

**ALZIRO GODOY NETO**

**Sistema de aquisição de dados para um  
veículo de Fórmula SAE: PRDA1**

São Paulo  
2012

ALZIRO GODOY NETO

## Sistema de aquisição de dados para um veículo de Fórmula SAE: PRDA1

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para a Conclusão do Curso de  
Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas  
Eletrônicos.

Área de concentração: Departamento de  
Engenharia de Sistemas Eletrônicos

Orientador:  
Prof. Dr. Eduardo Lorenzetti Pellini

São Paulo  
2012

## Agradecimentos

Aos meus ídolos e pais, Alziro e Sônia, por toda a confiança e amor depositados em mim durante toda a vida e em todas as fases. São meus exemplos de dedicação, comprometimento e integridade. Obrigado por tudo, espero ser um dia tão bom quanto vocês são.

Aos meus avôs e avós que me acompanharam em mais esta etapa da minha caminhada, mesmo que alguns deles não estejam mais presentes fisicamente entre nós.

Aos meus amigos e colegas da faculdade e da vida, que tanto contribuíram e auxiliaram neste projeto, nos momentos de problemas e conquistas: Rafael Martins, Elder Yoshida, Rafael Klumpp, Bruno Candido, Victor Rosa, André Duque, Carlos Eduardo, Camilo Issisaki, Kalenin Moraes e muitos outros, que mesmo não citados aqui, não foram de menor importância para o desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos que plantaram comigo a semente do Fórmula SAE, lá em 2008, e que tive o prazer de trabalhar junto: Ivan Sanches (Jack Sparrow), Luiz Andre (Alaska), Pedro Bussadori (Pi), Lucas Pladeval (Dente), Lucas Steinle (melhor imitador do carro com 200 marchas) e Flávio Storto.

Ao especialista Valtemar Cardoso por sua boa vontade em me auxiliar durante as várias etapas do projeto, mesmo que isso significasse consumir todo o seu fim de semana de descanso e avançar várias horas durante a noite.

As empresas que me apoiaram nesta empreitada e que tornaram grande parte do projeto viável: *ST Microelectronics*, *Lynx Tecnologia* e *TE Connectivity*.

Ao Laboratório de Pesquisa em Proteção de Sistemas Elétricos (*LPROT*) e seu pessoal, local que se tornou parada diária e obrigatória durante os 367 dias deste longo e proveitoso ano.

E para o meu orientador, o Prof. Dr. Eduardo Lorenzetti Pellini, que foi o grande mestre em toda a edificação desta obra, contribuindo com seu conhecimento, boa vontade, amizade, experiência e dedicação. O crescimento e o desenvolvimento pessoal que esta caminhada conjunta me proporcionou foi sem igual, espero poder continuar a fazer parte dos seus trabalhos e projetos por muito mais tempo. Sem a sua ajuda este projeto não seria metade do que foi, muito obrigado!

## Resumo

ESTE PROJETO DE FORMATURA aborda o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados e telemetria veicular, do tipo *full custom*, para a Equipe Poli Racing de Fórmula SAE da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Este sistema será desenvolvido para as necessidades de medições e registro dos dados, provenientes da dinâmica dos veículos da equipe, como uma alternativa de baixo custo, *open-source*, tanto em termos de hardware como de software, frente aos demais sistemas comerciais, proprietários, existentes. Com a análise dos dados adquiridos e registrados será possível realimentar o ciclo de projeto do veículo, permitindo uma evolução contínua de suas características e melhoria de seus índices de desempenho. O sistema será concebido com um conjunto inicial de sensores, tais como: sensores de velocidade, acelerômetros, giroscópios, temperatura, entre outros, um hardware dedicado para filtragem e condicionamento com um microcontrolador de alta performance para digitalização e processamento digital de sinais, além de armazenamento de dados em memória de massa, telemetria através de uma interface ZigBee, e conectividade Ethernet, I<sup>2</sup>C e CAN para a aplicação futura de barramentos veiculares modernos. Além dos resultados práticos para a engenharia continuada do veículo, espera-se que a arquitetura desenvolvida possa servir como uma plataforma aberta e didática para o treinamento de novos membros da equipe e para a pesquisa e o desenvolvimento de novos sensores para aplicações veiculares.

Palavras-chave: Fórmula SAE, aquisição de dados, telemetria, Poli Racing, CAN, automotivo, motorsports, open source.



## Abstract

THIS GRADUATION PROJECT has as focus on the development of a full custom vehicle data acquisition and telemetry system for the Equipe Poli Racing de Fórmula SAE da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. This system will be developed to meet the measuring and data storing needs of the vehicle dynamics of the team's prototypes, as a low cost open-source, both in hardware and software, when compared to other commercially available proprietary systems. With the data gathered it will be possible to give feedback to the design process thus allowing a continuous evolution in both the characteristics and performance of the vehicle. The system will be conceived with a initial set of sensors such as velocity, acceleration, gyroscopes, temperature and others, dedicated filtering and conditioning hardware based on a high performance microcontroller used in digitalizing and digital processing of signals. Also embedded is a mass storage device, telemetry capabilities through a ZigBee interface and Ethernet,  $I^2C$  and CAN for future application in modern vehicle busses. Along with the practical results for continued engineering of the vehicle it is expected that the developed architecture may serve as an open platform for the training and research of both new members and new sensors for the automotive application.

Keywords: Formula SAE, Data acquisition, Poli Racing, Telemetry, CAN, Automotive, Motorsports

## Lista de Figuras

1	Veículo de 2011 - FP03 . . . . .	17
2	Lamborghini Aventador . . . . .	17
3	Race Technology DL1 Data Logger . . . . .	20
4	Race Technology DL2 Data Logger . . . . .	21
5	Cosworth Sigma Elite Data Logger . . . . .	21
6	MoTeC ACL Data Logger . . . . .	22
7	<i>Software Pi Toolbox</i> . . . . .	23
8	<i>MoTeC i2 Pro Software</i> . . . . .	23
9	Diagrama de blocos simplificado . . . . .	27
10	Placa de desenvolvimento da <i>STMicroelectronics</i> STM3240G-EVAL . . . . .	31
11	Placa de desenvolvimento <i>Digilent Inc.</i> Spartan 3E . . . . .	32
12	Placa de desenvolvimento <i>Digilent Inc.</i> Spartan 3 . . . . .	32
13	Sparkfun OpenLog . . . . .	34
14	ScecdStudio SDLogger . . . . .	34
15	Distância entre estação receptora e estação móvel . . . . .	35
16	Módulo XBee PRO 900MHz . . . . .	37
17	Circuito do filtro analógico ideal . . . . .	38
18	Diagrama de Bode do circuito analógico ideal . . . . .	38
19	Circuito utilizado para simulação dos canais analógicos . . . . .	40
20	Ganho da resposta em frequência do filtro analógico . . . . .	40
21	Fase da resposta em frequência do filtro analógico . . . . .	40
22	Simulação de funcionamento do DALC208SC6 . . . . .	41
23	Resposta ao degrau unitário . . . . .	41

24	Montagem mecânica para o sensor de velocidade . . . . .	43
25	Honeywell 1GT101DC . . . . .	43
26	Breakout Board STEVAL-MKI108V2 da ST . . . . .	45
27	Sparkfun Venus638FLPx Breakout Board . . . . .	45
28	Circuito para simulação do diodo TVS SM6T12AY . . . . .	47
29	Comportamento do TVS em picos de tensão . . . . .	48
30	Cabo adaptador U.FL para SMA . . . . .	49
31	Conector TE AMPSEAL 1-776087-1 . . . . .	50
32	Conector TE AMPSEAL 1-776163-1 . . . . .	51
33	Vista da placa de circuito impresso do PRDA1 em CAD . . . . .	52
34	Vista do modelo 3D do módulo PRDA1 - 1 . . . . .	53
35	Vista do modelo 3D do módulo PRDA1 - 2 . . . . .	53
36	Conector AMPSEAL de 3 vias Key 3 para chicote analógico . . . . .	55
37	Conector AMPSEAL de 3 e 2 vias Key 4 para chicote digital . . . . .	55
38	Conector AMPSEAL de 4 vias Key 1 para alimentação . . . . .	55
39	Painel de placas - Vista Superior . . . . .	56
40	Painel de placas - Vista Inferior . . . . .	57
41	Montagem de teste dos componentes . . . . .	57
42	Montagem de teste dos componentes . . . . .	58
43	Máquinas Panasonic da Linha SMT do Prédio Verde . . . . .	60
44	Reconhecimento de fiduciais . . . . .	60
45	Placa com fita dupla face preparada para montagem . . . . .	61
46	Placa com dupla face montada . . . . .	61
47	Impressora de pasta Panasonic SP60P-M . . . . .	63
48	Placa de circuito com solda impressa . . . . .	63
49	Componente SSOP28 com solda em seus <i>pads</i> . . . . .	64
50	Componente QFN com solda em seus <i>pads</i> . . . . .	64



51	Componente BGA com solda em seus <i>pads</i> . . . . .	64
52	Resistores aplicados sobre a pasta . . . . .	65
53	Componente <i>QFP</i> aplicado sobre a pasta . . . . .	65
54	Tela de configuração do forno <i>XPM</i> <sup>2</sup> . . . . .	66
55	Uma placa finalizada pelo processo de montagem automático . . . . .	67
56	Placa do módulo PRDA1 finalizada - 1 . . . . .	68
57	Placa do módulo PRDA1 finalizada - 2 . . . . .	69
58	Vista da caixa do PRDA1 montada - 1 . . . . .	69
59	Vista da caixa do PRDA1 montada - 2 . . . . .	70
60	Vista da caixa do PRDA1 montada - 3 . . . . .	70
61	Tampa da caixa anodizada . . . . .	71
62	Parte inferior da caixa anodizada . . . . .	71
63	Caixa anodizada montada . . . . .	72
64	Caixa anodizada montada - 2 . . . . .	72
65	Etiquetas identificadoras dos fios . . . . .	74
66	Conector raiz do chicote analógico . . . . .	75
67	Chicote analógico finalizado . . . . .	75
68	Caixa de telemetria do box - 1 . . . . .	76
69	Caixa de telemetria do box - 2 . . . . .	77
70	Caixa de telemetria completa . . . . .	77
71	Janela de terminal com os comandos de diagnose enviados pelo PRDA1 na inicialização do <i>hardware</i> . . . . .	82
72	Comandos 's', 't', 'i', 'a' e 'm' solicitados ao PRDA1 e suas saídas . . . . .	83
73	Memória projetada e posteriormente sintetizada na <i>FPGA</i> . . . . .	85
74	<i>PLL IP Core</i> para geração de <i>clock</i> da <i>FPGA</i> . . . . .	85
75	Janela de visualização dos dados em tempo real . . . . .	88
76	Janela de Status do PRDA1 e visualização 3D das acelerações . . . . .	88



77	Imagem infravermelha do microcontrolador ARM STM32F407IGT6 . . . . .	92
78	Imagem infravermelha do VenusGPS . . . . .	92
79	Imagem infravermelha do transceiver XBee . . . . .	93
80	Imagem infravermelha da FPGA Spartan 3 . . . . .	93
81	Ganhos em frequência dos canais <i>AD</i> do módulo PRDA1 . . . . .	94
82	Bancada de instrumentos utilizada para os testes da eletrônica do PRDA1	95
83	Configuração do teste de alcance do link RF . . . . .	96

## Lista de Tabelas

1	Relação $\frac{Massa}{Potencia}$ . . . . .	17
2	Requisitos do microcontrolador . . . . .	30
3	Soluções em armazenamentos de dados . . . . .	33
4	Comparação entre módulos XBee . . . . .	36
5	Máquina de montagem SMT Panasonic CM402-L . . . . .	59
6	Máquina de montagem SMT Panasonic DT401-F . . . . .	60
7	Impressora de pasta Panasonic SP60P-M . . . . .	62
8	Perfil térmico de temperatura do $XPM^2$ . . . . .	66
9	Custos com importação de componentes eletrônicos e de chicote . . . . .	79
10	Descrição dos custos do projeto . . . . .	79
11	Valores totais de apoio e patrocínio para três unidades do PRDA1 . . . . .	80
12	Características da câmera Infravermelha FLIR E60 . . . . .	91

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>14</b>
1.1	Justificativa . . . . .	15
1.2	Objetivos . . . . .	18
<b>2</b>	<b>Estado da arte</b>	<b>20</b>
2.1	<i>Hardware</i> s e <i>Software</i> s comerciais . . . . .	20
2.2	Trabalhos acadêmicos e científicos . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Projeto do Módulo Eletrônico</b>	<b>26</b>
3.1	Descrição básica do sistema . . . . .	27
3.2	Arquitetura . . . . .	28
3.2.1	Especificação de engenharia . . . . .	28
3.2.2	Seleção de componentes . . . . .	30
3.3	Memória de Massa . . . . .	32
3.3.1	Especificação de engenharia . . . . .	32
3.3.2	Seleção de componentes . . . . .	33
3.4	Comunicação . . . . .	34
3.4.1	Especificação de engenharia . . . . .	34
3.4.2	Seleção de componentes . . . . .	36
3.5	Canais Analógicos . . . . .	37
3.5.1	Especificação de engenharia . . . . .	37
3.5.2	Design e escolha de componentes . . . . .	38
3.6	Canais Digitais . . . . .	42
3.6.1	Especificação de engenharia . . . . .	42

3.6.2	Seleção de componentes . . . . .	42
3.7	Sensores Embarcados . . . . .	43
3.7.1	Especificação de engenharia . . . . .	43
3.7.2	Seleção de componentes . . . . .	44
3.8	Alimentação . . . . .	45
3.8.1	Especificação de engenharia . . . . .	46
3.8.2	Seleção de componentes . . . . .	47
3.9	Conectorização . . . . .	48
3.9.1	Especificação de engenharia . . . . .	48
3.9.2	Seleção de componentes . . . . .	49
3.10	Esquema elétrico . . . . .	51
3.11	Placa de circuito impresso . . . . .	51
3.12	Chicote elétrico . . . . .	54
<b>4</b>	<b>Produção do módulo PRDA1</b>	<b>56</b>
4.1	Placa de circuito impresso . . . . .	56
4.2	Montagem do módulo PRDA1 . . . . .	58
4.2.1	Montagem Automática . . . . .	58
4.2.2	Montagem Manual . . . . .	67
4.2.3	Fabricação da caixa metálica do PRDA1 . . . . .	69
4.2.4	Fabricação do chicote do PRDA1 . . . . .	72
4.2.5	Receptor de dados de telemetria . . . . .	76
<b>5</b>	<b>Custos do PRDA1</b>	<b>78</b>
5.1	Custos de produção . . . . .	78
<b>6</b>	<b>Software</b>	<b>81</b>
6.1	Firmware . . . . .	81
6.2	Software de recebimento e conversão de dados . . . . .	87



<b>7 Resultados</b>	<b>90</b>
7.1 Teste dos circuitos de alimentação . . . . .	90
7.2 Perfil térmico da eletrônica do PRDA1 . . . . .	91
7.3 Caracterização dos canais analógicos . . . . .	94
7.4 Teste de alcance do link RF de telemetria . . . . .	95
<b>8 Melhorias Futuras</b>	<b>97</b>
8.1 Melhorias de <i>Hardware</i> . . . . .	97
8.2 Melhorias de <i>Software</i> . . . . .	98
<b>9 Conclusão</b>	<b>100</b>
<b>Referências</b>	<b>102</b>
<b>Anexo A – Características do STM32F4IGT6</b>	<b>105</b>
<b>Anexo B – Esquema Elétrico - OpenLog</b>	<b>107</b>
<b>Anexo C – Esquema Elétrico - SDLogger</b>	<b>109</b>
<b>Anexo D – Esquema Elétrico - STEVAL-MKI108V2</b>	<b>111</b>
<b>Anexo E – Esquema Elétrico - Venus GPS with SMA Connector</b>	<b>113</b>
<b>Anexo F – AMPSEAL Sealed Connector Series</b>	<b>115</b>
<b>Anexo G – Dados de fita de componentes</b>	<b>117</b>
<b>Anexo H – Dados Técnicos da Panasonic CM402-L</b>	<b>119</b>
<b>Anexo I – Dados técnicos da Panasonic DT401-F</b>	<b>122</b>
<b>Anexo J – Dados técnicos da Impressora de Pasta Panasonic SP60P-M</b>	<b>125</b>
<b>Anexo K – Dados técnicos do forno Vitronics XPM<sup>2</sup></b>	<b>128</b>

Apêndice A - Esquema Elétrico do PRDA1	130
Apêndice B - Bill of Materials	141
Apêndice C - Versão inicial do posicionamento da <i>PCB</i>	146
Apêndice D - Posicionamento aprovado e utilizado para geração da <i>PCB</i> do PRDA1	148
Apêndice E - Arquivos GERBER do painel de placas do PRDA1	151
Apêndice F - Coordenadas dos Componentes para a <i>Pick &amp; Place</i>	164
Apêndice G - Desenhos de fabricação da caixa do PRDA1	168
Apêndice H - Relatório de teste com câmera infra-vermelha	172
Apêndice I - Relatório de teste dos canais AD	181
Apêndice J - Relatório de teste do circuito de alimentação	186

# 1 Introdução

UM SISTEMA DIGITAL DE AQUISIÇÃO DE DADOS pode ser definido basicamente, como um dispositivo eletrônico capaz de medir diferentes tipos de grandezas físicas, tais como pressões, esforços, temperaturas, tensões, correntes, velocidades, e acelerações para depois efetuar a transdução, condicionamento, filtragem e digitalização em uma determinada frequência de amostragem, para registro, telemetria e análise das características dinâmicas dessas grandezas ao longo do tempo.

Tais sistemas são tipicamente constituídos de 3 blocos elementares: um conjunto de sensores, uma unidade eletrônica de processamento e aquisição, e um computador pessoal para cálculo e análise. Os sensores são os responsáveis por transduzir os sinais do mundo real, que podem ser forças, deslocamentos, temperaturas, campos magnéticos, entre outros, para um sinal elétrico de alguma natureza (tensão, corrente, frequência, PWM, pulsos digitais, sinais codificados, etc.). Estes sinais elétricos provenientes desses sensores devem ser bem caracterizados e calibrados, para ser possível se assegurar que os dados transduzidos estejam condizentes com que está ocorrendo com as grandezas físicas monitoradas.

A unidade eletrônica é responsável, por sua vez, por receber os dados digitais e analógicos dos sensores, condicioná-los nos níveis adequados de tensão ou corrente, filtrá-los para compatibilizar seus espectros de frequência com a taxa de aquisição adotada, digitalizá-los, para então serem gravados em um dispositivo de armazenamento de dados de massa, ou transmitidos para uma interface de monitoramento remoto (telemetria). Os dados armazenados são registrados em uma taxa mais elevada (várias centenas ou milhares de amostras por segundo) e transmitidos a uma taxa menor (algumas dezenas ou centenas de amostras por segundo), conforme a banda disponível para a transmissão dos dados.

O terceiro componente de um sistema de aquisição de dados é um computador pessoal, responsável por receber as informações registradas pela unidade eletrônica através de algum canal de comunicação (radio frequência, *USB*, *Ethernet*, etc) para as finalidades de monitoramento em tempo real das grandezas e análise imediata dos resultados. O *software* para desempenhar esse papel de monitoramento instantâneo deve ser especialmente

---



desenvolvido para a interface escolhida de telemetria e para o protocolo de codificação de dados utilizado.

O computador pessoal também pode analisar posteriormente os dados registrados no dispositivo de armazenamento de dados, para a obtenção de parâmetros para modelos matemáticos das dinâmicas veiculares envolvidas e acompanhamento acurado de suas características. Vários softwares comerciais podem ser utilizados para esse propósito, tais como o MATLAB, LabView, etc. Para o caso de *motorsports*, o tratamento dessas informações fornecem um *feedback* precioso para os engenheiros, mecânicos e pilotos, com o objetivo de aprimorar tanto o projeto do veículo, como a sua dirigibilidade e *performance* através do *setup* do carro, além de ser uma ferramenta valiosa para o diagnóstico de problemas e defeitos.

## 1.1 Justificativa

O FÓRMULA SAE É UMA COMPETIÇÃO que desafia estudantes de graduação, pós-graduação, mestrado e doutorado a conceber, projetar, construir, desenvolver e competir com um veículo do tipo fórmula. O veículo deve possuir características excepcionais de *performance* em termos de aceleração, frenagem e manobrabilidade. Também deve ser suficientemente durável para suportar todos os eventos e testes realizados tanto durante competições quanto durante seu desenvolvimento.

A competição consiste em provas estáticas e dinâmicas. Nas provas estáticas o veículo é rigorosamente inspecionado para a verificação de conformidade com as regras da SAE e regras de segurança, além de haver apresentações de *design*, onde se deve justificar todo e qualquer projeto e suas decisões baseado em métricas bem definidas, provas de custos, onde os estudantes devem precificar cada componente seja ele comprado ou fabricado, e também uma prova de *marketing*, onde os estudantes devem assumir o papel de vendedores do seu produto para um equipe de investidores interessados em fabricar 1000 unidades do veículo por ano.

Nas provas dinâmicas ocorrem eventos que avaliam a *performance* do veículo, como por exemplo:

- *Acceleration*: Capacidade de percorrer em menor tempo um traçado retilíneo de 75 metros partindo-se da inércia total.
  - *Autocross*: Avalia a manobrabilidade e o comportamento do veículo em um traçado sem o obstáculo de outros carros competidores.
-



- *Skid Pad*: Mede o comportamento do veículo em curvas, sua capacidade de suportar elevadas acelerações laterais e o *grip* com o solo.
- *Endurance*: O veículo deve percorrer 22km em um circuito fechado e com uma troca de pilotos após 11km percorridos. Testa a confiabilidade, a robustez e a durabilidade do veículo como um todo.

Nesse contexto, a Equipe Poli Racing de Fórmula SAE da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo foi criada em 2008. A equipe participou de sua primeira competição em 2009 e, em 2012, já terá produzido seu 4º veículo.

Com estes anos de experiência, o projeto já se tornou bastante sólido, com uma grande quantidade de conhecimento agregado, tanto nos integrantes da equipe quanto em sua documentação técnica. A experiência também deu origem a uma nova equipe, para produção de um veículo tipo Fórmula, puramente elétrico, para uma nova categoria de competição da SAE, a ser realizada em 2012. Vale destacar que este trabalho atenderá as necessidades de medição dos dois veículos, tanto o de combustão como o puramente elétrico.

Os integrantes ainda possuem um compromisso de repassar as informações e o legado para novos integrantes, mantendo um fluxo contínuo de estudantes de engenharia participando da cadeia evolutiva do projeto, para que o conhecimento não se perca.

Devido às características do veículo Fórmula SAE, seu projeto possui um elevado grau de complexidade, envolvendo conhecimentos multidisciplinares, nas mais diversas áreas da Engenharia, desde Mecânica, Mecatrônica, Materiais, Metalúrgica, Química e Elétrica. Para quantificar algumas dessas características, são citados alguns dos dados do veículo, tais como:

- Massa de 190,0 [kg].
- Aceleração de 0,0 a 120,0  $\left[\frac{km}{h}\right]$  em 5 [s].
- Aceleração lateral de até  $1,2 \cdot g \left[\frac{m}{s^2}\right]$ .

Por ser um veículo muito leve (outras equipes já chegaram a atingir 120,0 [kg]) e que dispõem de muita potência, pode-se compará-lo à alguns carros esportivos que existem no mercado atualmente. Na Tabela 1 temos um comparativo em termos de Massa por Potência  $\left[\frac{kg}{cv}\right]$ . Na Figura 1 temos uma imagem do veículo desenvolvido em 2011, denominado FP-03 e, na Figura 2 temos uma imagem de um Lamborghini Aventador.



Figura 1: Veículo de 2011 - FP03



Figura 2: Lamborghini Aventador

Tabela 1: Relação  $\frac{Massa}{Potencia}$ 

Veículo	$\frac{Massa}{Potencia}$	$\frac{kg}{cv}$
Honda Civic SI [1]	6,5	
FP03	4,1	
Porsche 911 Carrera [2]	3,9	
Lamborghini Aventador [3]	2,2	

No estágio atual de sua evolução, um sistema de aquisição de dados se configura como uma das maiores prioridades para a equipe, pois ele poderá fornecer um amplo leque de informações sobre o comportamento do veículo e de suas partes integrantes, tanto durante testes estáticos e dinâmicos do bólido, bem como durante as competições. É importante frisar que atualmente, tais dados de desempenho são, em sua grande maioria, desconhecidos ou de baixa qualidade e confiabilidade, tornando o projeto muito empírico e carente de uma abordagem mais moderna, como o uso de ferramentas de apoio a engenharia ou simulação computacional.



O *feedback* de um sistema de aquisição de dados promoverá um fluxo contínuo de informações para todos os projetistas dos subsistemas do veículo, que poderão, através de modelagens, testes e simulações, otimizar componentes como mangas, *push-rods*, mancais, freios, transmissão, eixos, pneus, entre outros, afim de reduzir a massa de cada peça ou melhorar seu desempenho, sem que isso comprometa sua durabilidade ou confiabilidade. As métricas criadas com esses dados também podem ser utilizadas para efeitos de comparação e avaliação do projeto ao longo de suas gerações.

## 1.2 Objetivos

O OBJETIVO DESTA PROJETO será produzir um sistema de aquisição de dados totalmente *full custom*, com canais analógicos e digitais suficientes para atender a demanda atual e futura da equipe, além de possuir uma ampla gama e meios de protocolos de comunicação como, por exemplo: CAN, Ethernet, USART, SPI e  $I^2C$  para futuras expansões com outros módulos de aquisição e controle como por exemplo ABS e Controle de Tração.

O projeto conta com diversas restrições técnicas e compromissos:

- Os canais analógicos e digitais devem possuir taxas de amostragens configuráveis para atender aos mais diversos tipos de sensores e sinais.
- O consumo energético deve ser mantido baixo para que se evite cabos de bitolas grandes, excesso de carga no sistema de geração de energia elétrica do veículo bem como dissipação de potência excessiva nos componentes eletrônicos.
- O encapsulamento do módulo deve ser mantido em tamanho pequeno para que se evite problemas de *packaging* com outros componentes do carro e para que se encaixe nos mais variados locais, devendo também absorver elevados níveis de vibração já que o motor do veículo é acoplado diretamente ao chassi, sem uso de coxins.
- O sistema também será submetido a temperaturas elevadas devido à exposição contínua ao sol e calor irradiado de componentes do sistema de exaustão do veículo, além de resistir a respingos, jatos de água, particulado e poeira. Deseja-se atingir um grau de proteção *IP65* ou *IP67*. Todos os conectores usados na conexão PCB/-Cabos e Cabo/Sensor (Chicote) devem ser selados e serem da linha automotiva para que se garanta os mais altos padrões de qualidade e proteção.
- Os dados adquiridos pelos sensores deverão ser armazenados em uma memória de massa local (embarcada no veículo), com uma resolução máxima e alta taxa de

amostragem, constituindo uma verdadeira caixa-preta para registro da dinâmica veicular.

- Alguns dos dados coletados também deverão ser enviados por um *link* de radio-frequência de alcance adequado, para uma estação fixa, contendo um computador pessoal, para que os engenheiros da equipe possam acompanhar em tempo real o comportamento das grandezas mais relevantes do veículo. Os dados desse sistema de telemetria são enviados em uma taxa mais baixa e com menor resolução, adequada à largura de banda disponível na interface de comunicação utilizada.

O sistema que será desenvolvido compreende o projeto de uma placa de circuito especialmente destinada a essa aplicação, incluindo o *design* posicional de seus componentes, seu *layout* de trilhas e conexões, além do projeto térmico e mecânico de sua caixa, da especificação dos chicotes e sensores, e do posicionamento desses dentro da estrutura do veículo. Os *softwares*, em termos do *firmware* interno do sistema de aquisição de dados e do *software* básico de monitoramento remoto do computador pessoal, também serão desenvolvidos.

Tem-se por meta desenvolver esse sistema utilizando-se de técnicas avançadas de projeto (CAD/CAE), aplicando componentes robustos e específicos para aplicações veiculares, tais como conectores, caixas, circuitos integrados e cablagens especiais, além de componentes semicondutores em SMD, do estado da arte na indústria, para que se consiga um ótimo desempenho, integração e flexibilidade no módulo desenvolvido.



## 2 Estado da arte

Nesta seção serão apresentados alguns sistemas de aquisição de dados estado da arte existentes no mercado atual para *motorsports*, bem como trabalhos acadêmicos desenvolvidos na área de aquisição de dados veicular.

### 2.1 *Hardwares e Softwares comerciais*

A gama de produtos existentes atualmente no mercado para aquisição de dados em *motorsports* possui uma grande variedade de configurações. Um primeiro exemplo é o módulo DL1[4] da *Race Technology* que possui como características a gravação dos dados diretamente dos sensores em um memória de massa do tipo *Compact Flash* e taxas de amostragem configuráveis a até 100Hz. Este módulo é uma das opções de baixo custo da empresa e não possui alguns sensores embarcados como outros modelos. Neste caso, é possível adicionar um módulo de *GPS* e um acelerômetro de  $\pm 6g$  de três eixos ao produto final por um custo extra. Em termos de comunicação, este produto apresenta, além da entrada opcional para *GPS*, uma entrada serial para recebimento de dados extras a serem gravados (através de uma *ECU* ou outro módulo eletrônico). Na Figura 3 temos uma imagem deste *data logger*.



Figura 3: Race Technology DL1 Data Logger

Ainda abordando a empresa *Race Technology*, temos o módulo DL2[5] como produto topo de linha do seu catálogo. Este *data logger* é capaz de receber dados de 30 canais e gravá-los a uma taxa de até 100Hz em um memória *Compact Flash*. Como opcionais

existem novamente o acelerômetro e um GPS. Os dois módulos não apresentam capacidade de transmissão dos dados através de um link sem fio, apenas descarregando os dados através do cartão *Compact Flash*. Na Figura 4 temos um imagem deste produto.



Figura 4: Race Technology DL2 Data Logger

Sistemas ainda mais profissionais que o da *Race Technology* apresentam muito mais capacidade técnica e a possibilidade de transmissão de dados em tempo real. Podemos citar o módulo *Sigma Elite* da *PI Research*[6], pertencente a *Cosworth*, que possui 40 canais analógicos, 8 canais digitais, duas portas seriais, comunicação *Ethernet* para download dos dados, cartão de memória interno de 128MB, duas portas *CAN* e acelerômetro de três eixos. A empresa oferece à parte um sistema de telemetria de dados e vídeo que se conecta aos seus *data loggers* para comunicação com os boxes da equipe. Uma imagem deste módulo se encontra na Figura 5.



Figura 5: Cosworth Sigma Elite Data Logger

Outra empresa reconhecida no mercado pela qualidade de seus produtos é a *MoTeC*. O topo de linha do seu catálogo de produtos é o módulo *ACL*[7], que apresenta memória interna de 1GB, conexão para download dos dados via *Ethernet*, taxa de amostragem configurável a até 5000Hz, 2 portas de comunicação *CAN* e 2 seriais. Os dados analógicos e digitais são tratados em módulos separados chamados *VIM* que possuem capacidade para até 24 canais analógicos e 2 canais digitais, segundo o fabricante é possível se atingir a marca de 200 sensores espalhados pelo veículo. Estes dados são transmitidos para o *ACL*



através de um protocolo CAN e armazenados na memória interna. A Figura 6 ilustra o módulo eletrônico ACL.



**Figura 6:** MoTeC ACL Data Logger

Todos os fabricantes dos módulos comerciais apresentados aqui possuem *softwares* proprietários para interface com os módulos de aquisição. São eles:

- *Pi Toolbox* [8] da *Cosworth*
- *i2 Standard* [9] e *i2 Pro* da *MoTeC*
- *Main Analysis Software* [10] da *Race Technology*

Todos estes *softwares* permitem aos usuários dos produtos visualizar e tratar todas as informações adquiridas durante os testes através de plotagem de gráficos, histogramas, *displays* animados, etc. São oferecidos também *add-ons* com módulos para tratamento matemático, sincronização com vídeo, entre outras opções de customização. Os *softwares* são também responsáveis por calibrar e configurar os módulos eletrônicos. Abaixo temos uma imagem da tela do *Pi Toolbox*, na Figura 7, e do *MoTeC i2*, na Figura 8.





Figura 7: *Software Pi Toolbox*



Figura 8: *MoTeC i2 Pro Software*

## 2.2 Trabalhos acadêmicos e científicos

A fim de verificar os trabalhos já desenvolvidos em outras universidades realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre o tema de aquisição de dados veicular e obteve-se algumas variações interessantes do tema.

O mestrado desenvolvido por [11] demonstra o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para um veículo de fórmula baseado inteiramente em um rede comunicação via protocolo CAN. O módulo eletrônico possui apenas uma conexão de comunicação e toda aquisição dos dados externos é feito através de pequenos módulos responsáveis por converter dados analógicos e digitais. Este trabalho também fez uso de telemetria via módulo XBee e armazenamento de dados em um pendrive através de um produto comercial que implementa o sistema de arquivos FAT. Ocorreu também o desenvolvimento de um software para computador responsável por receber os dados em tempo real e para tratamento matemático dos mesmos após testes com o veículo. Toda a eletrônica, como esquema elétrico e layout de placa de circuito impresso, foi desenvolvida pelo estudante.

Na mesma linha de desenvolvimento está o trabalho desenvolvido por [12] para a equipe Solid Edge [13] de Fórmula SAE da Escola de Engenharia de de São Carlos. Neste projeto foi produzido uma rede CAN com três módulos: um para o painel do veículo, um para a leitura dos dados e um para comunicação a ECU do veículo. O projeto realizou-se completamente e apresentou resultados bastante promissores, como redução de quantia de cabos e projeção de custos menores quando a integração e o uso de muitos sensores se tornar elevada. Não houve o desenvolvimento de armazenamento local dos dados e de transmissão sem fio dos mesmos.

Outras abordagens interessantes foram dadas pelos trabalhos [14] e [15].

Em [14] utilizou-se como base uma placa de desenvolvimento sbRIO-9631 da *National Instruments* para a medição e armazenamento dos dados em memória flash interna à placa. Este trabalho se aproxima dos objetivos deste projeto devido ao fato de ter ocorrido toda a seleção dos componentes e sensores, bem como o desenvolvimento de circuitos de condicionamento e filtragens de sinais e de proteção. Houve também o desenvolvimento de *software* de tratamento de dados no programa *LabVIEW*. Apesar de não haver enfoque em veículos de Fórmula SAE e sim em um carro elétrico, toda a metodologia e as decisões de projeto servem como base para o PRDA1.

A mesma abordagem do projeto anterior foi utilizado em [15] mas agora com enfoque em um veículo de Fórmula SAE. O projeto consiste no uso de uma placa cRIO-9004 da *National Instruments* para armazenamento de dados, cálculos e análises e um módulo de expansão NI 9104 para conversão dos dados dos sensores utilizados. Todo o *software* de



calibração, tratamento e medição foi também desenvolvido no *LabVIEW*.

Existe uma vasta literatura sobre tratamento dos dados adquiridos e quais informações podem ser extraídas dos mesmos, mas algumas obras como [16] e [17] são utilizadas como referências para leitura e aprendizado. Podemos citar [18] e [19] como outras literaturas muito utilizadas juntamente com as anteriores para embasamento teórico e prática no tratamento e significado físico dos dados.



### 3 Projeto do Módulo Eletrônico

NESTE CAPÍTULO SERÃO detalhado os requisitos de engenharia e as soluções propostas para cada área de projeto módulo de aquisição de dados PRDA1. Os requisitos globais que devem ser atingidos por este módulo são:

- Compacto
- Baixo consumo energético.
- Elevado grau de proteção contra poeira, particulado e respingos.
- Armazenamento local e transmissão sem fio de dados.
- Suporte a vários protocolos de comunicação.
- *Hardware* flexível e *software* amplamente reconfigurável.

