonatos nacionais (CBR/LARC) e internacionais (RoboCup), bem como participa de conferências, publica artigos científicos e se envolve na parte acadêmica do ITA através de iniciações científicas e de pós-graduação (Doutorado do professor Marcos Máximo).

A confecção de robôs Small Size envolve desafios técnicos de eletrônica, computação e mecânica, além de trabalho em equipe, gerenciamento de projetos e liderança bem feitos. Os conhecimentos envolvidos nos projetos serão muito úteis, pois aplica-se em situações reais o que é visto na graduação, integrando teoria e prática; além disso, motivam-se os alunos a ir além do que é ensinado em sala de aula e buscar a inovação.

## 1 2. Descrição Geral do Projeto

### 2.1 Motores, Encoders e Controle

Os robôs são movidos por quatro motores sem escova, BLDC (Brushless DC), que permitem movimentos em linha reta e giros em torno do eixo central da estrutura de cada robô. Cada motor opera a 12V e 30W de potência, o diâmetro de cada um desses atuadores é 45mm.



Desenho técnico do motor BLDC

Além disso, há um circuito de monitoramento, que permite determinar temperaturas altas, consumos excessivos de corrente e outras condições perigosas para o *hardware*. O controle dos motores é realizado por ponte usando o MOSFET IRF540 como chaveador principal devido a sua alta velocidade de chaveamento e a seu baixo consumo.

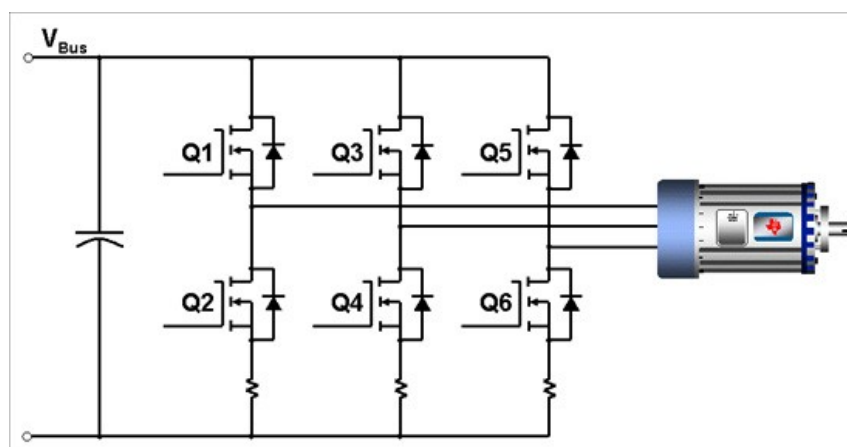


Imagem do controlador de motor BLDC

Os sinais dos Gates dos MOSFETs são gerados por circuitos de drive dos Gates, que por sua vez são comandados pela unidade de processamento embarcada. O circuito de drive tem a função de otimizar o chaveamento dos MOSFETs, de forma que eles alternem seus valores lógicos de forma rápida, minimizando a dissipação de calor. O capacitor em paralelo tem a função de prover energia adicional.

O controle do motor é realizado com feedback, para isso usam-se encoders dedicados em cada motor, permitindo ao software de controle conhecer as velocidades angulares, posições e outros parâmetros importantes.

Vale ressaltar que chaveamento de correntes gera ruídos eletromagnéticos que podem interferir em outros circuitos do robô e, portanto, medidas que minimizem esses ruídos devem ser tomadas. Além do mais, caixas de redução são consideradas elementos essenciais para melhorar o desempenho energético, por isso serão utilizadas nesse projeto.

Para monitoramento da temperatura nas proximidades de cada motor, um sensor de temperatura é empregado. Para tal fim, o mais indicado é o LM35.

A fim de atingir maiores velocidades, usam-se caixas de redução acopladas entre o motor e a roda. A razão de transmissão ainda deve ser calculada, baseando-se em requisitos definitivos. Um conceito da caixa de redução pode ser visto abaixo.

