

Desenvolvimento de Rodas de Reação de Tecnologia Nacional para Controle de Atitude de Satélites

José Carlos de Souza Junior

Instituto Mauá de Tecnologia - IMT

Resumo

O sistema de controle de atitude e órbita é uma das tecnologias mais críticas de qualquer sistema espacial. O desenvolvimento do sistema de controle de atitude em território nacional permanece incompleto e a venda de componentes deste sistema ao nosso país é frequentemente recusada por países que detêm esta tecnologia. A roda de reação, utilizada no sistema de controle de atitude, pode ser descrita como a combinação de uma eletrônica de acionamento, um motor, um mancal e um elemento de inércia. O desenvolvimento de cada um desses subsistemas apresenta importantes desafios tecnológicos. A principal dificuldade na construção de rodas de reação se dá pela mesma ter de operar em uma ampla faixa de torque, com baixa oscilação mecânica e alta eficiência energética. A presente proposta visa o desenvolvimento de uma prova de conceito para um atuador por rodas de reação com tecnologia nacional. A princípio, pretende-se avaliar as rodas desenvolvidas através da demonstração de um sistema de controle com requisitos de desempenho próximos aos exigidos em aplicações aeroespacial, e que busque identificar e abordar convenientemente as complexidades do tema.

Development of National Technology Reaction Wheels for Satellite Attitude Control

José Carlos de Souza Junior

Instituto Mauá de Tecnologia - IMT

Abstract

Control system for attitude and orbit is one of the most critical technologies of any space system. The development the attitude control system in the country remains incomplete and sale of components of this system in our country is often refused by countries that hold this technology. The reaction wheel, used in attitude control system, can be described as the combination of an electronic drive, motor, a bearing and an element of inertia. The development of each of these subsystems has important technological challenges. The main difficulty in building reaction wheels occurs mainly because of that have to operate in a wide range of torque, with low mechanical ripple and high efficiency. This proposal aims to develop a proof of concept for an actuator by reaction wheels with nacional technology. In principle, we intend to evaluate the wheels through the demonstration of a control system with performance requirements close to those required in aerospace applications, and seeks to identify and address the complexities of the subject properly.

Desenvolvimento de Rodas de Reação de Tecnologia Nacional para Controle de Atitude de Satélites

Prof. Responsável: José Carlos de Souza Junior - jcarlos@maua.br

Sumário

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Enunciado do problema | 1 |
| 2 | Resultados esperados | 3 |
| 3 | Descrição, concepção do projeto e metodologia empregada | 4 |
| 3.1 | Especificações | 6 |
| 3.2 | Motor | 7 |
| 3.2.1 | Tipos de motor | 7 |
| 3.2.2 | Topologia construtiva do motor | 8 |
| 3.3 | Mancal | 10 |
| 3.4 | Mancal por rolamento | 11 |
| 3.5 | Mancal magnético | 11 |
| 3.6 | Inércia | 14 |
| 3.7 | Algoritmos de controle | 15 |
| 3.7.1 | Acionamento do motor | 15 |
| 3.7.2 | Controle do mancal | 16 |
| 3.8 | Eletrônica de acionamento | 17 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.9 | Metodologia | 21 |
| 4 | Validação | 21 |
| 5 | Apoio institucional, investigador principal e equipe | 22 |
| 5.1 | Apoio institucional | 22 |
| 5.2 | Pesquisador principal | 23 |
| 5.3 | Equipe | 24 |
| 6 | Infra-estrutura básica disponível | 25 |
| 6.0.1 | Biblioteca | 25 |
| 6.0.2 | Laboratório de prototipagem eletrônica | 25 |
| 7 | Cronograma de desenvolvimento | 25 |
| 8 | Recursos | 26 |
| 8.1 | Recursos detalhados | 27 |
| 9 | Disseminação e avaliação | 30 |
| | Referências Bibliográficas | 32 |
| A | - Carta AEB | A |
| B | - Carta CNES | B |
| C | - Carta Lesia | C |
| D | - Parceria IMT - INPE | D |
| E | - Declaração de conhecimento | F |

F - Equipe

G

G - Organograma Físico Financeiro

I

1 Enunciado do problema

O sistema de controle de atitude e órbita é uma das tecnologias mais críticas de qualquer sistema espacial. O desenvolvimento do sistema de controle de atitude em território nacional permanece incompleto [1] e a venda de componentes deste sistema ao nosso país é frequentemente recusada por países que detêm esta tecnologia.

Basicamente, um sistema de controle de atitude é formado por sensores, atuadores e uma central de processamento responsável pelo processamento dos sinais dos sensores e comando dos atuadores segundo uma lei de controle. Os sensores mais comuns são detectores de horizonte, sensores magnéticos, sensores solares, giroscópios e rastreadores estelares.

Os principais atuadores incluem propulsores, torques magnéticos e rodas de reação. A quase totalidade destes componentes de controle possui atualmente alguma tentativa de desenvolvimento no país, seja por instituições governamentais ou por grupos de pesquisa independentes [2]. A principal exceção são as rodas de reação [3, 4], que praticamente não têm projetos de desenvolvimento em andamento e, no entanto, representam um componente indispensável na realização de manobras e na estabilização e controle de atitude em três eixos.

Rodas de reação são dificilmente substituíveis por apresentarem larga faixa de operação em torque (ao contrário de atuadores magnéticos) e serem alimentadas por energia renovável fornecida por painéis solares (ao contrário de propulsores baseados em um estoque finito de combustível). Por estes motivos, rodas de reação estão presentes em praticamente qualquer satélite que apresente requerimentos mínimos de desempenho em atitude.

Uma roda de reação pode ser descrita como um atuador inercial com funcionamento baseado no princípio de conservação do momento angular. A atuação da roda de reação sobre o satélite se realiza por intercâmbio de momento angular, limitado ao eixo de rotação da roda. Para controle de atitude em três eixos é necessário, em geral, um conjunto de no mínimo três rodas de reação. Porém, muitos satélites utilizam uma roda de reação extra por motivos de redundância.

A presente proposta visa o desenvolvimento de uma prova de conceito para um atuador por rodas de reação com tecnologia nacional. O objetivo é a demonstração de um sistema de controle baseado em rodas que tenha inicialmente requisitos de desempenho próximos aos exigidos em aplicações aeroespacial, e que busque identificar e abordar convenientemente as complexidades do tema. O projeto nasceu da cooperação com o INPE * que resultou na co-orientação de dois trabalhos de mestrado, iniciados em 2011, atualmente em fase de conclusão. O INPE disponibilizou sua mesa de mancal a ar para a validação do sistema, bem como eventuais testes e informações que forem necessárias ao desenvolvimento. A relação IMT-INPE foi recentemente formalizada por um acordo de cooperação (Anexo D D).

O projeto será desenvolvido no Núcleo de Sistemas Eletrônicos Embarcados (NSEE) do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT). O núcleo foi criado em 2010 mas sua equipe atua na área aeroespacial desde 2004. A primeira participação foi na missão CoRoT [†] na etapa AIT [‡] realizada no Observatório de Paris (2004-2006) com bolsa CAPES (BEX 1649/03-5) recebida pelo pesquisador Dr. Vanderlei C. Parro, integrante e coordenador do NSEE. A segunda com projeto em cooperação com o pesquisador Michel Auvergne (2006-2010) com o estudo intitulado: *Estudo para a caracterização da função de espalhamento do sistema óptico do canal de aquisição de imagens destinado a investigação exoplanetes do satélite CoRoT* (FAPESP -2006/03008- 9), cujo resultado foi utilizado pela equipe do segmento solo da missão CoRoT. Desde 2009 o grupo participa do INCT INEspaço desenvolvendo sistemas e sub sistemas eletrônicos visando aplicação aeroespacial (FAPESP 2008/57866-1).

O grupo concluiu com sucesso sua primeira participação do UNIESPAÇO, também sob a coordenação do Dr. Vanderlei C. Parro, com o projeto Sistema de Controle Tempo Real Reconfigurável de Experimento em Astrobiologia. Como resultado direto da execução deste projeto efetivou-se a participação do NSEE no projeto CITAR (Circuitos Integrados Tolerantes à radiação) liderado pelo Dr. Saulo Finco do CTI Renato Archer.

Desde 2010 o NSEE participa, integrando a equipe brasileira, do consórcio que propôs à ESA a construção de um novo satélite para busca de planetas habitáveis designado por

*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

[†]COvection ROtation et Transits planétaires

[‡]*Assembly, Integration and Test*

PLATO* e conta com o apoio do MCTI[†] (Anexo A). Em 2011 a equipe entregou com êxito um simulador tempo real do canal de aquisição de imagens proposto para o Plato ao CNES[‡] (Anexo B). O trabalho foi desenvolvido em cooperação com o Observatório de Paris e envolveu com êxito alunos de graduação e pós-graduação (Anexo C). Como resultado deste trabalho do NSEE dois registros de software foram encaminhados por intermédio da empresa Britânia Marcas e Patentes, foi publicado um artigo em revista, além de diversas participações em congressos.

2 Resultados esperados

O resultado final esperado para o projeto é uma roda de reação, construída com tecnologia própria com os requisitos de desempenho de uma roda comercial, porém sem os requisitos ambientais necessários para sobrevivência no lançamento (vibração e choque) e em ambientes espaciais (vácuo, EMC [§], temperatura e radiação).

A roda de reação será projetada utilizando tecnologias que facilitem a futura adaptação para atingir os requisitos ambientais, tornando-se um estudo inicial para a criação de rodas de reação qualificadas para voo e que poderão futuramente ser utilizadas em missões aerospaciais. Esse projeto se encontra na fase de desenvolvimento tecnológico, NMT[¶] 3 [5] de projetos aerospaciais, sendo considerado uma prova de conceitos.

A roda proposta possuirá a arquitetura da Fig. 1, com eletrônica de acionamento com algoritmos de controle do mancal magnético e acionamento do motor sem escovas.

Pretende-se compreender durante esse projeto o processo de concepção de um motor sem escovas de pequeno porte, assim como sua eletrônica de acionamento, desvendando as dificuldades técnicas da construção de motores para o uso aerospacial. Além do motor, será desenvolvido o mancal magnético com dois graus de liberdade ativos (no plano de rotação) e três graus de liberdade passivo (no eixo de rotação), esse mancal possibilitará a operação do motor em baixas velocidades, eliminando as não linearidades que o mancal

*<http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=48984>

[†]Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

[‡]*Centre National d'Etudes Spatiales*

[§]Compatibilidade Eletro-Magnética

[¶]Nível de Maturidade Tecnológica

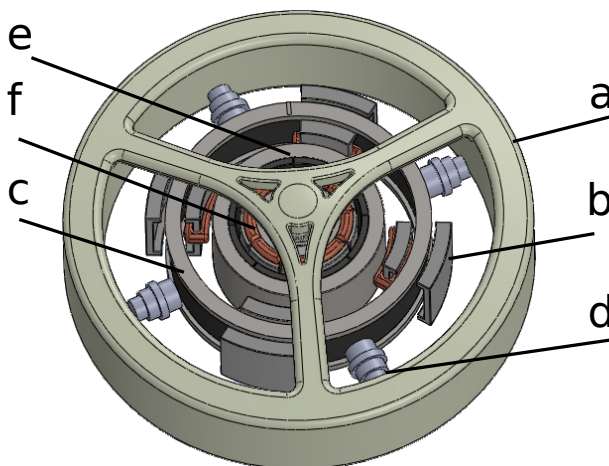


Figura 1: Roda de reação com motor sem escova e mancal magnético. a. Disco de inércia; b. Atuador mancal; c. Mancal magnético; d. Sensor posição mancal; e. Estator motor; f. Motor estator

mecânico possa introduzir. Para o mancal serão projetados os algoritmos de controle e eletrônica.

Ao final, a roda será validada em um sistema que emule a dinâmica do satélite (mesa com mancal a ar) [6], e o algoritmo de controle desenvolvido no INPE será utilizado para testar a eficiência da roda quando submetida à simulação de controle de atitude.