As áreas abrangidas por este capítulo estão itemizadas abaixo:

- Arquitetura
  - Memória de Massa
  - Comunicação
  - Canais Analógicos
  - Canais Digitais
  - Sensores embarcados
  - Alimentação
-

### 3.1 Descrição básica do sistema

Com base nas experiências obtidas na análise do estado da arte de equipamentos e tecnologias já existentes, além dos trabalhos acadêmicos comentados, esse projeto visa garantir um número de canais analógicos e digitais que atenda as necessidades do veículo Fórmula da Equipe Poli Racing, além de se alinhar com as tendências encontradas nos produtos existentes no mercado como comunicação por *CAN* e *Ethernet*, sensoriamento *onboard* via *GPS* e acelerômetro. Busca-se também oferecer capacidades intrínsecas ao PRDA1 que não existam nativamente nos produtos comerciais, como giroscópios e telemetria.

O sistema proposto neste trabalho será composto de dois blocos majoritários: um módulo eletrônico embarcado e uma estação de monitoramento remoto fixa.

O primeiro grande bloco será posicionado no interior de veículo e será responsável por adquirir, tratar, e gravar todos os dados gerados por sensores digitais ou analógicos, além de transmitir os dados através de um link de comunicação sem fio. Este módulo deverá também ser capaz de se comunicar utilizando os mais diversos protocolos de comunicação existentes no mercado para que se garanta um plataforma amplamente adaptável.

O segundo grande bloco é composto por um *software* para recebimento e visualização dos dados em tempo real transmitidos pelo veículo e também para gerar visualizações e tratamentos de sessões de medição anteriores. O outro elemento deste bloco será um receptor dos dados transmitidos via link sem fio para o computador.

Toda a eletrônica e mecânica envolvida no projeto será desenvolvida pelo estudante responsável por este projeto em conjunto com os membros da Equipe Poli Racing.

Na Figura 9 abaixo é apresentado um diagrama de blocos simplificado do sistema a ser desenvolvido.



Figura 9: Diagrama de blocos simplificado



## 3.2 Arquitetura

### 3.2.1 Especificação de engenharia

Para se garantir uma maior flexibilidade do *hardware*, facilidade de desenvolvimento e adaptabilidade a melhoramentos futuros, foram estudadas dois tipos de arquitetura para o módulo, a Centralizada e a Descentralizada.

A arquitetura centralizada consiste em apenas uma unidade de computação realizando todas as tarefas e processamentos exigidos do módulo. Todo evento e tarefa que ocorra deve ser previsto e tratado diretamente por este processador de dados. Algumas vantagens que este tipo de arquitetura forneceria a este projeto são:

- Menos componentes e por consequência menor custo.
- Controle total sobre todas as tarefas do sistema.

Em contra-partida, podemos citar as desvantagens:

- Complexidade elevada de *software*, que deve tratar de todos os eventos possíveis em um único local.
- Uma falha na unidade de processamento inutiliza todo o sistema.
- Necessidade de maior capacidade computacional para suportar todas as operações exigidas

A arquitetura descentralizada, por sua vez, é composta de várias unidades de processamento menores, cada uma capaz de executar tarefas menores e mais específicas do que o caso genérico da unidade de processamento da arquitetura centralizada. Estão enumeradas abaixo as vantagens que este tipo de escolha poderia fornecer ao projeto:

- Software mais simples em cada módulo de processamento.
- Uma falha em uma das unidades de processamento não inutiliza totalmente o sistema.
- Divisão de tarefas permite uma computação efetivamente paralela.
- Menor necessidade de capacidade computacional.

Mas, como na centralizada, esta opção apresenta suas desvantagens:

---



- Necessita de uma maior número de componentes elevando o custo total do sistema.
- Não existe uma única unidade controlando todos os eventos que estão ocorrendo no âmbito global do módulo eletrônico.

Como este projeto está sendo desenvolvido para a Equipe Poli Racing e esta depende de doações e aportes financeiros de patrocinadores, foram definidos quais os critérios a arquitetura do sistema deveria atender:

1. Apresentar baixo custo para a equipe, seja por componentes baratos ou devido ao fornecimento de material de empresas interessadas no desenvolvimento.
2. Suporte para os mais diversos tipos de comunicação.
3. Elevada capacidade computacional.
4. Flexibilidade de *hardware* para melhoramentos futuros.

Os itens 2, 3 e 4 são determinantes para que este módulo possua um ciclo de vida de produto longo o suficiente para atender às demandas da equipe no longo prazo, de 3 a 4 anos, sem a necessidade de reprojetar completo. Com base nas necessidades do projeto e nas qualidades e desvantagens de cada arquitetura, a solução mais atraente para o módulo PRDA1 é a de utilizar-se de uma Arquitetura Híbrida, com certo grau de descentralização descrita a seguir.

A Arquitetura Mista do PRDA1 será composta por um microcontrolador e uma unidade *FPGA*. A unidade microcontroladora deve possuir suporte nativo para os mais diversos protocolos de comunicação, como *CAN*, *Ethernet*, *SPI*, *I<sup>2</sup>C*, *UART*, etc, uma grande quantia de canais analógicos e digitais e, finalmente, uma elevada capacidade computacional para realização de cálculos complexos em tempo real. Este microcontrolador será responsável pelas interfaces de comunicação, conversões analógico digitais, processamento matemático e controle da *FPGA*, assumindo assim um papel centralizador na arquitetura do sistema.

A *FPGA* assumirá o papel descentralizador, possuindo vários *hardwares* internos para tratamento paralelo de todos os sinais digitais de entrada e saída do módulo. Além de fazer o processamento paralelo, a *FPGA* garantirá a adaptabilidade do módulo para necessidades futuras da equipe devido à grande flexibilidade deste tipo de tecnologia.

Apesar de toda a computação paralela dos dados digitais ser realizada pela *FPGA*, caberá ao microcontrolador o papel de recolher este conteúdo e direcioná-lo ao ponto de interesse, seja ele armazenamento, uso interno ou transmissão sem fio.

Em resumo, a arquitetura escolhida garante os seguintes benefícios:

- Flexibilidade do *Hardware*
- Elevada capacidade computacional
- Custo menor quando comparado a uma solução totalmente descentralizada
- Suporte a vários tipos de protocolos de comunicação
- Processamento efetivamente paralelo com o uso de hardwares independentes internamente à FPGA
- Redução de complexidade de *software*

Quanto aos problemas provenientes, é possível citar:

- Uma falha no microcontrolador irá inutilizar todo o sistema
- Não apresenta o menor dos custos possíveis
- Complexidade de projeto de circuito e placa elevado devido ao uso de dois componentes de grande densidade de pinos

### 3.2.2 Seleção de componentes

Para atender a todas as necessidades do veículo da equipe, o microcontrolador a ser utilizado deve possuir as seguintes características:

**Tabela 2:** Requisitos do microcontrolador

Comunicação	SPI, CAN, Ethernet, $I^2C$ , USART e FSMC
Periféricos	12 canais A/D e 4 Timers/Counters

Um microcontrolador que atendeu amplamente às necessidades em questão do projeto foi o STM32F41GT6 da família STM32F4. Este microcontrolador, fabricado pela empresa *ST Microelectronics*[20], possui um núcleo ARM Cortex-M4F, 1MB de memória *Flash* interna, *clock* de até 168MHz, até 24 canais *A/D* e múltiplos periféricos de comunicação. Além de o dispositivo atender os requisitos do projeto, a *ST Microelectronics* fornecerá a quantia necessária de microcontroladores a custo zero, o que torna este produto a melhor escolha para o desenvolvimento do módulo PRDA1. Uma breve descrição de todas as capacidades do STM32F4 é citada no Apêndice A. A *ST Microelectronics* também



forneceu, em caráter de empréstimo, uma placa de desenvolvimento para a família de microcontroladores em questão (STM32F4), a STM3240G-EVAL. Esta placa permite o desenvolvimento e a familiarização do usuário com todas as capacidades deste dispositivo semicondutor. Na Figura 10 abaixo temos uma imagem deste produto.



**Figura 10:** Placa de desenvolvimento da *STMicroelectronics* STM3240G-EVAL

A escolha da *FPGA* também foi norteadada pelo fator custo e apoio de empresas. Durante a primeira de prospecção de apoiadores, além da *ST*, a *Xilinx*[21] também se manifestou interessada em apoiar o projeto com o fornecimento de material a custo zero, logo, a escolha do dispositivo a ser utilizado foi restringido ao escopo de produtos fabricado por eles.

O modelo a ser utilizado neste projeto é a *XC3S200* da família *Spartan-3*. A escolha se baseou no fato desta arquitetura já ser amplamente estudada e utilizada no mercado atual, fornecendo assim a garantia de bom funcionamento, grande disponibilidade de material de aprendizado e apresentando baixo custo. Outro fator muito relevante foi o fato de a *Xilinx* ter fornecido três placas de desenvolvimento da *Digilent Inc.* para esta família de *FPGA*, duas *S3E*[22] e uma *S3*[23]. Isto será de grande valia para prototipagem e aprendizado enquanto a eletrônica final não estiver finalizada. Abaixo temos duas figuras que ilustram estas placas de desenvolvimento.





Figura 11: Placa de desenvolvimento *Digilent Inc.* Spartan 3E



Figura 12: Placa de desenvolvimento *Digilent Inc.* Spartan 3

### 3.3 Memória de Massa

Neste tópico são discutidas as opções de armazenamento de dados para o módulo em projeto. Esta memória é de suma importância pois será responsável por gravar todos os dados adquiridos no veículo e permitir uma análise posterior.

#### 3.3.1 Especificação de engenharia

A memória interna do PRDA1 será responsável por armazenar os dados medidos durante sessões de teste com o monoposto da Equipe Poli Racing. Os dados serão, após o término das sessões, retirados e gravados em um computador para análise posterior. As características que o dispositivo de armazenamento de dados do veículo devem atender são:

- Baixo custo
- Facilidade de uso
- Alta capacidade de armazenamento

A facilidade de uso é garantida através do uso de um sistema de arquivos FAT para gravação dos dados, isso permite que os usuários do módulo possam retirar os dados em qualquer computador pessoal.

### 3.3.2 Seleção de componentes

Após pesquisas de produtos existentes no mercado, três opções se mostraram atraentes para o projeto e estão discretizadas na Tabela 3. Uma característica comum a todos os produtos é o fato de existir um microcontrolador embarcado responsável por implementar o sistema de arquivos FAT, gerenciar pastas e nomes de arquivos, além de receber os dados de forma serializada por *SPI* ou *USART*, que é um tipo de periférico bastante difundido em microcontroladores atuais.

**Tabela 3:** Soluções em armazenamentos de dados

Produto	Custo (USD)
OpenLog	24,95
SDLogger	24,95
VDIP1	27,20

Para o PRDA1 foram selecionados dois produtos, o *OpenLog*[24] (Figura 13) e o *SDLogger*[25] (Figura 14). O fato de ambos possuírem código fonte e esquema elétrico *open-source*, fazerem uso de cartões SD e micro SD e apresentarem um custo menor foram determinantes na escolha. O esquema elétrico do *OpenLog* se encontra no Anexo B e o esquema do *SDLogger* no Anexo C.



Figura 13: Sparkfun OpenLog



Figura 14: SeeedStudio SDLogger

Com o esquema elétrico aberto é possível se atingir uma maior integração no módulo PRDA1, devido ao fato de ser possível gerar um layout de cada um destes produtos diretamente na placa de circuito impresso a ser produzida.

O uso de cartões SD também torna o encapsulamento global do PRDA1 menor gerando menores problemas de *packaging* com outros componentes do Fórmula SAE.

## 3.4 Comunicação

Os módulos de comunicação no PRDA1 serão responsáveis por transmissão de dados em tempo real para os boxes da equipe e realizar a comunicação com outros módulos eletrônicos embarcados no veículo, como por exemplo um volante multifuncional ou pequenos módulos de aquisição.

### 3.4.1 Especificação de engenharia

Para atender os requisitos de flexibilidade em termos de comunicação o PRDA1 deve possuir suporte para vários protocolos, como:

---



- *Ethernet*: Fornece elevada velocidade de comunicação para os mais diversos usos, como configuração e *download* de dados. Pode também ser a plataforma de telemetria conectando um transmissor *WiFi*. É muito utilizado nos módulos comerciais atualmente.
- *CAN e I<sup>2</sup>C*: O uso destes protocolos garante a possibilidade de comunicação com sensores, ECU e outros sistemas embarcados que são comercializados atualmente.

Para a telemetria deseja-se um módulo de rádio-frequência que possua baixo custo e um alcance mínimo de 620 metros. Este alcance foi calculado como a maior distância entre a estação dos boxes e a estação transmissora embarcada no veículo. Este cenário ocorre no campo de provas da Goodyear [26], um dos locais onde ocorre a competição anual de Fórmula SAE, quando a estação de recepção se localiza no Centro de Visitantes e o veículo na área de testes. Esta configuração, bem como a medição de distância estão ilustradas na Figura 15 abaixo.



Figura 15: Distância entre estação receptora e estação móvel

Outra protocolo de comunicação utilizado em vários produtos comerciais e que será suportado pelo PRDA1 é a comunicação RS232 através de um conversor *USB/Serial*.

Este tipo de comunicação é utilizado, por exemplo, na ECU PW6X da HIS-Power [27], patrocinadora da equipe.

### 3.4.2 Seleção de componentes

Para a implementação da camada física (*PHY Layer*) da *Ethernet* e *CAN* serão utilizados os seguintes componentes respectivamente, STE100P da **ST Microelectronics**, e SN65HVD230 **Texas Instruments**. A interface *USB/Serial* será realizada pelo dispositivo FT232RL, que faz a porta USB do computador se apresentar como uma porta *COM*. O protocolo *I<sup>2</sup>C* também é suportado nativamente pelo STM32F407IGT6, juntamente com a *Ethernet* e *CAN*, mas com diferença que não necessita de um semicondutor específico para implementação da camada física. Para a seleção de módulo XBee a ser utilizado foi elaborado a Tabela 4 a seguir (dados retirados de [28]).

Tabela 4: Comparação entre módulos XBee

Módulo	Potência	Range ( <i>LOS</i> )	Data Rate	Custo (USD)
XBee PRO 2.4GHz	18 dBm	1,6 km	Até 250 kbps	32,00
XBee PRO 900MHz	17 dBm	3 km	Até 156 kbps	39,00
XBee WiFi	15 dBm	120 m	Até 65 MBps	35,00

Baseado em experimentos práticos realizados em [11], foi possível verificar que o módulo de 2.4GHz fixo recebe uma potência de apenas -85 dBm, do limite de sensibilidade de -100 dBm, mesmo estando a apenas 300 metros e em *LOS* quando o limite teórico é 1600 metros. Para a taxa de dados, supondo 12 canais analógicos e 5 digitais sendo transmitidos a uma taxa de 100Hz e com resolução de 8 bits, teremos um taxa de 13600bps.

Desta forma, o módulo escolhido foi o *XBee PRO 900MHz* por possuir maior alcance e uma taxa de dados teórica de 156kbps, atendendo todas as necessidades do projeto. A Figura 16 abaixo ilustra o módulo escolhido.





Figura 16: Módulo XBee PRO 900MHz

Um fato interessante no uso dos módulos *XBee* é que a grande maioria deles é compatível pino-a-pino, bastando uma substituição do instalado na PCB do PRDA1 para adquirir características de transmissão totalmente diferentes.

## 3.5 Canais Analógicos

O PRDA1 deve apresentar canais específicos para vários tipos de sensores analógicos utilizados no veículo. Alguns exemplos destes tipos de sensores são: *TPS* (Sensor de posição do acelerador), Sonda Lambda (medidor de estequiometria da queima de combustível), ângulo do volante, termistores e temperatura de pneus.

### 3.5.1 Especificação de engenharia

Os canais analógicos devem apresentar um filtro passa-baixa para evitar recobrimento de frequências elevadas e fora do interesse de medição, além de possuírem em sua topologia um circuito de proteção contra picos positivos e negativos de tensão e descargas eletrostáticas.

Este primeiro estágio de filtragem será necessária para que se possa fazer a superamostragem do sinal posterior implementação de um filtro digital, internamente ao microcontrolador, com frequências de corte configuráveis conforme a necessidade de cada sensor a ser medido.



### 3.5.2 Design e escolha de componentes

Inicialmente especificou-se o filtro analógico a ser utilizado com o auxílio do software FiltroPRO™[29]. Será utilizado um filtro de segunda ordem, do tipo *Butterworth* com topologia *Sallen-Key* e um único estágio. Na Figura 17 temos uma imagem do circuito a ser utilizado para o tratamento do sinal de cada canal analógico.

A decisão pela topologia *Sallen-Key* se deu devido ao fato desta apresentar ganho não-inversor além de, juntamente com o filtro de estágio único, apresentar uma baixa contagem de componentes.

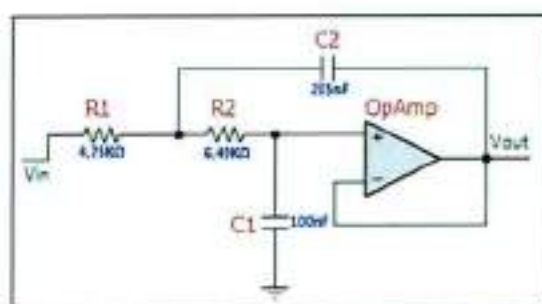


Figura 17: Circuito do filtro analógico ideal

O Diagrama de Bode do filtro ideal gerado pelo software FiltroPRO™ se encontram na Figura 18. Como se trata de um circuito ideal projetado para corte em 200Hz utilizando-se a convenção de -3dB, a frequência de corte encontrada no gráfico foi de 200Hz. O FiltroPRO™ também fornece o valor mínimo do produto Ganho-Banda, que é de 14,2kHz.

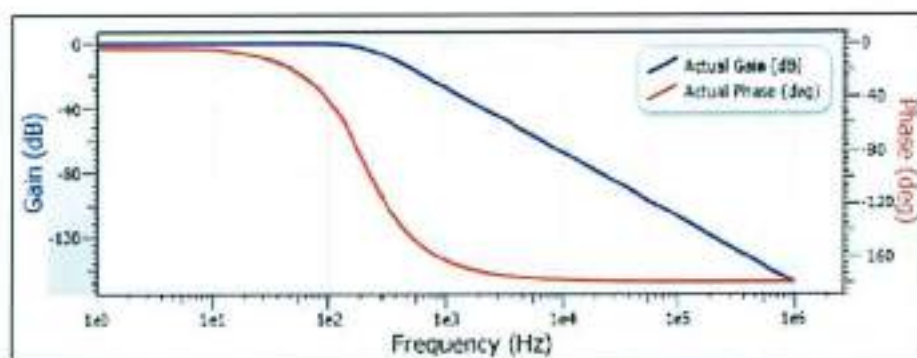


Figura 18: Diagrama de Bode do circuito analógico ideal

Para a proteção do circuito de filtragem e das entradas *A/D* do microcontrolador será utilizado um arranjo de diodos mais conhecido como *steering diodes* e um amplificador operacional na configuração seguidor de tensão para elevar a impedância de entrada do circuito.

O amplificador operacional de filtro e o isolador de tensão devem estar em um mesmo encapsulamento para que o circuito se torne mais compacto. No caso dos diodos existem vários encapsulamentos com diferentes quantias de arranjos internos.

Assim, o amplificador operacional deve atender as seguintes características:

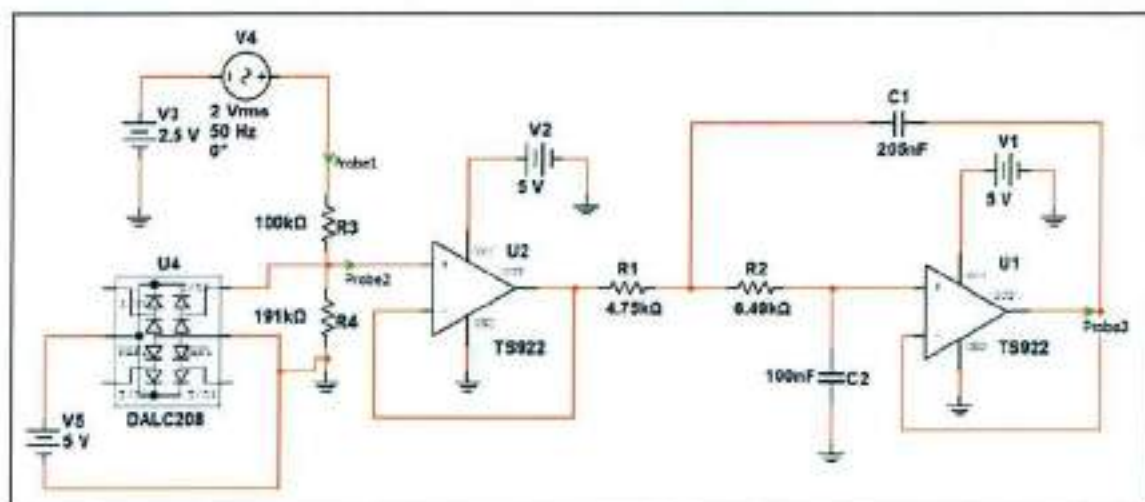
- Operação Rail to Rail na entrada e saída
- Produto Ganho-Banda de 14,2kHz
- Alimentação Unipolar

O amplificador operacional selecionado para a implementação deste circuito foi o TS9222IYPT da *ST Microelectronics*. Este dispositivo atende todas as especificações mínimas de engenharia além de oferecer recursos adicionais, como ser de classe automotiva. Abaixo estão listadas as características deste semicondutor.

- Operação de 2,7V a 12V unipolar.
- Produto Ganho-Banda de 4MHz
- Operação de Rail to Rail para entrada e saída
- Imunidade contra *Latch-Up*
- Encapsulamentos com 2 ou 4 dispositivos
- Modelo *SPICE*

Para a proteção dos canais analógicos contra picos de tensão e descargas eletrostáticas foi selecionado o dispositivo DALC208SC6 da *ST Microelectronics*, que possui modelo *SPICE* e quatro arranjos de *steering diodes* internamente ao mesmo encapsulamento, o que garante uma maior densidade de placa e permite simulações.

Para se verificar o bom funcionamento dos dispositivos de proteção, do amplificador operacional atuando como seguidor de tensão e filtro analógico, foram realizadas simulações no software Multisim[30] da *National Instruments* com os modelos *SPICE* fornecidos e com a topologia completa de um canal analógico. Na Figura 19 abaixo está o circuito utilizado para simulações no *software*.



**Figura 19:** Circuito utilizado para simulação dos canais analógicos

A seguir são apresentados os resultados da simulação do filtro analógico.

Nas Figuras 20 e 21 temos o ganho e a fase da resposta em frequência, respectivamente. Na Figura 22 é apresentada uma simulação que comprova o funcionamento do DALC208SC6 como dispositivo de proteção e, por fim, na Figura 23 é apresentada a resposta do filtro à função de *Heaviside*.

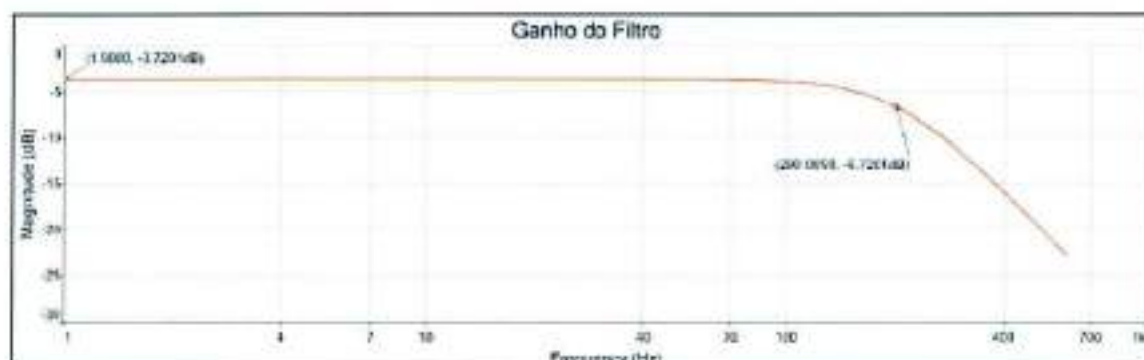
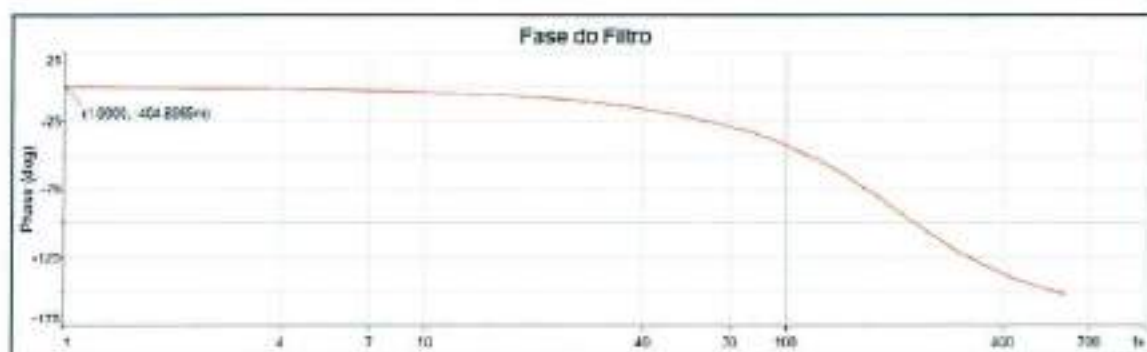


Figura 20: Ganho da resposta em frequência do filtro analógico



**Figura 21:** Fase da resposta em frequência do filtro analógico



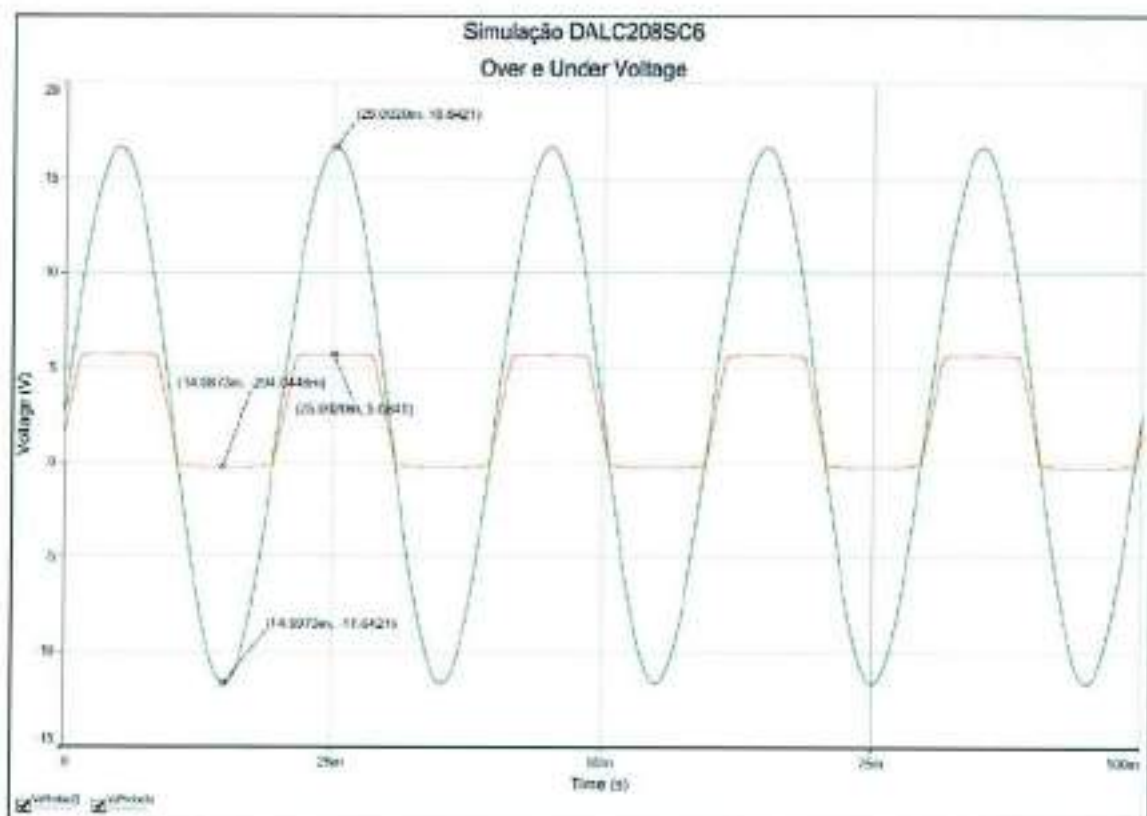


Figura 22: Simulação de funcionamento do DALC208SC6

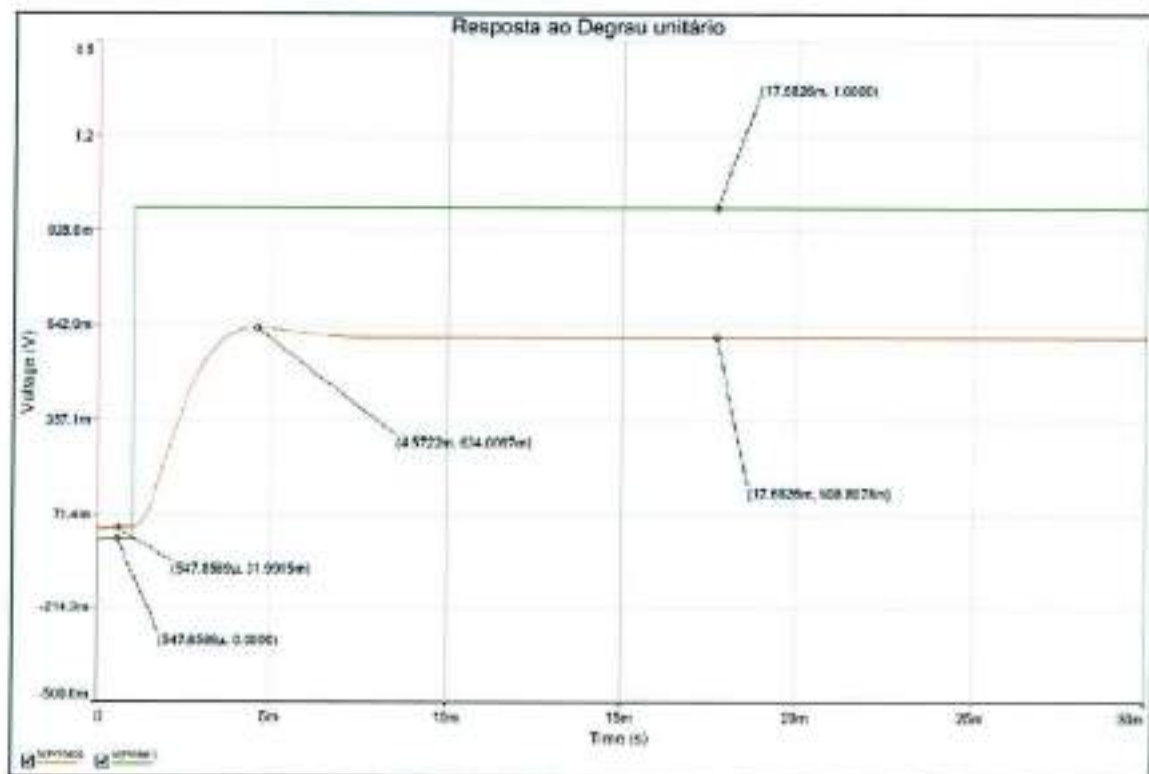


Figura 23: Resposta ao degrau unitário

## 3.6 Canais Digitais

Os canais digitais do PRDA1 são necessários para que se possa medir vários sinais do veículo. Estes sinais podem ser pulsados devidos à característica do sensor ou devido a natureza da fonte geradora. Um exemplo de sinal quadrado gerado por sensor é a velocidade de cada roda do veículo, já para sinais que são originalmente ondas quadradas (às vezes necessitando de algum tratamento) pode-se citar as revoluções por minuto do motor e sinais de troca de marcha. Um estágio de conversão, isolamento galvânico e tratamento de sinal também é importante já que tanto o microcontrolador como a FPGA não são tolerantes aos 12V padrão de alimentação do veículo.

### 3.6.1 Especificação de engenharia

Os canais digitais do módulo devem atender aos seguintes requisitos:

- Proteção contra pulsos de tensão fora da escala permitida
- Conversão de nível lógico para os valores suportados pelos dispositivos semicondutores
- Tratamento e adequação de sinais para correta medição de frequência e período dos pulsos dos sensores da *FPGA*
- Fornecer estágio de potência para as saídas digitais do módulo

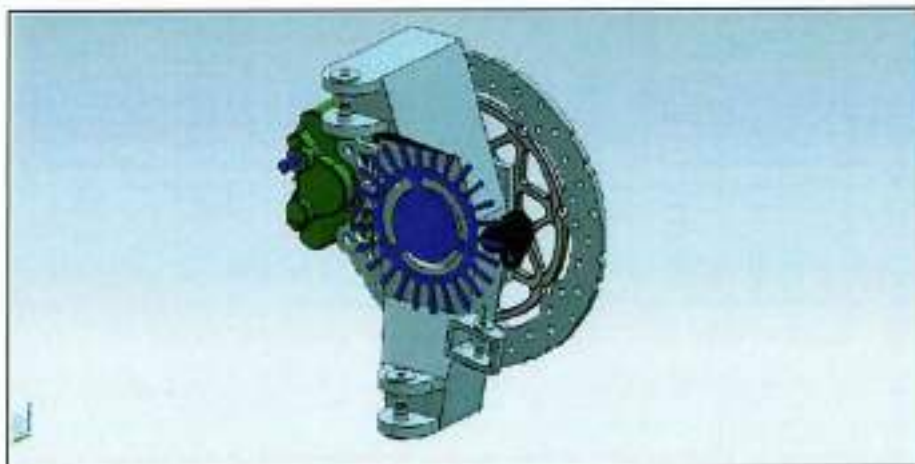
### 3.6.2 Seleção de componentes

O dispositivo selecionado para desempenhar o papel de isolamento, conversão de nível lógico e estágio de potência foi o opto acoplador PS2701-1. Este componente possui as seguintes características:

- Fototransistor com capacidade de corrente de até 80mA e isolamento
- Encapsulamento reduzido

Um dos sensores digitais a ser utilizado é o *Honeywell 1GT101DC*. Este sensor de Efeito Hall será acoplado à manga de eixo do veículo e possuirá uma roda dentada para fornecer os alvos metálicos. Abaixo temos uma imagem do sensor na Figura 25 e uma imagem em *CAD* na Figura 24 da montagem mecânica a ser realizada no FP04. Em cinza temos a

manga de eixo, suporte do disco e disco de freio, em azul temos a roda dentada e preto temos o sensor.



**Figura 24:** Montagem mecânica para o sensor de velocidade



**Figura 25:** Honeywell 1GT101DC

## 3.7 Sensores Embarcados

Alguns sensores oferecerem dados muito relevantes para o projeto e comportamento do veículo em encapsulamentos extremamente compactos. Este é o caso do acelerômetro, giroscópio e *GPS*, que, por serem diminutos, podem ser embarcados diretamente na eletrônica interna sem perda significativa de área de circuito impresso.

### 3.7.1 Especificação de engenharia

A partir de dados obtidos nas competições, testes de campo e simulações de projeto, a Equipe Poli Racing pode definir as especificações para o acelerômetro e giroscópio e que estão listadas abaixo:

- Máxima aceleração: 1,7g
- Taxa máxima de rotação angular: 120°/s



Os requisitos pra o módulo GPS são:

- Boa acurácia
- Encapsulamento compacto
- Uso de antena externa
- Taxa de *update* configurável

### 3.7.2 Seleção de componentes

Para o acelerômetro e giroscópio, a solução que mais se adequou às necessidades do projeto foi a placa de desenvolvimento STEVAL-MKI108V2[31]. Este produto, pertencente ao catálogo da **ST Microelectronics**, abriga na mesma *PCB* um acelerômetro, um giroscópio e um magnetômetro, disponibilizando os pinos dos dispositivos em encapsulamento análogo à um soquete *DIP*. Na Figura 26 temos uma imagem deste produto e abaixo estão as especificações de cada um dos sensores presentes no MKI108. Estes sensores serão fornecidos a custo zero para o projeto.