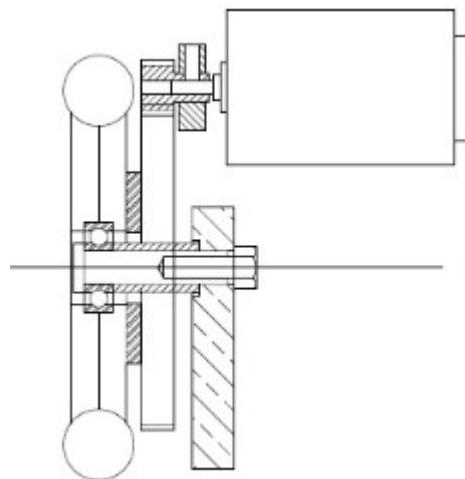


Ilustração do mecanismo de redução

Devido a limitações no volume interno do robô, opta-se por construir uma caixa de redução própria, otimizada para o projeto. As engrenagens devem ser de metal, cuja confiabilidade e durabilidade é maior que as de plástico. Atente-se ao fato que a caixa deve ser fabricada, assim, será preciso usar alumínio.

## 2.2 Mecanismo de Chute e Dribler

Para realização de chutes, o robô conta com mecanismos que executam impulsos na bola. Esses impulsos devem ser intensos o bastante para que a bola ganhe

velocidade e distância. Para isso, descargas elevadas de corrente elétrica são geradas no momento do chute. Tal corrente é fornecida por bancos de capacitores, carregados por circuitos específicos para esse fim. Também se faz necessária a monitoração do descarregamento. Em caso de erro do chute, a estrutura e a eletrônica devem ser robustas o suficiente para absorverem o impacto sem se danificarem. A fim de evitar chutes desnecessários, os quais podem danificar a estrutura do robô, é pertinente adicionar um detector de bola. Esse detector deve ser acoplado de forma que o impacto com outros robôs não o danifique.

Para aplicação do chute, há dois sistemas com solenoides de 12 V em paralelo, um solidário a uma barra metálica que impulsiona a bola permitindo chutes altos e outro conectado a um cilindro para chutes baixos e passes.

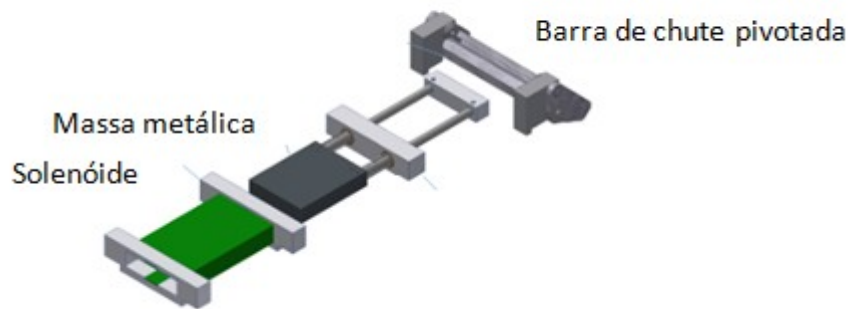


Imagem esquemática do sistema de chutes altos

O dribbler é um cilindro revestido de material aderente como borracha ou silicone para manter a bola em posse do robô enquanto dribla e prepara o chute. O dribbler é acionado por um outro motor BLDC com menos potência que os já citados. Trata-se do PN 283856 - Maxon Motor DC Brushless EC-max 22 Ø22 mm 25W 12 V.

Para carregar o capacitor usa-se um SMPS do tipo booster para elevar a tensão de 12V para 400V. Uma mostra conceitual pode ser visualizada a seguir:

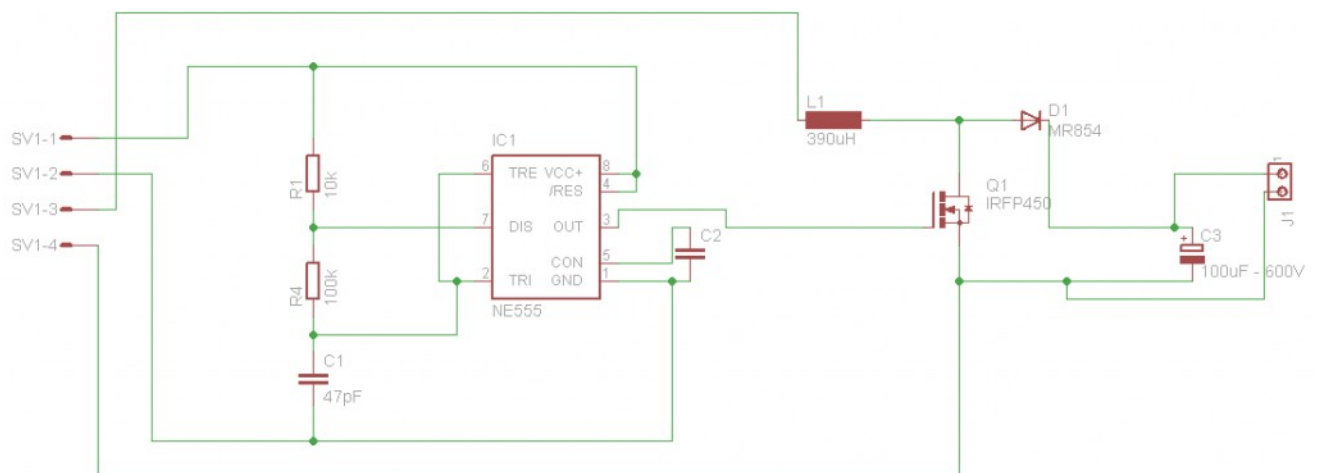


Imagem conceitual do circuito do booster

Para auxiliar no gerenciamento dos chutes um conversor A/D (ADC0804) monitora a tensão dos capacitores e comunica ao FPGA.

### **2.3 Comunicação por rádio frequência**

A inteligência para criação de jogadas está no computador que processa as imagens do campo e, portanto, os movimentos e ações de cada robô são enviados através de um link de RF. Assim, cada robô deve possuir um transceiver. Há diversos padrões e canais de comunicação de RF que podem ser usados, como Zigbee ou ISM Band (Industrial, Scientific Medical). Será adotado no projeto o comunicador RF Nordic nRF24L01+. O transceiver faz interface com a unidade de processamento embarcada, que recebe comandos do computador central e envia status para o este.

### **2.4 Unidade de Processamento Embarcada**

É responsável por controlar as ações do robô a partir da interpretação de comandos recebidos pelo transceiver. A produção de estímulos para o controle dos motores e da unidade de chutes é tarefa da unidade de processamento. Como componente principal de processamento optou-se por um FPGA, visto que este possibilita respostas mais rápidas para tal aplicação. Além disso, o FPGA permite portar microcontroladores para seu core, agregando ao projeto as vantagens dos microcontroladores em tarefas específicas. O uso ou não de microcontroladores é uma decisão de design para etapa de CDR do robô.

### **2.5 Fonte de Alimentação**

A fonte de energia do robô são baterias condicionadas por SMPS, Switched Mode Power Supply. As demandas energéticas são supridas por três barramentos dedicados:

- a) Circuitos de Processamento e Comunicação de RF;
- b) Motores, controladores e encoders;
- c) Mecanismo de chute.

A razão para esta separação é o fato de que cada um dos itens acima possui necessidades elétricas diferenciadas. A unidade de processamento é um circuito digital que requer tensões estáveis e sem muitos ruídos, ripples, spikes e brownouts. Já os motores demandam grandes transitórios de corrente, que podem causar quedas de tensão indesejadas para os circuitos digitais. O mecanismo de chute implica carregamento rápido de capacitores, bem como o descarregamento repentino, que é incompatível com as outras duas demandas energéticas.

A bateria pode ser LIPO ou LIFE, em torno de 3000 mAh. Para melhor gerenciamento do robô, o monitoramento do estado da bateria é necessário, para isso,

um conversor A/D satisfaz essa necessidade. Serão utilizadas baterias LIPO no projeto, as quais são utilizadas, também, nos robôs VSS da ITAndroids.