Como consequência deste projeto de pesquisa pretende-se possibilitar a realização de um trabalho de mestrado, quatro trabalhos de iniciação científica e um projeto de pós doutorado, que já está em andamento. Além dos temas de pesquisa, pretende-se também envolver dois alunos monitores na execução de tarefas de cunho técnico.

3 Descrição, concepção do projeto e metodologia empregada

A roda de reação pode ser descrita como a combinação de uma eletrônica de acionamento, um motor, um mancal e uma inércia, como descrito na Fig. 2. Sendo o componente de inércia responsável pela armazenagem de momento angular; o motor elétrico utilizado na manutenção ou modificação do momento angular do componente de inércia; o mancal responsável pela sustentação do componente de inércia (e demais partes móveis) da

roda de reação e a eletrônica de acionamento responsável por operar e controlar todos os subsistemas da roda.

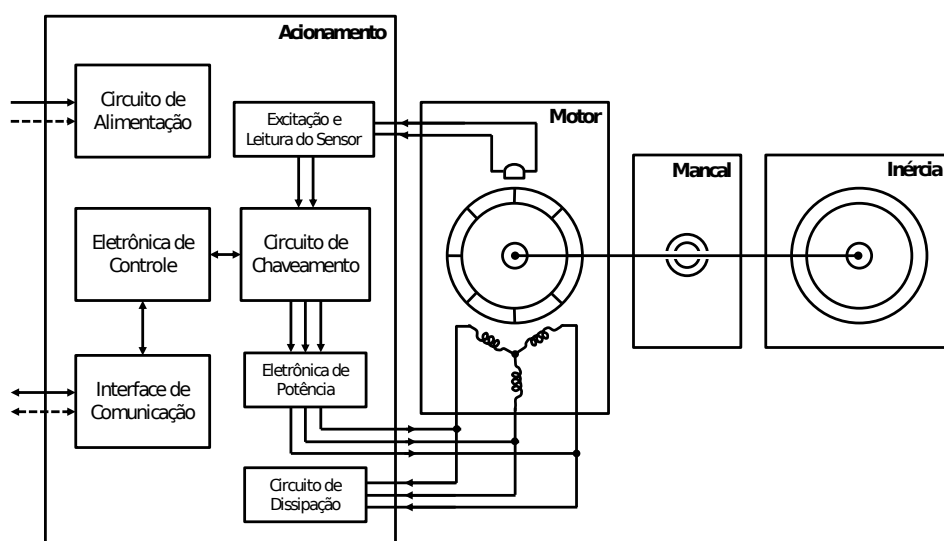


Figura 2: Esquema representando roda de reação individual

A grande dificuldade na construção de rodas de reação ocorre principalmente pelo fato da mesma ter de operar em uma ampla faixa de torque, com baixa oscilação mecânica e alta eficiência energética. Partes moveis são componentes críticos em ambientes espaciais e requerem atenção especial na sua construção. Alguns dos problemas mais evidentes são: alta variação térmica, baixa pressão, falta de gravidade, radiação e a vibração no lançamento.

No espaço, devido a falta de pressão, a dispersão dos lubrificantes [7, 8] e as partes móveis apresentam não linearidades e após algum tempo de operação param de funcionar. Sistemas complexos de re-lubrificação por capilaridades ou lubrificantes sólidos são utilizados para contornar esse problema, porém apresentam grande dificuldade na validação em Terra já que a simulação de longos períodos de operação em ambientes espaciais (câmara vácuo térmica) são de difícil acesso. A proposta com mancal magnético vem ao encontro de uma possível solução desse problema, já que não há a necessidade de testes em ambientes espaciais para sua validação, e seu funcionamento no espaço independe das condições de vácuo. O grande desafio na construção do mancal magnético está na complexidade da compactação do sistema, já que a roda de reação possui requisitos estreitos de dimensão e massa, e também na necessidade do baixo consumo energético (estático e dinâmico), já que o mancal estará em funcionamento sempre que a roda estiver ativa. Os requisitos de

estabilidade influenciam diretamente na qualidade da roda, nesse caso a escolha do tipo de sensoriamento é crucial.

O motor deve ser robusto suficiente para operar por longos períodos de tempo e sua construção deve ser tal que a relação torque/consumo seja elevada (satélites de porte médio possuem disponível para operação cerca de centenas de Watts). A escolha dos materiais assim como do método construtivo do motor são de extrema importância pois resultam em um sistema mais balanceado e energeticamente econômico.

3.1 Especificações

A roda de reação proposta deve satisfazer as especificações da Tabela 1, onde deseja-se atingir os requisitos para um satélite de classe II, possibilitando que o mesmo possa rejeitar perturbações orbitais e executar manobras de posicionamento [9].

| Parâmetro | Valor | | tipo |
|-----------------------------|------------|----------------------|----------------|
| Torque | 0,1 | [Nm] | Máximo |
| Momento angular | 10 | [Nms] | Máximo |
| Rotação | ± 4000 | [rpm] | Mínimo |
| Oscilação do torque | 10 | [%] | Máximo |
| Torque de fricção do mancal | 0,01 | [Nm] | Máximo |
| Desbalanceamento residual | 0,2 | [g.cm] | Estático |
| | 20 | [g.cm ²] | Dinâmico |
| | 3 | [W] | <i>standby</i> |
| Consumo de potência | 30 | [W] | Nominal |
| | 100 | [W] | Máximo |
| Tensão de alimentação | 12 à 40 | [V] | Faixa |

Tabela 1: Especificações de requisito do sistema

O acionamento da roda de reação deve ser possível em ambos os sentidos de rotação e com a mesma eficiência. Requer também que o eixo de rotação tenha inclinação menor do que 0,1 grau com relação a superfície de fixação da roda. A precisão de alinhamento é necessária para a adequada atuação da roda de reação no eixo sob controle.

A roda de reação deve ter dimensões limitadas a 250mm de diâmetro por 100mm de altura com massa total que não deve exceder 4kg. Na concepção das partes constitutivas da roda de reação será considerada a necessidade de operação contínua por longos períodos de tempo (em torno de quatro anos).

A eletrônica de acionamento é responsável pela comunicação entre a roda de reação e os demais sistemas do satélite e deve também garantir a correta manutenção dos *setpoints* (torque e velocidade) comandados e assegurar a integridade física do equipamento impondo limites de torque e velocidade angular, além de outras grandezas como temperatura e potência.

3.2 Motor

3.2.1 Tipos de motor

A classificação dos motores elétricos é normalmente feita pelo tipo de construção do rotor (com ou sem escovas) e pelo tipo de alimentação (AC ou DC).

Motores de corrente alternada apresentam bom desempenho em torque e podem atingir altas velocidades angulares. Também demonstram alta confiabilidade devido à transmissão sem contato de energia para o rotor. No entanto, apesar de sua eficiência ser excelente na presença de carga, em baixas rotações sua operação requer correntes relativamente altas para excitação do rotor, o que se traduz em reduzido fator de potência. A controlabilidade em velocidade variável também é limitada e exige acionamentos complexos. Por estes motivos, a utilização espacial deste tipo de motor em geral se reduz a aplicações em velocidade angular constante, sendo menos indicado para o acionamento de rodas de reação.

Motores sem escova possuem arquitetura inversa à dos motores com escovas [10]. Motores sem escovas são formados por ímãs permanentes no rotor, e enrolamentos no estator que são chaveados eletronicamente de forma síncrona. A sincronização dos chaveamentos do estator requer a determinação do posicionamento do rotor, que pode ser feita através de codificadores ópticos, *resolvers* analógicos, sensores de efeito Hall [11], ou indiretamente através da medição da força contra eletromotriz induzida pela rotação do rotor.

Trata-se de motores de excelente desempenho [12], podendo atingir velocidades de 100.000 rpm. Apresentam grande versatilidade de acionamento em torque ou velocidade se comandados eletronicamente de forma adequada. Assim como em motores de indução, a ausência de escovas se traduz em grande eficiência e confiabilidade, além de boa compatibilidade eletromagnética devido à ausência de faiscamento, diferente de motores DC com escova, os quais são acionados por meio de comutadores mecânicos. Motores DC com escovas apresentam baixa confiabilidade devido ao desgaste das mesmas. A eficiência também é reduzida devido à existência de atrito no mecanismo comutador.

Conclui-se assim que o tipo de motor que melhor atende às exigências de operação da roda de reação, para as aplicações em vista, é o motor de corrente contínua sem escovas [13, 14].

3.2.2 Topologia construtiva do motor

O motor proposto para o projeto é o motor sem escovas com o estator (parte fixa) localizado no interior do sistema e o rotor (parte rotativa) localizado na parte externa. Essa escolha se dá pela maximização do momento de inércia já que a massa do rotor contribui para o momento de inércia total do sistema.

O motor será construído com três fases visando uma boa flexibilidade de acionamento [15] com número relativamente baixo de comutadores eletrônicos, além da grande disponibilidade comercial de componentes existentes para aplicações na topologia trifásicas, o que contribui para as atividades de prototipagem. A configuração trifásica admite ainda estratégias de acionamento vetorial (Secção 3.7) que permitem a redução da oscilação de torque em comparação com as configurações de 1 e 2 fases, a Tabela 2 faz um comparativo dos diferentes números de fases e suas oscilações de torque.

O número de polos magnéticos do rotor determina a quantidade de ciclos elétricos por revolução mecânica. Um maior número de polos se traduz em maior torque fornecido pelo motor. O maior número de interfaces entre os ímãs permanentes, no entanto, se traduz em aumento de fluxo magnético parasita e conseqüentemente na redução do fluxo visto pelas bobinas do estator. Após certo limite, o aumento do número de polos deixa de ser vantajoso devido a este fenômeno. Existe ainda um limite para o aumento do

| Fases | Comutadores | Oscilação de Troque (%) |
|-------|-------------|-------------------------|
| 1 | 2 | 100 |
| 2 | 4 ou 8 | 30 |
| 3 | 3 ou 6 | 15 |
| 4 | 8 | 10 |
| 6 | 12 | 7 |

Tabela 2: Comparativo número de fases, comutadores e oscilação de torque

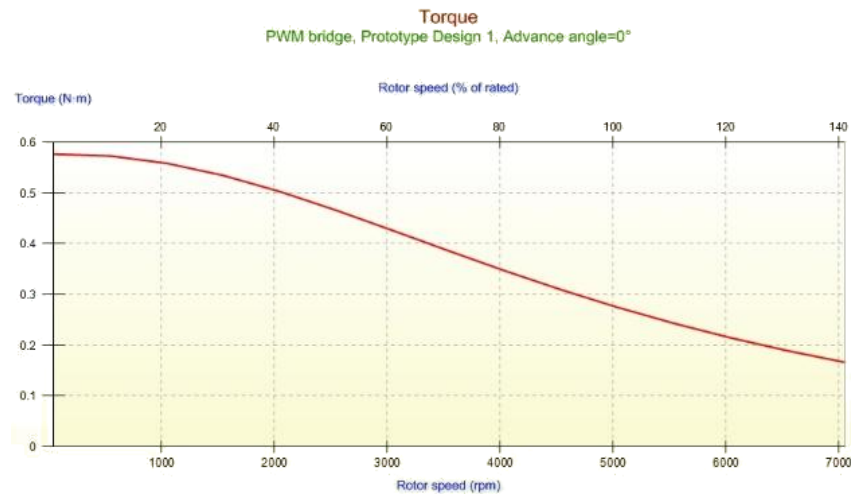
numero de polos ditado pelo espaço físico disponível no rotor. Com a redução da largura dos imãs, o aumento do número de polos possibilita a redução das dimensões do circuito magnético do motor, devido ao menor fluxo magnético a ser conduzido, bem como da largura do denteamento. Esta redução do denteamento se traduz em enrolamentos com menor componente radial de corrente (que não contribui para o torque) e consequente redução da dissipação resistiva de potência. Por outro lado, uma desvantagem do aumento do número de polos é o maior número de chaveamentos eletrônicos para a mesma velocidade angular, o que limita a velocidade de rotação máxima e se traduz pela maior perda por histerese no ferro do estator e perda de eficiência do motor.

Dados estes compromissos e as limitações de espaço físico inerentes à especificação de rodas de reação, tende-se para a solução formada por 8 polos, a ser confirmada na concepção detalhada.