- LSM303DLHC - Acelerômetro e Magnetômetro [32]
  - 4 escalas de aceleração selecionáveis -  $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ ,  $\pm 8g$  e  $\pm 16g$
  - Comunicação por  $I^2C$  e SPI
- L3GD20 - Giroscópio [33]
  - Três escalas selecionáveis - 250/500/2000  $^{\circ}/s$
  - Comunicação por  $I^2C$  e SPI
  - Filtros passa-baixa e passa-alta configuráveis internos

Uma outra vantagem deste produto da STMicroelectronics é o fato dele possuir esquema elétrico aberto, o que permite sua integração direta na placa de circuito impresso do PRDA1, tornando o projeto mais compacto devido ao fato de não haver montagem de placas sobre placas. O esquema elétrico deste produto se encontra no Anexo D.



Figura 26: Breakout Board STEVAL-MKI108V2 da ST

Para o GPS, após pesquisas de produtos existentes no mercado encontrou-se uma opção que atende amplamente às necessidades do projeto. O modelo em questão é a *breakout board*[34] fabricada pela *Sparkfun* do circuito integrado *Venus638FLPx* da *SkyTraq*. Abaixo estão listadas as características deste módulo *GPS* e a *breakout board* está ilustrada na Figura 27. Novamente é possível utilizar tanto a placa de desenvolvimento como incluir nativamente o hardware pois o esquema elétrico é aberto. O custo deste produto é de USD 49,95 e o esquema se encontra no Anexo E.

- Até 20Hz de taxa de *update*(configurável)
- 2,5 metros de acurácia
- Dimensões reduzidas
- Conector SMA para antena externa



Figura 27: Sparkfun Venus638FLPx Breakout Board

### 3.8 Alimentação

As tensões para todos os dispositivos serão geradas internamente a partir da alimentação do veículo. Neste tópico são detalhados os critérios de seleção para estes componentes.



### 3.8.1 Especificação de engenharia

O módulo PRDA1 possui uma variada necessidade de tensões de alimentação, para os mais diversos componentes, sendo geradas internamente, já que a única alimentação externa disponível são os 12V do barramento de alimentação do veículo.

Outro fator importante na rede de alimentação dos circuitos é a proteção. A eletrônica deve estar protegida através de fusíveis, diodos e/ou outros produtos destinados à proteção de circuitos automotivos.

As tensões a serem geradas a partir da alimentação principal de 12V são:

- 2,5V
- 1,2V
- 5V para alimentação de circuitos internos
- 5V auxiliar para alimentação de sensores e circuitos externos ao PRDA1, deve ser capaz de fornecer um valor elevado de corrente (mais do que 1A).
- 3,3V
- 3V a partir de um soquete de bateria

Os reguladores devem atender os seguintes requisitos:

- 3,3V, 5V interno e 5V externo devem ser capazes de fornecer níveis elevados de corrente, maior que 1A.
- 1V2, 2V5, e 3V podem oferecer um menor fornecimento de corrente quando comparado às fontes citadas acima.
- Os encapsulamentos devem ser os menores possíveis guardadas as restrições de fornecimento de corrente, para que seja consumida a menor área de placa possível.
- Por se tratarem de reguladores lineares, todos devem apresentar uma baixa queda de tensão mesmo operando com correntes elevadas (reguladores *LDO*, *low drop-out*). Isso evita que sejam dissipados grandes quantias de potência, sobre-aquecimento do circuito e desligamento dos reguladores devido à proteções térmicas internas.

Para a proteção do circuito, após algumas pesquisas por implementações práticas, decidiu-se pelo uso de um fusível em série com um diodo e, em paralelo, fazer-se uso de diodo *TVS*.

---



O diodo *TVS* atua na região de avalanche e possui a capacidade de se tornar um caminho de baixíssima impedância para picos de tensão e corrente, que podem ocorrer no ambiente automotivo devido à descargas eletrostáticas e cargas indutivas. Este diodo deve possuir uma tensão de corte (*clamping voltage*,  $V_{CL}$ ) menor que o máximo de tensão suportado pelo regulador situado a seu jusante. A sua tensão de operação (*stand-off voltage*,  $V_{RM}$ ) deve ser igual ou maior ao ponto de operação comum do circuito, no caso 12V.

### 3.8.2 Seleção de componentes

Os componentes que atenderam todos os requisitos foram os seguintes:

- Para 3V3, 5V interno e externo:
  - LD1086D2T50TR [35], para 5V
  - LD1086D2M33TR [35], para 3V3
- Para 1V2, 2V5:
  - LD1117S12TR [36], para 1V2
  - LD1117S25TR [36], para 2V5

O diodo *TVS* que atendeu às necessidades impostas foi o SM6T12AY da família SM6T [37]. Todos os diodos dessa família possuem modelo *SPICE*, logo, realizou-se uma simulação para comprovar o seu bom funcionamento. Na Figura 28 temos o circuito utilizado e na Figura 29 temos o resultado de saída.

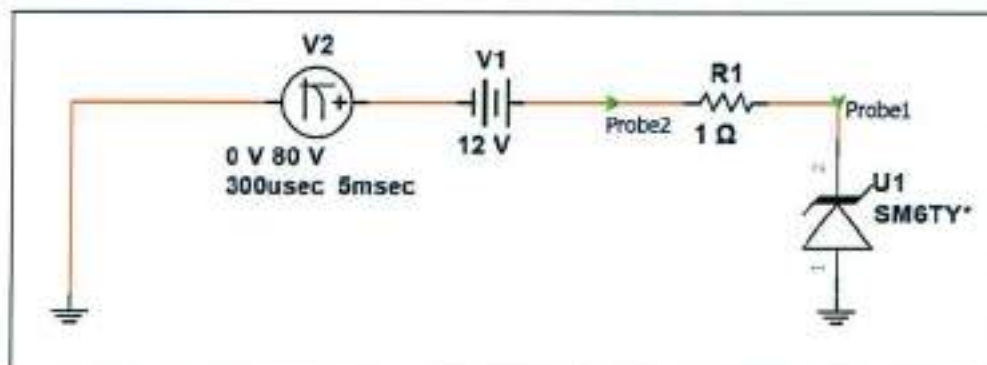


Figura 28: Circuito para simulação do diodo TVS SM6T12AY

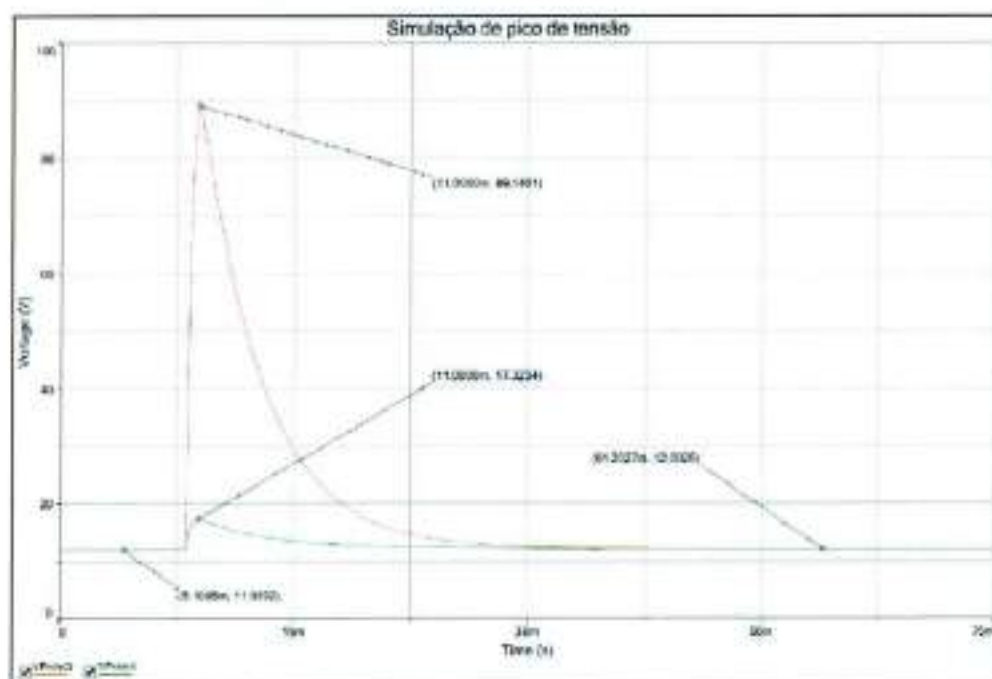


Figura 29: Comportamento do TVS em picos de tensão

Todos os componentes pertencem ao catálogo da *ST Microelectronics* e serão fornecidos a custo zero.

## 3.9 Conectorização

O uso do PRDA1 se dará em ambiente hostil com a presença de particulado, detritos, umidade, respingos e exposição a temperaturas elevadas. Com a finalidade de garantir a integridade da eletrônica interna nestes casos priorizou-se o uso de conectores selados automotivos para todas as interfaces com o ambiente externo do PRDA1.

### 3.9.1 Especificação de engenharia

Os conectores a serem utilizados devem possuir algumas características de proteção contra as adversidades do meio ambiente exterior à eletrônica interna do módulo, além de atenderem todas as necessidades de conectividade das interfaces. Os requisitos estão listados abaixo:

- Prover conexão elétrica entre exterior e interior sem permitir a entrada de particulado, água ou outro tipo de particulado existente no ambiente



- Apresentar encapsulamento compacto e com alta contagem de pinos quando necessário para se evitar consumo excessivo de área de placa
- Ser destinado à aplicação industrial ou automotiva

As conexões a serem atendidas com o mundo externo são listadas a seguir:

- *CAN*
- *I<sup>2</sup>C*
- *Ethernet*
- Canais Analógicos
- Canais Digitais
- USB
- Conector *SMA* para antena de *GPS* Externa
- Cabo *U.FL* para *SMA* para o módulo *XBee*

### 3.9.2 Seleção de componentes

O módulo XBee a ser utilizado, junto com o integração direta na placa do chip Venus GPS, possuem uma conexão *U.FL*, logo, se fará uso de um cabo adaptador para prover uma conexão *SMA* dos mesmos para o encapsulamento do módulo. Na Figura 30 temos uma imagem deste cabo.



**Figura 30:** Cabo adaptador U.FL para SMA

Os conectores para os chicotes analógico e digital que atenderam às especificações do projeto foram os modelos 1-776087-1 e 1-776163-1, respectivamente, da empresa apoiadora

**TE Connectivity.** Estes componentes serão fornecidos com custo zero para o projeto e fazem parte da linha AMPSeal, cuja brochura se encontra no Anexo F.

O conector analógico fornecerá 3 pinos por sensor, um retorno de sinal para o módulo PRDA1, e dois de alimentação sendo um de 5V e um de GND. Existem 11 canais nesta configuração de 3 pinos e 1 canal dedicado para o sensor de posição do acelerador, que retorna somente sinal e já é alimentado pela *ECU* do veículo, desta forma o número total de pinos utilizados é de 34. Na Figura 31 temos uma imagem do conector a ser utilizado na parte analógica do circuito.



**Figura 31:** Conector TE AMPSEAL 1-776087-1

O conector digital possui 23 pinos e eles serão alocados da seguinte forma:

- 2 pinos para 12V e GND do barramento veicular. Foram escolhidos dois pinos para fornecer alimentação redundante no caso de falta de contato causada, por exemplo, por excesso de vibração.
- 2 pinos para o barramento de comunicação *CAN*
- 2 pinos para o barramento de comunicação *I<sup>2</sup>C*
- 4 pinos de 5V auxiliar para a alimentação dos sensores de velocidade
- 4 pinos de retorno dos sensores de velocidade
- 2 pinos para o medição de RPM. Um para sensor de relutância variável e um para sinais com formato de onda quadrado.
- 3 pinos de entrada e 2 de saída para uso geral

Desta forma, são utilizados todos os 23 pinos do conector. Na Figura 32 temos uma imagem do conector a ser utilizado na parte digital do circuito.



**Figura 32:** Conector TE AMPSEAL 1-776163-1

### 3.10 Esquema elétrico

Baseado nas decisões apresentadas anteriormente neste texto e utilizando-se do *software Alitum Designer*, foi elaborado o esquema elétrico do módulo PRDA1. Este esquema é apresentado em detalhes no Apêndice A.

### 3.11 Placa de circuito impresso

Devido à grande quantia de componentes a serem utilizados na placa, mais de 440 por módulo, e à inerente dificuldade no roteamento de projetos desta magnitude, foi decidido pela contratação de um especialista na área de projeto de circuitos eletrônicos, o Sr. Marcello Ordonez.

A elaboração do layout e roteamento da placa por um profissional permitiu que esta tarefa fosse realizada em tempo reduzido, com pouca probabilidade de erros e com decisões embasadas em projetos anteriores. Isto também permitiu que o aluno pudesse se focar em outras atividades de projeto e desenvolvimento, atuando paralelamente ao processo de elaboração da placa.

O início do processo se deu com o envio do esquema elétrico (Apêndice A) para o Sr. Marcello com a finalidade de gerar um *netlist* de conferência e para que fosse feita a importação do esquema para o *software PADS* da *Mentor Graphics*, programa utilizado pelo especialista no desenvolvimento da placa.

Após a importação do esquema e posterior geração e/ou escolha de *footprints* para a biblioteca do projeto, iniciou-se um processo iterativo de posicionamento de componentes. Neste processo o especialista posicionava os componentes em uma placa e enviava os arquivos para a aprovação do aluno, que solicitava mudanças nas localizações, identificações em camada de *silkscreen*, etc, ou aprovava o posicionamento. O primeiro arquivo posicional enviado encontra-se no Apêndice C. Pode-se notar que nesta versão, que foi a primeira



da placa, o Sr. Marcello optou por posicionar todos os componentes face superior por ter partido do pressuposto que a mesma seria montada em uma linha de fabricação automática. Como este não seria o caso, optou-se por mover todos os componentes passivos para a parte inferior da placa, deixando na parte superior apenas componentes passivos de configuração, sinalização e ativos, desta forma reduzindo a densidade de componentes e facilidade de manutenção.

Passadas duas semanas de iterações sobre a localização dos componentes, foi aprovado o posicionamento final utilizado para se rotear a placa de circuito impresso. O processo de roteamento levou uma semana e, ao final, foram gerados os arquivos de produção (GERBER) para um painel de quatro placas. Os arquivos GERBER se encontram no Apêndice E e a distribuição dos componentes final no Apêndice D.

É importante ressaltar que o posicionamento dos componentes não levou em consideração parâmetros de engenharia mais avançados, tais como: dissipação térmica, comprimentos de linhas, impedâncias, imunidade/susceptibilidade a interferências eletromagnéticas, etc. Tais parâmetros demandariam um projeto mais aprofundado, com ferramentas computacionais ímpares, cujo tempo e escopo está além desse projeto de formatura. Entretanto, como comentado, todo o design foi baseado na experiência do projetista e de outros consultores do projeto, em especial o orientador deste trabalho, o Prof. Dr. Eduardo Lorenzetti Pellini, que elabora projetos para aplicações aero-espaciais.

Após a finalização dos arquivos GERBER's o projetista enviou um arquivo em CAD do layout, com o qual o aluno conseguiu desenvolver um modelo 3D da placa de circuito impresso através de recursos de modelagem 3D do *Altium Designer*. Na Figura 33 é apresentada uma imagem circuito impresso no *Altium Designer* e nas Figuras 34 e 35 é apresentado o modelo 3D gerado a partir do CAD de layout.

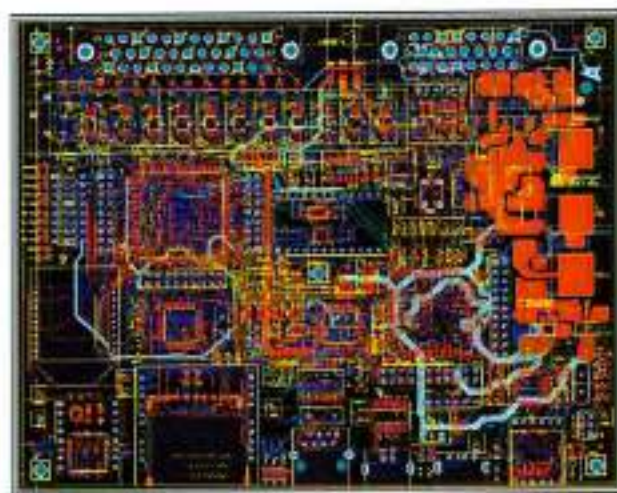


Figura 33: Vista da placa de circuito impresso do PRDA1 em CAD



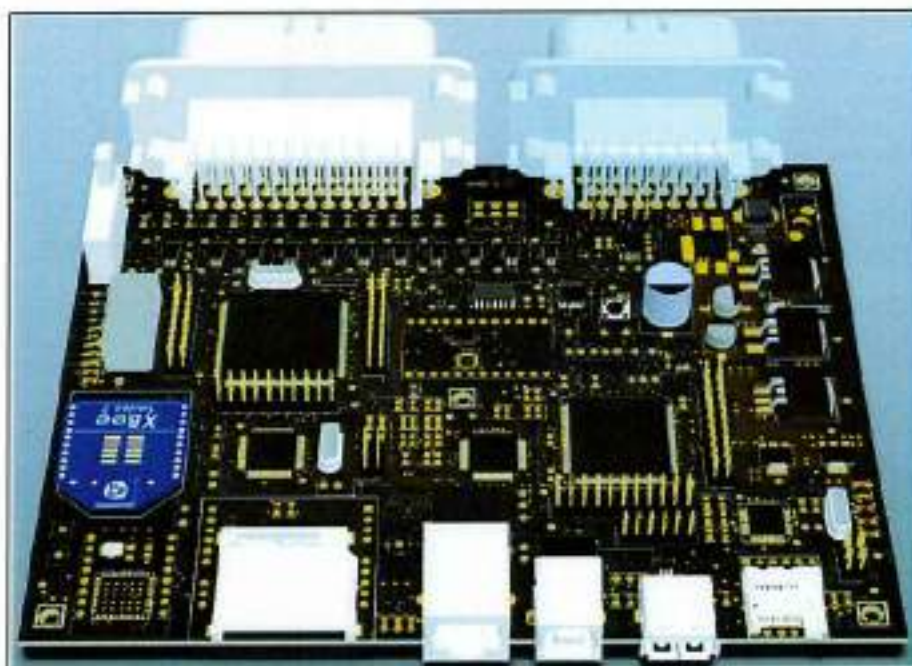


Figura 34: Vista do modelo 3D do módulo PRDA1 - 1

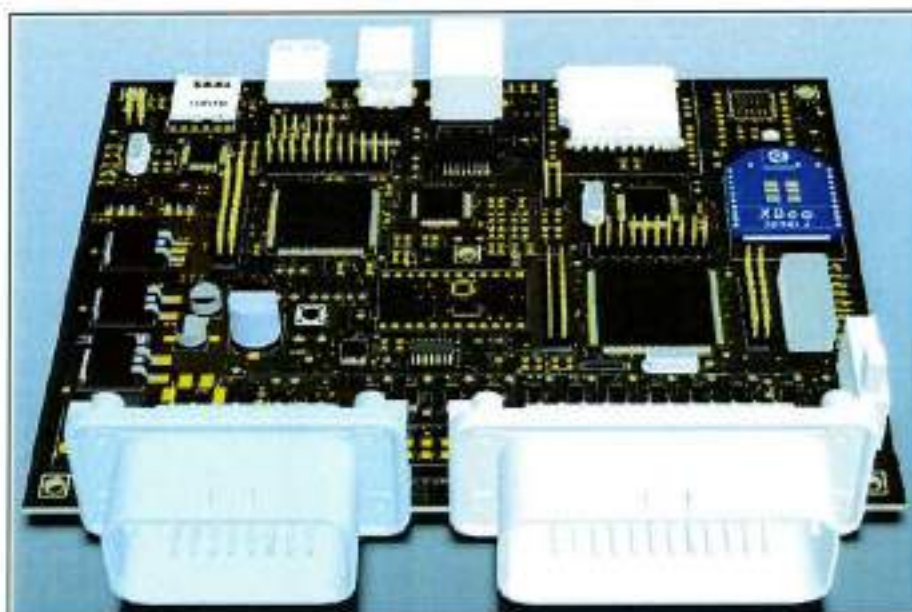


Figura 35: Vista do modelo 3D do módulo PRDA1 - 2

Com este modelo 3D da placa de circuito impresso pode-se projetar uma caixa metálica para abrigar a eletrônica e torná-la instalável no veículo de Fórmula SAE da Poli-USP. A caixa será totalmente vedada contando com apenas duas aberturas: Uma frontal para os conectores automotivos selados da *TE Connectivity* e uma traseira, com tampa removível através de parafusos recartilhados, para acesso aos cartões SD, microSD e conectores gerais. Ela também conta com aletas de dissipação térmica para que o calor gerado por

algum componente específico possa ser dissipado na massa de alumínio.

Para maior integridade e vedação o invólucro será fabricado em duas peças e contará com vários furos de fixação, tanto para o módulo eletrônico e seus conectores, como para as duas peças que compõem a caixa. No Apêndice G temos os desenhos de fabricação gerados para produção destas peças.

Todo o projeto mecânico e desenhos de fabricação foram gerados utilizando-se os softwares *Siemens NX 7.5* e *SolidWorks 2012* e com o auxílio dos colegas *Rafael Klumpp de Miranda* e *Kalenin Moraes*.

### 3.12 Chicote elétrico

Para a conexão entre todos os sensores analógicos, digitais e vias de comunicação com o módulo PRDA1, foi desenvolvido um chicote sob medida para o projeto.

Este chicote foi totalmente projetado com conectores automotivos da linha *AMPSEAL 16*, da *TE Connectivity*, por serem produtos destinados especificamente para aplicações automotivas, apresentando uma elevada robustez, confiabilidade e proteção em aplicações *under the hood*, além do fato de serem fornecidos a custo zero. Estes produtos também apresentam cores que correspondem à um determinado tipo trava mecânica, denominadas *Keys* e que são designadas de 1 até 4, que não permitem o encaixe de conectores de *Keys* diferentes.

Desta forma, o chicote do PRDA1 foi dividido da seguinte forma:

- **Chicote Analógico:** Compreendido no chicote analógico estão as saídas de alimentação (+5V e GND) e o retorno de sinal dos sensores. Para este chicote optou-se por usar os conectores com *Key 3* e cor Amarela, que está ilustrado na Figura 36.
- **Chicote Digital:** O chicote digital abrange todos os sensores digitais, protocolos de comunicação e entradas e saídas de uso geral. Definiu-se que esta parte da fiação será realizada com conectores *Key 4* e cor Verde ilustrado na Figura 37.
- **Chicote de alimentação:** Para os fios de alimentação que irão fornecer corrente para o PRDA1, será utilizado um conector *Key 1* de cor Vermelha, ilustrado na Figura 38.



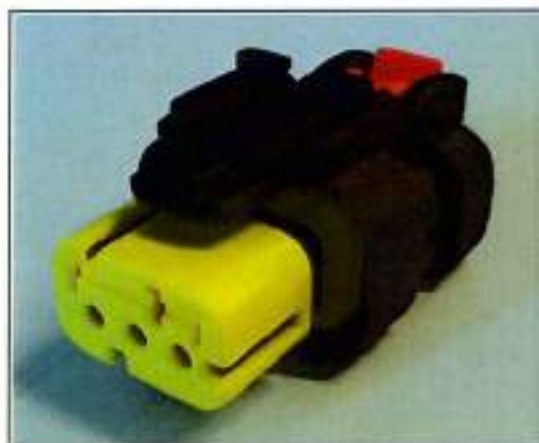


Figura 36: Conector AMPSEAL de 3 vias Key 3 para chicote analógico



Figura 37: Conector AMPSEAL de 3 e 2 vias Key 4 para chicote digital

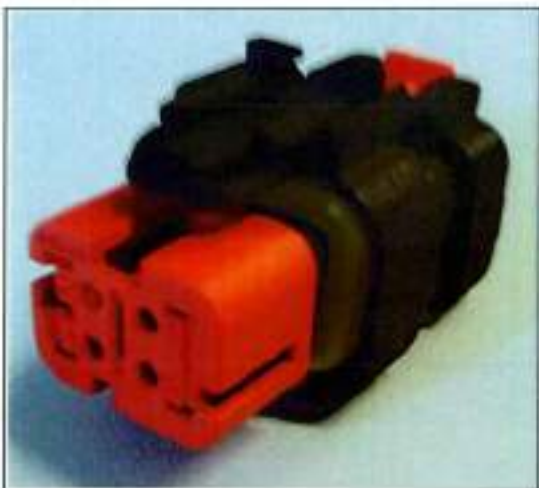


Figura 38: Conector AMPSEAL de 4 vias Key 1 para alimentação

## 4 Produção do módulo PRDA1

N<sup>O</sup> CAPÍTULO 3 foram apresentados todas as decisões e pesquisas de engenharia que deram origem ao esquema elétrico e placa de circuito impresso do PRDA1. Nesta etapa do texto será apresentado todo o processo produtivo do módulo e as tecnologias utilizadas.

### 4.1 Placa de circuito impresso

P<sup>ARA</sup> A PRODUÇÃO do painel de placas de circuito impresso foram contratados os serviços da *Micropress S.A.*. Foi executado um painel com 4 unidades do módulo PRDA1, cada uma com quatro camadas e dimensões de  $165\text{mm} \times 130\text{mm}$ , apresentados nas Figuras 39, 40.

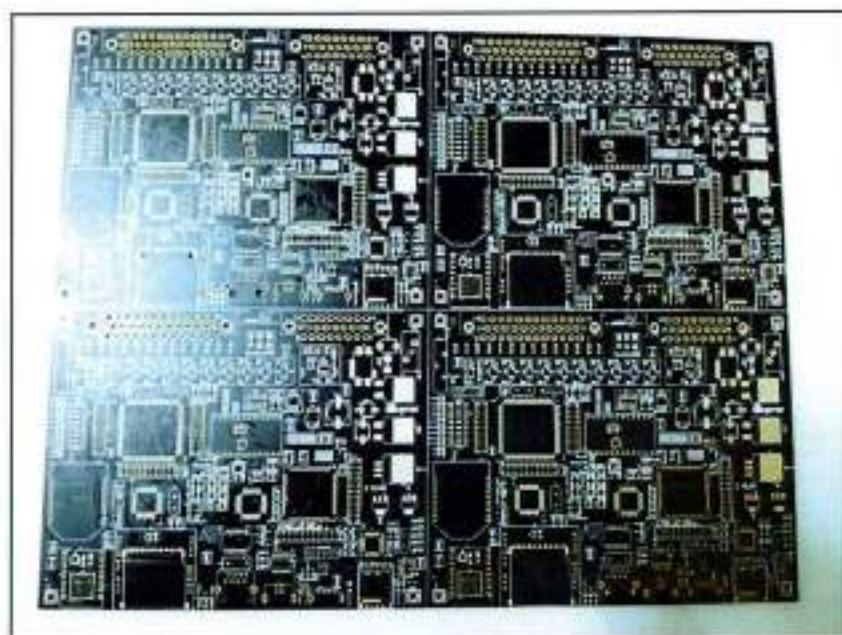


Figura 39: Painel de placas - Vista Superior



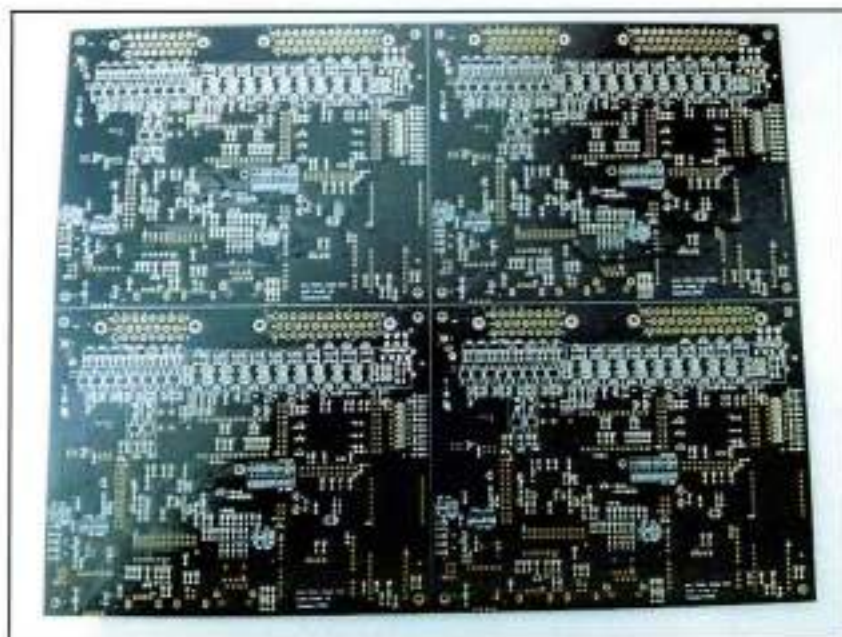


Figura 40: Pannel de placas - Vista Inferior

Após recebido o painel foi feita uma inspeção visual à procura de problemas óbvios que pudessem ter ocorrido durante a fabricação das placas, mas nada foi encontrado. Partiu-se então para uma montagem de teste para confirmar se os componentes fornecidos estavam de acordo com os padrões que foram gerados no layout. Pode-se concluir que não haviam problemas com os *footprints* dos conectores e alguns dispositivos. Na Figura 41 e 42 a seguir está apresentada uma parte deste teste.



Figura 41: Montagem de teste dos componentes



Figura 42: Montagem de teste dos componentes

## 4.2 Montagem do módulo PRDA1

Depois das verificações discutidas anteriormente deu-se início à solda dos componentes, que foi dividida em duas etapas: a Montagem Automática e a Montagem Manual.

É muito importante salientar que nesta etapa o auxílio do especialista no maquinário presente na Escola Politécnica da USP, o Sr. Valtemar Cardoso, foi de suma importância e o que tornou possível o uso deste tipo de tecnologia.

### 4.2.1 Montagem Automática

Parte do processo de construção da eletrônica do PRDA1 foi realizado utilizando-se de maquinário topo de linha em termos de montagem SMD, presente nos laboratórios do LSITec na Escola Politécnica da USP.

O processo de montagem ocorreu em duas etapas, a Final e a de Testes e Configuração, descritas abaixo:

A etapa de testes tinha por finalidade gerar o programar da *P&P* com todos os dados de dimensões de componentes, quantidades, dimensões de fitas e escolha de *nozzles* da máquina, bem como fazer um montagem de teste com uma placa adesivada com fita dupla face para verificar coordenadas e alinhamento de componentes.

Abaixo estão enumerados os passos realizados na Etapa de Testes e Configuração.

1. Gerar programa da *Pick & Place* com:

- Coordenadas dos componentes - Veja Apêndice F.



- Dados das fitas dos componentes como Largura e Passo - Veja Anexo G como ilustração .
  - Encapsulamentos dos componentes - Dimensões mecânicas em geral, número de pinos e tipo de encapsulamento (BGA, QFN, QFP, etc).
  - Bocais (*nozzles*) a serem utilizados para pegar os componentes.
  - Dimensões da placa.
  - Força a ser utilizada no posicionamento.
2. Compilar, verificar o posicionamento (ângulo de montagem e coordenada) e fazer alterações conforme necessário
  3. Após finalizada as etapas anteriores, montar as fitas dos componentes nos alimentadores (*feeders*) das 4 mesas (*Tables*) da P&P conforme indicado pela compilação do programa.
  4. Enviar o programa para a P&P para que seja feito o ajuste da correia de transporte (*conveyor belt*).
  5. Fornecer uma placa do PRDA1 para a máquina a fim de sejam reconhecidos os fiduciais e as coordenadas ajustadas com base nas medições do sistema de visão do equipamento deste ponto.
  6. Fazer o reconhecimento dos componentes um a um com o sistema de visão para calibração.
  7. Aplicar fita dupla face na placa e fazer uma montagem de teste (*trial run*) para verificar se tudo está correto e funcionando devidamente.

As máquinas de montagem SMT que estão presentes no Prédio Verde da Poli-USP e que serão utilizadas na montagem estão descritas abaixo na Tabela 5 e 6.

**Tabela 5:** Máquina de montagem SMT Panasonic CM402-L

Panasonic CM402-L High Speed	
<i>Número de nozzles</i>	8
<i>Segundos por componente</i>	0,06 segundos/chip
<i>Tempo de troca de PCB's</i>	0,9 segundos
<i>Resolução de posicionamento</i>	$\pm 0,05\text{mm}$
<i>Dimensão mínima de componente</i>	0201 (0603 metric)

**Tabela 6:** Máquina de montagem SMT Panasonic DT401-F

Panasonic DT401-F High Precision	
<i>Número de nozzles</i>	3
<i>Segundos por componente</i>	0,7 segundos/chip
<i>Tempo de troca de PCB's</i>	0,9 segundos
<i>Resolução de posicionamento</i>	$\pm 35\mu\text{m}$
<i>Dimensão mínima de componente</i>	0201 (0603 metric)

Mais informações sobre as máquinas estão nos Anexos H e I.

Na Figura 44 temos uma imagem do momento em que os fiduciais estavam sendo reconhecidos pelas máquinas de montagem para correções e calibrações nas coordenadas, e na Figura 43 temos uma imagem das máquinas na linha de produção do Prédio Verde.

**Figura 43:** Máquinas Panasonic da Linha SMT do Prédio Verde**Figura 44:** Reconhecimento de fiduciais



Após todas as preparações citadas acima, foi feita a montagem de teste com a fita dupla face para verificar as coordenadas e orientação dos componentes. Na Figura 45 temos a placa com a fita dupla face preparada e esperando pela montagem e na Figura 46 temos a imagem da placa montada. Após este processo foi possível notar que a grande maioria dos componentes estavam rotacionados de 90 graus e que o componente U10 estava com as coordenadas erradas.



Figura 45: Placa com fita dupla face preparada para montagem



Figura 46: Placa com dupla face montada

Após todas as correções necessárias, partiu-se para a Montagem Final e solda dos componentes. Esta etapa consistiu dos seguintes passos:

1. Impressão de pasta de solda na placa através do estêncil e da impressora de pasta
2. Inspeção da pasta de solda através de microscópio
3. Montagem de componentes na Pick & Place de alta velocidade

4. Montagem de componentes na Pick & Place de alta precisão
5. Inspeção dos componentes posicionados através de microscópio
6. Colocação de componentes de forma manual
7. Passagem pelo Forno de Refluxo
8. Inspeção final da placa no microscópio

Para a impressão de pasta fez-se uso da impressora de pasta SP60P-M da Panasonic. Alguns dados da máquina e parâmetros utilizados no processo da impressão do PRDA1 encontram-se na Tabela 7 abaixo. Mais detalhes sobre a máquina em si estão no Anexo J. Na Figura 47 é apresentada uma foto da impressora de pasta.

**Tabela 7:** Impressora de pasta Panasonic SP60P-M

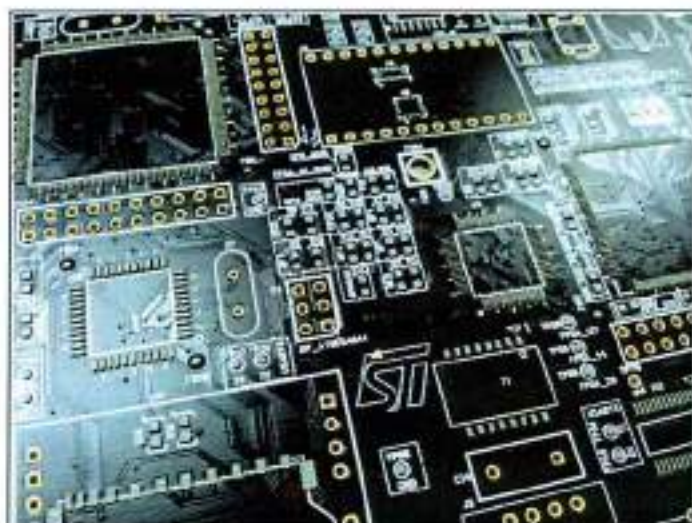
Panasonic SP60P-M	
<i>Segundos por componente</i>	0,7 segundos/chip
<i>Tempo de preparação para impressão</i>	6 segundos
<i>Resolução de posicionamento</i>	$\pm 25\mu\text{m}$
<i>Pressão utilizada</i>	$25\text{N/mm}^2$
<i>Velocidade do rodo (squeegee)</i>	$50\text{mm/s}$
<i>Ângulo do rodo (squeegee)</i>	60 graus





**Figura 47:** Impressora de pasta Panasonic SP60P-M

Após a impressão da pasta de solda na placa de circuito foi feita uma inspeção visual e microscópica para verificar a qualidade do processo. Na Figura 48 temos uma imagem feita com uma câmera fotográfica, e nas Figuras 49,50,51 fotos adquiridas com um microscópio *Leica S8AP0*.