## **2.6 Estrutura Mecânica**

A estrutura mecânica deve atender basicamente aos seguintes aspectos:

- a) Suportar a eletrônica, protegendo-a de impactos decorrentes de choques com outros robôs.
- b) Permitir fácil manutenção das partes eletrônicas e mecânicas.
- c) Permitir fácil roteamento dos cabos elétricos.
- d) Blindar a unidade de processamento dos ruídos induzidos pelos chaveamentos e pulsos de corrente.
- e) Ser leve e compacta.

Busca-se uma estrutura em alumínio e que permita modularização do robô.

## **3. Descrição dos benefícios**

Para os alunos do ITA, a ITAndroids busca ser um misto de plataforma de ensino de Engenharia e laboratório de pesquisa. O grupo possui 5 projetos ligados a competições de Robótica: RoboCup 2D Soccer Simulation, RoboCup 3D Soccer Simulation, IEEE Very Small Size, humanoide e o recém-criado Small Size. Devido ao caráter multidisciplinar da Robótica, os projetos nessa área requerem integração das diversas áreas da Engenharia, assim, a equipe possui membros dos cursos Fundamental, Computação, Eletrônica e Mecânica.

A ITAndroids possui, atualmente, 70 membros distribuídos entre 1º, 2º, 3º, 4º e 5º anos, o que a torna o maior grupo técnico da Graduação.

Para sustentar a sua missão de ensino, a ITAndroids atualmente possui uma estrutura complexa de treinamentos, que envolve um treinamento básico (voltado para ensinar conceitos básicos de Robótica e Engenharia para alunos do 1º ano) e seis treinamentos avançados nas seguintes áreas específicas: Mecânica, Eletrônica, Computação, Controle, Processamento de Sinais e Inteligência Artificial. Embora o professor ajude em treinamentos mais avançados, a maior parte dos treinamentos é ministrada pelos alunos veteranos.

Apesar dos treinamentos, a maior parte do aprendizado acontece na prática através do próprio desenvolvimento dos projetos. Também há um forte incentivo para a implementação de uma cultura de colaboração entre os membros, de modo que membros mais novos se sintam à vontade em requisitar ajuda de membros mais antigos. O ambiente de desenvolvimento de projetos provido pela ITAndroids simula a realidade de um projeto de desenvolvimento de Engenharia complexo de uma maneira fiel, algo muito difícil em uma disciplina tradicional. Portanto, a participação em uma atividade com a ITAndroids representa um importante complemento à formação teórica provida pelo curso de Engenharia. Percebe-se um aumento considerável na motivação por aprender Engenharia nos membros que participam do grupo, o que repercute até

mesmo em maior interesse pelas matérias do ITA. Pode-se dizer que a ITAndroids fomenta a cultura pela Engenharia no ITA. Essas características presentes no modelo da ITAndroids (atividade extracurricular, ensino através de projetos, colaboração e cultura de Engenharia) são destacadas como essenciais para ensino de Engenharia de qualidade no livro “A Whole New Engineer”, que é referência recente sobre ensino moderno de Engenharia.

Além disso, em busca de aproximar a Graduação da pesquisa acadêmica, a ITAndroids incentiva a integração de seus projetos com trabalhos acadêmicos e a participação em eventos científicos. Em 2015, membros da ITAndroids publicaram 3 artigos no Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI). A ITAndroids, também, conseguiu 8 bolsas PIBIC (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do CNPq) para projetos de Iniciação Científica do grupo em 2015; esse número de bolsas corresponde a cerca de 13,33% de todas as bolsas PIBIC do ITA. Ademais, o professor orientador Marcos Máximo realizou Trabalho de Graduação (COMP-12) e mestrado (PG/EEC) no ITA em locomoção humanoide, tema ligado ao grupo. Ela, também, realiza doutorado (PG/EEC) no ITA em locomoção de robôs humanoides. Desse modo, espera-se que futuramente o grupo incentive outros alunos de graduação a fazer pós-graduação no ITA.