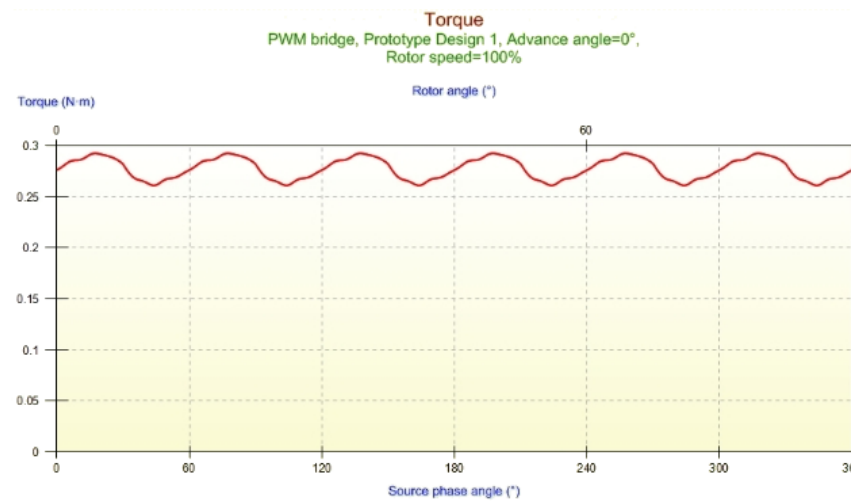
Existem duas possibilidades do posicionamento dos imãs permanentes do rotor: na superfície e no interior. A escolha pela superfície ocorre em função de que nesta topologia utilizam-se em geral imãs de baixa permeabilidade, de forma que o rotor seja magneticamente simétrico do ponto de vista das linhas de campo do estator (permeabilidade significativa apenas no corpo do rotor). O imã no interior do rotor apresenta diversas vantagens, como, elevado torque de relutância e proteção contra desmagnetização; porém apresenta também elevada oscilação de torque causado pela relutância do motor, tornando-se impraticável em rodas de reação.

O motor terá sua concepção detalhada e refinada ao longo do projeto. A Fig. 3 é uma simulação do motor especificado. Pode-se verificar que o requisito de torque (Sec. 3.1) com o motor proposto é satisfeito para toda excursão de operação (até 4.000 RPM) e

a oscilação do torque por um acionamento vetorial se encontra nos limites estabelecidos ($\pm 0,05 N.m$).



(a) Torque (N.m) x Velocidade (rpm)



(b) Torque (N.m) x Ângulo (graus)

Figura 3: Simulação motor sem escovas trifásico, 8 polos, enrolamento distribuído com ligação estrela e ímã de SmCo na superfície - Software Motorsolve [16]

3.3 Mancal

A suspensão do rotor com relação ao estator representa uma parte crítica em rodas de reação [17] devido as consequências de qualquer fricção no movimento relativo entre estes dois componentes. Com efeito, a fricção se traduz não apenas em um maior consumo de potência elétrica, como também na introdução de uma zona morta de atuação em

torque, bem como na limitação da vida útil da roda de reação devido ao gradual desgaste do mancal.

3.4 Mancal por rolamento

Trata-se da solução mecânica de interface entre o rotor e o estator. Apesar de sua aparente simplicidade, apresenta grande desafio de fabricação para a obtenção dos valores mínimos de fricção necessários em vista das exigências de consumo, controlabilidade e vida útil de uma roda de reação.

A lubrificação do rolamento representa também considerável dificuldade, devido à impossibilidade de utilização de lubrificantes tradicionais em condições de baixa ou nenhuma pressão atmosférica, que levam à perda de componentes voláteis destes lubrificantes e sua consequente degradação. Outros fatores ambientais com impacto na lubrificação são os ciclos térmicos e o fluxo radioativo encontrados em ambiente orbital. Estes fatores implicam na necessidade conjunta de lubrificantes especiais e de eventual selamento hermético da roda de reação como um todo, com pressurização interna. Esta atmosfera interna acaba por contribuir com o atrito total, que acaba tendo de ser compensado com valores ainda mais estritos de especificação para a fricção do rolamento.

Outra dificuldade associada ao uso de mancais de rolamento reside na sua modelagem, devido à variação de viscosidade do lubrificante em função da temperatura do mancal, que torna o coeficiente de fricção dependente da velocidade de rotação e condições térmicas em geral.

3.5 Mancal magnético

A solução proposta para esse problema é a utilização de um mancal magnético [18, 19] que é a alternativa sem contato mecânico entre o rotor e o estator, na qual o rotor é mantido suspenso magneticamente. O ganho em confiabilidade e vida útil da roda de reação é considerável [20], sendo a vida útil basicamente limitada apenas pela durabilidade da eletrônica. A operação sem contato elimina a necessidade de lubrificante e possibilita consequentemente a operação em vácuo, o que se traduz em grande simplificação

nos requisitos de concepção mecânica. A ausência de fricção elimina a zona morta de aplicação de torque em baixas velocidades, eliminando não-linearidades da lei de controle, com consequente ganho em simplicidade dos algoritmos e em desempenho do controle de atitude. A contrapartida é uma complexidade do sistema de controle para a malha de suspensão eletromagnética. O ganho de eficiência trazido pela ausência de fricção também é contrabalanceado, ao menos parcialmente, pelo consumo de potência dos atuadores deste tipo de mancal.

O mancal magnético pode ser do tipo passivo ou ativo, onde o passivo é formado por um rotor contendo um conjunto de ímãs permanentes em disposição de Halbach [21]. O conjunto de enrolamentos passivos no estator é excitado por este campo magnético girante. Na eventualidade de qualquer deslocamento do rotor, este enrolamento reage com a criação de um campo magnético, com a consequente atração/repulsão do rotor de volta à posição de equilíbrio. O sistema é estável a partir de uma velocidade de rotação mínima do rotor (velocidade crítica). O fato desta topologia não funcionar em baixas velocidades angulares a torna pouco adaptada para aplicação em rodas de reação.

O sistema de levitação magnético proposto para o mancal, ilustrado na Fig. 4, é formado de um eixo passivo em traslação (EPt), dois eixos passivos em rotação (EPr) e dois eixos ativos (EA). O eixo passivo estabiliza o rotor no eixo perpendicular a rotação do motor exercendo forças de restauração a partir do descolamento do motor no eixo transversal à rotação [22], e os eixos ativos agem em dois graus de liberdade onde rotor e o estator compõem um circuito magnético em configuração atrativa, em geral com ímãs permanentes no rotor, acoplado a um circuito magnético de baixa relutância no estator. O sistema é estável axialmente mas necessita controle ativo nos dois eixos radiais. Esta configuração resulta em um mancal de boa rigidez radial, com arquitetura simplificada, pequenas dimensões e menor peso.

O sensoramento do mancal será feito no plano de rotação sendo utilizado pela malha de controle para a atuação no mancal. No mínimo quatro sensores de efeito de campo* serão instalados na parte fixa da carcaça e usados na malha de controle do mancal. O posicionamento desses sensores deve ser tal que a diferença de campo causado pela rotação do mancal não influencie o sensoramento da posição no plano de rotação. Um sensor

**Eddy current position sensor*

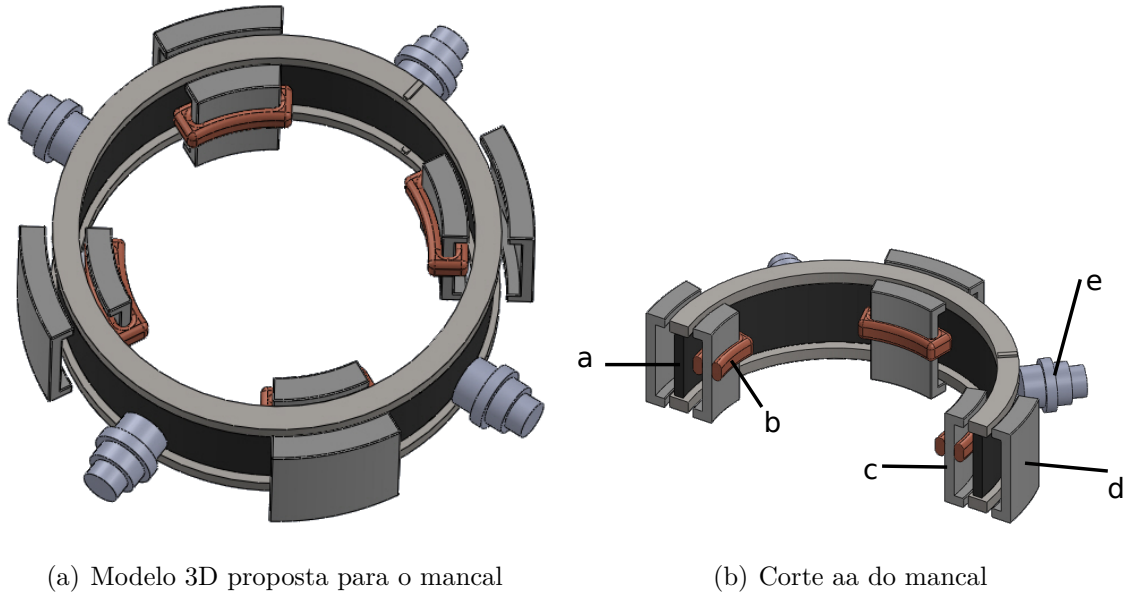


Figura 4: Estudo preliminar de um mancal magnético com dois graus de liberdade.

a. Ímã permanente do rotor; b. bobina para controle do eixo ativo; c. ferro da bobina; d. ferro do eixo passivo; e. sensor de distância

também pode ser posicionado para amostrar a posição da inércia, e indiretamente a do mancal. Estuda-se também amostrar a posição do mancal no EPT, o que possibilitaria o controle de pequenos distúrbios nesse eixo.

As características do circuito magnético do mancal, bem como seu comportamento térmico, serão simuladas por elementos finitos no software de multifísica Comsol® [23] onde o modelo proposto será estudado e ajustado para as necessidades de torque. Pretende-se nesse estudo preliminar verificar a distribuição do campo magnético e as forças atuantes, assim como o melhor posicionamento para os sensores de posição.

Na atual proposta, pretende-se utilizar, quando o controle do mancal magnético estiver desativado, um rolamento instalado dentro do estator. Esse rolamento possuirá folga maior que o do mancal magnético e servirá de apoio para quando o sistema não estiver operante (estima-se que essa folga deva ser de $2mm$). As condições de lubrificação são menos exigentes já que o mesmo não será utilizado para apoiar o sistema em rotação. Outra vantagem na utilização do rolamento interno é a de possibilitar que equipes diferentes trabalhem simultaneamente no projeto, onde o acionamento do motor pode ser desenvolvido sem a necessidade do mancal magnético já estar implementado.

3.6 Inércia

O componente de inércia tem como função armazenar o momento angular a ser intercambiado com o satélite pela atuação da roda de reação. Na determinação da forma geométrica deste componente o objetivo é satisfazer o requisito de momento de inércia da roda de reação sem, no entanto, incorrer em incremento desnecessário de massa e dimensões. Verifica-se que a forma geométrica sólida que maximiza a relação entre massa e momento de inércia é a casca cilíndrica.

O momento de inércia (I_r) é aproximado pelas equações: 1 e 2 sendo: m_r a massa total do disco, ρ a densidade do material, r_e o raio externo, r_i o raio interno e h a altura total.

$$m_r = \rho \times \pi(r_e^2 - r_i^2)h \quad (1)$$

$$I_r = \frac{1}{2}m_r(r_e^2 + r_i^2) \quad (2)$$

Considerando-se, para cada roda de reação, a classe de satélites de massa m e período orbital P_s , e aproximando-se suas distribuições de massa de forma cúbica, obtêm-se uma estimativa com a expressão 3, do momento de inércia do satélite correspondente.

$$I_s = \frac{1}{6}m_s(d_s^2) \quad (3)$$

Pela conservação do momento angular máximo, obtêm-se a capacidade de manobra oferecida pela roda de reação para o satélite considerado (representada pela variação máxima de velocidade angular), bem como a capacidade máxima de rejeição à perturbação orbital sobre o satélite (representada pelo torque máximo integrado sobre uma semi-órbita).