**Figura 48:** Placa de circuito com solda impressa

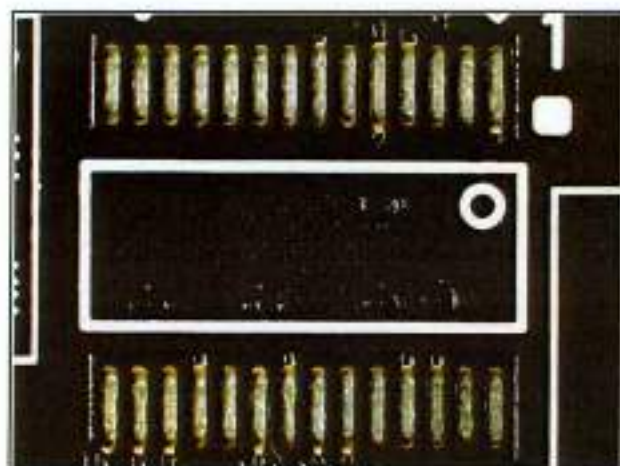


Figura 49: Componente SSOP28 com solda em seus *pads*

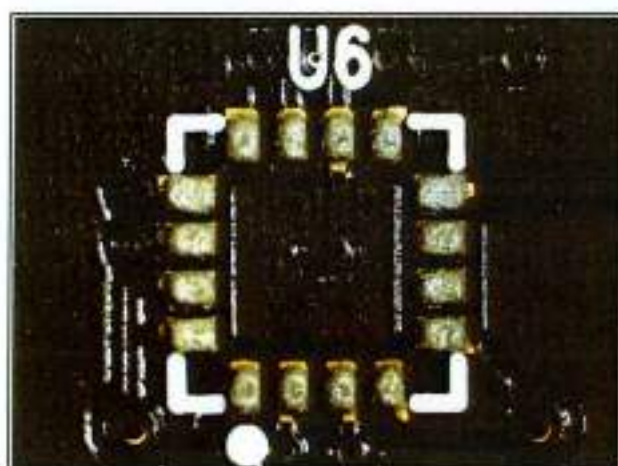


Figura 50: Componente QFN com solda em seus *pads*

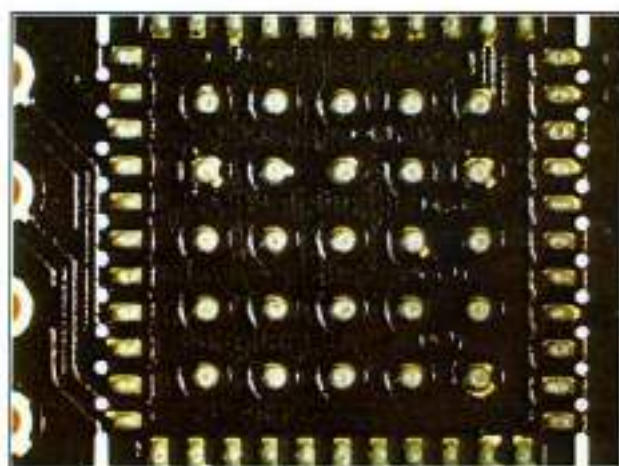


Figura 51: Componente BGA com solda em seus *pads*

Após verificada a qualidade da aplicação da pasta, foi realizado o processo de mon-



tagem com a *P&P* e, antes de se entregar os componentes para o forno, verificou-se novamente o posicionamento e a pasta com o auxílio do microscópio.

Nas Figuras 52 e 53 abaixo estão algumas imagens desta etapa.

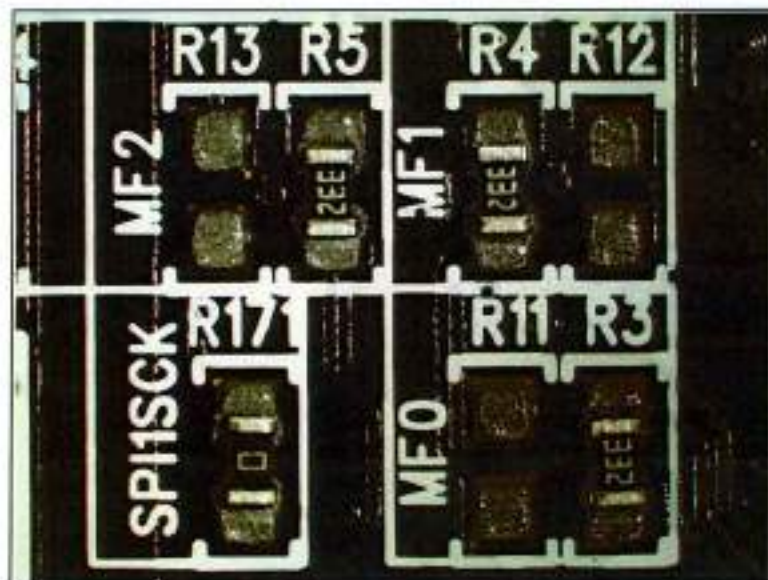


Figura 52: Resistores aplicados sobre a pasta

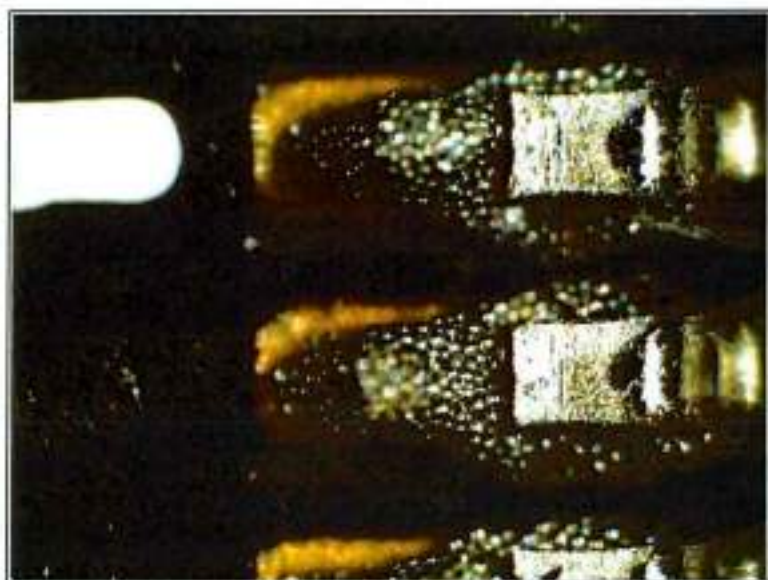


Figura 53: Componente QFP aplicado sobre a pasta

Para finalizar o processo de montagem das placas foi utilizado um forno de refluxo da *Vitronics*, modelo *XPM*<sup>2</sup>. Mais informações sobre este equipamento podem ser encontradas no Anexo K.

O forno possui 13 regiões de temperatura e o perfil térmico utilizado no processo está

apresentado na Tabela 8 abaixo. Na Figura 54 temos uma imagem da tela de configuração em que o perfil é apresentado graficamente.

Neste ponto do processo alguns componentes foram colocados manualmente na placa para aproveitar a pasta e a passagem pelo forno. Alguns exemplos são: Conectores de cartão de memória, Filtro EMI, Capacitores, Reguladores de tensão, *LED's*, etc.

**Tabela 8:** Perfil térmico de temperatura do *XPM*<sup>2</sup>

Perfil de Temperatura		
<i>Região</i>	<i>Tipo</i>	<i>Temperatura (Celsius)</i>
<i>Região 1</i>	Aquecimento	90
<i>Região 2</i>	Aquecimento	110
<i>Região 3</i>	Aquecimento	140
<i>Região 4</i>	Aquecimento	180
<i>Região 5</i>	Aquecimento	210
<i>Região 6</i>	Aquecimento	240
<i>Região 7</i>	Aquecimento	260
<i>Região 8</i>	Aquecimento	240
<i>Região 9</i>	Aquecimento	210
<i>Região 10</i>	Aquecimento	180
<i>Região 11</i>	Resfriamento	90
<i>Região 12</i>	Resfriamento	70
<i>Região 13</i>	Resfriamento	60



**Figura 54:** Tela de configuração do forno *XPM*<sup>2</sup>

Ao fim do processo obtivemos uma placa parcialmente montada e soldada com os



componentes mais críticos realizados com extrema precisão e confiabilidade, além dos componentes que apresentavam grande volume de fita (*Tape*) para serem alimentados na máquina. Abaixo, na Figura 55, temos uma imagem da placa.



**Figura 55:** Uma placa finalizada pelo processo de montagem automático

Todo este trabalho de automação, realizado junto com o Sr. Valtemar, tutor do aluno durante toda a montagem, programação e configuração das máquinas, foi de grande valia para o crescimento profissional. Foi possível adquirir uma vasta experiência de como são realizados os processos de montagem na indústria eletrônica atual, se familiarizar com equipamentos industriais topo de linha, além de vivenciar na prática toda a etapa de preparação e montagem e os problemas que ocorrem neste período.

#### 4.2.2 Montagem Manual

Após finalizada a montagem com a *P&P*, ainda existia a parte inferior da placa para ser soldada, a qual apresenta mais de 300 componentes entre resistores e capacitores dos mais variados valores. Devido à miríade de componentes e a pouca quantia de alguns (pode-se ter apenas 1 de um determinado tipo), a montagem automática não seria interessante pois são componentes que podem ser soldados manualmente sem prejuízo de precisão e alinhamento, além de que não irão consumir dias de programação e configuração das máquinas. Outro fator relevante seria a produção de um estêncil para ser utilizado na impressora de pasta com a camada inferior do circuito, que acarretaria em um acréscimo de custo no projeto de mais de R\$850,00.

Assim, para a realização da solda manual, as placas foram enviadas para a empresa **Lynx Tecnologia** onde existe pessoal especializado e todos os produtos são montados manualmente por pessoas extremamente capacitadas e treinadas.

Foram entregues todos os componentes que ainda não estavam soldados, desde capacitores e resistores até conectores automotivos e soquetes de bateria, para a montadora de engenharia, a Sr. Ana, que executou o processo de solda com maestria.

Abaixo temos algumas imagens da placa finalizada e pronta para ser ligada pela primeira vez.

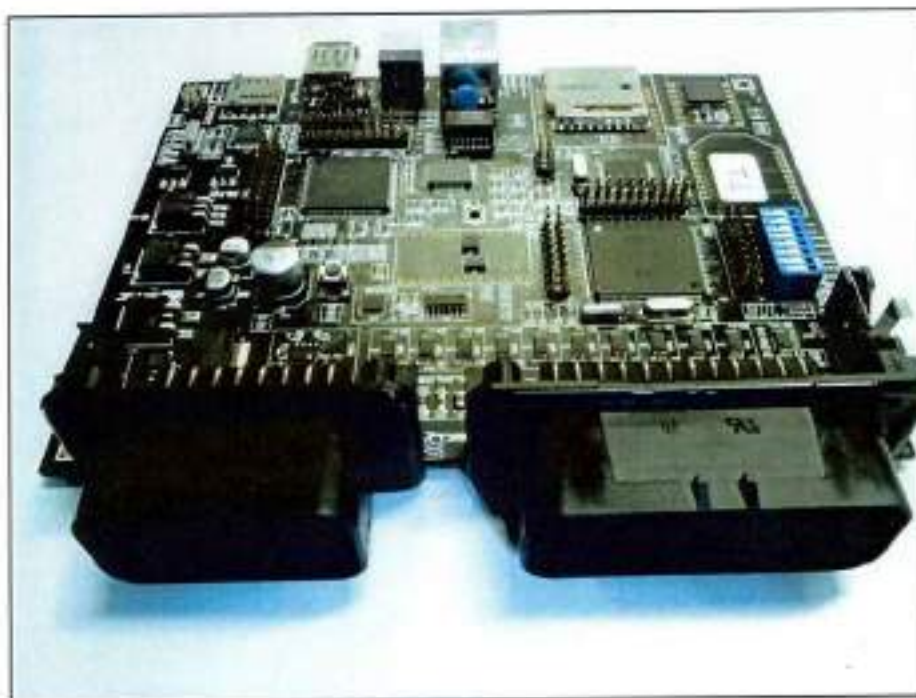


Figura 56: Placa do módulo PRDA1 finalizada - 1



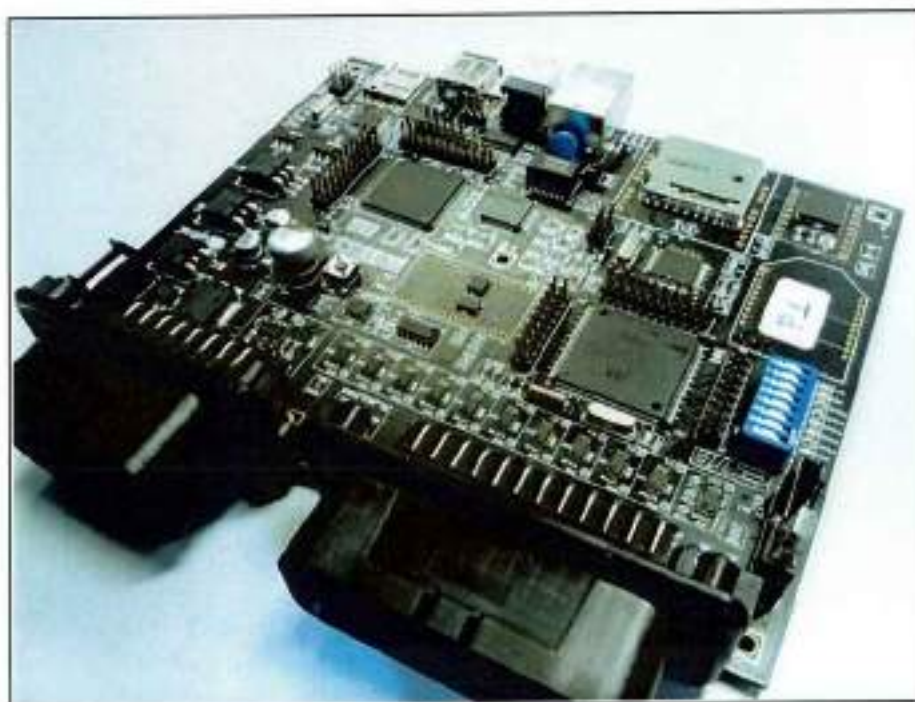


Figura 57: Placa do módulo PRDA1 finalizada - 2

#### 4.2.3 Fabricação da caixa metálica do PRDA1

A caixa metálica foi fabricada na empresa de usinagem USIMAN através de processos de usinagem CNC. Nas Figuras 58, 58 e 58 abaixo temos algumas imagens do *enclosure* do PRDA1 montado sem a tampa traseira e já com as antenas de telemetria e GPS.



Figura 58: Vista da caixa do PRDA1 montada - 1



**Figura 59:** Vista da caixa do PRDA1 montada - 2



**Figura 60:** Vista da caixa do PRDA1 montada - 3

Após verificado que todos a partes da caixa estavam corretas, a mesmo foi enviada para anodização. O resultado final está apresentado nas Figura 61, 62, 63 e 64 abaixo.





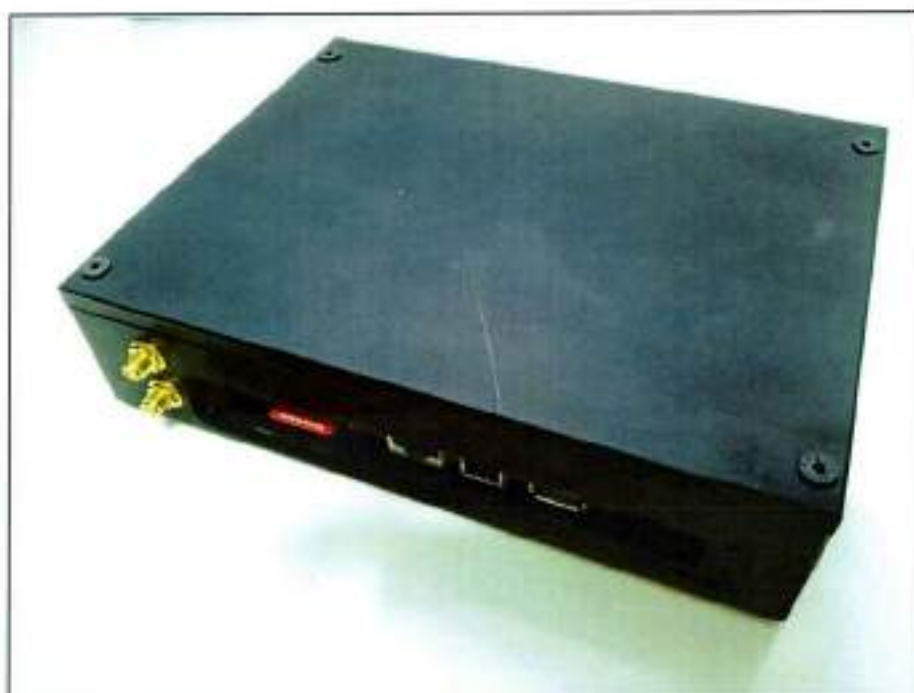
Figura 61: Tampa da caixa anodizada



Figura 62: Parte inferior da caixa anodizada



**Figura 63:** Caixa anodizada montada



**Figura 64:** Caixa anodizada montada - 2

#### 4.2.4 Fabricação do chicote do PRDA1

O chicote de sensoriamento do PRDA1 foi desenvolvido utilizando-se técnicas realizadas em carros de *motorsports* e que já foram executadas pelo aluno em seu período de



envolvimento com a Equipe Poli Racing na fabricação dos diversos protótipos já produzidos.

Após a elaboração do esquema elétrico, escolha dos conectores, contatos e cores de fios, a etapa de fabricação foi realizada em diversas etapas e idênticas para cada chicote do PRDA1, o Analógico e o Digital. São elas:

1. Corte dos fios no comprimento especificado
2. Crimpagem e finalização com estanho dos contatos
3. Colocação de termo-retrátil
4. Redução dos tubos contráteis com o auxílio de *heat gun*
5. Identificação dos fios com etiquetas impressas e termo-contrátil transparente
6. Montagem dos contatos nos respectivos conectores
7. Montagem de *strain relief* próximo aos conectores

Na Etapa 1 o comprimento dos fios foi escolhido arbitrariamente pelo aluno, já que a terminação dos chicotes digital e analógicos são fêmeas e necessitam de uma contra parte macho. Assim, quando for necessário a utilização de um determinado canal AD, barramento de comunicação ou outro tipo de acesso ao módulo provido pelo chicote, o usuário poderá fabricar a contra parte macho nas medidas que necessitar apenas descontando o tamanho já fornecido pelo chicote atual.

A finalização dos contatos com estanho na Etapa 2 é necessária devido ao fato de não terem sido utilizados as ferramentas de crimpagem específicas determinadas pelos fabricantes dos conectores. Esta decisão foi baseada no fato destas ferramentas serem extremamente caras e de uso esparso. Como a crimpagem utilizando-se alicates comuns não obtém uma resistência à tração elevada, é aplicado estanho entre o fio de cobre e o metal do contato para se formar uma solda resistente e que sobreviva às condições de uso, que são: vibrações e temperaturas elevadas, conexão e desconexão constante dos plugues.

A utilização de termo contráteis na fabricação aumenta a rigidez do chicote tornando-o menos propenso a dobras e quebra de condutores por fadiga de movimento no manuseio ou montagem, devido ao fato de raio de curvatura necessário ser maior. Outra vantagem dos tubos contráteis é a capacidade de fornecer maior resistência a cortes, seja por contato com determinadas partes afiadas da lataria do veículo ou por acidentes de qualquer natureza. Também há o fato de a decapagem da isolação por atrito com superfícies ásperas ser mais difícil de ocorrer.

Para facilitar o manuseio e tornar a fiação ainda mais profissional é feito o uso de etiquetas identificadoras em cada fio (Figura 65), através da impressão do nome em questão e aplicação do termo retrátil sobre ela a fim de fornecer proteção contra as intempéries.

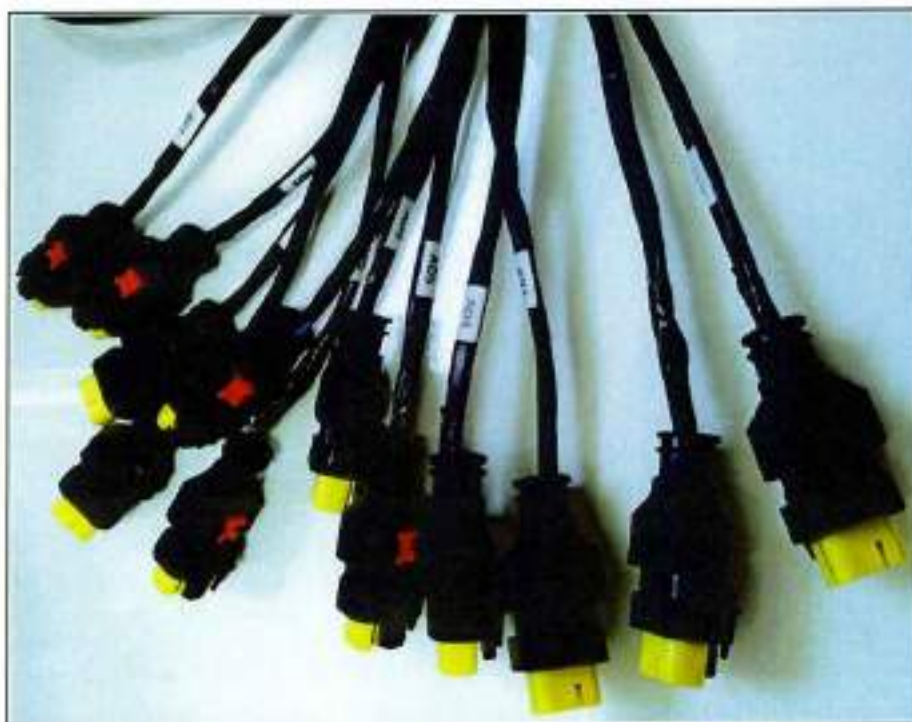
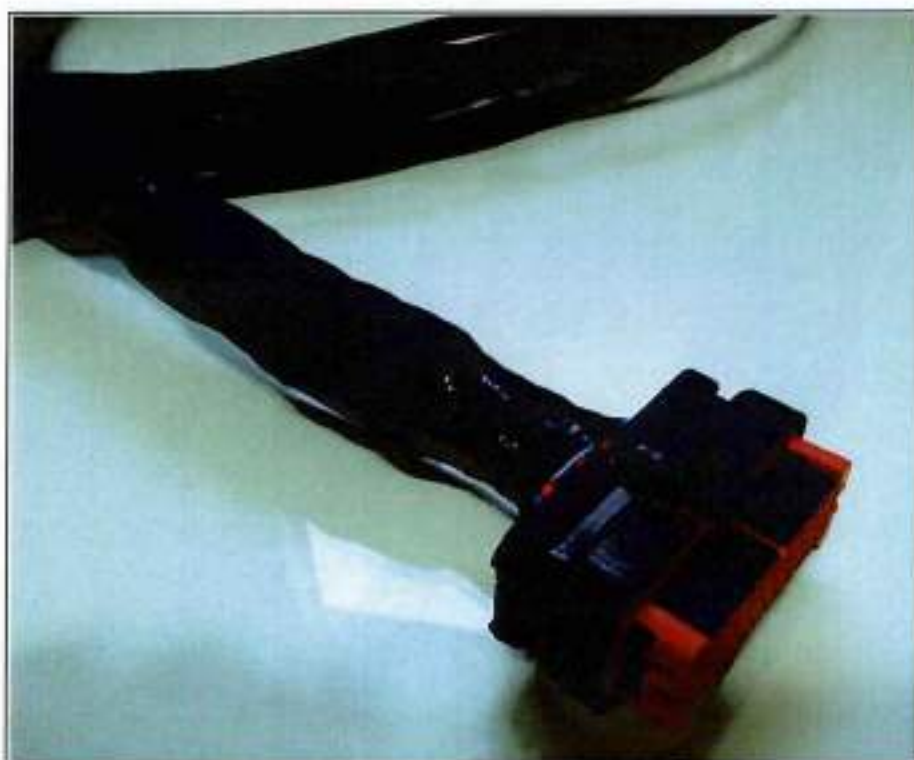


Figura 65: Etiquetas identificadoras dos fios

Por fim, é realizada a montagem dos contatos em suas devidas cavidades dos contatos e aplicado um *strain relief* para evitar dobras constantes próximas aos conectores que possam causar quebra de condutores e/ou rompimento dos fios por fadiga. No caso do chicote do PRDA1 foram utilizadas *backshells* específicas esta família de conectores automotivos e uma manta plástica resistente específica para chicotes, mostrada na Figura 66. As *backshells* foram aplicadas nas ramificações menores e a manta próxima ao conector central do chicote.





**Figura 66:** Conector raiz do chicote analógico

Na Figura 67 temos o chicote analógico finalizado.



**Figura 67:** Chicote analógico finalizado

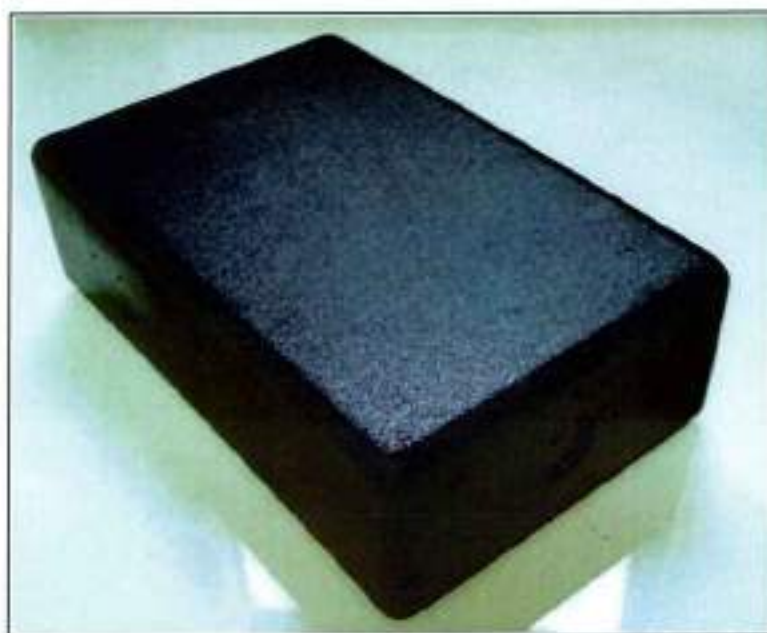
### 4.2.5 Receptor de dados de telemetria

Para ser instalado junto ao computador que irá receber os dados gerados pelo PRDA1, foi fabricada uma caixa plástica receptora de telemetria com as seguintes finalidades:

- Abrigar o módulo XBee da estação fixa que irá receber os dados do PRDA1
- Abrigar o adaptador USB-Serial utilizado para comunicação com o módulo XBee
- Fornecer suporte mecânico para a antena de recepção
- Permitir fácil manuseio e transporte de todos os equipamentos citados acima

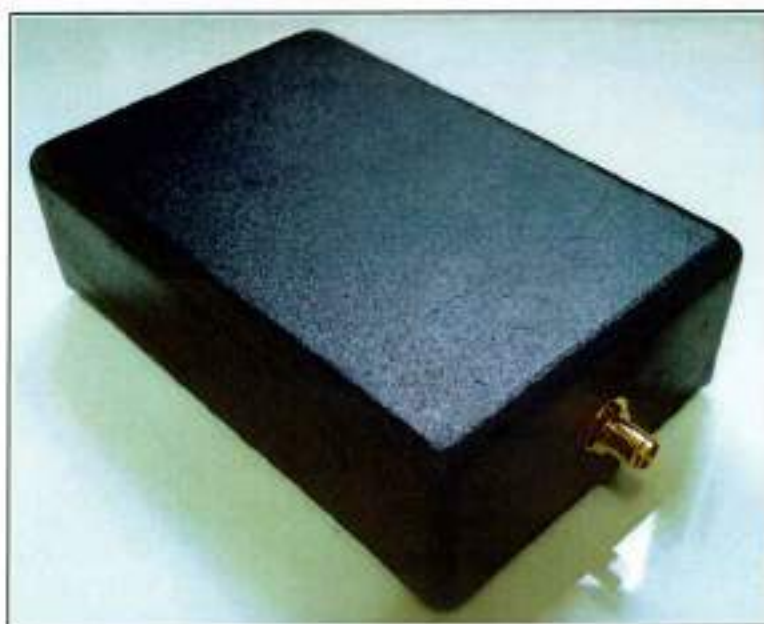
Para manter o custo baixo e facilitar a construção foi utilizada uma caixa plástica, amplamente disponível em lojas do centro comercial da Santa Efigênia. Este tipo de caixa não prejudica a integridade dos componentes devido ao fato de ficar localizada próximo a um computador e não estar sujeita a nenhum tipo de esforço ou agressão ambiental.

A caixa em questão está mostrada em detalhes nas Figuras 68, 69 e 68 abaixo.

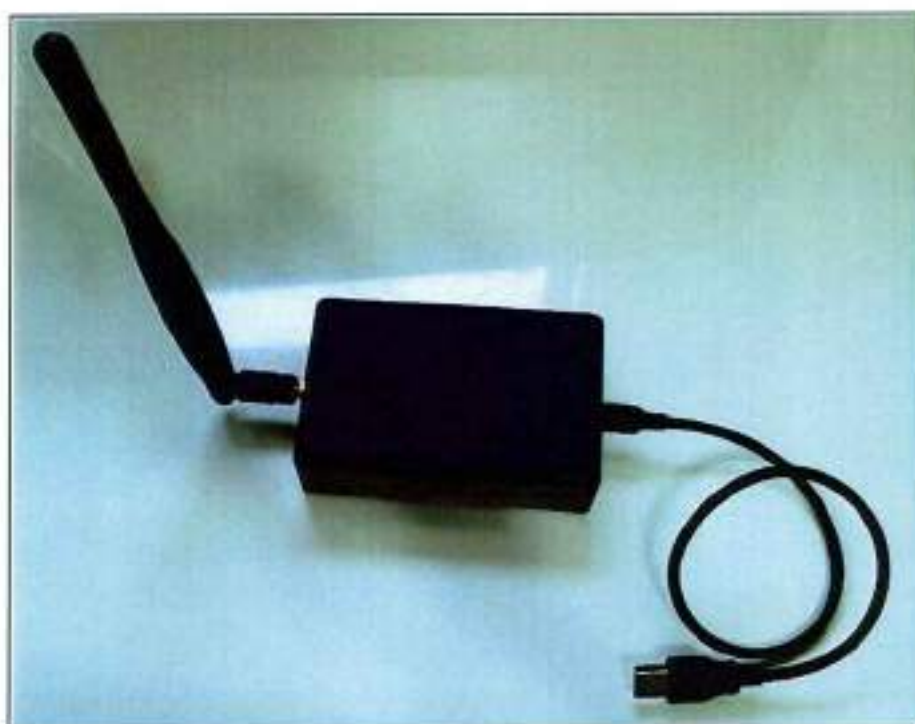


**Figura 68:** Caixa de telemetria do box - 1





**Figura 69:** Caixa de telemetria do box - 2



**Figura 70:** Caixa de telemetria completa

## 5 Custos do PRDA1

NESTE CAPÍTULO estão detalhados os custos envolvidos no projeto do módulo PRDA1. São apresentados todos os montantes envolvidos na compra de componentes, produção de placas de circuito, estêncil de impressão de pasta e valores obtidos através de fornecimento de componentes e/ou apoio financeiro por patrocinadores.

É importante ressaltar que os custos discriminados aqui englobam apenas componentes e serviços de terceiros. Estão excluídos desta conta os custos com licenças de *software*.

### 5.1 Custos de produção

ATRAVÉS DE FERRAMENTAS do próprio *software Altium Designer* foi possível gerar uma lista dos materiais que são necessários para a montagem de uma (1) unidade do sistema completo mais o seu chicote. Esta lista foi transcrita para uma tabela e complementada com o custo e quantias parciais de cada componente, quantia total de componentes utilizados e o valor total final. O valor total do *Bill of Materials* é de US\$315,55 e a lista completa se encontra no Apêndice B. Como foram produzidos três módulos para o projeto, o preço total de componentes segundo o *B.O.M.* é de US\$946,65.

Vale ressaltar que esta precificação se baseia em valores monetários de dólar americano, isso ocorre devido ao fato de muito componentes não existirem no mercado brasileiro. Desta forma, todos os materiais foram precificados segundos sites de *e-commerce* americanos, principalmente Digikey e Mouser Electronics, onde alguns componentes foram adquiridos.

Para fins de elaboração de uma tabela de custos totais foi simulada a importação dos componentes diretamente dos Estados Unidos, para a montagem de 3 módulos, partindo-se dos seguintes pressupostos:

- ICMS para o Estado de São Paulo com transporte via courier: 18%
- Frete: US\$40,00



- Imposto de importação: 60%
- Total dos produtos: US\$1742,49
- Cotação do dólar: 2,0944

Com estas informações chega-se aos seguintes valores apresentados na Tabela 9:

**Tabela 9:** Custos com importação de componentes eletrônicos e de chicote

Descrição	Valores totais
<i>Valor sem imposto</i>	R\$3732,83
<i>Valor sem imposto sobre o frete</i>	R\$7203,88
<i>Valor com imposto sobre o frete</i>	R\$7283,57

O valor dos componentes utilizado na Tabela de Custos totais (Tabela 10) do sistema é o que leva em conta o frete no cálculo do imposto de importação.

**Tabela 10:** Descrição dos custos do projeto

Descrição	Valores totais
<i>Estêncil de impressão de pasta</i>	R\$897,75
<i>Placa de circuito impresso</i>	R\$1580,66
<i>Componentes eletrônicos</i>	R\$3910,79
<i>Projetista de PCB</i>	R\$1000,00
<i>Componentes do chicote</i>	R\$3415,77
<i>Montagem manual de componentes</i>	R\$500,00
<i>Fabricação da caixa metálica</i>	R\$480,00
<i>Anodização da caixa</i>	R\$60,00
<i>Total geral</i>	R\$11844,97

Nota-se pela tabela anterior que os componentes eletrônicos são os responsáveis pela maior parcela do montante total, com 33,01%, seguidos dos componentes do chicote com 28,83% o que motivou uma prospecção de patrocinadores interessados no projeto, incluindo a própria Equipe Poli Racing. Na Tabela 11 estão apresentados os valores fornecidos por estas empresas e o tipo de apoio.

Tabela 11: Valores totais de apoio e patrocínio para três unidades do PRDA1

Empresa	Tipo de apoio	Economia gerada
<i>STMicroelectronics</i>	Componentes	R\$961,02
<i>TE Connectivity</i>	Componentes	R\$3415,77
<i>Equipe Poli Racing</i>	Financeiro	R\$2000,00
<i>Departamento de Sistemas Eletrônicos</i>	Financeiro	R\$647,21
<i>Total</i>	-	R\$7024,00

Portanto, o valor total de material para a produção dos módulos obtidos a custo zero corresponde a 59,29% do montante final do projeto. É importante ressaltar que sem os apoios destas empresas, da Equipe Poli Racing e do Departamento de Sistemas Eletrônicos o projeto não teria sido viável.



## 6 Software

ESTE CAPÍTULO irá descrever as funcionalidades do *firmware* embarcado no microcontrolador central do PRDA1 bem como o software de recepção de dados para um computador pessoal. O *firmware* desenvolvido para o PRDA1 até o momento apresenta diversas funcionalidades que permitem tanto o debug de software, diagnóstico de hardware e seu uso como um sistema executivo de aquisição de dados. O software será descrito baseado nas interfaces de comunicação que o módulo possui e que foram implementadas nesta função, além de outros periféricos que estão sendo utilizados. Também será apresentado o software de recepção dos dados de telemetria e exibição dos mesmos.