Finalmente, a participação em competições acadêmicas e eventos científicos coloca os alunos em contato com pesquisas e tecnologias no estado da arte. É importante notar que a RoboCup é uma competição acadêmica da qual participam alguns dos melhores laboratórios de pesquisa em Robótica e Inteligência Artificial do mundo, como o GRASP (General Robotics, Automation, Sensing, and Perception) da Universidade da Pensilvânia e o CORAL da Carnegie Mellon University (CMU).

A categoria Small Size League – IEEE envolve eletrônica e mecânica bem mais avançadas que a categoria Very Small Size, ao mesmo tempo que possui muitos algoritmos computacionais que podem ser aproveitados ou adaptados da categoria VSS. A criação de uma categoria Small Size trará, além de desenvolvimento de conhecimentos em eletrônica e mecânica para os alunos envolvidos, conhecimentos a respeito de algoritmos mais avançados de controle e inteligência artificial, uma vez que essa categoria possui movimento omnidirecional e robôs mais robustos com funções adicionais. Outro fator de grande desenvolvimento para os alunos é a possibilidade de participar da maior competição de robótica do mundo (RoboCup), a qual não possui a categoria VSS. É essencial a oportunidade de se desenvolver através do intercâmbio de informações e experiência frente aos melhores laboratórios de robótica do mundo. A ITAndroids já participa da RoboCup nas categorias Soccer 2D e Soccer 3D, entretanto não participa ainda de categorias que envolvem *hardware*.

O a categoria Small Size League gerará, portanto, oportunidade de desenvolver conhecimento técnico, de gestão de projetos e desenvolvimento pessoal para a equipe ITAndroids, além de trazer maior visibilidade ao ITA.

#### **4. Quantidade de alunos beneficiados**

O Small Size possui em torno 5 alunos de graduação. O número é aproximado porque, nesse momento inicial só estão trabalhando pessoas de *hardware*, a estimativa de 20 é baseada no número de pessoas de controle e computação de outras categorias da ITAndroids que se mostraram interessadas em participar após o amadurecimento do projeto.



## 5. Situação atual - antes do projeto

O projeto atual encontra-se em etapa de concepção. A concepção do projeto toma como base projetos *open source* (projeto abertos) das equipes RoboFEI (BRASIL) e Skuba (Tailândia). A ITAndroids já entrou em contato com a FEI (Faculdade de Engenharia Industrial – São Bernardo do Campo) para tirar dúvidas a respeito do projeto e eles se mostraram solícitos em nos ajudar.

Os projetos da parte eletrônica e mecânica já estão pré-concebidos. As partes ainda não projetadas são controle e inteligência artificial. A inteligência artificial e o controle serão feitos durante o desenvolvimento do *hardware* pelos alunos que trabalham nas respectivas áreas do VSS, os quais no momento estão focados na outra categoria.

Atualmente, já foi feito o pedido de duas bolsas PIBIC (iniciação científica) para o trabalho a ser desenvolvido no Small Size, uma em eletrônica e a outra em controle de motores brushless. Se aprovadas, as iniciações científicas começam em agosto de 2016.

A ITAndroids já possui domínio pleno de parte do conhecimento necessário para a realização do projeto, adquirido principalmente do desenvolvimento da categoria VSS. O conhecimento ainda não plenamente desenvolvido será obtido via Iniciação Científica e adquirido ao longo do processo com a ajuda da equipe RoboFEI, se necessário.

## 6. Situação futura – depois do projeto

Após concluído o desenvolvimento dos robôs Small Size, o time será usado para competir no campeonato nacional e latino americano (CBR/LARC) e na RoboCup, competição internacional. O time será constantemente aperfeiçoado e tem como meta conquistar a primeira colocação na RoboCup. O time Small Size trará, também, maior visibilidade à equipe ITAndroids, tanto no meio acadêmico, quanto frente a potenciais patrocinadores, visto que a categoria é mais avançada e atrai grande atenção nas competições citadas.