Para essa prova de conceito, a inércia será usinada com tolerância IT* 5 [24]. Isto implica, para um raio de 200mm, em um erro de aproximadamente 0,23mm. A peça será polida de acordo com as restrições de balanceamento impostas no requisito.

O material escolhido para a confecção da roda é o Aço Inox 300, amplamente

*Iso-Tolerance

utilizado em aplicações espaciais [25]. O material possui alta densidade, potencializando a razão inércia/massa, é anticorrosivo e tolerante à fluência.

3.7 Algoritmos de controle

3.7.1 Acionamento do motor

A técnica escolhida para a comutação das correntes é o acionamento vetorial PWM (SVPWM *) [26, 27, 28] que não tem base na mensuração individual das correntes do motor, mas sim no controle geral de todas as fases simultaneamente, conseguindo assim um melhor desempenho. A utilização do SVPWM, com relação ao controle escalar (relação de $\frac{\text{velocidade}}{\text{frequência}}$ constante), implica em um ganho de 15% na tensão de saída do inversor, dado que a tensão na bobina não é mais fixa em um nível DC e sim variável, além da diminuição da distorção harmônica total (THD) levando a uma menor oscilação do torque do motor. É o método de acionamento mais recomendável, pois possibilita o controle do motor com maior estabilidade e eficiência e não necessita da adição de sensores de posição com alta resolução (*encoders, resolvers*).

O não uso de sensores de posição [29, 30] implica em dificuldades na partida do motor, onde a posição do rotor é desconhecida. Para solucionar esse problema, o motor é colocado em uma situação forçada de movimento onde uma sequência predefinida é executada. Após o início do movimento é possível detectar a posição do rotor pela amostragem da força contra eletromotriz nas bobinas do estator e então o controle é comutado da forma forçada (malha aberta) para a forma síncrona (malha fechada), implicando em oscilações para baixas velocidades de rotação.

O algoritmo de controle será desenvolvido para o controle vetorial de torque e aceleração do motor. Esse algoritmo implementará a equação de Clark-Park (Fig. 5) onde os valores das três correntes das fases do motor (i_a, i_b, i_c), mais a estimativa da posição do rotor (sensores Hall) [31], serão transformadas em dois vetores rotativos (i_d e i_q) que possibilitam o controle com alto desempenho do motor.

*Space Vector Pulse Width Modulation

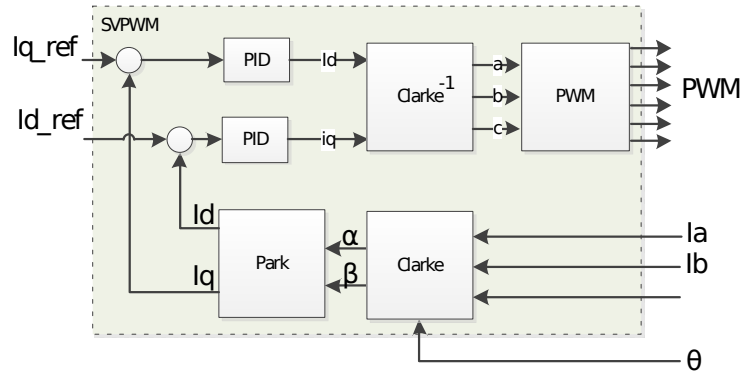


Figura 5: Acionamento SVPWM

3.7.2 Controle do mancal

No caso de rodas de reação baseadas em mancal de rolamentos, o torque gerado pela roda não é proporcional à corrente elétrica aplicada ao motor, devido ao atrito presente no mancal, principalmente em baixas velocidades. Por consequência do atrito, rodas de reação apresentam comportamento não-linear de natureza descontínua, durante a reversão de sentido de rotação [32]. Tal característica das rodas de reação restringe em maior ou menor grau o desempenho do sistema de controle de atitude. Uma possibilidade de minimizar esse problema é utilizar um algoritmo de controle que compense os efeitos da não-linearidade causada pelo atrito. Faz parte do escopo desse trabalho pesquisar técnicas de compensação do atrito em rodas de reação. Esse tema têm sido estudado tanto em âmbito nacional [33, 34], como internacional [35]. Portanto, contribuições significativas nessa linha de pesquisa são de interesse da comunidade científica.

A rigor há duas formas de se realizar o controle da roda de reação. A mais convencional utiliza o controle por corrente do motor. Todavia, como apontado anteriormente, a relação entre a corrente e o torque líquido de reação (torque efetivamente gerado pelo atuador) não é linear. Portanto, essa abordagem será imprecisa, a não ser que as perdas por atrito sejam compensadas. Nesse caso, um modelo fiel da roda de reação é vital para aprimorar o desempenho do controlador de atitude baseado em controle por corrente [33]. Também está previsto na proposta o estudo de formas para modelar o atrito em rodas de reação. Por outro lado, do ponto de vista do sistema de controle de atitude, o torque líquido de reação é dado pelo produto entre o momento de inércia do volante e a variação da velocidade de rotação. Logo, pode-se controlar diretamente o torque através

da velocidade da roda. Essa abordagem, apesar de ser mais precisa, implica no aumento da complexidade do sistema, pois há a necessidade de se medir e realimentar a velocidade angular. Assim, normalmente a medida é feita através de codificadores é preciso lidar com problemas de quantização e resolução do sensoriamento. Outro aspecto relevante de investigação é a aplicação de técnicas de leitura de codificadores de baixa resolução [36] para o controle de velocidade de rodas de reação.

3.8 Eletrônica de acionamento

A eletrônica em sistemas espaciais consiste normalmente de uma parte crucial do sistema, sendo bastante sensível aos efeitos da radiação [37], falhas em sensores, por exemplo, representam um dos maiores problemas para o bom funcionamento de sistemas aeroespaciais em seu pleno potencial [38], e estão muitas vezes relacionadas ao cancelamento de missões ou mau funcionamento de sistemas. Além dos sensores, memórias podem ter seus dados alterados devido ao impacto de uma partícula de alta energia, podendo causar falha crítica no sistema. Nessa atual proposta pretende-se considerar alguns fatores da radiação na eletrônica, porém não é pretensão do grupo criar um sistema tolerante à radiação. Utilizar-se-à eletrônica comercial, mas visando uma futura transição para elementos tolerantes à radiação.

A comutação de motores sem escovas é feita a partir do controle eletrônico. Esse controle eletrônico pode ser executado através de uma combinação de duas técnicas que envolvem o sensoriamento da posição do rotor (sensores Hall) ou das forças contra eletromotrices associadas as fases do estator (*sensorless*). A comutação sem sensores não é apropriada para o controle do motor já que tipicamente as técnicas de controle sem sensores operam o motor com uma velocidade mínima de 10% da nominal, não indo ao encontro dos pré requisitos de uma roda de reação. Serão utilizados portanto os sensores de efeito Hall (vide Sec. 3.2) para estimativa da posição do rotor.

Um microcontrolador será utilizado para o controle do circuito de acionamento, executando um sistema operacional de tempo real (RTOS) para realizar o controle das diversas tarefas em execução (Fig. 6), garantindo assim a confiabilidade das operações. Tarefas como acionamento do motor, controle do mancal magnético, comunicação externa

e interface com sensores são executadas com prioridades diferentes e respeitando os tempos de amostragem de cada sistema. Além da vantagem de operar em tempo real, o acionamento microcontrolado é indicado por possibilitar a implementação de controle SVPWM e o gerenciamento de falhas e logs.

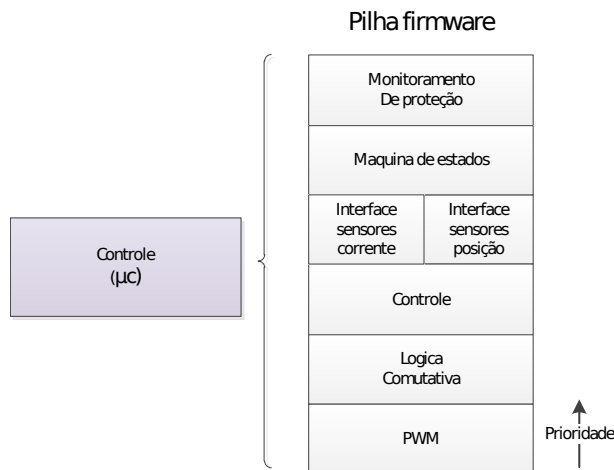


Figura 6: Tarefas executadas pelo microcontrolador

A eletrônica de potência será desenvolvida com dispositivos discretos, decorrência da dificuldade de aquisição de componentes qualificados para voo (devido ao embargo econômico e/ou elevado preço). A discretização dos componentes facilita a adaptação e alteração da arquitetura para a qualificação aeroespacial. A proposta é utilizar opto-isoladores nas saídas e entradas digitais do microcontrolador a fim de evitar, em caso de sobrecarga, o mau funcionamento do sistema.

O acionamento do motor será feito através do inversor trifásico construído com transistores MOSFETs, pois possuem boa eficiência energética para aplicações de baixa tensão e reduzida perda por comutação [39]. O mancal será acionando por uma ponte monofásica, justificada pela menor necessidade de energia.

Um circuito de dissipação será utilizado para a descarga da energia acumulada no motor. Essa energia deverá ser mensurada a fim desta informação ser utilizada na malha de controle (acionamento SVPWM). Além do circuito de dissipação, deve-se projetar um circuito de recirculação rápido e síncrono (diodos de circulação *) a fim de possibilitar a recirculação das correntes e evitar desgastes nas chaves.

* *Free wheeling*

O controlador possuirá diversos métodos de proteção com o intuito de evitar danos permanentes ao sistema, algumas proteções serão implantadas por software e outras por hardware. As seguintes grandezas serão levadas em conta na proteção:

- Temperatura : A temperatura de operação de diversas partes do sistema (mancal, estator, carcaça) deverão ser monitoradas para evitar sobreaquecimento das rodas, eletrônica de potência e circuitos de dissipação;
- Corrente : A corrente de cada fase do motor, assim como a de consumo do circuito de acionamento, devem ser monitoradas para evitar sobrecarga de corrente e detecção de curto circuito;
- Tensão : Quando o motor requisitar grande quantidade de corrente (grande torque), a tensão de alimentação tende a cair temporariamente (*undervoltage*) podendo causar o desligamento temporário do circuito de acionamento e falha no sistema; Para evitar este problema a tensão do sistema deve ser monitorada.;
- Travamento do motor : Detecção do travamento do rotor, evitando excesso de corrente;
- Detecção de mau funcionamento de sensores: Um método para detecção de mau funcionamento dos sensores e formas de contornar o problema, mesmo que impliquem na perda parcial de eficiência, serão propostos.

O circuito de acionamento deve operar com tensão de alimentação na faixa de 12,0V à 40,0V, sendo proposto a utilização de três circuitos independentes para cada função: um de alta potência para acionamento do motor trifásico, um de média potência para acionamento do mancal e outro de baixa potência para os sensores e o microcontrolador.

Resumidamente, a eletrônica de acionamento controla tanto o motor quanto o mancal magnético e será composta por um microcontrolador responsável pelo controle de todo o sistema, assim como pela comunicação digital externa. Tem-se também uma eletrônica de desacoplamento, *drivers* para comandar os transistores de potências (*gate drivers*), um inversor trifásico que deverá ser composto por MOSFETs, e circuitos de sensoramento. O diagrama da Fig. 7 ilustra a arquitetura proposta.