### 6.1 Firmware

O *firmware* do PRDA1 apresenta um sistema executivo rodando continuamente e que amostra os canais analógicos escolhidos com uma frequência de 1kHz, além de adquirir dados via barramento de comunicação  $I^2C$  dos sensores embarcados na eletrônica e se comunicar com FPGA para ler os dados digitais medidos por ela.

Este sistema executivo possui um interface de *debugging*, configuração e diagnose construída sobre um periférico USART operando a 57600 bps e através de um circuito integrado FT232RL. Este componente faz uma das portas USB do computador se apresentar como serial, tornando seu uso extremamente simples e fácil.

Esta interface de comunicação mostra todos os passos de *power-up* da eletrônica conforme os periféricos são ligados, além do resultado de configuração de outros componentes externos ao microcontrolador ARM através de mensagens de texto, que podem ser interpretadas pelo usuário para a detecção de problemas e análise de seu funcionamento.

Após toda a inicialização do hardware, esta interface se torna um menu de comandos para o PRDA1, recebendo caracteres enviados pelo usuário do PC que está conectado a ela, realizando determinadas configurações e testes pré definidos no momento da geração do código C do STM32F407. Na Figura 71 é mostrada uma captura dessa interface de texto após uma inicialização bem sucedida do *hardware*. Alguns exemplos de comandos

que podem ser enviados para o módulo estão listados abaixo, estes comandos consistem em caracteres do teclado.

- 's': Apresenta 10 amostras dos 12 canais analógicos do módulo.
- 'm': Realiza a leitura dos sensores de temperatura do acelerômetro e giroscópio da placa através do barramento de  $I^2C$  interno e apresenta na tela.
- 'W': Obriga o hardware a se reiniciar por *watchdog*.
- 'i': Varre os endereços de  $I^2C$  no barramento interno do PRDA1 e mostra quais dispositivos estão conectados.
- 't': Realiza a leitura do *Real Time Clock* interno ao ARM e apresenta na tela.
- 'a': Realiza leituras dos valores de aceleração que o módulo está sendo submetido.

Os comandos 's', 't', 'i', 'a' e 'm' foram solicitados e suas saídas na janela de terminal estão apresentados na Figura 72.



Figura 71: Janela de terminal com os comandos de diagnose enviados pelo PRDA1 na inicialização do *hardware*



```

COM6:57600baud - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
Samples REC: 6976
Ch0, Ch1, Ch2, Ch3, Ch4, Ch5, Ch6, Ch7, Ch8, Ch9, Ch10, Ch11, Ch12, Ch13, Ch14
877, 33, 32, 1511, 6, 24, 2009, 33, 34, 24, 25, 19, 36, 33, 35
878, 33, 32, 1511, 24, 44, 2006, 32, 33, 27, 26, 27, 50, 43, 50
877, 0, 6, 1511, 36, 34, 2008, 6, 41, 36, 30, 32, 34, 38, 38
877, 10, 30, 1512, 33, 58, 1972, 32, 33, 18, 20, 28, 25, 28, 28
875, 12, 33, 1511, 4, 25, 2006, 43, 52, 23, 24, 24, 20, 30, 32
877, 0, 6, 1511, 6, 20, 2005, 21, 34, 10, 32, 31, 34, 36, 36
874, 2, 25, 1511, 2, 18, 2009, 24, 27, 40, 32, 36, 38, 32, 32
877, 15, 41, 1512, 0, 25, 1975, 16, 19, 34, 30, 32, 6, 11, 32
877, 12, 38, 1511, 4, 23, 2008, 20, 29, 23, 24, 24, 35, 32, 34
879, 9, 27, 1512, 20, 46, 1971, 32, 34, 30, 30, 30, 51, 47, 40
RTC: Time is [1:58:4.12] Date is [Sunday, 2011-5-11]
I2C sweep looking for devices
.....
Device D032 - 55 - I2C device found !
.....
Device D03C - 68 - I2C device found !
.....
Device D006 - 214 - I2C device found !
Acc data: X: -160 64 Y: 0 0 Z: 8064
Reg data: X: -25112 Y: 12081 Z: -27905 TEM: 30

```

Figura 72: Comandos 's', 't', 'i', 'a' e 'm' solicitados ao PRDA1 e suas saídas

Além dos comandos via teclado, o módulo apresenta um *Dip Switch* de 8 posições, 4 para o *ARM* e 4 para a *FPGA*. A cada uma destas chaves conectadas ao *ARM* foi atribuída uma função em software, que estão descritas abaixo:

- **'SW1 ligada e SW2 desligada'**: Faz com que as mensagens enviadas pelo GPS para o *ARM* sejam retransmitidas para a tela de debug do terminal do PC.
- **'SW1 e SW2 ligadas'**: Faz com as mensagens recebidas do *XBee* sejam redirecionadas para a tela de *debug*. O mesmo vale para as mensagens enviadas pelo terminal, que agora são enviadas diretamente para o *XBee*.
- **'SW1 desligada e SW2 ligada'**: Realiza *echo* na via de comunicação do *XBee*. Todo o dado recebido por ele e enviado para o *ARM* é devolvido para transmissão. Esta função é útil para o teste de alcance e conectividade do sistema.
- **'SW3'**: Redireciona os dados que seriam enviados pela telemetria para a *Serial de Debug*.



- 'SW4': Sem uso até o momento.

Enquanto nenhum destes comandos ou chaves são ativados ou enviados, a eletrônica continua executando a amostragem, gravação dos dados e envio dos mesmo por XBee continuamente.

Para a aquisição dos sinais analógicos via conversores AD, foi utilizado um *Timer* interno do microcontrolador para gerar a base de tempo que fornece 1kHz. Este *timer* então dispara a conversão dos canais analógicos, que foram configurados para funcionarem automaticamente por DMA realizando o seguinte procedimento:

1. Amostrar um canal
2. Mudar o canal
3. Amostrar novo canal
4. Repetir até o último canal
5. Gravar os dados por DMA na memória
6. Repetir esse processo (1 a 5) 10 vezes
7. Notificar o processador da presença de novas amostras

Assim que o processador é notificado destas novas amostras a 100Hz, ocorre o tratamento das mesmas com um filtro digital configurável, que por simplicidade foi definido como uma média aritmética do número de amostras.

Essa abordagem é satisfatória, pois pode permitir um recobrimento (*aliasing*) do espectro dos sinais amostrados, devido às características de espectro de frequências dos sinais analógicos externos. No futuro, deseja-se implementar uma filtragem digital mais seletiva, de maior ordem, com filtros FIR ou IIR de ordem adequada.

Para a leitura dos dados digitais oriundos da FPGA foi implementada uma memória internamente à mesma, desta forma pode-se utilizar a interface *Flexible Static Memory Controller* (FSMC) do ARM, que faz todo o acesso e controle de *timing* e linhas de controle via hardware, sem a necessidade de interrupção do processador ou carga de software.

Outra função muito importante que o *firmware* do ARM do PRDA1 desempenha é a programação da memória volátil da FPGA. Após ser projetada a lógica interna a ser executada pela FPGA no software *ISE Design Suite 14.1* da *Xilinx Inc.*, foi feita a síntese de hardware, produzindo um código binário representando essa lógica. Tal

código foi embutido dentro do programa do microcontrolador *ARM*, ficando armazenada em sua memória *FLASH* de programa de dados. Quando a eletrônica é inicializada estes dados são transmitidos do *ARM* para a *FPGA* via *SPI* e, caso a programação seja aceita, um sinal de retorno é gerado para o microcontrolador. Na Figura 73 é apresentada uma pequena parte do projeto, que mostra o bloco de memória gerado e implementado na *FPGA*.

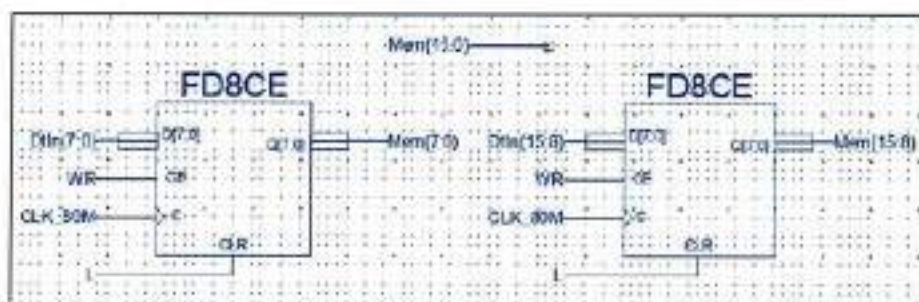


Figura 73: Memória projetada e posteriormente sintetizada na *FPGA*

Para a *FPGA* efetuar os cálculos de tempo e rotação desejados na aplicação do *PRDA1*, é necessário que ela possua uma fonte de *clock* interna. Novamente o microcontrolador *ARM* do *PRDA1* atua neste sentido, gerando através de configurações de software um *clock* de 25MHz, que lhe é fornecido por um cristal, e ajustado por uma *PLL* interna, em um determinado pino do seu encapsulamento *LQFP176*. Este pino é ligado ao *Global Clock* (*GCLK*) da *FPGA* e, internamente no seu projeto lógico, elevado para frequências maiores através de um *IP Core* de *PLL* chamado *Clock Manager* (*CLOCKMAN*). São produzidos vários *clocks* internos na saída do *ClockMan*, estáveis, com *duty-cycle* apropriado, para as mais diversas funções combinatórias e sequenciais da *FPGA*.

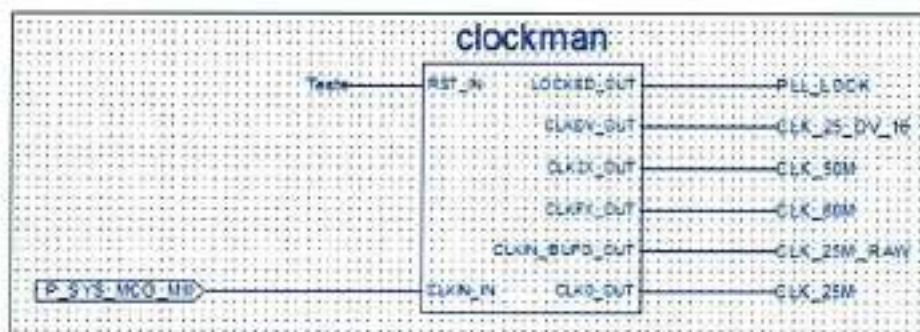


Figura 74: *PLL IP Core* para geração de *clock* da *FPGA*

Com todos os dados adquiridos, o sistema executivo do *PRDA1* monta um pacote de dados para envio via telemetria com as seguintes características:



```
/* Header do pacote de dados */
PRDA1Log.Header.SyncIn
PRDA1Log.Header.PRDA1Status

/* Dados do GPS */
PRDA1Log.UTCTime=GPSTime
PRDA1Log.Lat=GPSLat
PRDA1Log.Long=GPSLong
PRDA1Log.Altitude=GPSAlt
PRDA1Log.Speed=GPSSpeed
PRDA1Log.Course=GPSTDir
PRDA1Log.GPSStatus

/* Dados do giroscópio */
PRDA1Log.RotX=GyroData.RotX
PRDA1Log.RotY=GyroData.RotY
PRDA1Log.RotZ=GyroData.RotZ

/* Dados do acelerômetro */
PRDA1Log.AccX=AccData.OutX
PRDA1Log.AccY=AccData.OutY
PRDA1Log.AccZ=AccData.OutZ

/* Dados dos canais AD*/
PRDA1Log.AnaCh[0]=ADCFiltered[CH_TEMP]
PRDA1Log.AnaCh[1]=ADCFiltered[CH_VBAT]
PRDA1Log.AnaCh[2]=ADCFiltered[CH_REF]
PRDA1Log.AnaCh[3]=ADCFiltered[CH_6_0]
PRDA1Log.AnaCh[4]=ADCFiltered[CH_6_1]
PRDA1Log.AnaCh[5]=ADCFiltered[CH_3]

/* Dados digitais da FPGA */
PRDA1Log.DigCh[0]
PRDA1Log.DigCh[1]
PRDA1Log.DigCh[2]
PRDA1Log.DigCh[3]
PRDA1Log.DigCh[4]
PRDA1Log.DigCh[5]
```

---

```
/* Dados de status do módulo */  
PRDA1Log.ExStatus[0]  
PRDA1Log.ExStatus[1]  
  
/* Footer do pacote de dados */  
PRDA1Log.Footer.DataPkNum  
PRDA1Log.Footer.MsgCRC
```

Basicamente, os dados de todos os sensores, digitais ou analógicos, são compostos em uma *struct* e são adicionados alguns campos de sincronização, como o *DataPkNum* e *MsgCRC* mostrados no final (*footer*) da mensagem, que informam o número do pacote que está sendo enviado e o CRC da mensagem, respectivamente. No *Header* da mensagem são adicionados os campos *SyncIn*, que indica internamente para o *firmware* se a mensagem já foi enviada, e *PRDA1Status*, que indica a situação do módulo PRDA1.

Este pacote de dados é enviado para os dois cartões de memória do módulo com uma taxa de 100Hz através de duas interfaces USART, via DMA para evitar sobrecarga do processador, operando a 115.000 bps, e a uma taxa de 10Hz para a telemetria através de um link RF (padrão *ZigBee*) de 19.200 bps. Para poupar largura de banda nos dois casos, os dados são mantidos em formato binário ao invés de codificados em strings ASCII antes do envio, isso acarreta em um menor número de transmissões mas impõe a necessidade de um programa interpretador e conversor de dados quando se deseja fazer a análise dos mesmos.

## 6.2 Software de recebimento e conversão de dados

Como os dados então sendo enviados por telemetria para uma estação base, foi elaborado um software de tratamento de dados em tempo real e pós-processamento de dados para o PRDA1.

Este software apresenta 3 janelas com uma interface gráfica semelhante a um osciloscópio e que plotam os dados em tempo real conforme são recebidos. Os eixos vertical e horizontal podem ser ter suas escalas alteradas arbitrariamente conforme a necessidade do usuário. Na Figura 75 abaixo temos uma imagem desta janela e seus comandos de ajuste.



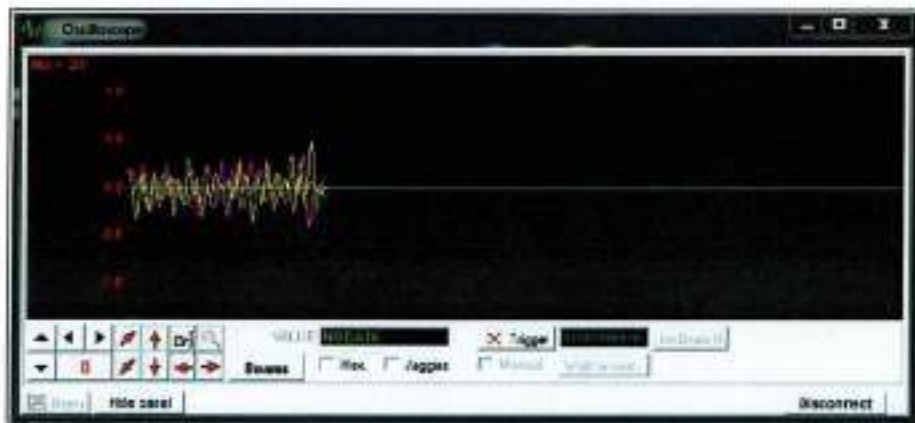


Figura 75: Janela de visualização dos dados em tempo real

Outra janela apresentada pelo programa é a de status do módulo e ilustração 3D das acelerações que estão sendo medidas, mostrada na Figura 76. Nela são apresentados vários estados digitais que são enviados pelo PRDA1 e que indicam, entre outras coisas, *lock* de GPS, falhas no hardware, ocorrência de *reset* e qual a sua origem (manual, watchdog), etc.



Figura 76: Janela de Status do PRDA1 e visualização 3D das acelerações

Por fim, temos a janela de comandos e configuração do programa e que é a primeira a ser apresentada para o usuário no momento da execução. Nela é possível selecionar a porta serial a ser utilizada e qual a velocidade dos dados de entrada. Após definidos estes parâmetros e a porta serial ser inicializada, todas as janelas anteriormente citadas são abertas e entram em funcionamento. Ainda na janela de comando é possível utilizar a barra de espaço para obter uma lista de comandos aceitos pelo programa.

Durante a execução do programa, os dados binários recebidos via telemetria são convertidos internamente para strings ASCII e gravados em um arquivo PRDA1.txt para uso posterior pelo usuário. Estes dados também são tratados matematicamente para obterem significado físico e se tornarem informações de valor para o usuário que esteja acompanhando a evolução do mesmo.

Uma outra funcionalidade que o programa apresenta é a conversão dos dados binários de um arquivo qualquer gerado pelo módulo após o armazenamento. Após retirados os dados do cartão é possível abrir o arquivo diretamente pelo programa e este fará a conversão imediata dos dados para valores legíveis ASCII, além de permitir uma simulação dos eventos armazenados como se estivessem ocorrendo em tempo real.



## 7 Resultados

NESTE CAPÍTULO serão apresentados todos os testes realizados no circuito completo ou em seus sub-circuitos para verificação da aderência ou não aos parâmetros de projeto e resultados esperados. Também são apresentadas conclusões, justificativas para os resultados e soluções implementadas para resolução problemas.

### 7.1 Teste dos circuitos de alimentação

O sub-circuito de alimentação do PRDA1 possui etapas de filtragem, condicionamento e proteção para que a energia entregue aos dispositivos passivos e semicondutores seja de melhor qualidade possível.

Para confirmar o bom funcionamento destes componentes e dos resultados simulados foram realizados os seguintes testes:

1. **Teste de Sobretensão:** Verifica o comportamento do circuito quando há uma sobretensão na entrada de alimentação do PRDA1.
2. **Teste de Inversão de Polaridade de Alimentação:** Busca averiguar qual seria o resultado da inversão de polaridade pelo operador do módulo.
3. **Teste da Tensão Mínima de Operação:** Caracterização da mínima tensão necessária para a eletrônica partir e desempenhar suas funções.

Todo o procedimento de teste que descreve o procedimento experimental, equipamentos necessários, imagens obtidas e fornecidas, conclusões e resultados estão no Apêndice J.

Após a realização de todos os procedimentos detalhados acima foi possível constatar que o bloco de alimentação do PRDA1 atende a todas as características que podem ocorrer em um ambiente automotivo, garantido assim robustez e confiabilidade contra uso errôneos e alimentações de baixa qualidade.

---

## 7.2 Perfil térmico da eletrônica do PRDA1

Durante a etapa de projeto do hardware do PRDA1 optou-se por utilizar reguladores lineares de baixa queda de tensão (*LDO*) a fim de simplificar o projeto, reduzindo o número de componentes e evitando-se problemas com ruídos de alta frequência na linha de alimentação advindos do uso de fontes chaveadas. Uma contrapartida dessa simplificação era esperada na forma de uma grande dissipação de potência e uma baixa eficiência dos reguladores.

Estando previamente ciente da troca eficiência/simplificação, planejou-se um teste utilizando uma câmera térmica a fim de se obter uma imagem infravermelha convertida para o espectro visível com as medições de temperatura por toda a placa de circuito impresso do PRDA1.

A câmera térmica FLIR utilizada neste teste está detalhada na Tabela 12 abaixo.

**Tabela 12:** Características da câmera Infravermelha FLIR E60

FLIR E60 Infrared Camera	
<i>Resolução</i>	320x240 pixels
<i>Faixa de temperatura</i>	-20°C a +650°C
<i>Sensibilidade térmica</i>	< 0,05°C

Este teste mostrou que a dissipação de potência em condições nominais de uso (circuito alimentado com +12V), é excessivamente grande, fazendo com que a temperatura de alguns componentes chegue a até +100°C. Isso acarreta em uma diminuição da vida útil do componente aquecido e de outros que estejam nas imediações deste gradiente térmico elevado.

A solução encontrada para suprimir este problema foi fazer-se uso da caixa metálica que abriga a eletrônica como um grande dissipador de calor. Por ser totalmente fabricada em alumínio pode-se conseguir uma elevada transferência de calor do circuito para a massa metálica.

Outros resultados muito interessantes provenientes deste teste é a possibilidade de se observar exatamente onde encontra-se a parte mais quente do *die* do componente semicondutor através de sua emissão infravermelha no encapsulamento. Veja as Figuras 77, 78, 79, 80 e note que é possível localizar o ponto gerador de calor internamente ao plástico envoltório.



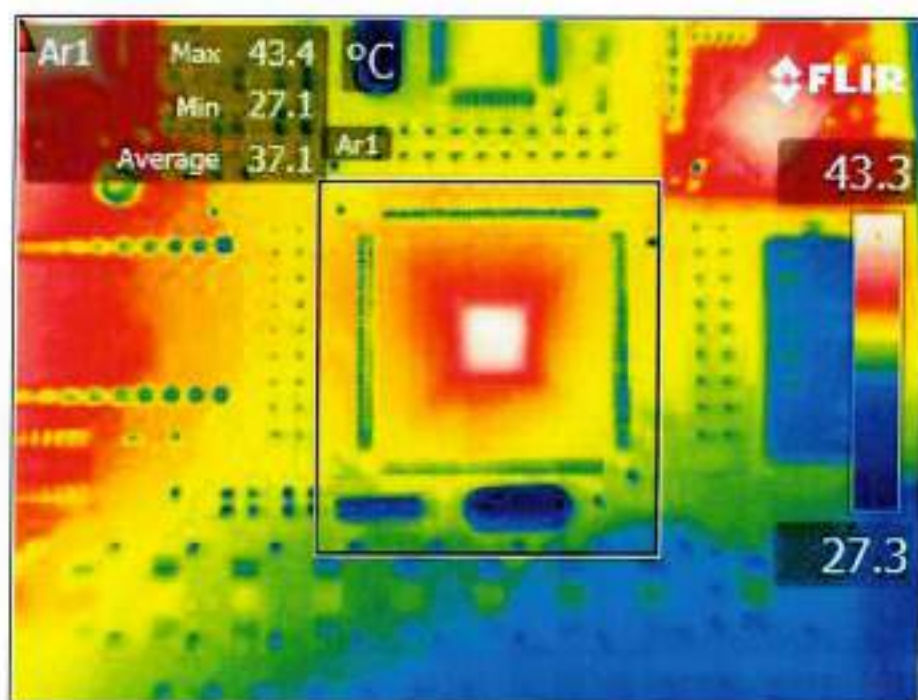


Figura 77: Imagem infravermelha do microcontrolador ARM STM32F407IGT6

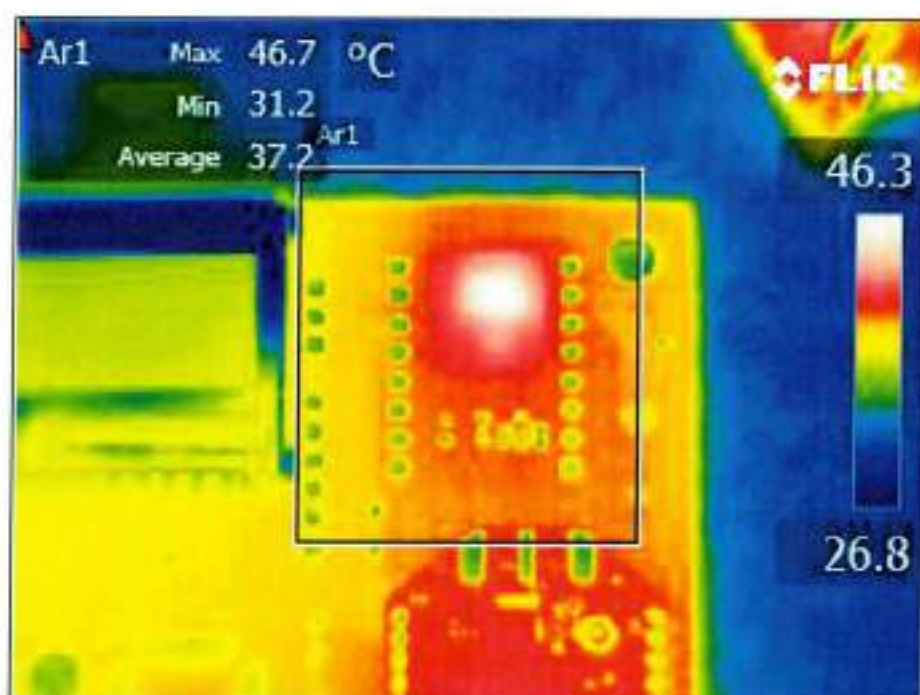
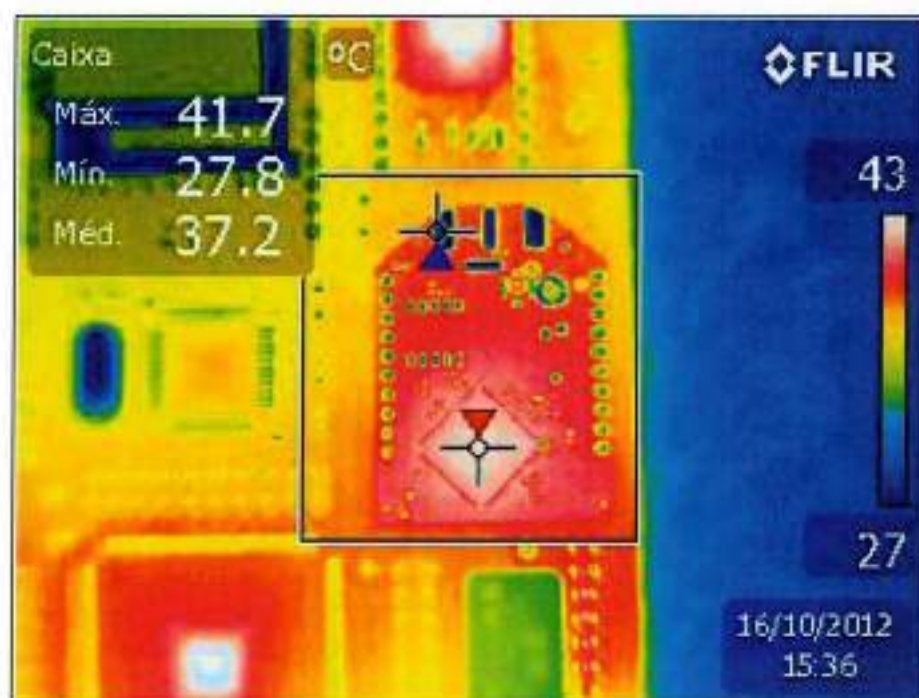
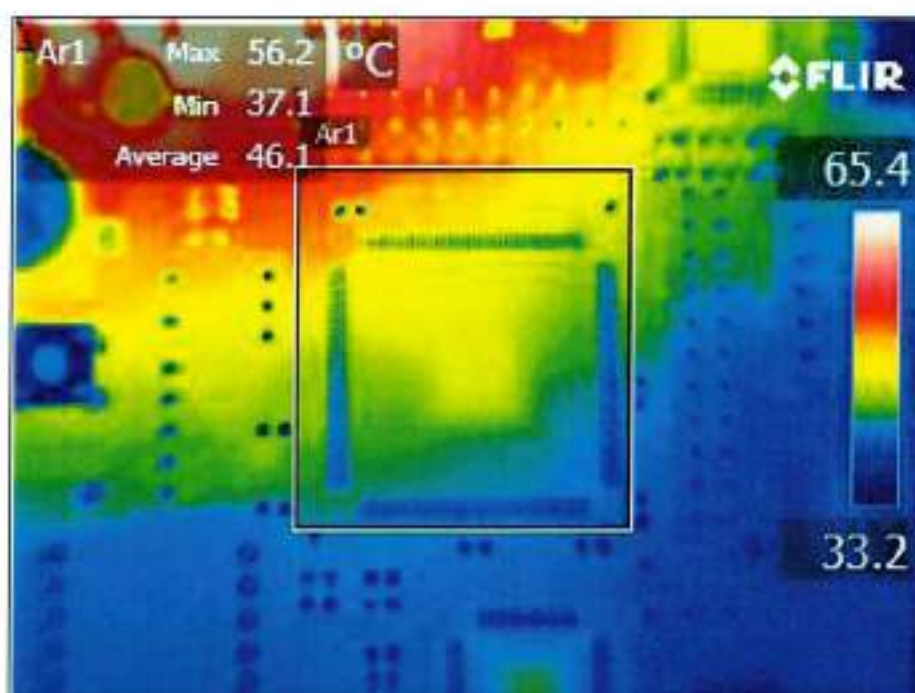


Figura 78: Imagem infravermelha do VenusGPS



**Figura 79:** Imagem infravermelha do transceiver XBee



**Figura 80:** Imagem infravermelha da FPGA Spartan 3

O relatório de teste gerado nesta etapa encontra-se no Apêndice H.



### 7.3 Caracterização dos canais analógicos

Devido à grande quantia de sensores analógicos que podem ser conectados ao módulo PRDA1, fez-se necessário validar os circuitos de tratamento e adequação de sinais projetados anteriormente. Esta validação se deu através da caracterização dos ganhos da resposta em frequência de cada canal AD fazendo-se uso de um osciloscópio e um gerador de sinais.

Pode-se concluir que os todos os canais *AD* estão próximos ao resultados simulados na etapa de projeto e não necessitam de retrabalho. Alguns desvios podem ser observados nas curvas dos ganhos, mas que podem ser atribuídos à imprecisão do valor dos componentes, capacitâncias parasitárias devido ao processo de layout e incertezas no processo de análise que foi realizado com um *sweep* de frequências em intervalos relativamente grandes.

Vale ressaltar que a fase foi analisada qualitativamente durante o levantamento das curvas dos ganhos e que estava de acordo com o esperado e sem grandes desvios.

As curvas de ganhos obtidas estão apresentadas na Figura 81 a seguir. O Relatório de Testes encontra-se no Apêndice I.

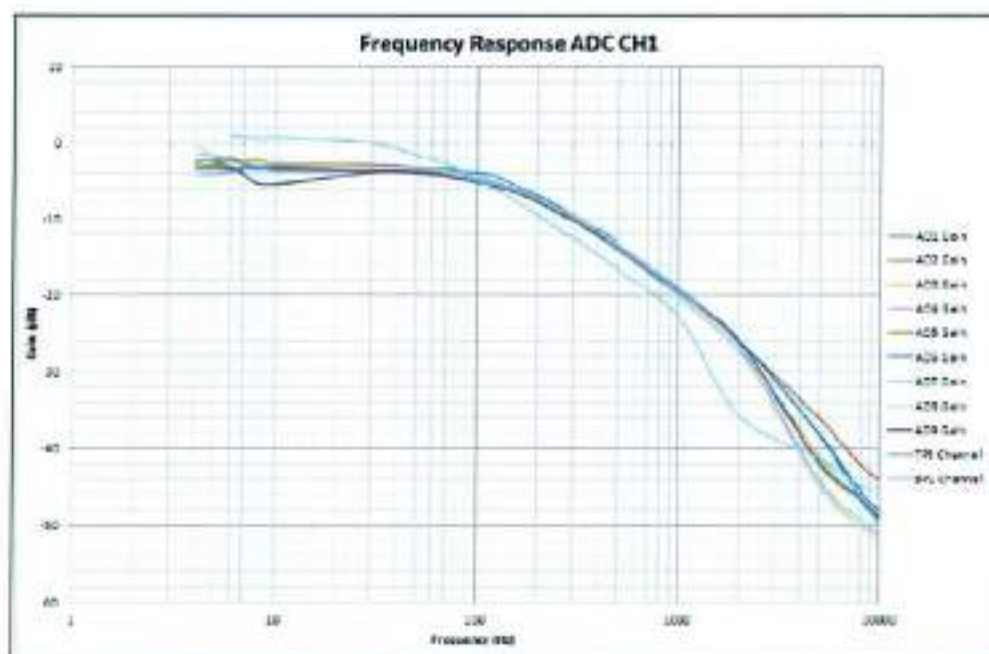


Figura 81: Ganhos em frequência dos canais *AD* do módulo PRDA1

A bancada de instrumentos utilizada neste teste em todos os outros está apresentada na Figura 82.

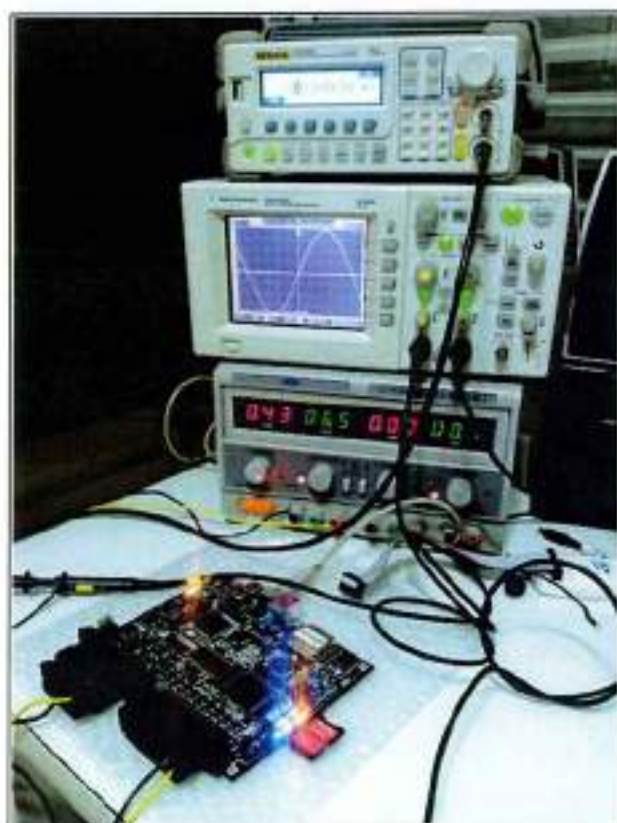


Figura 82: Bancada de instrumentos utilizada para os testes da eletrônica do PRDA1

## 7.4 Teste de alcance do link RF de telemetria

Para verificar o bom funcionamento da telemetria embarcada e o seu raio de alcance foi feita uma rotina de testes dentro do estacionamento da Escola Politécnica da USP.

Este teste consistiu em gerar um *loopback* via software dos dados enviados pelo módulo PRDA1 para uma estação móvel e gradativamente ir se distanciando da mesma até que o *link* de comunicação não esteja mais funcional.

O alcance obtido pelo canal de radio frequência utilizado durante este experimento foi de aproximadamente 300 metros. Na Figura 83 abaixo temos o uma imagem gerada com o auxílio do software *Google Earth* que exemplifica o teste realizado. No ponto 1 se encontrava o módulo do PRDA1 em modo de *loopback* dos dados e o estudante com um computador móvel percorreu o trajeto amarelo até o ponto 2, onde não havia mais recepção dos pacotes enviados.





Figura 83: Configuração do teste de alcance do link RF

## 8 Melhorias Futuras

NESTE CAPÍTULO serão apresentadas as melhorias futuras que podem ser realizadas para tornar o projeto do PRDA1 ainda mais robusto, funcional, compacto e confiável.

### 8.1 Melhorias de *Hardware*

As seguintes propostas são as mais indicadas para serem implementadas em uma próxima revisão de hardware do PRDA1:

- **Utilização de fontes chaveadas:** O uso de fontes chaveadas irá reduzir a dissipação de potência dos circuitos conversores *DC-DC* e consequentemente o consumo de energia do módulo. Esta é uma das melhorias mais importantes a ser implementada, pois, além de reduzir o consumo de energia do módulo, irá reduzir a temperatura de operação dos circuitos integrados reguladores. Isso torna possível o uso do módulo em temperaturas elevadas e diminui o estresse térmico sobre os componentes que estão próximos às fontes de calor.
  - **Retirada dos furos *DIP* para *breakout boards*:** Na versão atual do hardware foram geradas furações para placas de desenvolvimento com a finalidade de oferecer uma segunda opção de funcionamento a um determinado componente (GPS, acelerômetro, giroscópio, *dataloggers*, etc) caso ocorressem erros de layout que impossibilitassem o uso dos componentes integrados diretamente à placa do PRDA1. Estes *footprints* de *breakout boards* são relativamente grandes e acarretam em um desperdício de espaço, logo, em uma próxima revisão é altamente recomendável a retirada dos mesmos.
  - **Utilização de componentes de menor encapsulamento:** Ainda com a métrica de se reduzir o tamanho do módulo, uma segunda atitude que deve ser tomada é de reduzir o *package* dos componentes semicondutores, fazendo-se uso de tecnologias como *Fine pitch BGA*, *Flip chip*, *QFN* e componentes passivos 0402.
-



- **Aumento no número de camadas da PCB:** Com um maior número de camadas na placa de circuito impresso, mais trilhas podem ser roteadas por unidade de área, acarretando em menor comprimento elétrico, melhor desempenho e maior densidade de circuito, atualmente o PRDA1 possui 4 camadas.
- **Conectores automotivos de maior densidade de pinos:** Os conectores utilizados atualmente no projeto apresentam grande robustez e qualidade, já que são desenhados especificamente para aplicações automotivas, mas são os maiores responsáveis no momento da definição do tamanho da placa de circuito do PRDA1. O uso de conectores mais densos como os *Deutsch AS Standard* são os mais indicados, por já serem utilizados amplamente em todos os tipos de aplicação de *motorsports*, desde Stock Car até Fórmula 1.
- **Reset de todos os componentes em malha fechada:** Atualmente alguns componentes do PRDA1 estão com os seus pinos de *reset* fixados em  $V_{cc}$  e não estão conectados ao microcontrolador ARM central. Isso impossibilita um controle total sobre todos os dispositivos no caso de mau-funcionamento.