## 7. Orçamento macro

O orçamento está descrito por área na **TABELA 1**, o orçamento detalhado pode ser encontrado na planilha “orçamento Small Size”. A maior parte das compras são importações, para isso foi considerado o **dólar a R\$3,60**

**TABELA 1** – Orçamento Macro da Categoria Small Size

Área	Custo Estimado (R\$)
Eletrônica*	826,00
Mecânica / Usinagem**	500,00
Motores***	2.140,00
Encoders***	568,00
Impostos + taxas para cada robô****	2.250,00
Custo por robô	6.290,00

Custo total para os 6 robôs	37.740,00
Câmera Firewire	2.250,00
Impostos + taxas para a câmera	1.638,00
Custo total para o Small Size	41.628,00

\* Na seção eletrônica incluem os preços dos componentes. Este orçamento conta que será conseguido patrocínio para confecção das placas de circuito impresso.

\*\* Na seção mecânica inclui-se o preço de materiais para usinagem e da usinagem de componentes que não podem ser usinados no ITA.

\*\*\* Os motores são do tipo BLDC (Brushless) da marca Maxon e os encoders são da marca USDigital para minimizar os custos, visto que encoder Maxon é excessivamente caro.

\*\*\*\* Foram considerados os impostos IOF e taxaçoão sobre importação (60%).

**OBS:** os preços podem estar sujeitos a flutuações do dólar e de gastos não previstos no projeto. Caso haja necessidade de mais recursos para fechar o projeto, a ITAndroids complementarã com dinheiro de patrocínio, se não houver dinheiro suficiente, serão entregues menos robôs, mas haverá continuidade do projeto.

## 8. Equipe e recursos necessários

A equipe necessária para o projeto já está formada pela equipe da ITAndroids, a qual iniciou uma categoria Small Size, constituída por um líder e mais 4 membros, além de receber suporte dos líderes de área da ITAndroids e de membros das demais categorias.

Os recursos necessários são recursos financeiros para adquirir os componentes e peças para o projeto e para confeccionar placa de circuito impresso (PCB) profissional e usinagem do robô. A equipe está em contato e está negociando patrocínio material com empresas que fazem tais serviços, além disso o grupo busca apoio financeiro com mais patrocinadores. Doações esporádicas de Iteanos de turmas anteriores, através da Associação Acadêmica Santos Dummont (AASD), são, também, importante fonte de fundos.

## 9. Riscos na execução e obtenção dos benefícios

O maior fator de risco para o desenvolvimento do projeto é a obtenção de recursos financeiros para arcar com as despesas. A não obtenção desses recursos, não implica, entretanto, a paralisação do projeto. Caso não se consiga recursos necessários para a confecção do time de imediato, será montado apenas um protótipo e será dada continuidade à busca por mais patrocínio. É importante notar que nesse caso não seria possível competir já em 2017.

## 10. Cronograma macro

- 22/08/2016 – Encomenda material eletrônico, motores, encoder (internacional) e material para mecânica (polímero impressão 3D e metal).
- 01/09/2016 – Início trabalhos de usinagem e impressão 3D.

- 22/09/2016 – Previsão chegada remessa internacional.
- 23/09/2016 – Envio da eletrônica para a confecção de placas de circuito impresso (PCB's).
- 01/11/2016 – Previsão de término de usinagens e impressão 3D.
- 02/11/2016 – Início da montagem dos robôs.
- 02/12/2016 - Previsão de término da montagem do protótipo.
- 02/02/2017 – Desenvolvimento do controle e inteligência artificial dos robôs.
- 02/02/2017 – Teste estrutura protótipo.
- 02/04/2017 – Previsão de término de montagem e teste de estrutura do time completo.
- 02/06/2017 – Previsão de testes de jogo com o time completo.
- 01/10/2017 – Testes finais do time para competição na CBR.

## 11. Auto avaliação pelos critérios descritos.

Considerou-se que o projeto pertence à categoria “PROF” por ser um projeto de Engenharia. Porém, ressalta-se que há membros tanto do FUND quanto do PROF na ITAndroids.