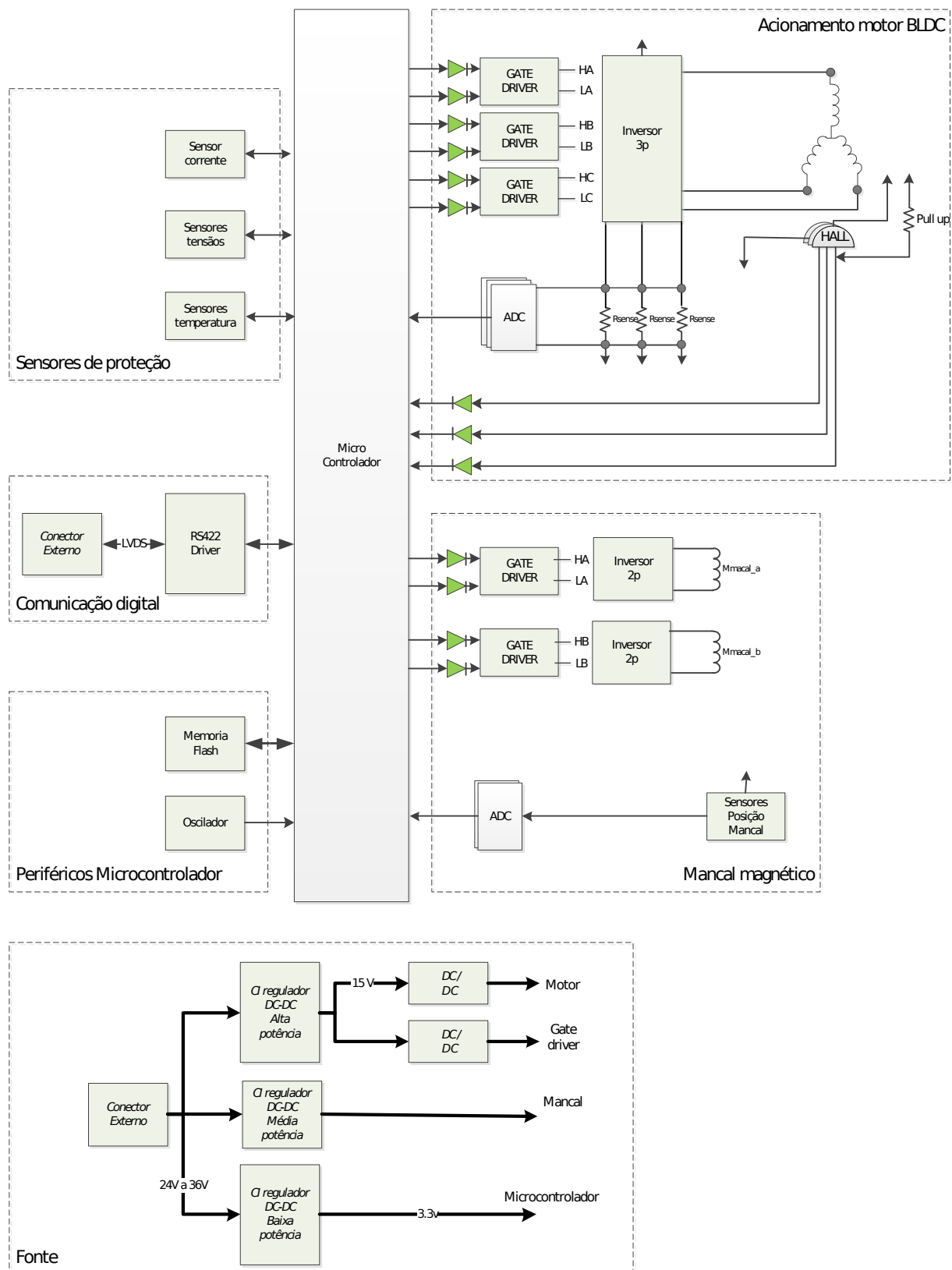
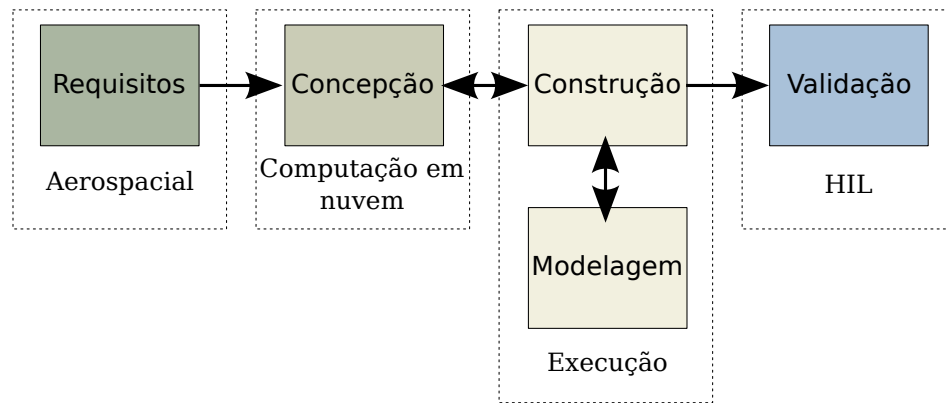


Figura 7: Arquitetura elétrica proposta

3.9 Metodologia

Visando superar os desafios envolvidos na construção de roda de reação usando motor sem escovas, respeitando restrições que impliquem em futura adequação para utilização em voo, este projeto de pesquisa foi estruturado seguindo a divisão diagramada na Fig. 8. As cinco etapas compreendem atividades de pesquisa e desenvolvimento que buscam preencher as lacunas evidenciadas durante a pesquisa bibliográfica, e são descritas em detalhes neste documento.



1

Figura 8: Metodologia do projeto de pesquisa em cinco etapas.

4 Validação

A validação do projeto será feita primeiramente em cada um de seus subsistemas independentes utilizando o conceito de *Hardware-in-the-loop* (HIL), onde sistemas dinâmicos podem ser simulados a fim de obter rápida e fácil validação das propostas, além de permitir o desenvolvimento dos subsistemas em paralelo. A Fig. 9 mostra os diversos cenários de testes da roda de reação. Para execução destes ensaios será utilizado o sistema *Dspace* com *Matlab* embarcado (sistema em aquisição pelo INCT INEspaço - FAPESP 2008/57866-1).

Na avaliação, cada roda será submetida a testes de balanceamento, eficiência energética e qualidade de torque. Parte da avaliação será executado em conjunto com o Laboratório de Simulação de Sistemas de Controle de Satélites da Divisão de Mecânica Espacial e Controle (LabSim) do INPE.

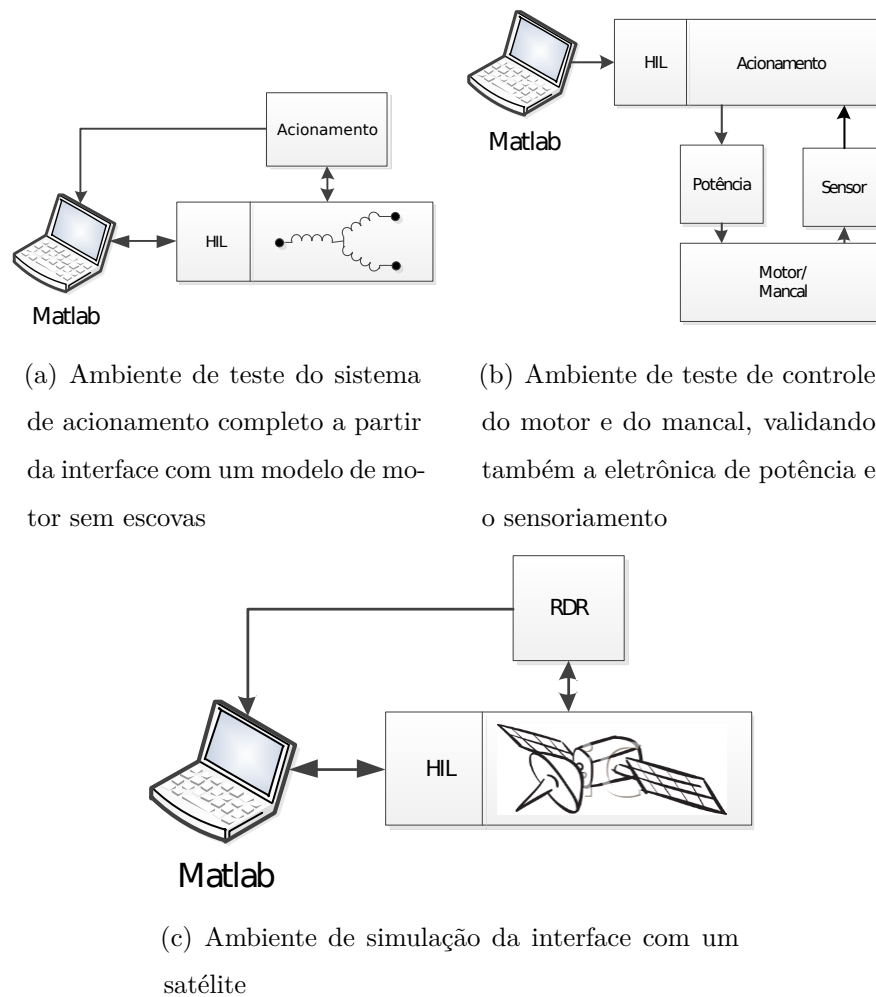


Figura 9: Cenário de testes propostos.

Os principais subsistemas da roda de reação serão testados e desenvolvidos independentemente a partir da utilização de simuladores em tempo real (*Hardware-in-the-loop* - HIL) e o produto final será submetido a um teste de desempenho com um modelo dinâmico de satélite

5 Apoio institucional, investigador principal e equipe

5.1 Apoio institucional

O projeto será desenvolvido no Núcleo de Sistemas Eletrônicos Embarcados (NSEE) do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT). O núcleo foi criado em 2010 mas sua equipe atua na área aeroespacial desde 2004. A primeira participação foi na missão CoRoT * na etapa AIT † realizada no Observatório de Paris (2004-2006) com bolsa CAPES (BEX

*Convection ROtation et Transits planétaires

† *Assembly, Integration and Test*

1649/03-5) recebida pelo pesquisador Dr. Vanderlei C. Parro, integrante do NSEE. E a segunda com projeto em cooperação com o pesquisador Michel Auvergne (2006-2010) com o estudo intitulado: *Estudo para a caracterização da função de espalhamento do sistema óptico do canal de aquisição de imagens destinado a investigação exoplanetas do satélite CoRoT* (FAPESP -2006/03008- 9), cujo resultado foi utilizado pela equipe do segmento solo da missão CoRoT .

Desde 2010 o NSEE participa, integrando a equipe brasileira, do consórcio que propôs à ESA a construção de um novo satélite para busca de planetas habitáveis designado por PLATO* e conta com o apoio do MCTI† (Anexo E). Em 2011 a equipe entregou com êxito um simulador tempo real do canal de aquisição de imagens proposto para o Plato ao CNES‡ (Anexo B). O trabalho foi desenvolvido em cooperação com o Observatório de Paris e envolveu com êxito alunos de graduação e pós-graduação (Anexo C). Como resultado deste trabalho do NSEE dois registros de software foram encaminhados por intermédio da empresa Britânia Marcas e Patentes, foi publicado um artigo em revista, além de diversas participações em congressos.

5.2 Pesquisador principal

O pesquisador principal do projeto é o Dr. José Carlos de Souza Junior, atualmente professor titular do Instituto Mauá de Tecnologia - onde atua como Reitor, professor. Adjunto II (licenciado) do Centro Universitário da FEI e professor titular (licenciado) da Universidade São Judas Tadeu. Fundou a Mosaico Engenharia Eletrônica Ltda., onde atuou até 2009. Fundador da VERSOR Inovação Tecnológica em 2010, é também seu responsável técnico. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica/Eletrônica, com ênfase em Processamento Digital de Sinais, atuando principalmente nos seguintes temas: Processamento de Imagem, Processamento de Sinais Biológicos, Sistemas Embarcados e Telecomunicações.