## 8.2 Melhorias de *Software*

- **Tornar alterações de firmware em alto nível:** No estágio atual de desenvolvimento do firmware do PRDA1, qualquer alteração que precise ser feita nas configurações, seja taxa de amostragem, seja velocidade interfaces USART, precisa passar necessariamente pela recompilação do código C e regravação da memória flash do microcontrolador. Além destas etapas, isso exige também o desmonte mecânico da caixa metálica do PRDA1 para que os cabos de programação possam ser conectados. Um firmware de alto nível que permita alterar configurações do módulo através da interface de *debug* Serial-USB tornaria o uso do módulo simplificado e mais profissional, pois não seriam necessários conhecimentos diretos da eletrônica interna para efetuar alterações.
- **Melhoria da interface gráfica do software de visualização dos dados de telemetria:** A interface gráfica atual pode ser incrementada com novos mostradores para diferentes tipos de sensores, como ângulo do volante, conta giros para o RPM, mapa baseado nas coordenadas do GPS, termômetro para indicador de temperatura, etc. Algoritmos podem ser adicionados a essa interface para que o sistema possa calcular dados de sensores indiretos com base nos dados atualmente disponíveis via aquisição real. Isso permite a utilização de recursos como "*software sensors*" e técnicas de identificação de sistemas e controle robusto.

- *Implementação de sistema de arquivo diretamente no firmware do microcontrolador:* A implementação de um sistema de arquivos diretamente no microcontrolador permitirá uma maior liberdade na geração de nome de arquivos, velocidade de escrita e configuração do módulo através de arquivos de texto que possam ser abertos e lidos diretamente. Fazendo-se esta alteração o hardware do PRDA1 pode ser simplificado devido ao fato de os microcontroladores intermediários dos *data loggers* se tornarem dispensáveis.
- *Utilização de sistema operacional de tempo real (RTOS):* O uso de um *RTOS* tornaria as alterações no *firmware* do PRDA1 muito mais simples devido ao fato de haver um nível de abstração maior através do uso de tarefas de sistema. Tal esquema permite um melhor uso da capacidade de processamento do dispositivo, quando ao invés de aguardar interfaces pelo envio de dados, o processador pode ser preemptado para a execução de tarefas laterais conforme a necessidade.



## 9 Conclusão

ESTE TRABALHO de formatura proporcionou ao aluno uma oportunidade ímpar de gerenciar um projeto de grande magnitude e que se aproxima muito de um protótipo pré-comercial. Foi possível lidar com gerência de prazos, custos e riscos, relacionados tanto com a produção e compra de componentes como das pessoas e serviços envolvidos.

O aluno também teve contato com um amplo espectro de conteúdos de engenharia, de forma bastante multidisciplinar, envolvendo tópicos que variam desde a engenharia mecânica até as mais variadas áreas da engenharia elétrica, como: Telecomunicações, Sistemas Digitais, Sistemas Eletrônicos, Eletrônica de Potência, Computação, Processamento Digital de Sinais, etc.

Além dessa experiência gerencial, o aluno se familiarizou com semicondutores do estado da arte, como o microcontrolador Cortex-M4F utilizado no projeto, e com processos industriais de montagem de produtos eletrônicos, tais como máquinas *pick and place*, impressora de pasta, etc.

O módulo PRDA1 atendeu todas as expectativas que lhe foram impostas, se apresentando como um sistema de aquisição de dados robusto e de qualidade muito próxima aos módulos de *motorsports* comerciais. Sua capacidade de armazenamento e transmissão de dados será de grande valia para o desenvolvimento da Equipe Poli Racing, na medida em que mais e mais dados de todos os tipos de sensores são necessários para que o projeto mecânico possa ser refinado e mais potência extraída do veículo. Sua ampla gama de protocolos permite ainda futuros avanços da equipe de Fórmula SAE na utilização de automação veicular, sistemas de sensores, controles distribuídos e aumento de sua eletrônica embarcada. Todos esses sistemas agregam valores ao veículo para melhorar sua eficiência e desempenho.

O PRDA1 também terá uso em um veículo de competição elétrico que a Equipe Poli Racing está desenvolvendo, no sentido de que sua ampla gama de protocolos de comunicação será utilizada para obtenção de dados gerados por inversores de frequência e outros sistemas auxiliares, além da medição de dados relativos aos motores elétricos que serão utilizados no protótipo.

---

Com o desenvolvimento do módulo a partir de necessidades apresentadas pelos membros da Equipe Poli Racing, pode-se afirmar que grande parte da tecnologia e do conhecimento envolvido na elaboração deste projeto foi nacionalizada e difundida entre os membros participantes do projeto, sejam estudantes, engenheiros ou professores.

---



## Referências

- [1] HONDA MOTOR COMPANY LTD. *Honda Civic SI Sedan*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://automobiles.honda.com/civic-si-sedan/specifications.aspx>>.
  - [2] PORSCHE AUTOMOBIL HOLDING SE. *911 Carrera*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://www.porsche.com/usa/models/911/911-carrera/featuresandspecs/?gtabinde=1>>.
  - [3] AUTOMOBILI LAMBORGHINI S.P.A. *Aventador LP700-4*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://www.lamborghini.com/en/models/aventador/lp-700-4/technical-specifications/>>.
  - [4] RACE TECHNOLOGY. *DL1 Mk2/Classic data logger*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <[http://www.race-technology.com/dl1\\_8\\_936.html](http://www.race-technology.com/dl1_8_936.html)>.
  - [5] RACE TECHNOLOGY. *DL2 Data Logger*. março 2012. Disponível em: <[http://www.race-technology.com/dl2\\_8\\_937.html](http://www.race-technology.com/dl2_8_937.html)>.
  - [6] COSWORTH. *Sigma Elite Data Logger*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://americas.cosworth.com/products/motorsport/data-loggers/sigma-elite/>>.
  - [7] MOTEC. *ACL Data Logger*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://www.motec.com/acl/acloverview/>>.
  - [8] COSWORTH. *Pi Toolbox*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://cosworth.com/products/motorsport/pc-software/pi-toolbox/>>.
  - [9] MOTEC. *i2 Data Analysis*, note=Acesso em março de 2012, url=<http://www.motec.com/i2/i2overview/>.
  - [10] RACE TECHNOLOGY. *Main Analysis Software*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <[http://www.race-technology.com/software\\_8\\_914.html](http://www.race-technology.com/software_8_914.html)>.
  - [11] COPETO, D. R. *Automotive data acquisition system - FST*. Dissertação (Mestrado) — Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2009.
  - [12] CASAGRANDE, V. L. *Estudo e elaboração de uma rede de controle baseada no protocolo CAN para aplicação em eletrônica embarcada*. 2009. Trabalho de conclusão de curso - Escola de Engenharia de São Carlos.
  - [13] EESC USP. *Equipe Solid Edge de Fórmula SAE*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://www.eesc.usp.br/formula/sn/>>.
  - [14] FERREIRA, J. M. A. D. *Sistema De Aquisição De Dados Para Um Veículo Eléctrico*. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
-



- [15] KHAN, S. S. S. Data acquisition system for a 600cc formula sae race car. In: *ICVES 2009*. [S.l.: s.n.], 2009.
- [16] SEGERS, J. *Analysis techniques for racecar data acquisition*. [S.l.]: SAE International, 2008. (Progress in technology automotive electronics series). ISBN 9780768016550.
- [17] FEY, B. *Data power: using racecar data acquisition*. [S.l.]: Towery Pub., 1993. ISBN 9781881096016.
- [18] MCBEATH, S. *Competition car data logging: A practical handbook 2nd Edition*. [S.l.]: Haynes Publishing, 2009. ISBN 9781844255658.
- [19] TEMPLEMAN, G. *The competition car data logging manual*. [S.l.]: Veloce Publishing, 2008. (Speedpro Series). ISBN 9781845841621.
- [20] ST MICROELECTRONICS. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://www.st.com/internet/mcu/product/252134.jsp>>.
- [21] XILINX. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://www.xilinx.com/>>.
- [22] DIGILENT INC. *Digilent Spartan S3E Starter Board*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://www.digilentinc.com/Products/Detail.cfm?NavPath=2,400,792&Prod=S3EBOARD>>.
- [23] DIGILENT INC. *Digilent Spartan S3E Starter Board*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://www.digilentinc.com/Products/Detail.cfm?NavPath=2,400,799&Prod=S3BOARD>>.
- [24] SPARKFUN ELECTRONICS. *OpenLog*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://www.sparkfun.com/products/9530>>.
- [25] SEEDSTUDIO. *SDLogger*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <[http://www.seedstudio.com/depot/sdlogger-open-hardware-data-logger-p-723.html?cPath=132\\_136](http://www.seedstudio.com/depot/sdlogger-open-hardware-data-logger-p-723.html?cPath=132_136)>.
- [26] GOODYEAR. *Campo de provas*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://www.goodyear.com.br/empresa/campo-provas/campo-provas.html>>.
- [27] HIS-POWER. *ECU's*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://www.his-power.com.br/ecus.html>>.
- [28] DIGI INTERNATIONAL INC. *XBee/RF Family Features Comparison*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <[http://www.digi.com/pdf/chart\\_xbee\\_rf\\_features.pdf](http://www.digi.com/pdf/chart_xbee_rf_features.pdf)>.
- [29] TEXAS INSTRUMENTS. *FilterPRO*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://www.ti.com/tool/filterpro>>.
- [30] NATIONAL INSTRUMENTS. *Multisim*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://www.ni.com/multisim/>>.
- [31] ST MICROELECTRONICS. *STEVAL-MKI108V2*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://www.st.com/internet/evalboard/product/252687.jsp>>.



- [32] ST MICROELECTRONICS. *LSM303DLHC*. Acesso em agosto de 2012. Disponível em: <<http://www.st.com/internet/analog/product/251940.jsp>>.
  - [33] ST MICROELECTRONICS. *L3GD20*. Acesso em agosto de 2012. Disponível em: <<http://www.st.com/internet/analog/product/252443.jsp>>.
  - [34] SPARKFUN MICROELECTRONICS. *Venus GPS with SMA Connector*. Acesso em março de 2012. Disponível em: <<http://www.sparkfun.com/products/11058>>.
  - [35] ST MICROELECTRONICS. *LD1086XX*. Acesso em agosto de 2012. Disponível em: <<http://www.st.com/internet/analog/product/63445.jsp>>.
  - [36] ST MICROELECTRONICS. *LD1117XX*. Acesso em agosto de 2012. Disponível em: <<http://www.st.com/internet/analog/product/63477.jsp>>.
  - [37] ST MICROELECTRONICS. *SM6TY*. Acesso em agosto de 2012. Disponível em: <<http://www.st.com/internet/analog/product/250706.jsp>>.
-

## **Anexo A – Características do STM32F4IGT6**





# STM32F405xx STM32F407xx

ARM Cortex-M4 32b MCU+FPU, 210DMIPS, up to 1MB Flash/192+4KB RAM, USB OTG HS/FS, Ethernet, 17 TIMs, 3 ADCs, 15 comm. interfaces & camera

Datasheet – production data

## Features

- Core: ARM 32-bit Cortex™-M4 CPU with FPU, Adaptive real-time accelerator (ART Accelerator™) allowing 0-wait state execution from Flash memory, frequency up to 168 MHz, memory protection unit, 210 DMIPS/1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1), and DSP instructions
- Memories
  - Up to 1 Mbyte of Flash memory
  - Up to 192+4 Kbytes of SRAM including 64-Kbyte of CCM (core coupled memory) data RAM
  - Flexible static memory controller supporting Compact Flash, SRAM, PSRAM, NOR and NAND memories
- LCD parallel interface, 8080/6800 modes
- Clock, reset and supply management
  - 1.8 V to 3.6 V application supply and I/Os
  - POR, PDR, PVD and BOR
  - 4-to-26 MHz crystal oscillator
  - Internal 16 MHz factory-trimmed RC (1% accuracy)
  - 32 kHz oscillator for RTC with calibration
  - Internal 32 kHz RC with calibration
- Low power
  - Sleep, Stop and Standby modes
  - V<sub>BAT</sub> supply for RTC, 20x32 bit backup registers + optional 4 KB backup SRAM
- 3x12-bit, 2.4 MSPS A/D converters: up to 24 channels and 7.2 MSPS in triple interleaved mode
- 2x12-bit D/A converters
- General-purpose DMA: 16-stream DMA controller with FIFOs and burst support
- Up to 17 timers: up to twelve 16-bit and two 32-bit timers up to 168 MHz, each with up to 4 IC/OC/PWM or pulse counter and quadrature (incremental) encoder input
- Debug mode
  - Serial wire debug (SWD) & JTAG interfaces
  - Cortex-M4 Embedded Trace Macrocell™



- Up to 140 I/O ports with interrupt capability
  - Up to 136 fast I/Os up to 84 MHz
  - Up to 138 5 V-tolerant I/Os
- Up to 15 communication interfaces
  - Up to 3 x I<sup>2</sup>C interfaces (SMBus/PMBus)
  - Up to 4 USARTs/2 UARTs (10.5 Mbit/s, ISO 7816 interface, LIN, IrDA, modem control)
  - Up to 3 SPIs (37.5 Mbits/s), 2 with muxed full-duplex I<sup>2</sup>S to achieve audio class accuracy via internal audio PLL or external clock
  - 2 x CAN interfaces (2.0B Active)
  - SDIO interface
- Advanced connectivity
  - USB 2.0 full-speed device/host/OTG controller with on-chip PHY
  - USB 2.0 high-speed/full-speed device/host/OTG controller with dedicated DMA, on-chip full-speed PHY and ULPI
  - 10/100 Ethernet MAC with dedicated DMA: supports IEEE 1588v2 hardware, MII/RMII
- 8- to 14-bit parallel camera interface up to 54 Mbytes/s
- True random number generator
- CRC calculation unit
- 96-bit unique ID
- RTC: subsecond accuracy, hardware calendar

Table 1. Device summary

Reference	Part number
STM32F405xx	STM32F405RG, STM32F405VG, STM32F405ZG, STM32F405OG, STM32F405OE
STM32F407xx	STM32F407VG, STM32F407IG, STM32F407ZG, STM32F407VE, STM32F407ZE, STM32F407IE

## **Anexo B – Esquema Elétrico - OpenLog**





## Anexo C - Esquema Elétrico - SDLogger





## **Anexo D – Esquema Elétrico - STEVAL-MKI108V2**





## **Anexo E – Esquema Elétrico - Venus GPS with SMA Connector**



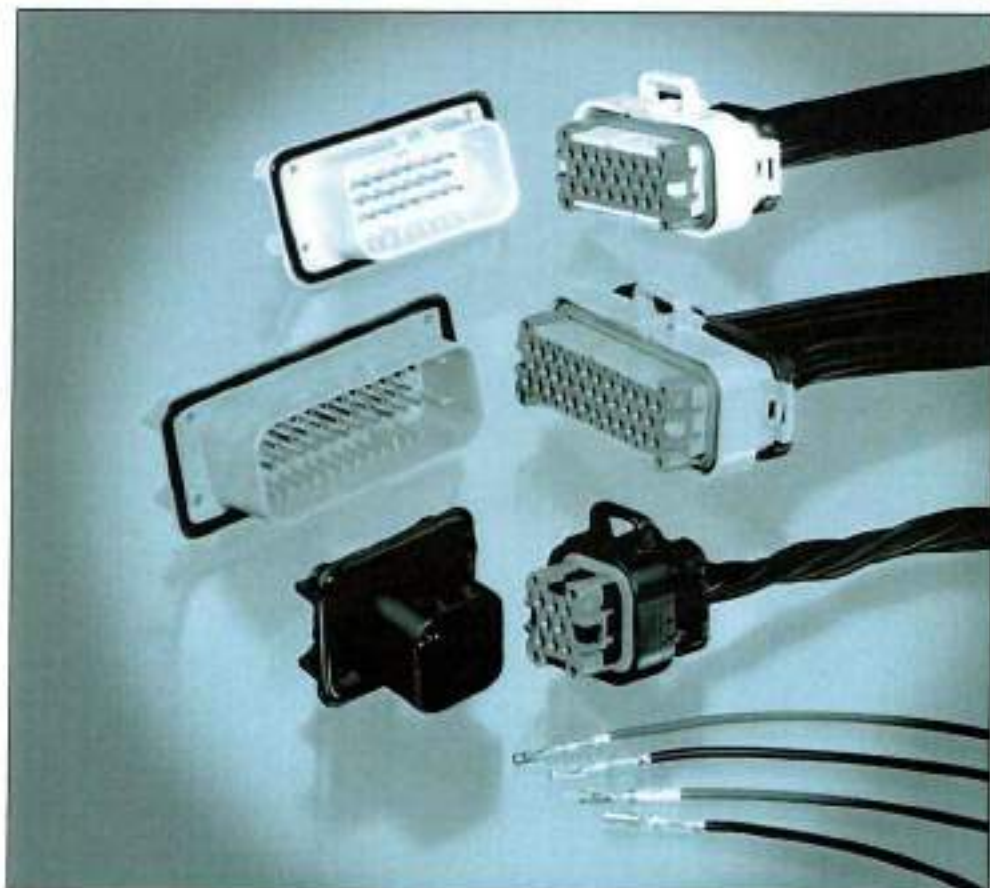


## **Anexo F - AMPSEAL Sealed Connector Series**

introduction



**Rugged Reliability,  
Easy Use and Superior  
Environmental Sealing**



AMPSEAL automotive connectors provide rugged reliability, easy use and superior environmental sealing. They are available in cable plugs and pc board-mounting headers that are designed to stand up to high-temperature underhood applications.

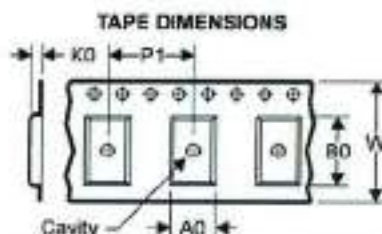
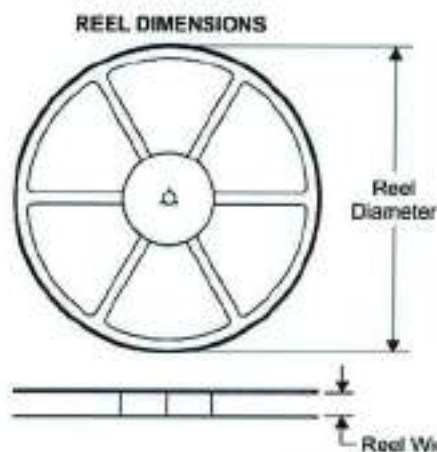
The pre-assembled receptacle connector features built-in contact sealing to eliminate individual wire-sealing grommets, while an integral interfacial seal protects mated connectors.

**Product Features**

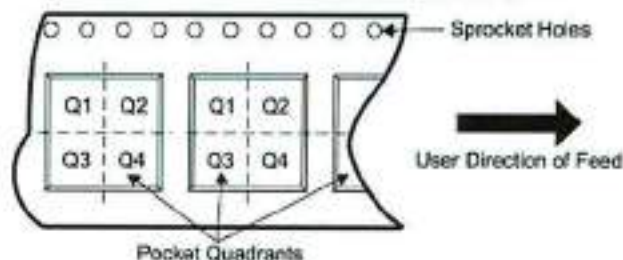
- Sealing of interface, wires and panel provides for environmental integrity
- Secondary contact locking and lanceless contacts ensure positive contact seating
- High temperature materials available to withstand surface mount applications
- Lanceless receptacle contacts reduce tangling during storage and handling
- Wire with insulation diameter of 1.7–2.7 mm
- Available in tin or gold
- Housings available in 8-, 14-, 23-, and 35 positions

## Anexo G – Dados de fita de componentes



**TAPE AND REEL INFORMATION**


A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

**QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE**


\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
SN65HVD230DR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
SN65HVD231DR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
SN65HVD232DR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1

## Anexo H – Dados Técnicos da Panasonic CM402-L

experts in productivity™

Panasonic Factory Solutions Company of America



With shuttle tray feeder



Optional configuration and custom specifications may not conform to EC Machinery and EMC directives.

## Modular High Speed Placement Machine

- Highest productivity level in the industry—0.06 s/chip (60,000 cph)
- Easy to use, efficient and saves time
- Capable of supporting a wide range of parts

		CM402-L	
MODEL NUMBER		KXF-424C	
PCB DIMENSIONS	Min L x B kg	50 mm x 50 mm	
	Max L x W	110 mm x 450 mm	
HEAD TYPE		HIGH-SPEED	MULTI-FUNCTION
	Number of heads	3/head	3/head
	Maximum speed	0.06 s/chip (60,000 cph)	0.21 s/QFP (17,140 cph)
	Space productivity	9,560 cph/m <sup>2</sup>	2,730 cph/m <sup>2</sup>
	Placement accuracy	±0.05 mm/chip	±0.035 mm/QFP
	Component dimensions	0201 (0603) C, R to L 24 mm x W 24 mm	0402 (1005) C, R to L 100 mm x W 90 mm
PCB EXCHANGE TIME		0.9 s (board length up to 240 mm)	
ELECTRIC SOURCE		3-phase AC 200 V ±10 V / AC 400 V ±10 V, 2.5 kVA	
PNEUMATIC SOURCE		490 kPa, 150 L/min (standard, machine body only)	
DIMENSIONS	W	2,350 mm	
	D	2,600 mm	
	H	1,430 mm	
MASS		3,000 kg (not including collective-exchange cart)	

note: Values such as maximum speed and placement accuracy may vary depending on operating conditions. Please refer to the detail specifications.

SMT Placement  
CM402-L

Panasonic ideas for life



## High Productivity in a Compact Design

Ultra-high-speed placement is achieved by utilizing multiple heads and an extremely accurate recognition system. In addition, the main body has a space-saving small footprint.

Max. speed: **0.06 s/chip 60,000 cph**

Space productivity: **9,560 cph/m<sup>2</sup>**  
(4 high-speed heads)

50% higher productivity rate than the CM202 model

## Intelligent Feeder

Five types of tape feeders support all tapes.

**66 types** → **5 types**  
(CM202) (CM402)

Tape feed pitch can be set digitally. The parts count recording function issues a warning when the number of parts remaining is low.

Supply Type	Maximum Number of Component Types
8 mm double tape feeder	216
12-16 mm tape feeder	108
24-32 mm tape feeder	52
44-56 mm tape feeder	36
72 mm tape feeder	24



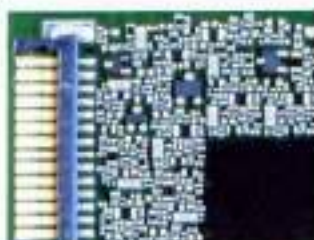
INTELLIGENT FEEDER

## Tape Splicing Function

The intelligent feeder, which warns when parts are low, decreases the machine's stop time due to depletion of parts. This improves the operating rate while lowering the operator's workload.



## Supports a Wide Variety of Parts



0603 (0201) CHIP WITH FINE-PITCH MOUNTING



GANG RECOGNITION FOR BUMPS

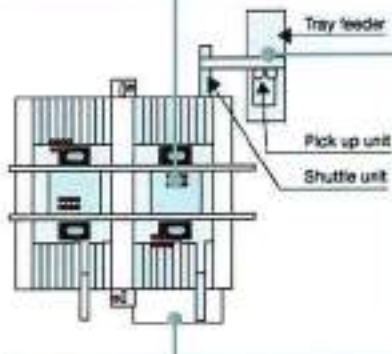
The best-suited head can be selected for each stage depending on the product and production volume.



HIGH-SPEED HEAD (8 NOZZLES)



MULTI-FUNCTIONAL HEAD (3 NOZZLES)



SHUTTLE TRAY FEEDER

Feeder layout for each table can be adjusted to the operator's desired settings.



- ☐ Feeder for the common model
- ☐ Feeder for the A model
- ☐ Feeder for the B model

In addition to setting various kinds of feeders in advance, the usage of each feeder can also be set.



FEEDER COLLECTIVE EXCHANGE CART



FEEDER-BY-FEEDER TAPE REPLACEMENT DURING OPERATION



**Safety Caution:** To ensure safety when using this equipment, all work should be performed in accordance with the supplied operating instructions. Thoroughly read your operating instructions manual.



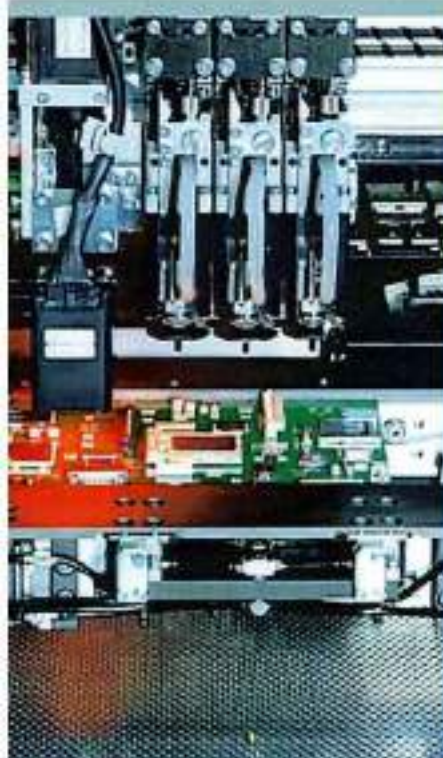
Panasonic Factory Solutions Company of America

1-847-495-6100  
PFSAmktg@us.panasonic.com  
www.panasonicfa.com

**Panasonic ideas for life**

## **Anexo I – Dados técnicos da Panasonic DT401-F**





## ●Modular Multi-Functional Placement Machine

- Oddshaped component adaptability enhanced by the 3D sensor installation,\*1
- Modular Multi-Functional Placement Machine with direct tray feeder availability.

\*1:Optional



\* It may not conform to Machinery Directive and EMC Directive in case of optional configuration and custom-made specification.

Model ID	DT401-F
Model No.	KXF-E64C
PCB dimensions	L 50 mm × W 50 mm to L 510 mm × W 460 mm
Max. speed	Chip 0.7 s/chip (tape or bulk) Tray 0.8 s/QFP (single tray) , 1.2 s/QFP (twin tray)
Placement accuracy	Chip ±50 μm/Chip (Cpk ≥ 1) Tray ±35 μm/QFP (Cpk ≥ 1)
Feed component inputs	Tray Max.54 *1
Component dimensions	(Ø201") Ø603 chip to L 100 mm × W 50 mm × T 25 mm
PCB exchange time	0.9 s (Board length : up to 240 mm Under optimum conditions)
Electric source *2	3-phase AC 200 V, 1.5 kVA
Pneumatic source *3	0.49 MPa, 150 L/min (A.N.R.)
Dimensions	W 1 280 mm × D 2 542 mm × H 1 430 mm *5
Mass *6	1 560 kg

\*Values such as maximum speed and placement accuracy may vary depending on operating conditions.

\*Please refer to the "Specification" booklet for details.

\*2 When 8 mm double tape feeder used.

\*3 Compatible with 200 / 300 / 400 / 600 / 480 V

\*4 Only for main body

\*5 Excluding monitor and signal tower

\*6 Standard configuration, excluding batch exchanger and tray feeders. This differs depending on the option configuration.

DT401-F  
Model No. KXF-E64C



## Operation rate improved by direct tray feeder and feeder batch exchange cart

### Direct pickup

The placement heads pick up the tray components directly. This enables many and varied odd-shaped components to be mounted at high-speed.

### Tray feed during operation

Using the replenisher unit installed above the tray feeder, tray feed can be performed when the components run out without having to stop production.

### Feeder collective-exchange cart

This enables all the tape feeders to be changed collectively during changeover.

40 tray capacity

Twin tray

20 tray capacity

Single tray

Tray feeder

[DT401]

Feeder batch exchange cart

## Load control head supplied as standard

The series of three load control heads yields maximum load of 50 N which enables almost all insertion connectors to be mounted.

Series of 3 load control heads

Insertion connectors

Max. load of 50 N

3D sensor

## High-quality placement for IC package via the 3D sensor<sup>1)</sup>

High-speed detection via batch scanning.

<sup>1)</sup> Optional

All leads of components (i.e.: QFP, SOP, SOJ)  
• 3D axis detection

BGA, CSP

• Solder ball position and Height measurement detection

Ball jacking CSP

## Can handle parts ranging from microchips to large parts such as BGAs, CSPs and connectors

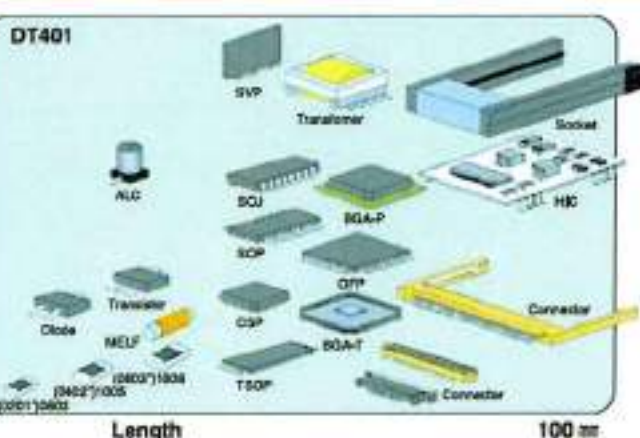
	tape	bulk	stick	tray
DT401	●	●	●	●

25 mm

### Intelligent feeders also designed for CM402 employed

Supply type	Maximum number of kinds	Supply type	Maximum number of kinds
1 m Single tape feeder	27	88 m tape feeder	5
1 m double tape feeder	54	104 m tape feeder	4
>16 m tape feeder	27	32 m adhesive tape feeder	9
1-32 m tape feeder	13	Intelligent stick feeder	6
1-56 m tape feeder	9	Intelligent bulk feeder	27
7 m tape feeder	6		

Height



## Safety Cautions

● Please read the User's Manual carefully to familiarize yourself with safe and effective usage procedures.

● To ensure safety when using this equipment all work should be performed according to that as stated in the supplied Operating Instructions. Read your operating instruction manual thoroughly.

**eco ideas** Panasonic Group products are built with the environment in mind.  
<http://panasonic.net/eco/>

**ISO 14001** Panasonic Group builds Environmental Management System in the factories of the world and acquires the International Environmental Standard ISO 14001:2004.

inquiries

**Panasonic Factory Solutions Co., Ltd.**  
Corporate Sales Division

1375 Kamikawara, Showa-cho, Nakakoma-gun, Yamaguchi 809-0805, Japan  
TEL +81-55-275-9148  
FAX +81-55-275-8269

All data as of December 1, 2011

Ver. December 1, 2011

## **Anexo J – Dados técnicos da Impressora de Pasta Panasonic SP60P-M**



Experts in productivity™

Panasonic Factory Solutions Company of America



Preceding Processes  
**SP60P-M/L**

## High Speed Screen Printer

- Fine printing
- Easy operation
- Main control boards are lead free

	SP60P-M	SP60P-L
MODEL NUMBER	KXP-103C	KXP-104C
PCB DIMENSIONS <small>(Min L x W) / (Max L x W)</small>	50 mm x 50 mm 330 mm x 250 mm	50 mm x 50 mm 510 mm x 450 mm
CYCLE TIME	8.0 s + printing time	8.0 s + printing time
PLACEMENT ACCURACY	±25 µm	
REPEATABILITY	±7.5 µm	
SCREEN FRAME DIMENSIONS <small>L x W</small> <small>L x W</small> <small>L x W</small>	735 mm x 735 mm 650 mm x 550 mm 600 mm x 550 mm	
ELECTRIC SOURCE*	3-phase AC 200-220 V, 2.5 kVA	3-phase AC 200-225-400 V, 2.5 kVA
PNEUMATIC SOURCE	0.49 MPa, 30 L/min (A.N.R.)	
DIMENSIONS <small>W</small> <small>H</small> <small>H</small>	1,760 mm 1,850 mm 1,430 mm	1,940 mm 1,910 mm 1,430 mm
MASS	1,450 kg	1,730 kg

\* Includes blower

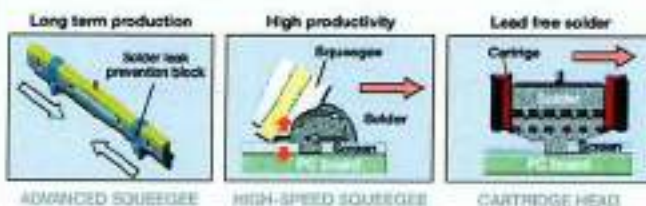
note: Values such as cycle time and accuracy may vary depending on operating conditions.  
Please refer to the detail specifications.

**Panasonic ideas for life**



## Multiple Printing Units

A wide variety of printing units and options are available to meet customers' specific needs.



## Easy Operation and Changeover

- **Full library of printing conditions**  
With the addition of 40 varieties of lead-free solder pastes, users are able to make selections from a total of 72 printing conditions.
- **Quick and easy changeovers**  
The 'setup change' menu promotes faster changeovers with an easy-to-follow step-by-step procedure—and the time required is shown on the display.
- **Custom operation screen settings**  
The engineer can set the scope of the operations which can be performed by each printer.

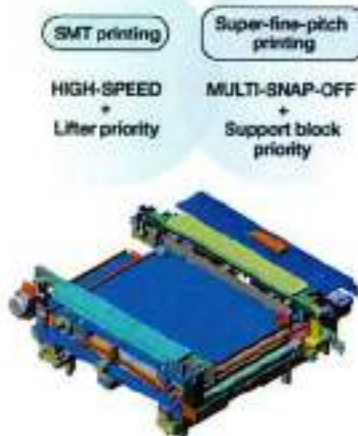
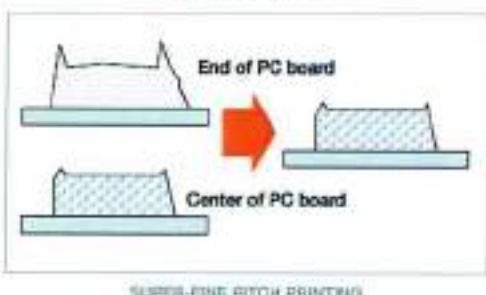
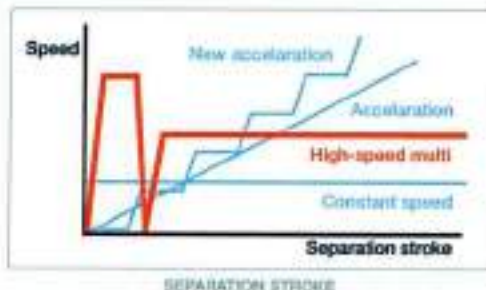


## Flexibility

- **Universal mask holder**  
Frames ranging from M to D size (29 inches) are supported as a standard feature.
- **PCB transfer speed selection and pickup support block**  
Useful for transferring thin PCBs or for PCBs where components are placed on their rear side.
- **Automatic support pin unit (currently under development)**  
Automatically adjusts to suit rear side mounting conditions by changing the height of the support pins, eliminating the need to input pin position coordinates.

## New Snap-off Function

The new acceleration control theory promotes excellent snap-off performance even when the snap-off is susceptible to masking. Through the combination of the priority modes—high-speed, multi-snap-off and support snap-off—both SMT printing and superline pitch printing are supported.