### 1- Número de alunos beneficiados: **Médio**

Como a categoria Small Size está ainda em fase de concepção e há uma grande incerteza quanto à obtenção dos recursos necessários para confeccionar os robôs, temos apenas 5 pessoas na equipe no momento. Porém, estima-se cerca de 20 alunos na categoria durante a fase de desenvolvimento, assim como acontece em outra categoria semelhante, a Very Small Size. Conta-se nisso tanto membros de hardware quanto de software. A ITAndroids como um todo tem 70 alunos atualmente e estes devem ser indiretamente afetados com o conhecimento adquirido com o projeto e confecção destes robôs.

Perceba ainda que mais alunos devem se beneficiar do mesmo hardware nos anos seguintes. Há times de Small Size que mantêm o mesmo hardware por cerca de 5 anos, realizando apenas pequenas alterações.

### 2- Custo/aluno (R\$): **Médio**

O custo/aluno é de aproximadamente R\$ 2.081,40. Vale ressaltar que esse custo é baseado na estimativa inicial, a qual é imprecisa nos quesitos usinagem e confecção de placas, visto que pode ser fechado contrato de patrocínio material. Além disso a categoria envolve um alto custo para construção dos robôs, porém a manutenção é bem mais barata.

### 3- Impacto em conhecimento técnico, habilidades interpessoais e de liderança, e/ou na motivação dos alunos: **Alto**

O desenvolvimento da categoria Small Size trará um grande impacto no conhecimento técnico, visto que envolve uma eletrônica, mecânica e inteligência artificial avançadas e num nível além do que é visto na graduação. Além do conhecimento técnico, será desenvolvida a parte prática, complementando a formação teórica fornecida pelo ITA.

O projeto, por ser avançado e interdisciplinar, envolverá um trabalho em equipe e será necessário um gerenciamento de projeto bem feito, o qual desenvolverá simultaneamente habilidades interpessoais e de liderança. O projeto ainda na etapa de concepção já está trazendo grande motivação a equipe ITAndroids e espera-se que isso seja intensificado durante e após o desenvolvimento.

#### 4- Maturidade do projeto (sabe-se o que, quem, e como fazê-lo): **Médio**

Ainda que esteja em etapa de concepção considera-se que haja um nível bastante elevado de maturidade no projeto, uma vez que os conhecimentos desenvolvidos nas outras categorias da ITAndroids, em especial no Very Small Size, já trouxeram um *know-how* relevante para a equipe. Além disso o projeto está sendo auxiliado por 2 doutorandos, 2 iniciações científicas, pelo engenheiro eletrônico (ELE-06) Miguel Ângelo e pela equipe RoboFEI, a qual já participa da RoboCup nesta categoria há alguns anos. Além disso o projeto já está pré-concebido. Também há incertezas quanto à obtenção de membros da equipe para trabalhar no projeto. Porém, além de haver muitos membros na ITAndroids, o Small Size está atraindo muito atenção dos membros da equipe.

#### 5- Alinhamento com diretrizes/ prioridades do Conselho da Graduação (em definição): **Alto**

Verificando a tabela fornecida, percebe-se que o projeto em questão se encaixa nos seguintes temas alinhados com o Conselho da Graduação:

- Apoio a iniciativas H8.
- Projetos continuados de caráter tecnológico.
- Desenvolvimento científico dos alunos.
- Apoio para IC e TG.

Perceba que a ITAndroids almeja ser um misto de laboratório de pesquisa e iniciativa técnica. Assim, além do desenvolvimento tecnológico, a pesquisa científica é muito importante para nós. A ITAndroids atualmente possui 9 iniciações científicas (IC) em andamento (13,33% de todas as bolsas de IC do ITA). Este ano, foram submetidos 11 projetos de IC da ITAndroids, 2 deles ligados ao Small Size.

Além disso, nossos trabalhos geram publicações em conferências nacionais e internacionais de qualidade. Apenas este ano, já obtivemos aceitação de 5 artigos em conferências nacionais resultantes de trabalho de alunos de graduação e estamos esperando o resultado de mais 4 artigos submetidos.