O pesquisador principal está de acordo com o anuncio de oportunidades AO 2013 do programa Uniespaço (Anexo E)

*<http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=48984>

†Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

‡Centre National d'Etudes Spatiales

5.3 Equipe

Vinculados ao Instituto Mauá de Tecnologia, estão participando do projeto os seguintes professores/pesquisadores:

- Dr. José Carlos de Souza Junior - <http://lattes.cnpq.br/0108626756702152>
- Dr. Rodrigo Alvite Romano - <http://lattes.cnpq.br/3843114488132776>
- Dr. Sergio Ribeiro Augusto - <http://lattes.cnpq.br/5713896758998889>
- Eng. Rafael Corsi Ferrão - <http://lattes.cnpq.br/4775677284462845>

O estudo inicial que resultou nesta proposta de projeto de pesquisa foi iniciado em 2011. Desde então o IMT tem garantido as condições necessárias para avançar na pesquisa, na colaboração com a AEB e o INPE e disponibilizado bolsas de IC para participação nos estudos preliminares. Neste intervalo duas dissertações de mestrado, em fase de conclusão foram co-orientadas pelos Profs. Dr. José Carlos de Souza Jr. e Dr. Rodrigo Alvite Romano.

Atualmente o projeto é também apoiado pelo INCT INEspaço que forneceu bolsa PDJ ao Dr. Leonardo Pinheiro da Silva para participar do projeto como tema de trabalho, o pesquisador Leonardo trabalhou em diversas áreas da engenharia aeroespacial, inicialmente com seu Doutorado no Observatório de Paris e em 2009 trabalhando no foguete europeu Ariane 5. O Me. Fernando Junqueira tem três décadas de experiência com o desenvolvimento de mancais magnéticos para aplicações críticas. Ademais, é o responsável pelo desenvolvimento de sistemas inerciais junto ao Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo.

- Dr. Leonardo Pinheiro da Silva - <http://lattes.cnpq.br/1935109897045645>
- Me. Fernando De Castro Junqueira - <http://lattes.cnpq.br/5963802943335370>

Além dos pesquisadores, dois alunos de IC realizam trabalho em temas correlatos. O aluno Bruno Tsuchiya investiga técnicas HIL utilizando Matlab e tem como objetivo estabelecer uma plataforma estável de análise e desenvolvimento. O aluno Angelo Lunardi trabalha com simulação 3D no Matlab afim de representar os movimentos dinâmicos de um satélite partindo de estímulos externos.

A atribuição de horas, assim como o Cargo/Função, no projeto pode ser vista no Anexo F sendo que o total de horas dedicadas ao projeto será de 58 horas semanais.

6 Infra-estrutura básica disponível

Atualmente, o NSEE está instalado em um laboratório com área de aproximadamente 50m², contando com infra-estrutura de rede sem-fio, impressão e telefonia.

6.0.1 Biblioteca

A Biblioteca tem em seu acervo mais de 70 mil livros especializados, acesso à algumas das principais bases de dados: *American Chemical Society* (ACS), *ASTM International*, *Science Direct* e *ScopFus*, além de centenas de revistas e periódicos. Totalmente informatizada, a Biblioteca dispõe de 15 microcomputadores para consulta ao acervo e 46 microcomputadores para uso exclusivo em pesquisa via Internet. Possui 3 salas para estudos sendo uma para estudo individualizado (116 lugares), uma para estudo em grupos de 4 alunos (100 lugares) e uma para estudo em grupos de 10 e 12 alunos (134 lugares). Possui também convênio com as principais bibliotecas do país para troca de livros e artigos (COMUT).

6.0.2 Laboratório de prototipagem eletrônica

O IMT disponibilizará um laboratório completo para projeto, fabricação e montagem de placas eletrônicas. Esta montagem pode envolver estruturas em microfita com impedância controlada bem como a solda de componentes do tipo SMD. Com este recurso tem-se independência e agilidade na criação de protótipos e sistemas eletrônicos de suporte.

7 Cronograma de desenvolvimento

O projeto possui um cronograma de 36 meses, dividido em duas fases de 18 meses cada, como demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3: Cronograma de execução do projeto proposto.

| | 1º Fase | | | | | | 2º Fase | | | | | |
|--|---------|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Atividade (Trimestre) | 1.º | 2.º | 3.º | 4.º | 5.º | 6.º | 1.º | 2.º | 3.º | 4.º | 5.º | 6.º |
| Estudo Preliminar da roda de reação | • | • | • | | | | | | | | | |
| Concepção mecânica | | | • | • | | | • | • | | | | |
| Concepção eletrônica de acionamento | | | • | • | | | • | • | | | | |
| Usinagem e prototipagem do mancal | | | | | • | • | | | • | • | | |
| Usinagem e prototipagem do motor | | | | | • | • | | | • | • | | |
| Integração e testes do protótipo | | | | | | • | • | • | • | • | • | • |
| Implementação das leis de controle e do software embarcado | | | | | | • | • | • | • | | | |
| Ensaio e validação em HIL | | | | | | | | • | • | • | • | |
| Redação de artigos científicos | | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| Redação de relatórios científicos | | | | • | | • | | • | | | • | • |

8 Recursos

Os recursos necessários para o projeto contempla R\$159.850,00 para a Fase 1 e R\$98.000,00 para a Fase 2. Os recursos envolvem o desenvolvimento, construção e validação da roda de reação, contando com otimizações e melhorias dos subsistemas ao longo da evolução do projeto, além de possibilitar a construção de réplicas da roda, verificando a repetibilidade na construção.

O organograma físico financeiro se encontra no Anexo G.

8.1 Recursos detalhados

Os seguintes recursos e suas justificativas são necessários para o desenvolvimento do projeto:

| FASE 1 | |
|---|---|
| Descrição | Justificativa |
| Apoio a execução de simulações por elementos finitos em computação na nuvem | Devido ao esforço computacional das simulações que envolvem multifísicas, iremos utilizar um sistema em nuvem para agilizar as simulações e que possibilite uma maior dinâmica na etapa de desenvolvimento e testes |
| Software Motorsolve para desenvolvimento de motores sem escova | Software dedicado para o desenvolvimento de motores sem escova, irá auxiliar na escolha da melhor topologia para o motor, assim como executar simulações com diferentes topologias |
| Aço Inox austeníticos | O material será utilizado para confecção das partes mecânicas não magnéticas do projeto |
| Aço Inox ferrítico | O material será utilizado para construção das partes mecânicas magnéticas do projeto |
| Alumínio | O material será utilizado para construir a parte externa, carcaça, das rodas de reação |
| Fio de cobre esmaltado | Fio para ser utilizado nas bobinas dos estatores (motor e mancal) |
| Imã permanente de terra raras | Ímãs para serem utilizados no motor e mancal magnético |
| Rolamentos | Rolamento auxiliar do mancal |
| Resina isolante | Resina para ser utilizada na fixação dos enrolamentos |
| Parafusos | Parafusos para fixação das diferentes partes do sistema |
| Usinagem de precisão, grau IT 5 | Para a construção das partes mecânicas e estruturais do sistema as diferentes partes do sistema deverão ser usinadas com uma precisão que torne o conjunto dentro das especificações de balanceamento impostas |
| Circuito integrado: Sensor de efeito de campo (HALL) | Utilizado para detectar as fases do motor, servindo de sincronismo para a eletrônica de acionamento |

| | |
|---|---|
| Sistema amplificador para sensor de posição | Sistema conversor capacitância/indutância - tensão, para ser utilizado na malha de controle do mancal magnético |
| Sensores de posição para medida de distância (ponta de prova) | Sensor a ser utilizado na malha de controle de posição do mancal magnético |
| Kit para motores sem escova | Kits de desenvolvimento para embarcar a malha de controle do motor/mancal na fase de validação e teste |
| Motores sem escovas de corrente contínua comerciais | Motores comerciais sem escovas para testes dos algoritmos e desenvolvimento em paralelo com a especificação |

FASE 2

| Descrição | Justificativa |
|--|--|
| Engenheiro mecânico 18h/semana por 18 meses | Acompanhamento dos testes, suporte em montagem mecânica, adaptações, balanceamento, interface externa |
| Circuitos integrados: Regulador de tensão | Necessário para o circuito de alimentação da eletrônica |
| Circuitos integrados: Sensor de corrente | Sensores de corrente para ser utilizado na malha de controle de potência/alimentação |
| Circuitos integrados: Amplificador de corrente de teco | Amplificador operacional para amplificar a corrente do resistor de teco de cada fase do motor |
| Circuitos integrados: Monitoração de corrente e tensão | Cis para monitorar a qualidade de energia da eletrônica de alimentação |
| Circuitos integrados: Sensor de temperatura | Sensores para amostrar temperatura de diferentes áreas do sistema |
| Sensor de temperatura (ponta de prova) | Ponta de prova para mensurar a temperatura do sistema, e possivelmente procurar a correlação com o controle e eficiência das rodas |
| Sensor de umidade (ponta de prova) | Sensor para mensurar a umidade do sistema, e possivelmente procurar alguma correlação com o controle e eficiência das rodas |

| | |
|---|--|
| Circuito integrado: Conversor capacitância/tensão | Circuito integrado para conversão de capacitância a ser utilizado como alternativa de conversor na malha de posição do mancal magnético |
| Circuito integrado: Micro controlador | Microcontrolador que centralizará todo o controle do sistema, responsável pelo controle do mancal/motor e interface de comunicação |
| Circuito integrado: referência tensão | Para ser utilizado como referência pelos conversores analógicos/digitais |
| Circuito integrado: acionamento motor corrente contínua sem escovas | Alternativa comercial do acionamento do motor sem escovas. Servindo como elemento de testes para o sistema dedicado |
| Encoder | Fita linear para ser colocada na parte rotativa do motor, medindo com maior precisão a dinâmica do motor, utilizado para estudos de oscilações e na malha de controle do motor |
| Fita linear para encoder | Para medir com maior precisão a dinâmica do motor, podendo ser utilizado para estudos de oscilações e na malha de controle do motor |
| Transistores | A ser utilizado na parte de potência do sistema |
| Amplificadores operacionais | A ser utilizado na parte de potência do sistema |
| Resistores | Resistores de uso geral da eletrônica |
| Capacitores | Capacitores de uso geral da eletrônica |
| Conectores | Conectores específicos para aplicações de alto desempenho, de uso interno e externo |
| Circuito integrado: osciladores | Utilizado na eletrônica de controle |
| Memória flash | Usada na eletrônica de controle para gravação do software embarcado |

| | |
|---|---|
| Placa de aquisição USB – Matlab | Placa de aquisição para ser utilizada na etapa de desenvolvimento como uma ferramenta rápida para a prototipagem de algoritmos de controle para os diferentes subsistemas do projeto (mancal e motor), podendo também ser utilizada na etapa de validação a partir da geração de estímulos para a eletrônica embarcada. |
| Kit de desenvolvimento microcontrolador | Kits de desenvolvimento para embarcar a malha de controle do motor/mancal na fase de validação e teste |
| Manufatura de placas de circuito impresso multi camadas | A confecção de placas de circuito impresso multi camadas possibilita a compactação da eletrônica e também uma arquitetura mais complexa |

9 Disseminação e avaliação

A evolução do projeto de pesquisa será avaliada considerando cada etapa proposta para execução: concepção, construção, modelagem, controle e validação visando contemplar a construção do conjunto funcional.

O projeto de pesquisa está alinhado com os objetivos descritos no PNAE (Programa Nacional de Atividades Espaciais). Seu resultado possibilitará preencher lacunas existentes para a construção do conjunto motor e mancal visando aplicação aeroespacial e contribuirá com o desenvolvimento de rodas de reação com tecnologia nacional. No curso da realização do projeto há alguns pontos que são fortes candidatos a obtenção de patentes, o que implica em retorno para a sociedade na forma de propriedade intelectual. Pretende-se participar de um congresso nacional e um congresso internacional de área correlata, e , ao menos, produzir uma publicação em revista indexada. Os alunos de iniciação científica e mestrado, em momento oportuno, serão incentivados a publicarem os resultados de suas contribuições.

O engenheiro Rafael Corsi Ferrão, atualmente matriculado no programa de pós-graduação da Escola Politécnica da USP, realizará seu mestrado em tema correlato. O trabalho será realizado sob orientação do Prof. Dr. José Jaime da Cruz e co-orientado pelo proponente. Cinco temas de iniciação científica serão propostos:

- Modelagem e simulação de mancal magnético;

- Bancada de teste utilizando plataforma HIL;
- Caracterização de motores sem escovas;
- Estudo de materiais para aplicações aeroespaciais;
- Utilização da técnica FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis* aplicado a escolha de soluções no desenvolvimento do conjunto motor e mancal.