**Safety Caution:** To ensure safety when using this equipment, all work should be performed in accordance with the supplied operating instructions. Thoroughly read your operating instructions manual.

Panasonic Factory Solutions Company of America

1-847-495-6100  
PFSAmarketing@us.panasonic.com  
www.panasonicfa.com

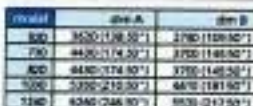
**Panasonic ideas for life**

Anexo K - Dados técnicos do forno  
*Vitronics XPM<sup>2</sup>*

---



## Technical specifications



Vibronics Soltec maintains a constant program of product improvement which may effect design. We reserve the right to make these changes without prior notice or liability.  
Pentium™ is a registered trademark of Intel Corporation. Windows™ is a registered trademark of Microsoft Corporation.



## Apêndice A – Esquema Elétrico do PRDA1

U. Sensor MiniMELF	
U. FICHA FPGA SMD	
U. MCU MCU SMD	
U. Audio Cassete SMD, 1000000000	
U. Power Power SMD	
U. SD Logger SD Logger SMD	
U. Sensor Sensor SMD	
U. Digital Cassete Digital Cassete SMD	
U. Comunicação Comunicação SMD	

- Adicionado o circuito de GPS e seus componentes de suporte na página "Sensors".
- Adicionados 6 PORTs ligando o soquete de cartão SD até a FPGA
- Header J7 passou de 2x13 posições para 2x11
- Foram adicionados na lista de componentes:
  - Conector Ethernet
  - Conector UMCC (Hirose U.FL)
  - GPS Venus I.C.
  - Filtro EMI na entrada de energia
- Conector SD não é mais da 3M e sim da T.E. Connectivity, verificar o desenho mecânico.
- Capacitores estão com todos os encapsulamentos definidos.
- Encapsulamento dos diodos zeners são MiniMELF.
- Encapsulamento dos Pico Fuses são 0805.
- Encapsulamento dos indutores BEAD são 0603.
- Retirado o resistor R108 da página "Sensors".
- Definido o filtro EMI (componente e encapsulamento) que fica na entrada de tensão do módulo (próximo ao diodo série e ao diodo TVS).
- Correção do símbolo da breakout board do SD Logger.

#### Changelog da versão 1.1 para a 1.2

- O port SPI2\_NSS foi apagado, em seu lugar entrou o STE100P\_RESET. A página alterada é a MCU em UI.131.
- O port SPI\_MISO (UI.133) agora está conectado em paralelo ao pino U2.57 através de um resistor série.
- Correção dos nomes duplos dos sinais U10.21, U10.22, U10.44, U10.1, U10.2, U10.3
- Adicionado os valores dos resistores de pull-up dos optocopladores na página "Digital Connector".

#### Changelog da versão 1.2 para a 1.3

- Corrigido a alimentação da barra de pinos JTAG na página FPGA. Corrigido os pinos de alimentação ligados em "VCC" na página "SD Loggers".
- Adicionado o circuito de RS232 na página "Communications" e os ports RS232\_TX e RS232\_RX foram adicionados na página "Digital Connector" no lugar de dois ports E5V.
- Marcados em caixas azuis ou especificados em comentários estão os componentes que devem ir para a parte inferior da placa.
- Mudança de encapsulamentos na página "SD Loggers".
- Acréscimo de 2 resistores série nas vias de USART na página Sensors.
- R133 e C129 são 0603 agora.

#### Changelog da versão 1.3 para a 2.0

- Adicionados os resistores R204 e R205 na página "Digital Connector".
- Adicionado resistor de pull-up R206 na página "Power".
- Adicionados resistores R196, R197, R198, R199, R200, R201, R202, R203, R204 e R205 na página "Digital Connector".
- Deletado o capacitor C163 na página "Communications".
- Apenas os resistores R139 e R148 são 1206 na página "Digital Connector". Todos os outros são 0603.
- Adicionados os fixáveis F13, F14, F15 e o resistores R207, R208 e R209 na página "Analog Connector".

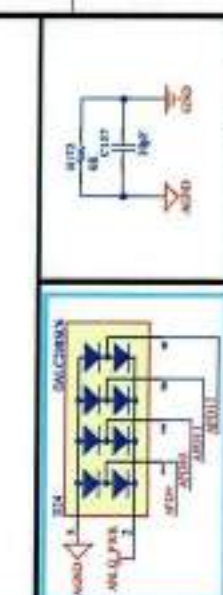
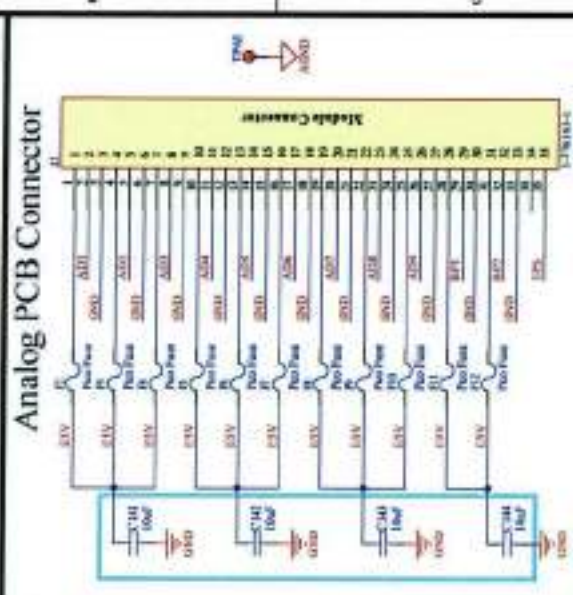
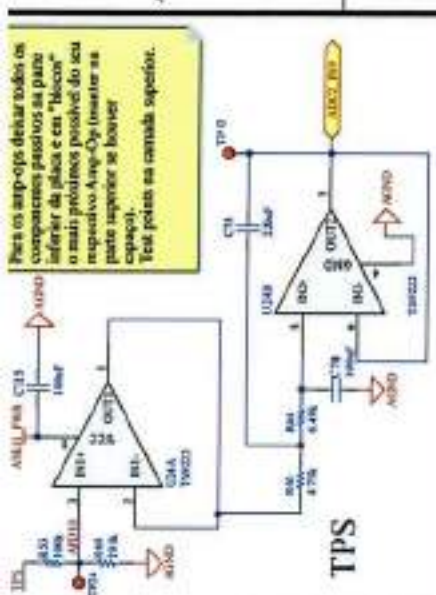
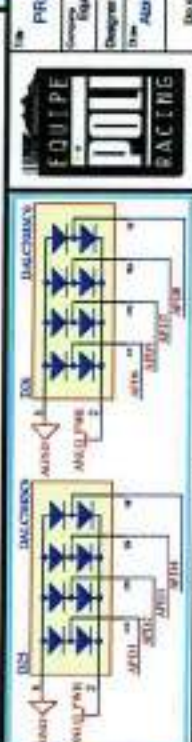
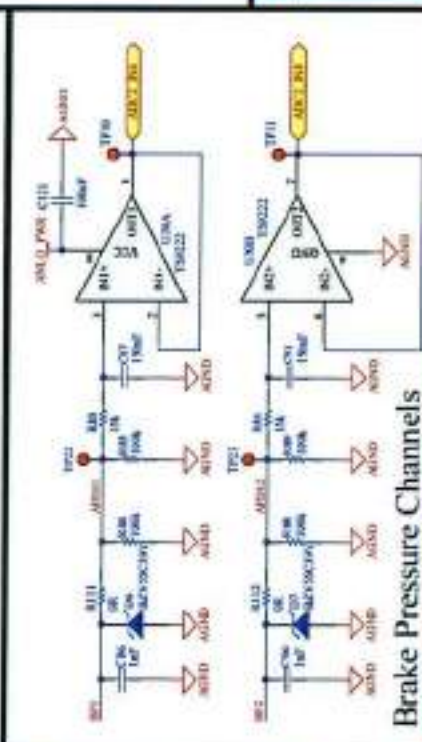
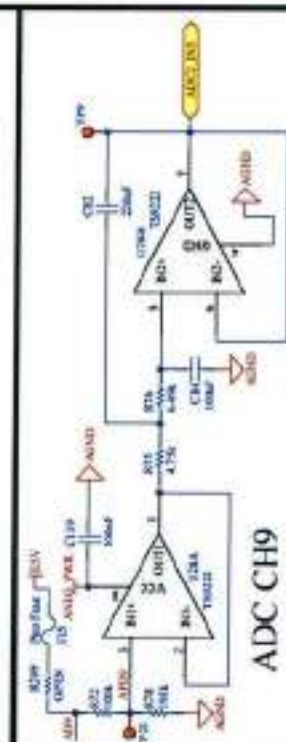
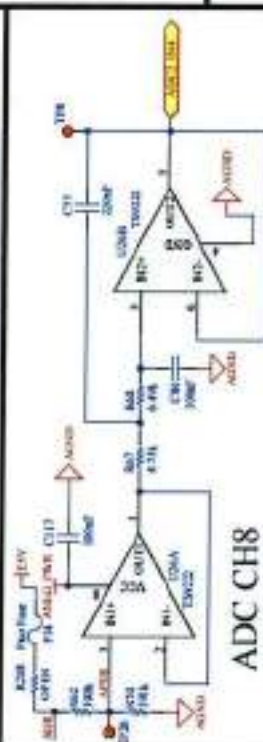
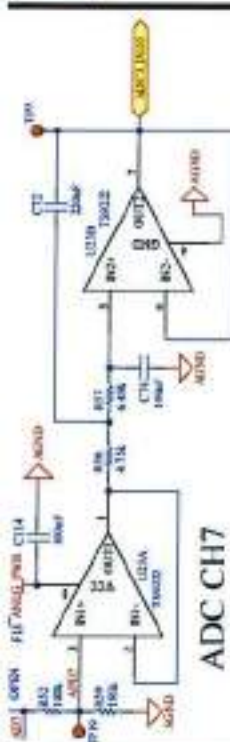
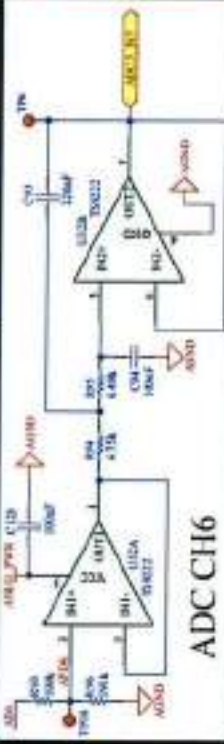
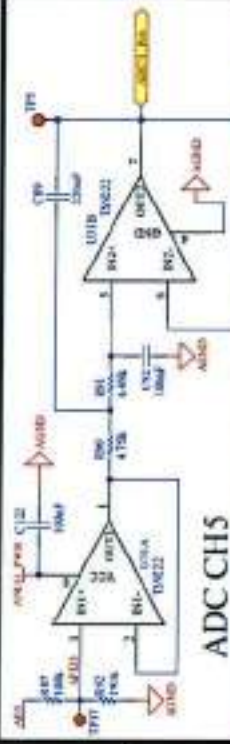
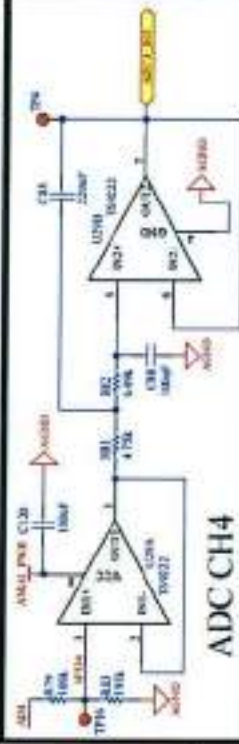
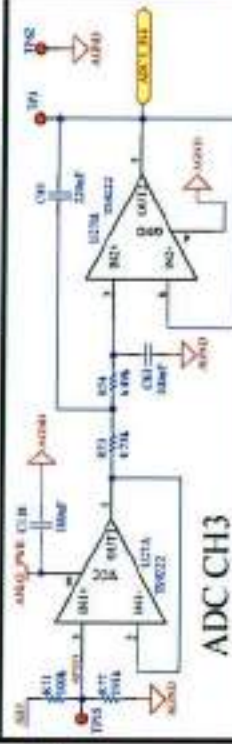
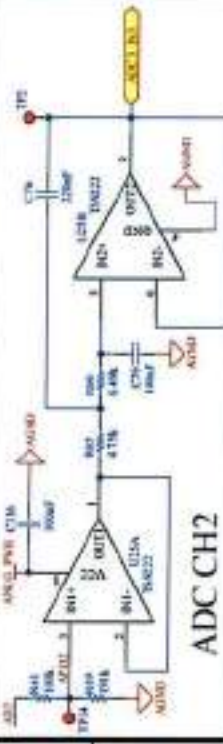
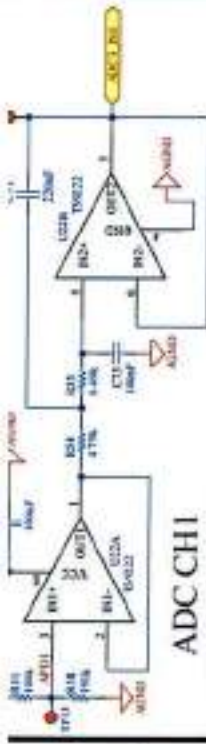
- Todos os capacitores e resistores são 0603 exceto quando indicado.

- O projeto fará uso de breakout boards e possuirá também o esquema elétrico destas placas copiadas na própria PCB. Estas breakout boards estão indicadas no esquema elétrico. Para verificar o footprint das mesmas, consulte o material de encapsulamento de componentes.
- O footprinting fornecido em conjunto com o projeto serve como orientação para posicionamento de componentes críticos.
- LEDs são 0603.
- Manter os resistores de configuração, pull up e de programação na parte superior da placa. Todos os outros podem ser levados para a parte inferior. O mesmo vale para capacitores.



PRDA1 - Pod Racing Data Acquisition 1	Revisão 1.0
Elaborado por: Henrique de Faria - Escola Analista de LOP	1 de 10
Desenhado por: Henrique de Faria - Escola Analista de LOP	2 de 10
Revisado por: Henrique de Faria - Escola Analista de LOP	3 de 10
Revisado por: Henrique de Faria - Escola Analista de LOP	4 de 10
Revisado por: Henrique de Faria - Escola Analista de LOP	5 de 10
Revisado por: Henrique de Faria - Escola Analista de LOP	6 de 10
Revisado por: Henrique de Faria - Escola Analista de LOP	7 de 10
Revisado por: Henrique de Faria - Escola Analista de LOP	8 de 10
Revisado por: Henrique de Faria - Escola Analista de LOP	9 de 10
Revisado por: Henrique de Faria - Escola Analista de LOP	10 de 10





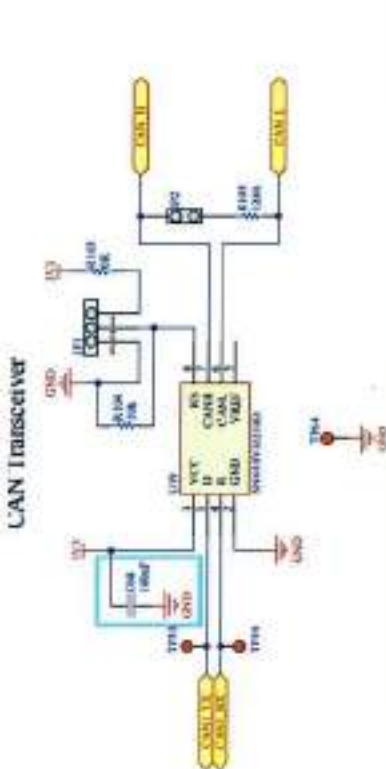
PRDA1 - Analog Connector, Signal Conditioning and Filtering			
Company	Esquele Pte. Inc. - F&E - Escola Politécnica de USP	Sheet	2 of 10
Designer	Alvaro Gaby Nelo	Version	1 - 17/07/2012
Drawn	Alvaro Gaby Nelo	Approved	Alvaro Gaby Nelo
Scale	1:1	Scale	1:1
Revision History	1- 17/07/2012 2- 12/07/2012		

This drawing is a controlled document.  
Do not reproduce without permission from the company and the drawing.

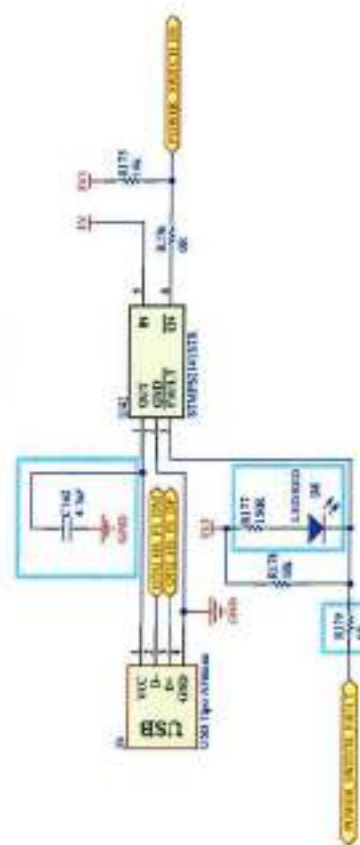
Rev. A3



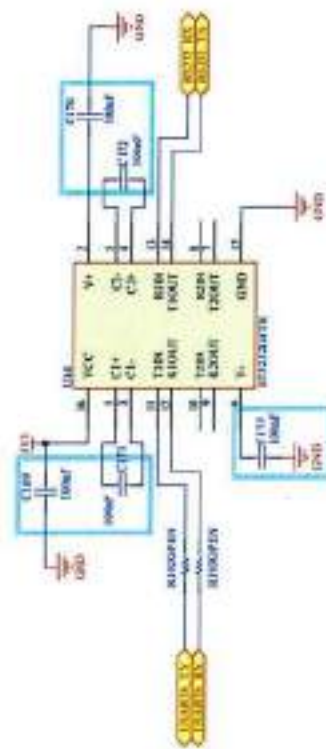
## CAN Transceiver



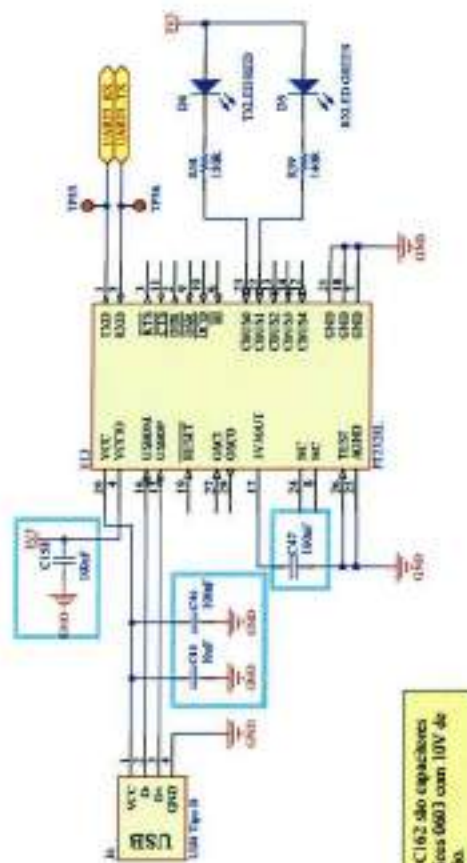
### USB Power Switch



## RS232

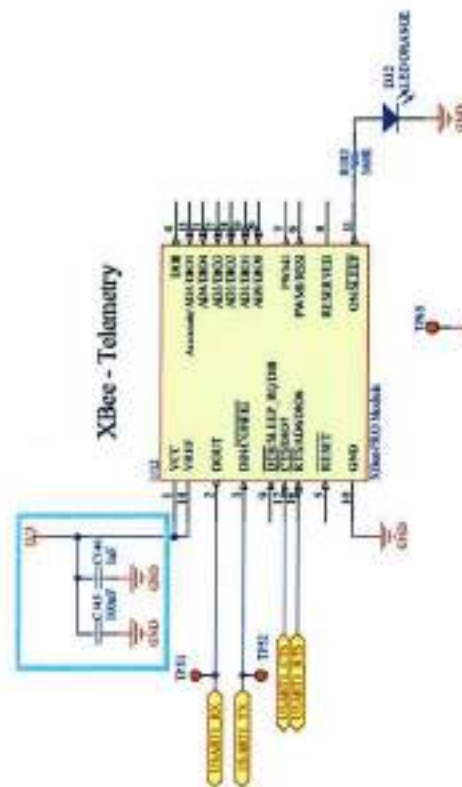


## Transceiver USART / USB



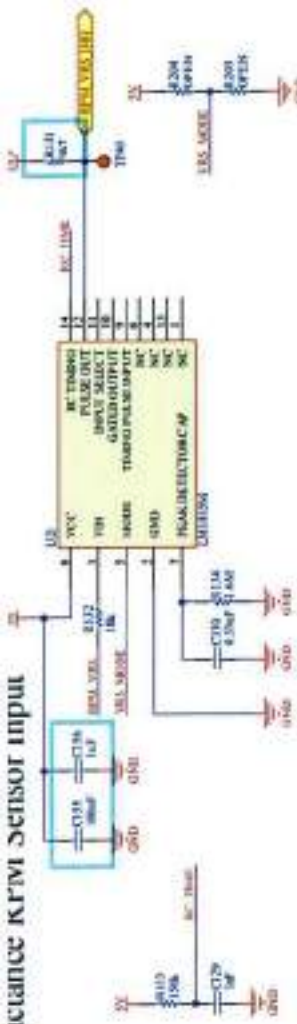
C45 e C162 são capacitores cerâmicos 0603 com 10V de isolamento.

## XBee - Telemetry

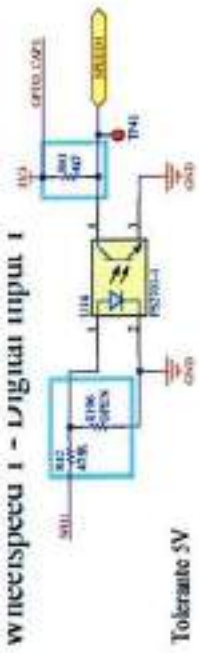


<p>PSQA1 - Communication Modules</p> <p>Examine the Rating of FPM - Enclose Publications as UHF</p> <p>Designat: AUSA Gody Nats</p>		<p>Strand 3 of 10</p>	<p>4-</p>
<p>Alma Gody Nats</p>		<p>Alma Gody Nats</p>	<p>2-</p>
<p>Alma Gody Nats</p>		<p>Alma Gody Nats</p>	<p>1- 1/3/3/5/6/12</p>
<p>This document is a controlled document.</p> <p>The user must ensure that the document is not released to the public.</p>			<p>Size: A3</p>

# Variable Reluctance RPM Sensor Input

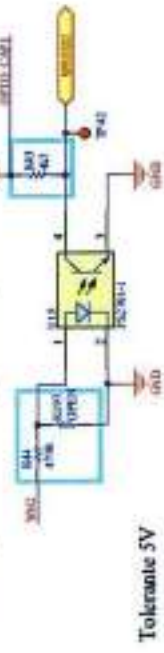


# Wheel Speed 1 - Digital Input 1



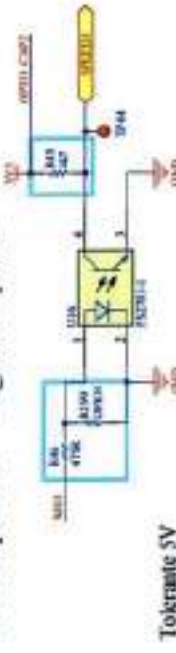
Tolerante 5V

# Wheel Speed 2 - Digital Input 2



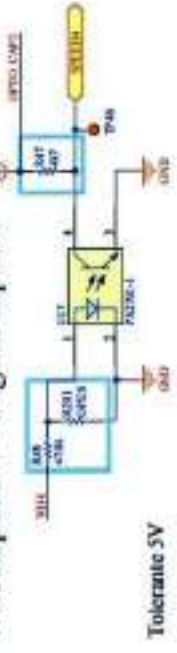
Tolerante 5V

# Wheel Speed 3 - Digital Input 3



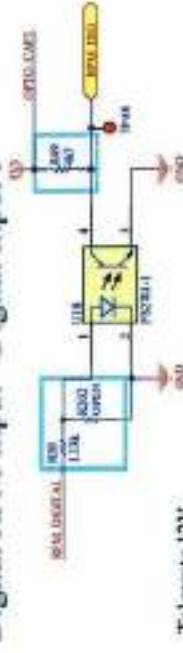
Tolerante 5V

# Wheel Speed 4 - Digital Input 4



Tolerante 5V

# Digital RPM Input - Digital Input 5

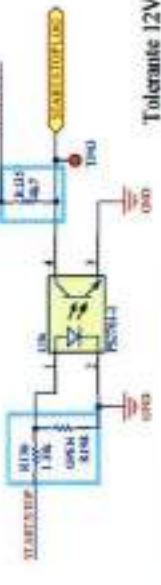


Tolerante 12V

# Digital PCB Connector

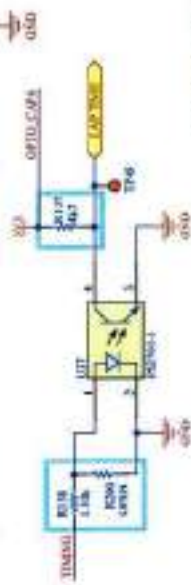


# Start/Stop Logging - Digital Input 6



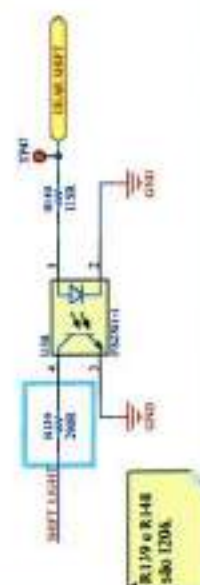
Tolerante 12V

# Lap Time Beacon - Digital Input 7

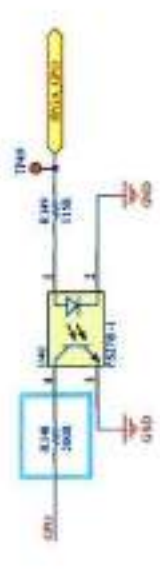


Tolerante 12V

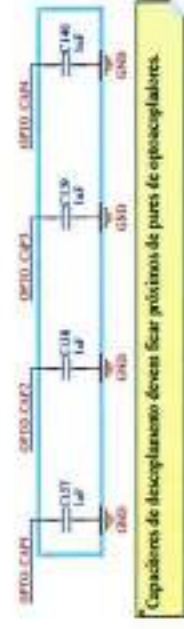
# Shift Light Output - Digital Output 1



# General Purpose Output - Digital Output 2

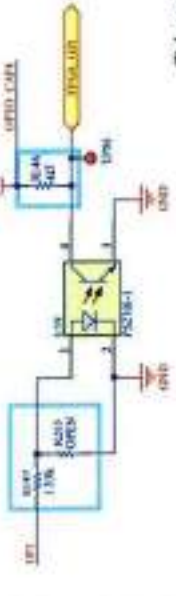


# Decoupling capacitors



Capacitores de desacoplamento devem ficar próximos de pines de optoelectronicas.

# General Purpose Input - Digital Input 8



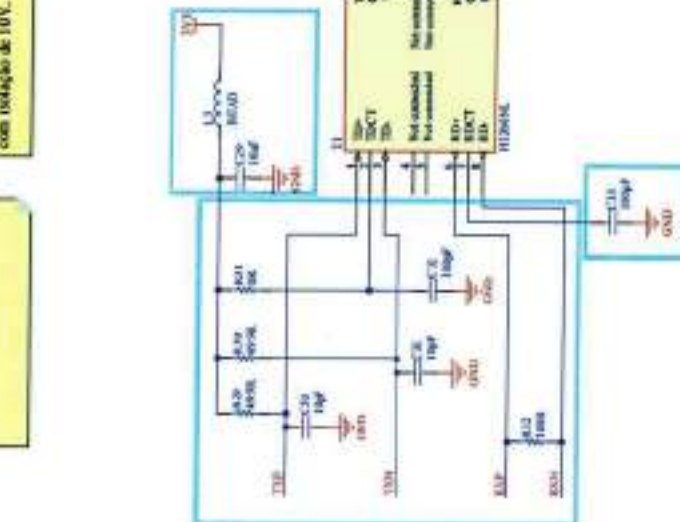
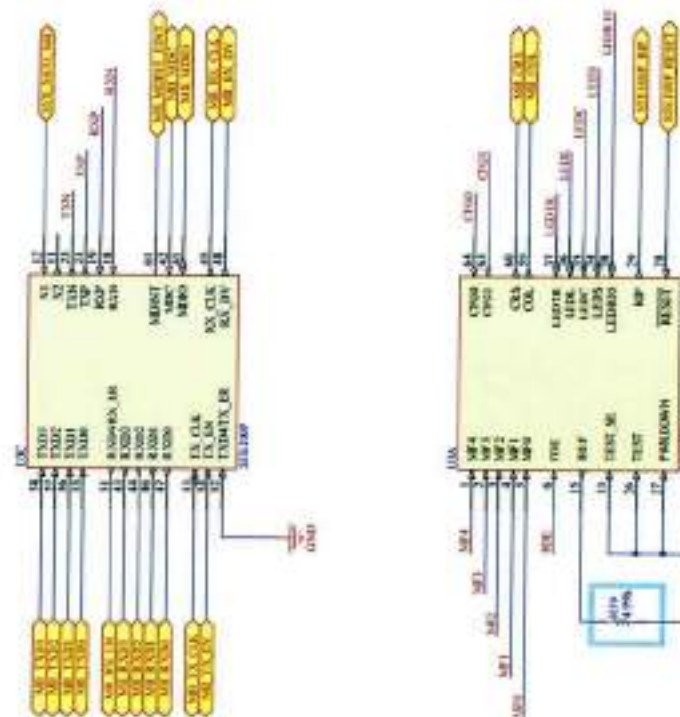
Tolerante 12V



PRDA1 - Digital Connector, Digital GPIO and VRS conditioning			
Company	Equipe Pont Racing de F1 - Equipe Pont Racing de F1	Sheet	4 of 10
Designer	Adriano Guedes Neto	Adriano Guedes Neto	
Time	Adriano Guedes Neto	Adriano Guedes Neto	
This drawing is a confidential document. Do not reproduce without permission from the company and the designer.			
Sheet			A3
			1- 1700 04/02
			2- 12/07/2012

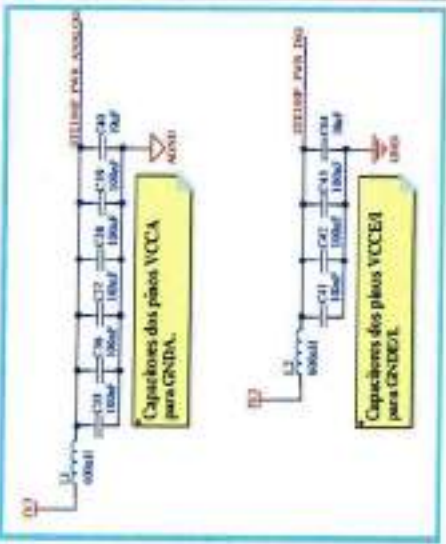


### STE100P Visual feedback



Os indicadores HEAD L1, L2 e L3 são 0403 de valor 6000H.

Os capacitores C29, C40 e C44 são capacitores eletrônicos 500V.



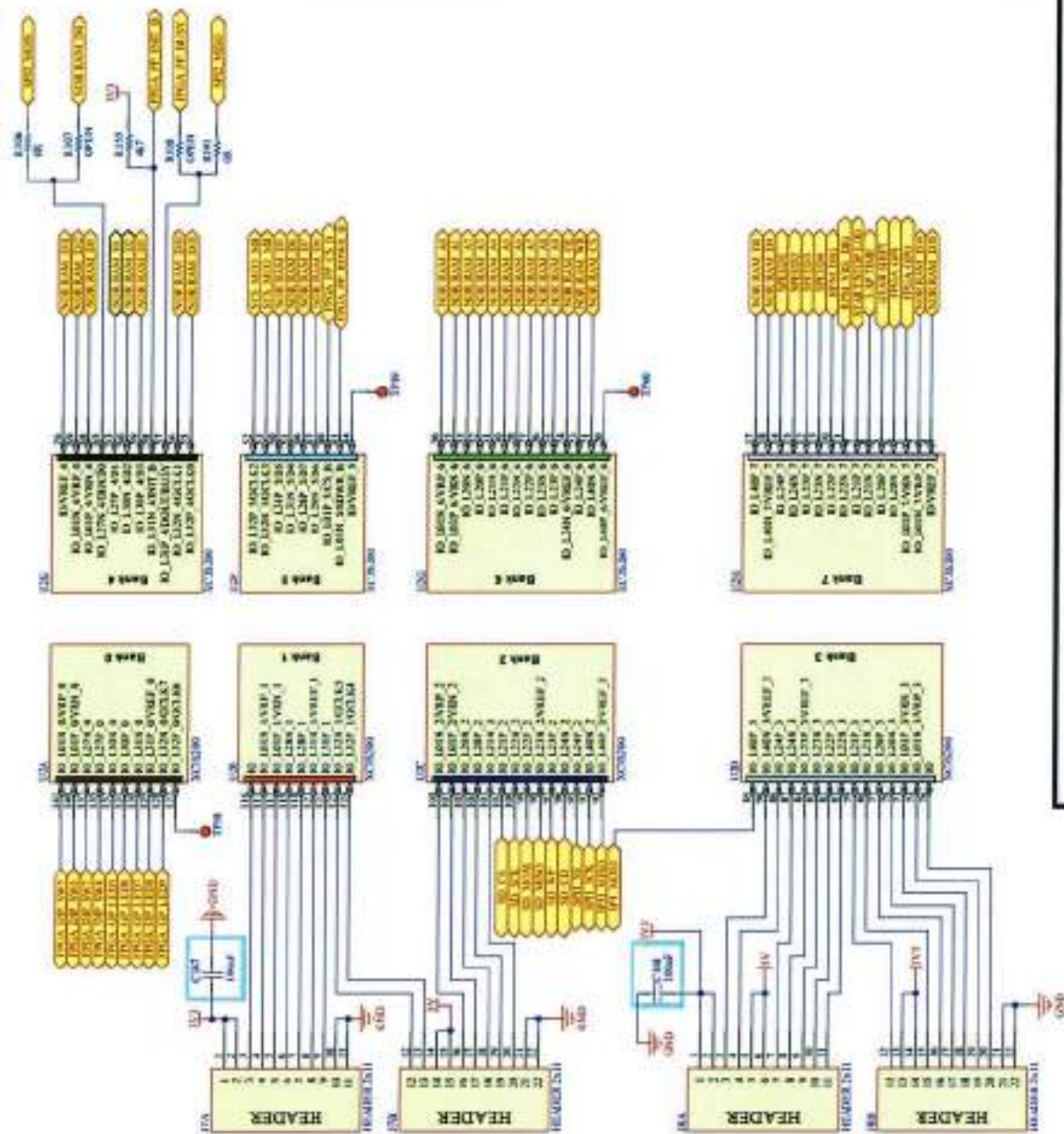
C14 é um capacitor cerâmico through-hole. Mantenha-o mais próximo possível do conector de liberação.