Pretende-se em sua continuidade, inserir a solução proposta em um sistema de controle de atitude para validação em condições de operação e prosseguir no processo de "especialização" da roda de reação.

Como contrapartida pedagógica e de divulgação pretende-se desenvolver um sistema didático de avaliação da roda de reação enquanto atuador. Este sistema será fundamentado em um pendulo cujo movimento será controlado por uma roda de reação posicionada em sua extremidade. O NSEE tem desenvolvido a prova de conceito deste sistema e utilizará recursos do laboratório para torná-lo uma ferramenta didática. O material desenvolvido será disponibilizado à AEB.

Também um texto didático sobre o projeto proposto será disponibilizado à AEB para fins de divulgação sobre o tema.

Referências

- [1] Reginaldo dos Santos. Estratégia de formação, capacitação, treinamento operacional e retenção de recursos humanos. *A Política Espacial Brasileira, editado pelo Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica da Câmara dos Deputados, sendo relator o hoje Senador Rodrigo Rollemberg (DF), Parte II*, pages 253–257, 2010.
- [2] Francisco Carlos Melo Pantoja and Carlos Antonio de Magalhães Kasemodel. Os desafios ea estratégia brasileira de acesso ao espaço. *DESAFIOS DO*, page 125, 2011.
- [3] Espen Oland and Rune Schlanbusch. Reaction wheel design for cubesats. In *Recent Advances in Space Technologies, 2009. RAST'09. 4th International Conference on*, pages 778–783. IEEE, 2009.
- [4] Shengmin Ge and Hao Cheng. A comparative design of satellite attitude control system with reaction wheel. In *Adaptive Hardware and Systems, 2006. AHS 2006. First NASA/ESA Conference on*, pages 359–364. IEEE, 2006.
- [5] Robert Shishko and Robert Aster. Nasa systems engineering handbook. *NASA Special Publication*, 6105, 1995.
- [6] Valdemir Carrara and Paulo Giácomo Milani. Controle de uma mesa de mancal a ar de um eixo equipada com giroscópio e roda de reação. *V Simpósio Brasileiro de Engenharia Inercial*, 2007.
- [7] Edward M Silverman. Space environmental effects on spacecraft: Leo materials selection guide, part 2. *Progress Report, Apr. 1993-Mar. 1995 TRW, Inc., Redondo Beach, CA. Space and Electronics Group.*, 1, 1995.
- [8] Kazuhisa Miyoshi. Solid lubricants and coatings for extreme environments: state-of-the-art survey. *NASA Technical Reports Server*, 2007.
- [9] Gilberto Arantes Júnior. Estudo comparativo de técnicas de controle de atitude em três eixos para satélites artificiais, 2005.
- [10] Y. Laxminarayana et al. Design of a compact bldc motor for high power, high bandwidth rotary electromechanical actuator for aerospace application. In *India Conference (INDICON), 2011 Annual IEEE*, pages 1–4. IEEE, 2011.
- [11] T.H. Kim and M. Ehsani. An error analysis of the sensorless position estimation for bldc motors. In *Industry Applications Conference, 2003. 38th IAS Annual Meeting. Conference Record of the*, volume 1, pages 611–617. IEEE, 2003.
- [12] S.K. Saxena and T. Saha. Ultra high speed operation of bldc motor with enhanced motor dynamics for space limited applications. In *Aerospace Conference, 2012 IEEE*, pages 1–12. IEEE, 2012.
- [13] E. Favre, N. Wavre, P. Gay-Crosier, and M. Verain. European electric space rated motors handbook. *EUROPEAN SPACE AGENCY-PUBLICATIONS-ESA SP*, 438:159–168, 1999.
- [14] Duane C Hanselman. *Brushless permanent-magnet motor design*. McGraw-Hill New York, 1994.
- [15] F. Rodriguez and A. Emadi. A novel digital control technique for brushless dc motor drives. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 54(5):2365–2373, 2007.
- [16] Liu Ronghui, Wang Rumei, and Li Jiebao. Reduction of cogging torque in surfacemounted permanent

- magnet brushless motor based on motorsolve. In *Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia), 2012 IEEE*, pages 1–4. IEEE, 2012.
- [17] Shigemune Taniwaki and Yoshiaki Ohkami. Experimental and numerical analysis of reaction wheel disturbances. *JSME International Journal Series C*, 46(2):519–526, 2003.
- [18] Sean Marble and David Tow. Bearing health monitoring and life extension in satellite momentum/reaction wheels. In *Aerospace Conference, 2006 IEEE*, pages 7–pp. IEEE, 2006.
- [19] Han Bangcheng, Zheng Shiqiang, Wang Xi, and Yuan Qian. Integral design and analysis of passive magnetic bearing and active radial magnetic bearing for agile satellite application. *Magnetics, IEEE Transactions on*, 48(6):1959–1966, 2012.
- [20] James E Ladner and George C Ragsdale. Earth orbital satellite lifetime. *NASA TN-D*, 1964.
- [21] ZQ Zhu and D Howe. Halbach permanent magnet machines and applications: a review. In *Electric Power Applications, IEE Proceedings-*, volume 148, pages 299–308. IET, 2001.
- [22] Michael Scharfe, Thomas Roschke, Enrico Bindl, and Daniel Blonski. Design and development of a compact magnetic bearing momentum wheel for micro and small satellites. In *Proceedings of the 15th Annual Utah State University Conference on Small Satellites*, pages 1–9, 2001.
- [23] Adam Pilat. Automatic generation of active magnetic bearing geometry with comsol multiphysics. 2007.
- [24] Simões Moraes. Desenho técnico básico 3. *Porto Editora*, 2006.
- [25] EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. *ECSS Q 70 71A rev. 1. Data for selection of space materials and processes*. 204.
- [26] A. Sathyan, N. Milivojevic, Y.J. Lee, M. Krishnamurthy, and A. Emadi. An fpga-based novel digital pwm control scheme for bldc motor drives. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 56(8):3040–3049, 2009.
- [27] V. Hubik, M. Sveda, and V. Singule. On the development of bldc motor control run-up algorithms for aerospace application. In *Power Electronics and Motion Control Conference, 2008. EPE-PEMC 2008. 13th*, pages 1620–1624. IEEE, 2008.
- [28] C.H. Wu and Y.Y. Tzou. Digital control strategy for efficiency optimization of a bldc motor driver with vopfc. In *Energy Conversion Congress and Exposition, 2009. ECCE 2009. IEEE*, pages 2528–2534. IEEE, 2009.
- [29] T. Kim, C. Kim, and J. Lyou. A new sensorless drive scheme for a bldc motor based on the terminal voltage difference. In *IECON 2011-37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, pages 1710–1715. IEEE, 2011.
- [30] T.H. Kim and M. Ehsani. Sensorless control of the bldc motors from near-zero to high speeds. *Power Electronics, IEEE Transactions on*, 19(6):1635–1645, 2004.
- [31] A. Simpkins and E. Todorov. Position estimation and control of compact bldc motors based on analog linear hall effect sensors. In *American Control Conference (ACC), 2010*, pages 1948–1955. IEEE, 2010.
- [32] James R Wertz. *Spacecraft attitude determination and control*, volume 73. Kluwer Academic Pub,

- 1978.
- [33] Valdemir Carrara. Comparação experimental entre formas de controle de atitude com rodas de reação. *VI SBEIN-Simpósio Brasileiro de Engenharia Inercial. Rio de Janeiro*, 2010.
 - [34] Valdemir Carrara, Rafael Henrique Siqueira, and Danilo Oliveira. Speed and current control mode strategy comparison in satellite attitude control with reaction wheels. 2011.
 - [35] JOHN B STETSON. Reaction wheel low-speed compensation using a dither signal. *Journal of guidance, control, and dynamics*, 16(4):617–622, 1993.
 - [36] Roberto Petrella, Marco Tursini, Luca Peretti, and Mauro Zigliotto. Speed measurement algorithms for low-resolution incremental encoder equipped drives: a comparative analysis. In *Electrical Machines and Power Electronics, 2007. ACEMP'07. International Aegean Conference on*, pages 780–787. IEEE, 2007.
 - [37] EG Stassinopoulos and James P Raymond. The space radiation environment for electronics. *Proceedings of the IEEE*, 76(11):1423–1442, 1988.
 - [38] E. Balaban, A. Saxena, P. Bansal, K.F. Goebel, and S. Curran. Modeling, detection, and disambiguation of sensor faults for aerospace applications. *Sensors Journal, IEEE*, 9(12):1907–1917, 2009.
 - [39] S. Xu, W. Sun, and D. Sun. Analysis and design optimization of brushless dc motor's driving circuit considering the cdv/dt induced effect. In *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE*, pages 2091–2095. IEEE, 2010.

A - Carta AEB

PRÓTON/AEB
PRE-DOC Nº 0667.13MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA

Letter nº 9 /PRE/2013

Brasília, 18 February 2013.

Mr. Fabio Favata
ESA/RSSD
fabio.favata@rssd.esa.intMr. Thomas Galinski
DLR
thomas.galinski@dlr.de

Dear Sirs,

The Brazilian Space Agency endorses the participation of the Brazilian Scientific Community in the PLATO Mission Consortium presented in response to the ESA solicitation. Many research centers and universities participate in the Consortium such as São Paulo University, Rio Grande do Norte and Rio de Janeiro Federal Universities, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Mackenzie University and Instituto Mauá de Tecnologia.

The Brazilian Scientific Community has been involved in the Definition phase since 2010/2011 and will continue to work in Phase A during 2013.

The funding for the Brazilian participation in the PLATO mission will be assured by agencies belonging to the Ministry of Science, Technology and Innovation (MCTI), as well as by FAPESP, as has been the case for the Definition phase and Phase A, mainly by the National Institute of Space Science and Technology (INCT-INESpaço).

In case the mission is selected as M3, the Brazilian Space Agency will consider providing the necessary support to the Brazilian Scientific Community for its contribution to the PLATO Mission Consortium during the subsequent phases (2014 - 2022).

Yours Sincerely,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'JR Coelho'.

José Raimundo Braga Coelho
President

B - Carta CNES



Bernard PONTET
Data Processing System Manager for PLATO Payload
CNES
18 avenue Edouard Belin
31401 TOULOUSE CEDEX 9
FRANCE

Vanderlei CUNHA PARRO
Maua Instituto
Rua Pedro de Toledo, 1071 – Vila Mariana
SAO PAULO – SP – 04039-033
BRASIL

Toulouse, 17th of October, 2012

Dear Vanderlei,

I am pleased to send you a short description and acknowledgement on your contribution to the PLATO payload.

The PLATO Consortium was in charge of designing and manufacturing the payload for PLATO mission. The system design, the technical management and the validation was under CNES responsibility. LESIA (which is a laboratory member of the Paris Observatory) was in charge of the development and validation of a data processing piece of Software running on the N-DPU (Normal – Data Processing Unit). One N-DPU was receiving pixels from two N-FEE (Normal – Front End Electronics) by means of 4 high throughput links based on the SpaceWire standard. The PLATO payload was made of 16 N-DPU and 32 N-FEE.

In order to validate N-DPU software LESIA needed an N-FEE simulator. CNES needed also several N-FEE simulators to validate the payload. Vanderlei PARRO and his Team in Maua Instituto was in charge of the design of these simulators and of the manufacturing of the models to be delivered;

Due to the throughput of the SpaceWire link and the large amount of data to transmit, the N-FEE simulator should have high performances and couldn't be made with a PC as the core of the simulator. The skills of the Team in charge of the design allow them to build the architecture with a real time processor board and the associated pieces of software. PC software used to drive the real time equipment was also developed.

The first released model has been delivered to LESIA on time (in October 2011) and has been successfully tested with LESIA On-board computer. The equipment developed by the Team was compliant to its specification. The performances were as expected despite the fact that they were very ambitious.

The PLATO project has not been selected by ESA and all the developments have been stopped. Thus the N-FEE simulators were no more needed. Nevertheless I'm confident that the N-FEE simulators designed by Maua Team would have allow than to perform the system validation as expected.

I hope that we will have again the opportunity to work with Maua Instituto and Vanderlei Team.

Best regards,

Bernard Pontet.

CENTRE NATIONAL
D'ÉTUDES SPATIALES

Siège
2, place Maurice Quentin
75039 Paris cedex 01
tél. : 33 (0)1 44 76 75 00

Direction des lanceurs
52, rue Jacques Hillairret
75612 Paris cedex
tél. : 33 (0)1 80 97 71 11

Centre spatial de Toulouse
18, avenue Edouard Belin
31401 Toulouse cedex 9
tél. : 33 (0)5 61 27 31 31

Centre spatial guyanais
BP 726
97387 Kourou cedex
tél. : 33 (0)5 94 33 51 11

C - Carta Lesia



Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique

Meudon, December 1st 2011

Care of Mauá Institute of Technology,

I, Philippe Plasson, Laboratory of Space Studies and Instrumentation in Astrophysics (LESIA) of Paris Observatory, certify that the collaboration with the Mauá Institute of Technology, in the context of the definition phase of the PLATO mission, has been a great success.

The Mauá Institute of Technology has delivered to LESIA a first operational prototype of the PLATO camera simulator (hardware simulator of the camera front end electronics connected to the PLATO on-board computer). This simulator, which is under the responsibility of the Mauá Institute, is a fundamental part of the testing and validation system of the PLATO payload. It is built around the SpaceWire technology that is a technology promoted by the European Space Agency (ESA) and that is now widely used in the space projects.

In the context of the PLATO mission, the work of the Mauá Institute of Technology has been remarkable since all the technical objectives in terms of performance and functional scopes have been completely filled. The technical challenge was far from obvious because no generic commercial solution could meet the requirements of the PLATO testing and validation system.

Moreover, the PLATO camera simulator, due to its modular design and the technical choices made by Mauá Institute of Technology, could easily be used to create a generic tool for the development and testing of the future space instruments.

Therefore, the LESIA flight software team is well decided to continue to collaborate with the Mauá Institute in order to finalize in the next months the PLATO Camera Simulator and in order to make possible its evolution towards a generic solution that can be used in other space missions.

Sincerely,

Philippe PLASSON
PLATO N-DPU Software Manager

LESIA
Observatoire de Paris, Section de Meudon
5, place Jules Janssen
92195 MEUDON Cedex
France

Tel: (33) 1 45 07 79 78
E-mail : Philippe.Plasson@obspm.fr

LESIA 5, place Jules Janssen 92195 Meudon Cedex - France
tél 33 (0)1 45 07 77 01 - fax 33 (0)1 45 07 28 06
UMR 8109 du CNRS/INSU, Observatoire de Paris,
associée à l'Université Pierre et Marie Curie - Paris Universitas
et à l'Université Paris Diderot - Paris 7

D - Parceria IMT - INPE



PROTOCOLO DE INTENÇÕES QUE ENTRE SI CELEBRAM O INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE E O INSTITUTO MAUÁ TECNOLOGIA - IMT

O MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA e INOVAÇÃO - MCTI, inscrito no CNPJ/MF sob o nº 01.263.896/0001-64, com sede na Esplanada dos Ministérios, Bloco "E" - Brasília, Distrito Federal, doravante denominado simplesmente MCT, por intermédio do **INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS-INPE**, Unidade de Pesquisa integrante da estrutura básica do Ministério da Ciência e Tecnologia, inscrito no CNPJ/MF sob o nº 01.263.896/0005-98, estabelecido na Avenida dos Astronautas, nº 1758, na cidade de São José dos Campos - SP, doravante denominado INPE, neste ato representado pelo seu Diretor, Dr. Leonel Fernando Perondi, conforme Portaria nº 433, de 11/05/2012, da Casa Civil da Presidência da República, publicada no Diário Oficial da União de 14/05/2012 e o **INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA - IMT**, associação sem fins lucrativos, com *campus* na Praça Mauá, 1, São Caetano do Sul-SP, inscrito no CNPJ/MF sob nº 06.749.736/0002-70, neste ato representado pelo Magnífico Reitor de seu Centro Universitário, CEUN-IMT, Prof. José Carlos de Souza Junior, considerando:

- a) que a missão do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE é *“produzir ciência e tecnologia nas áreas espacial e do ambiente terrestre e oferecer produtos e serviços singulares em benefício do Brasil”*;
- b) que, para a execução de sua missão, o INPE tem as atribuições de *“realizar atividades de cooperação técnico-científica com entidades nacionais, estrangeiras e internacionais, dentro de suas áreas de competência”* e *“promover e patrocinar a formação de recursos humanos nas áreas de sua competência”*;
- c) que o Instituto Mauá Tecnologia – IMT é uma entidade de utilidade pública *“dedicada ao ensino e à pesquisa científica e tecnológica, visando a formação de recursos humanos altamente qualificados que contribuam para o desenvolvimento do País”*;
- d) que o INPE e o IMT têm o interesse de manter, aprofundar e desenvolver de forma conjunta atividades acadêmicas, científicas e técnicas, promovendo ações de intercâmbio de docentes, técnicos e estudantes, que contribuam para o avanço científico e para o fortalecimento de seus recursos humanos especializados; e
- e) que as instituições possuem a intenção de que os programas e projetos de pesquisa conjuntos resultem em uma efetiva complementação ao avanço e desenvolvimento de ambas as instituições;

Sede: Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010 São José dos Campos (SP) Brasil tel
+55-12-32086000



Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação



o INPE e o IMT resolvem celebrar o presente **Protocolo de Intenções**, com as seguintes cláusulas e condições:

CLÁUSULA PRIMEIRA

As Partes se comprometem a conjugar esforços no sentido de inteirar as experiências de cada uma nas áreas de interesse comum, sem prejuízo de suas ações individuais e independentes.

CLÁUSULA SEGUNDA

Para atender aos esforços mencionados na Cláusula Primeira, as Partes pretendem desenvolver, de forma coordenada e em comum acordo, atividades relacionadas ao intercâmbio de docentes, pesquisadores e estudantes.

CLÁUSULA TERCEIRA

As Partes poderão propor e desenvolver projetos de pesquisa conjuntos, podendo buscar financiamento junto a instituições de fomento.

Parágrafo Único – Cada projeto de pesquisa será implementado através de instrumento jurídico específico, em que serão partes, além do INPE e do IMT, as instituições financiadoras dos projetos.

CLÁUSULA QUINTA

Este Protocolo de Intenções entrará em vigor na data de sua assinatura e vigorará por 5 anos, podendo ser modificado ou terminado, mediante comunicação por escrito, com 30 (trinta) dias de antecedência, de uma parte à outra ou em comum acordo.

São José dos Campos, 18 de abril de 2012.

Leonel Fernando Perondi
Diretor do INPE

José Carlos de Souza Junior
Reitor do CEUN-IMT

Testemunhas:

Nome:

Nome:

Sede: Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010 São José dos Campos (SP) Brasil tel
+55-12-32086000

E - Declaração de conhecimento

INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA



São Caetano do Sul, 27 de junho de 2013

Ministério da Ciência e Tecnologia
Agência Espacial Brasileira

Declaro ter conhecimento e estar de acordo com os termos do Anúncio de Oportunidades 2013 do programa Uniespaço e seu documento base.


Prof. Dr. José Carlos de Souza Junior

F - Equipe

| N Nome completo | Nome usual | Relacionamento com a Instituição | Especifique as qualificações | Cargo/Função no projeto | Especifique as atribuições no projeto | Horas semanais dedicadas ao projeto | Link do currículo no Sistema Lattes |
|--------------------------------|--------------------|----------------------------------|---|--------------------------|---|-------------------------------------|---|
| 1 José Carlos de Souza Junior | José Carlos | Docente/ Reitor | Eletrônica embarcada; Eletromagnetismo; Tratamento digital de sinais | Pesquisador Principal | Coordenador | 10 | http://lattes.cnpq.br/0108626756702152 |
| 2 Sergio Ribeiro Augusto | Sergio Ribeiro | Docente | Eletrônica embarcada; Eletrônica de potência; Controle de sistemas dinâmico | Pesquisadores Associados | Responsável pela eletrônica de acionamento | 4 | http://lattes.cnpq.br/5713896758998889 |
| 4 Rodrigo Alves Romano | Rodrigo Romano | Docente | Controle; Identificação de sistemas | Pesquisadores Associados | Responsável pela malha de controle do motor | 8 | http://lattes.cnpq.br/3843114488132776 |
| 5 Rafael Corsi Ferrão | Rafael Corsi | Pesquisador | Eletrônica embarcada; Controle | Apoio Técnico | Apoio a execução do projeto | 20 | http://lattes.cnpq.br/4775677284462845 |
| 6 Leonardo Pinheiro da Silva | Leonardo Pinheiro | Associado | Modelagem; Tratamento digital de sinais; Controle | Pesquisadores Associados | Desenvolvimento do mancal magnético e motor | 12 | http://lattes.cnpq.br/1935109897045645 |
| 7 Fernando De Castro Junqueira | Fernando Junqueira | Associado | Sensores; Mancal magnético | Pesquisadores Associados | Desenvolvimento do mancal magnético e motor | 4 | http://lattes.cnpq.br/5963802943335370 |

G - Organograma Físico Financeiro

| Fase (1 ou 2) | Etapa (Atividade) | Insumos - (incluir o equipamento e material permanente, material de consumo, passagens, diárias, serviços de terceiros, etc.) | Data início (etapa) | Data final (etapa) | Valor em real (R\$) - equipamento e material permanente - nacional | Valor em real (R\$) - material de consumo - nacional | Valor em real (R\$) - material de consumo - importado | Valor em real (R\$) - passagens | Valor em real (R\$) - diárias | Valor em real (R\$) - serviços de terceiros - pessoa física | Valor em real (R\$) - serviços de terceiros - pessoa jurídica |
|---------------|--|---|---------------------|--------------------|--|--|---|---------------------------------|-------------------------------|---|---|
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Insumos - (incluir o equipamento e material permanente, material de consumo, passagens, diárias, serviços de terceiros, etc.) | 1º Trimestre | 5º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Aplicação de revestimento em alumínio | 1º Trimestre | 5º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Software Motorolve para desenvolvimento de motores sem escova | 4º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Aço inox austeníticos | 4º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Aço inox Ferrítico | 4º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Alumínio | 4º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Fluxo de cobre esmaltado | 4º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Imã permanente de terras raras | 4º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Rolamentos | 4º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Resina isolante | 4º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Parafusos | 4º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Usinagem de precisão, grau IT 5 | 4º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Circuito integrado: Sensor de efeito de campo (HALL) | 4º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Sistema amplificador para sensor de posição | 4º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Sensores de posição para medição de deflexão (ponta de prova) | 4º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Kit para motores sem escova | 5º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Motores corrente contínua comerciais | 5º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 1 | Usinagem e prototipagem do Mancal/Moór | Equipamento mecânico para acompanhamento dos testes, suporte em montagem mecânica, adaptações, balanceamento | 5º Trimestre | 12º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Circuitos integrados: Regulador de tensão | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Circuitos integrados: Sensor de corrente | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Circuitos integrados: Amplificador de corrente de toco | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Circuitos integrados: Monitoração de corrente e tensão | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Circuitos integrados: Sensor de temperatura | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Sensor de temperatura (ponta de prova) | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Sensor de umidade (ponta de prova) | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Circuito integrado: Conversor de tensão capacitativo | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Circuito integrado: Micro controlador | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Circuito integrado: referência tensão | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Circuito integrado: acionamento motor corrente contínua sem escovas | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Encoder | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Fita linear para encoder | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Transistores | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Amplificadores operacionais | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Resistores | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Capacitores | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Conectores | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Circuito integrado: osciladores | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Memória flash | 5º Trimestre | 7º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Placa de aquisição USB - Matlab | 5º Trimestre | 6º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Kit de desenvolvimento microcontrolador | 7º Trimestre | 11º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Usinagem de precisão, grau IT 5 | 8º Trimestre | 9º Trimestre | | | | | | | |
| Fase 2 | Integração e testes do protótipo | Manufatura de placas de circuito impresso mult camadas | 8º Trimestre | 9º Trimestre | | | | | | | |