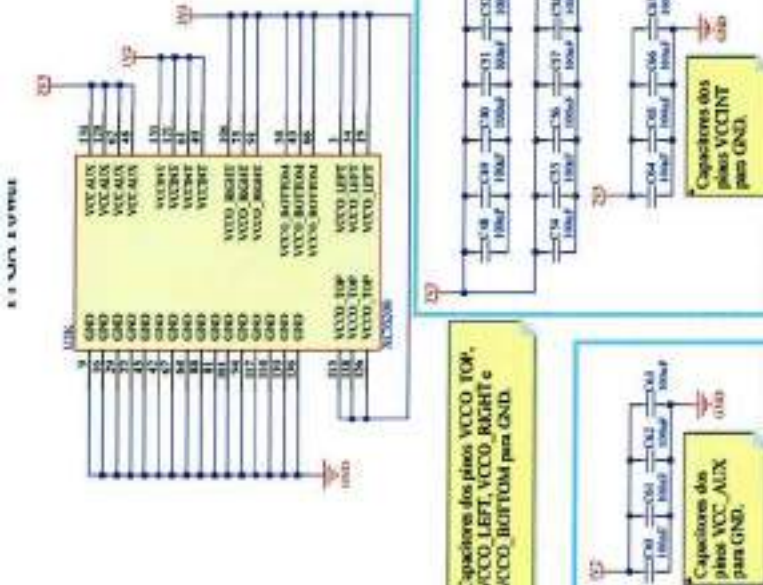
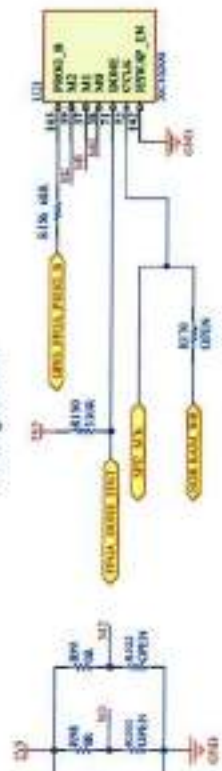
EQUIPE  
**POLLI**  
RACING

PRDA1 - Ethernet PHY Layer			
Sheet	5 of 10	Revision History	
Author	Alvin Gooch	2 -	
Alvin Gooch	Alvin Gooch	1 - 17/07/2012	
Alvin Gooch	Alvin Gooch	3 -	
Alvin Gooch	Alvin Gooch	4 -	

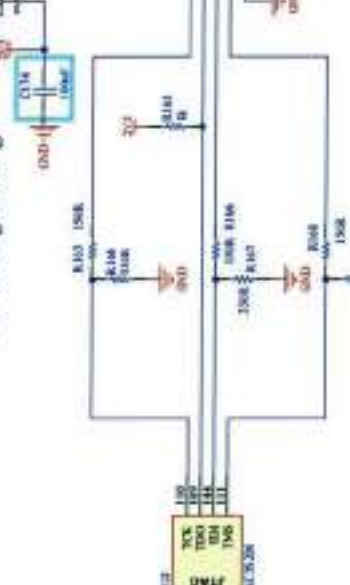




# Configuration

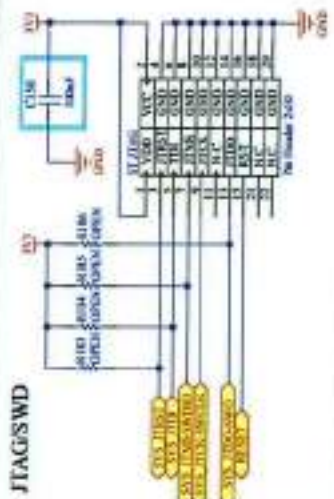
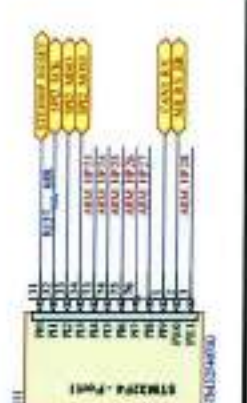
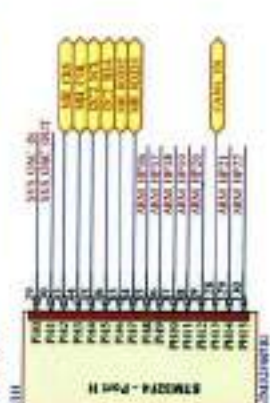


# JTAG Programming

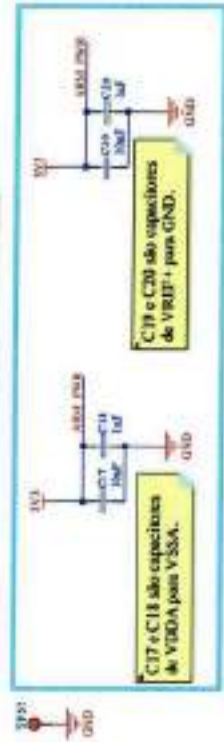
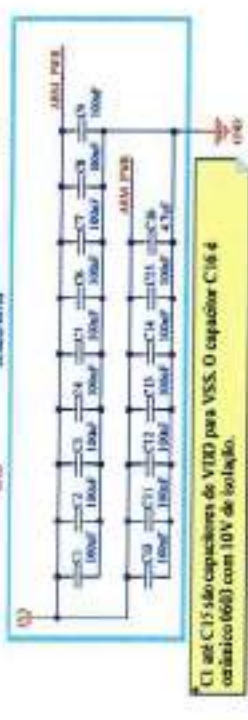
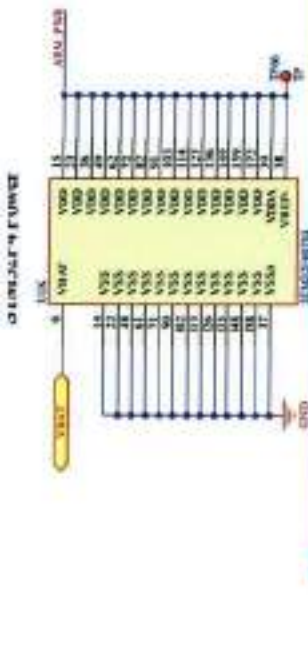
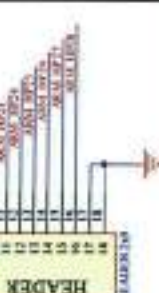
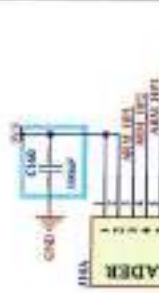


EQUIPE		PRAZAT - Spartan-3 FPGA		Revision History	
Projeto	Equipe de Trabalho de F&E - Escola Politécnica da USP	Sheet	8 of 10		
Desenho	Alvaro Góes Neto	Desenho	Alvaro Góes Neto		
Revisão	Alvaro Góes Neto	Revisão	Alvaro Góes Neto		
This drawing is a controlled document.				1- 17/01/2012	
Do not reproduce without permission from the company and its employees.				0- 10/01/2012	
A3		A3		A3	

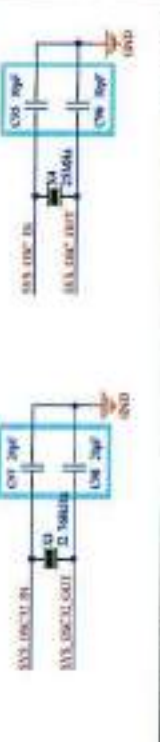
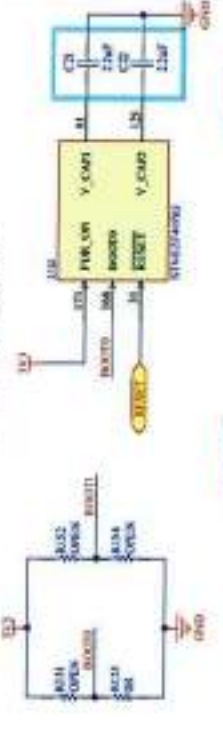




# Expansion Header



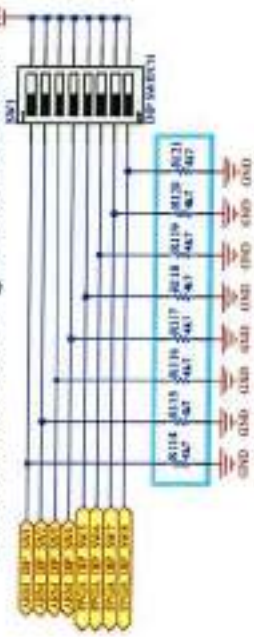
## Configuration & Crystals



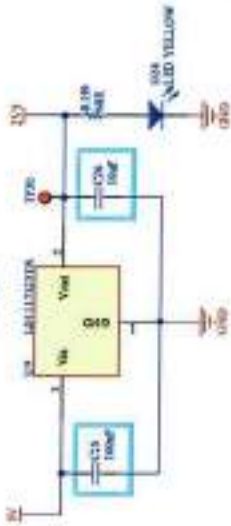
PRDA1 - STM32F407 ARM Microcontroller		Revision History
Equipe Pot Racing de FPM - Escola Politécnica de UFRJ	Sheet 7 of 10	4.
Designer: Alvaro Gódy Neto	Approved: Alvaro Gódy Neto	3.
Draw: Alvaro Gódy Neto	Approved: Alvaro Gódy Neto	2.
This drawing is a controlled document. Do not reproduce without permission from the company and the designer.		1. 17/07/2012
Rev: A3		0. 12/01/2012



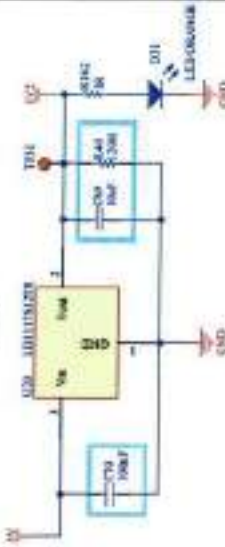
# DIP Switch - Config Mode Selection



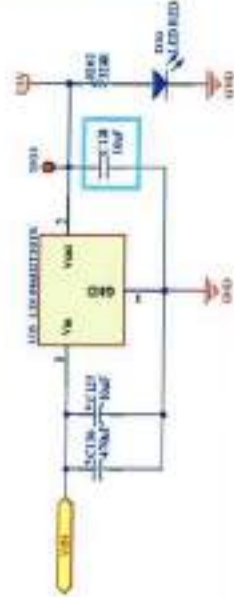
## 2V3



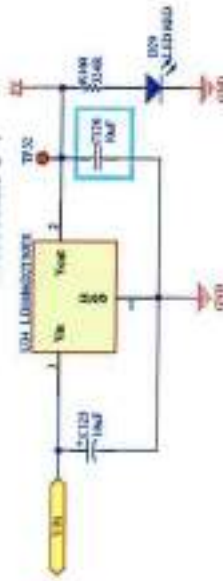
## 1V2



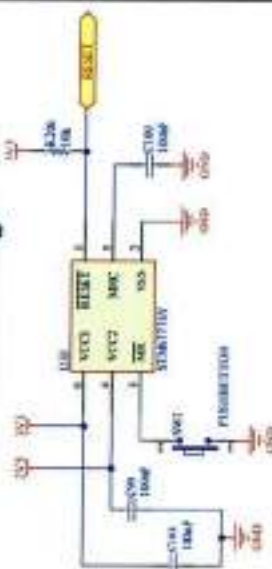
## External 5V



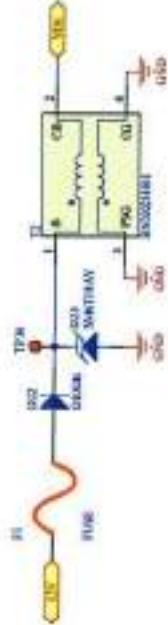
## Internal 5V



## Reset Manager

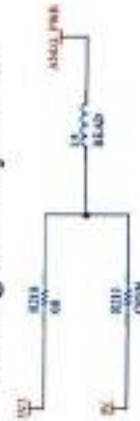


## Circuit Protection



Isolação e encapsulamento dos capacitores:  
 - C126 - 25V - Eletrolítico D10mm / A: 10mm  
 - C127, C128 - 50V - Eletrolítico 5mm x 5mm  
 - C23, C24, C26, C126, C128, C28 - 10V - Cerâmico 0603  
 - Os pads não indicados no esquema eletrônico do BOM0231801 não conectados ao GND. Verificar as recomendações de layout para uma boa filtragem no dispositivo.  
 - R210, R211 e L5 são 1206.

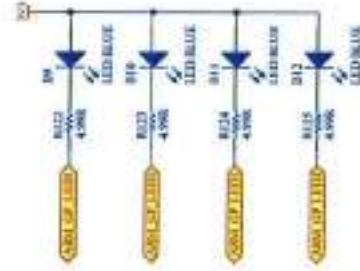
## Analog Circuitry Power



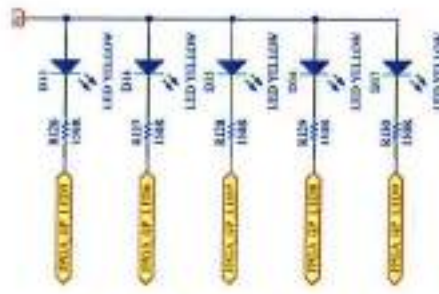
## 3V Battery



## ARM GP LEDs



## FPGA GP LEDs



PRDA1 - Power Supply and Configuration			
Company	Equipe Poli Racing de F1	Equipe Poli Racing de F1	Sheet 8 of 10
Design no	Atto-Gobby Neo	Atto-Gobby Neo	1- 1781/2012
Rev	Atto-Gobby Neo	Atto-Gobby Neo	2- 1781/2012
This drawing is a controlled document.			
Do not reproduce without permission from the company and the designer.			
Rev: A3 0- 12/01/2012			

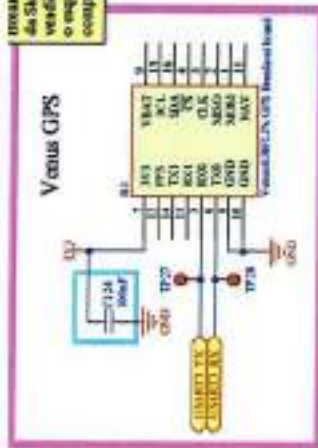
Revision History			
Rev	Atto-Gobby Neo	Atto-Gobby Neo	1- 1781/2012
Rev	Atto-Gobby Neo	Atto-Gobby Neo	2- 1781/2012





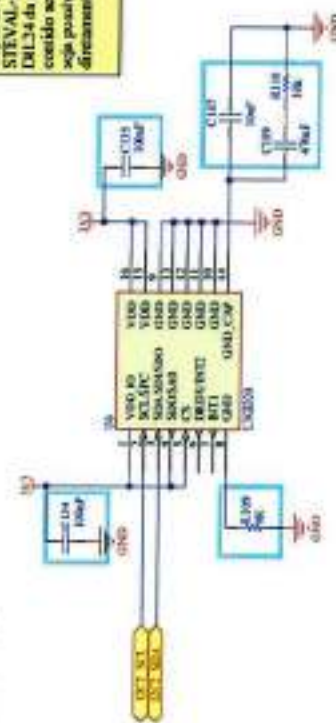


breakout board para o Venus GPS da Shiny. Será utilizada a placa vendida pela Shiny para o módulo e o esquema elétrico para solda de componentes na placa do PRDA1.



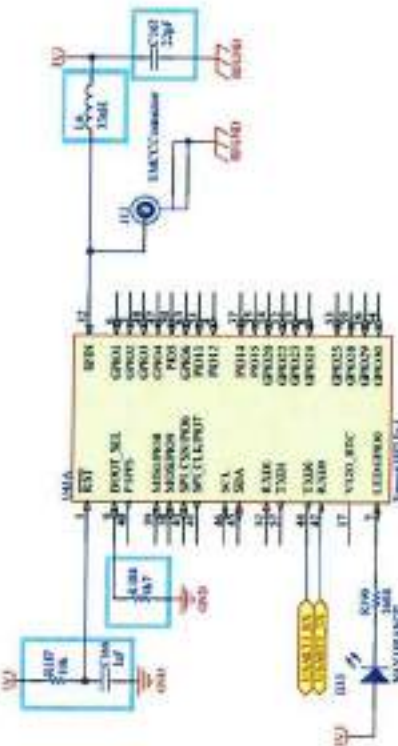
## L3GD20 & LSM303DLHC sensors

Cópia do circuito que está na breakout board STEVAL-MKI108V2. Além da função DIL24 da placa acima, gerar o circuito com o mesmo esquema elétrico para que seja possível soldar os componentes diretamente na placa do PRDA1.

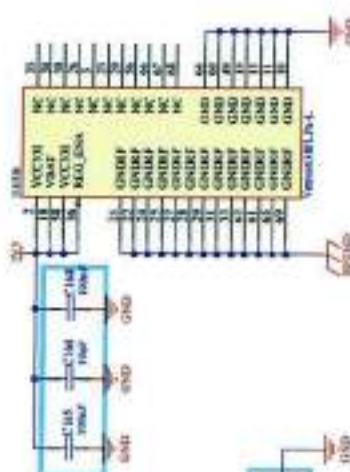


Os capacitores C103, C106, C108, C109 são capacitores eletrolíticos 100V com 10V de tolerância.

## Venus638H-Px-L GPS



Cópia do circuito que está na breakout board Venus GPS. Além da função DIL24 da placa, gerar o circuito com o mesmo esquema elétrico para que seja possível soldar os componentes diretamente na placa do PRDA1.



EQUIPE		PRDA1 - On board Sereira		Revisão History	
Equipe		Equipe		4 -	
Projeto		Projeto		3 -	
Desenho		Desenho		2 -	
Nome		Nome		1 - 17/01/2012	
Data		Data		0 - 10/01/2012	

This drawing is a controlled document.  
Do not reproduce or use without permission from the company and the designer.

Item A3

## Apêndice B – Bill of Materials





## **Bill of Materials (B.O.M.) – PRDA1**

*Lista de materias para a produção de um  
módulo de aquisição de dados*

Setembro de 2012

## 1. Componentes para o módulo eletrônico

Valor / Part Number	Quantidade	Descrição / Encapsulamento	US\$/Un	Total (US\$)
10k	10	0603	0,04	0,4
3k3	8	0603	0,04	0,32
4,99k	1	0603	0,04	0,04
1k	4	0603	0,04	0,16
160R	6	0603	0,04	0,24
49,9R	5	0603	0,04	0,2
0R	1	1206	0,05	0,05
0R	21	0603	0,02	0,42
100R	2	0603	0,04	0,08
75R	2	0603	0,04	0,08
150R	11	0603	0,04	0,44
140R	4	0603	0,04	0,16
120R	2	0603	0,04	0,08
4k7	19	0603	0,04	0,76
475R	4	0603	0,04	0,16
1,33k	4	0603	0,04	0,16
100k	14	0603	0,04	0,56
4,75k	10	0603	0,04	0,4
6,49k	10	0603	0,04	0,4
191k	10	0603	0,04	0,4
15k	2	0603	0,04	0,08
4,99R	4	0603	0,04	0,16
18k	1	0603	0,04	0,04
150k	1	0603	0,04	0,04
1,6M	1	0603	0,081	0,081
200R	2	1206	0,06	0,12
115R	2	0603	0,081	0,162
330R	4	0603	0,04	0,16
68R	3	0603	0,04	0,12
324R	2	0603	0,04	0,08
1R	1	0603	0,04	0,04
909R	2	0603	0,04	0,08
33k	1	0603	0,04	0,04
100nF/16V	99	0603	0,013	1,2573
4.7uF/10V	4	0603	0,260	1,04
10nF/50V	3	0603	0,026	0,078
1uF/25V	10	0603	0,068	0,68
2.2uF/50V	2	0603	0,180	0,36
10uF/10V	17	0603	0,420	7,14
10pF/25V	5	0603	0,160	0,8
100pF/50V	2	0603	0,100	0,2
1nF/2kV	1	PTH	0,490	0,49
220nF/25V	10	0603	0,048	0,48



# Equipe Poli Racing de Fórmula SAE da Escola Politécnica da USP



## PRDA1 – Poli Racing Data Acquisition 1

1nF/50V	3	0603	0,250	0,75
150nF/50V	2	0603	0,100	0,2
20pF/50V	6	0603	0,320	1,92
470nF/25V	1	0603	0,100	0,1
10uF/50V	2	6x5 SMD	0,460	0,92
330nF/16V	1	0603	0,110	0,11
470uF/25V	1	D10xA10 SMD	0,840	0,84
22pF/50V	1	0603	0,180	0,18
DALC208SC6	3	Steering Diode	0,97	2,91
STM32F407IGT6	1	Microcontrolador	15,75	15,75
STE100P	1	Ethernet PHY Layer	9,63	9,63
L3GD20TR	1	Giroscópio	8,26	8,26
LSM303DLHCTR	1	Acelerômetro	8,2	8,2
LD1086D2M33TR	1	Regulador 3V3	1,02	1,02
LD1117S25TR	1	Regulador 2V5	0,54	0,54
LD1117S12TR	1	Regulador 1V2	0,48	0,48
TS9222IYPT	11	Amplificador Operacional	1,036	11,396
LD1086D2T50TR	2	Regulador 5V	1,02	2,04
STM6777SYWB6F	1	Reset Manager	1,69	1,69
SM6T18AY	1	TVS Diode	1,01	1,01
STPS5L60SY	1	Diodo Schottky	1,26	1,26
STMP52141STR	1	USB Power Switch	1,74	1,74
ST3232EBTR	1	Level Converter	1,78	1,78
SN65HVD230D	1	CAN Transceiver	2,55	2,55
LM1815M	1	Interface com Sensor	3,39	3,39
Venus638FLPx-L	1	GPS IC	39,95	39,95
PS2701-1	10	Optocoupler	0,76	7,6
FT232RL	1	USB to Serial Transceiver	4,5	4,5
ATMega328P	1	Microcontrolador	3,05	3,05
ATMega644PA	1	Microcontrolador	7,39	7,39
XC3S200-4TQG144C	1	FPGA	15,1	15,1
XBP09-DPUIT-156	2	Xbee 900MHz	39,00	78
1-776087-1	1	AMPSEAL Connectors - 23 Positions	10,64	10,64
1-776163-1	1	AMPSEAL Connectors - 35 Positions	11,7	11,7
1871602-2	1	Micro SD Card Connector	2,565	2,565
2041021-1	1	Secure Digital Card Connector	3,01	3,01
787924-1	1	USB Type B Connector	2,5	2,5
1734081-1	1	USB Type A Connector	0,644	0,644
5558342-1	1	Ethernet Connector	3,74	3,74
1566230-1	1	U.FL Connector	1,04	1,04
01530008Z	1	Fuse Holder - Mini Blade	2,84	2,84
H1260NL	1	Transformador	4,06	4,06
BNX025H01	1	Filtro EMI	9,43	9,43
0297003.WXNV	1	Fusível Mini Blade 3A	0,83	0,83
9B-25.000MBBJ-B	1	Cristal 25MHz	0,42	0,42
ATS147B	1	Cristal 14,7456MHz	0,35	0,35
ATS16B	1	Cristal 16MHz	0,35	0,35
AB26T-32.768KHZ	1	Cristal 32,768kHz	0,25	0,25



BK-5058	1	Soquete de bateria 3V	0,82	0,82
2-5435668-7	1	DIP Switch	1,81	1,81
BZV55-C39,115	2	Zener 39V	0,2	0,4
LTST-C191KRKT	5	LED Vermelho	0,109	0,545
LTST-C191KGKT	4	LED Verde	0,109	0,436
LTST-C192KFKT	7	LED Laranja	0,108	0,756
LTST-C191TBKT	4	LED Azul	0,25	1
LTST-C191KSKT	6	LED Amarelo	0,109	0,654
WRL-09145	2	Adapatador U.FL para SMA	4,95	9,9
33 nH	1	0603	0,06	0,06
22 uH	1	0603	0,13	0,13
600 nH	1	1206	0,15	0,15
600 nH	3	0603	0,31	0,93

<b>Total Componentes:</b>	445	-	-	US\$ 315,55
---------------------------	-----	---	---	-------------

## 2. Componentes para o chicote

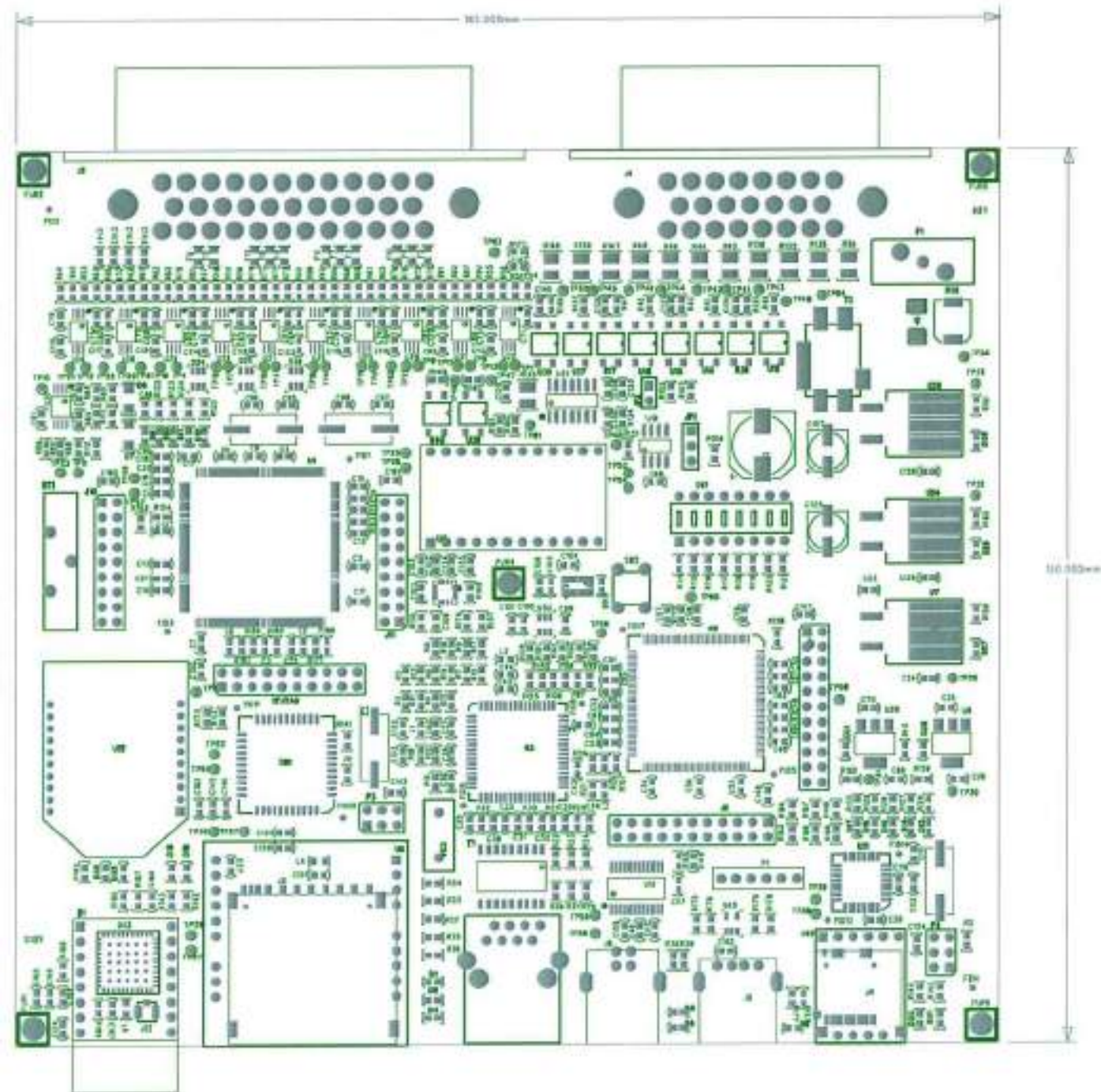
Part Number	Quantidade	Descrição	US\$/Un	Total (US\$)
770680-1	1	AMPSEAL 23 Pos. Plug Assy	7,36	7,36
776164-1	1	AMPSEAL 35 Pos. Plug Assy	10,70	10,70
770854-3	58	Contact AMPSEAL	0,68	39,44
776429-3	12	3 Pos. Plug Assy Key 3	1,39	16,68
776430-3	12	3 Pos. Cap Assy Key 3	1,73	20,76
2035047-2	40	Backshell 3 Pos.	2,02	80,8
776487-1	1	4 Pos. Plug Assy Key 1	2,19	2,19
776488-1	1	4 Pos. Cap Assy Key 1	2,12	2,12
776427-4	2	2 Pos. Plug Assy Key 4	1,27	2,54
776428-4	2	2 Pos. Cap Assy Key 4	1,66	3,32
2035047-1	4	Backshell 2 Pos.	2,02	8,08
776429-4	8	3 Pos. Plug Assy Key 4	1,39	11,12
776430-4	8	3 Pos. Cap Assy Key 4	1,73	13,84
2035047-5	1	Backshell 4 Pos.	1,81	1,81
638078-1	66	Pin Contact	0,23	15,18
776492-1	66	Assembly, Socket	0,44	29,04

<b>Total Chicote:</b>	282	-	-	US\$ 265,28
-----------------------	-----	---	---	-------------

## 3. Custo final

<b>Total Geral:</b>	-	-	-	US\$ 580,83
---------------------	---	---	---	-------------

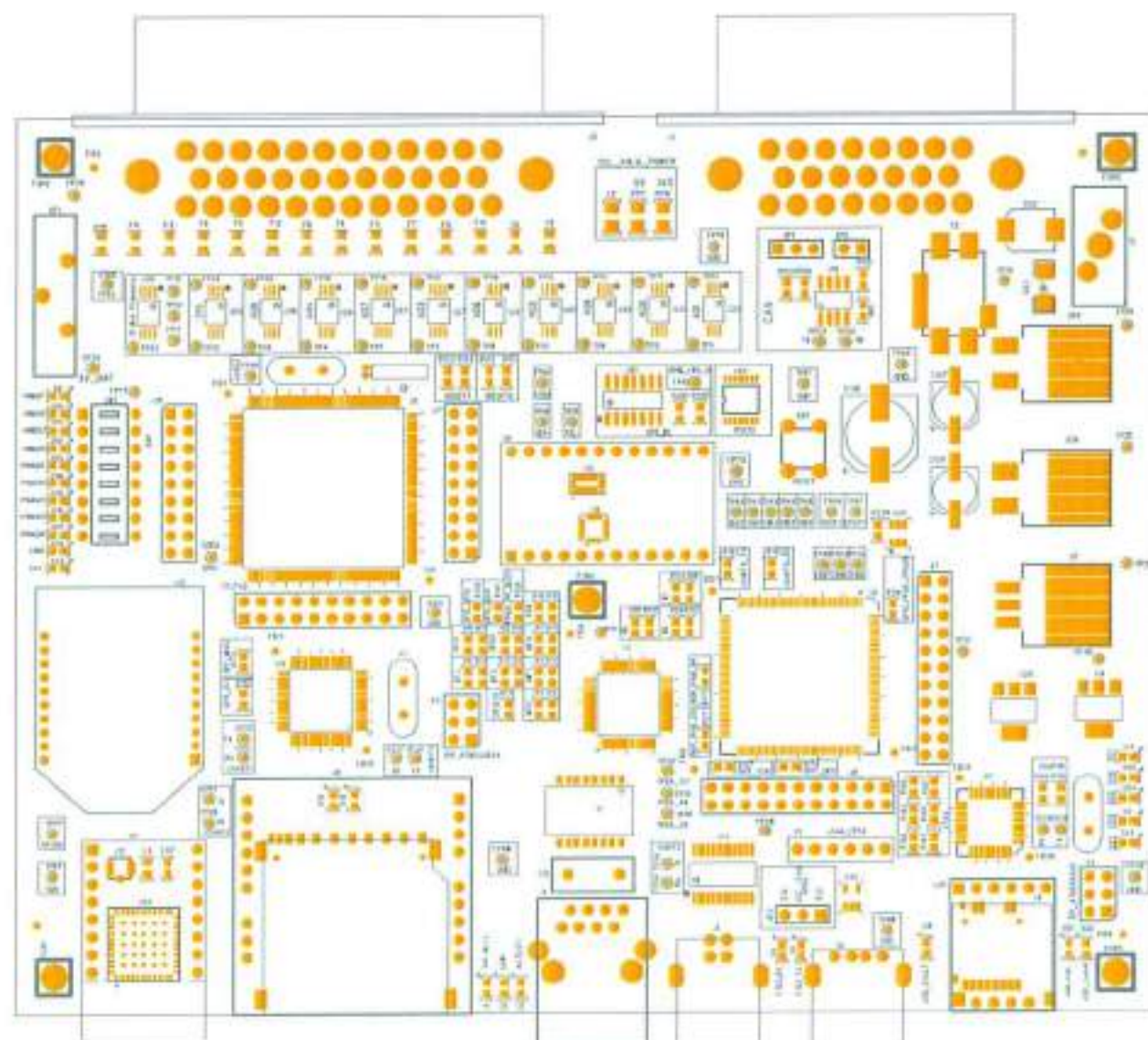
## Apêndice C – Versão inicial do posicionamento da *PCB*



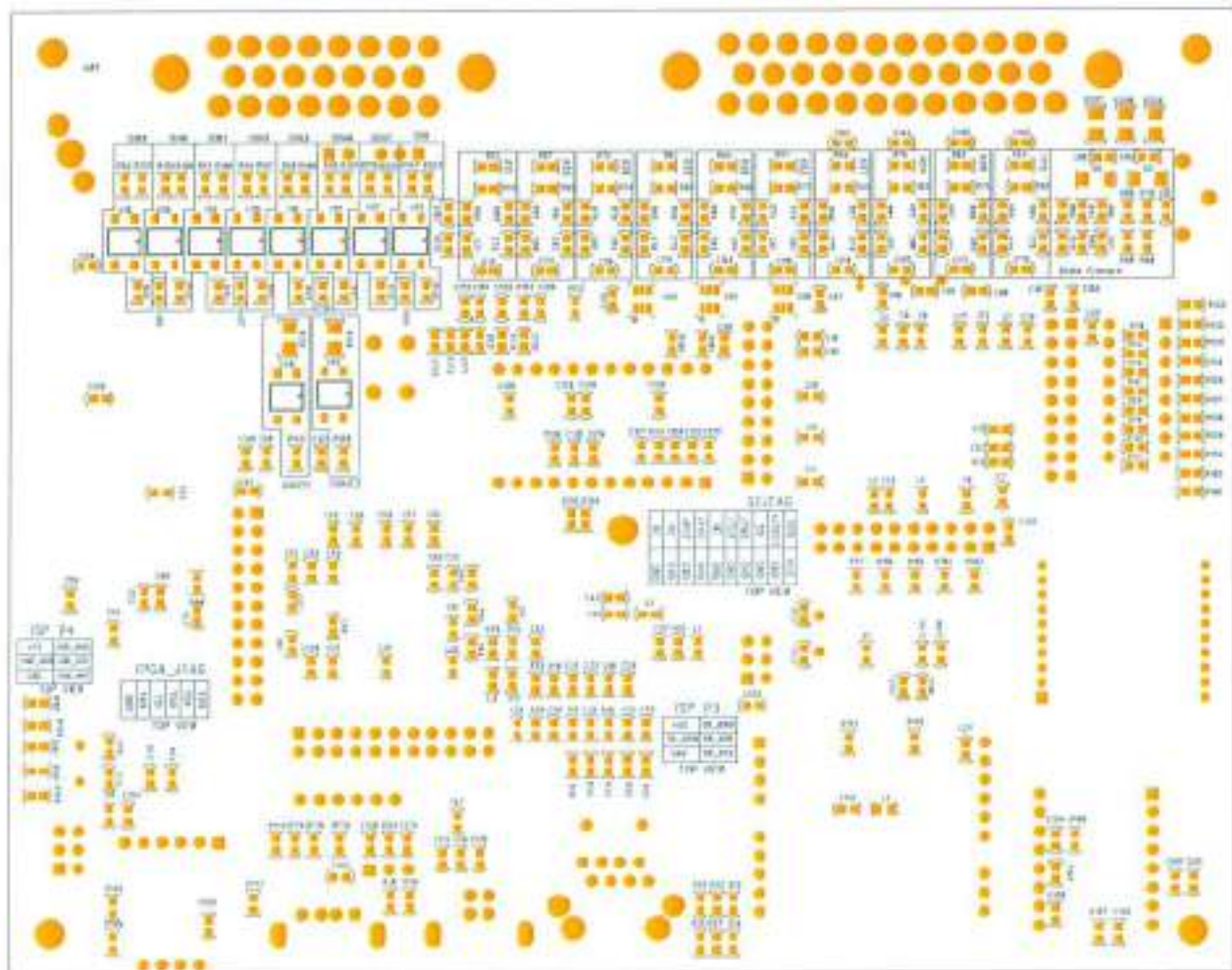
PROJEKTOVAZ	MASCARA DE COMPTON	PROJ	PC-PROJ	1/91
REVISOR	COMPTON/PROJ	DATA	01/01/2010	



## Apêndice D – Posicionamento aprovado e utilizado para geração da *PCB* do PRDA1



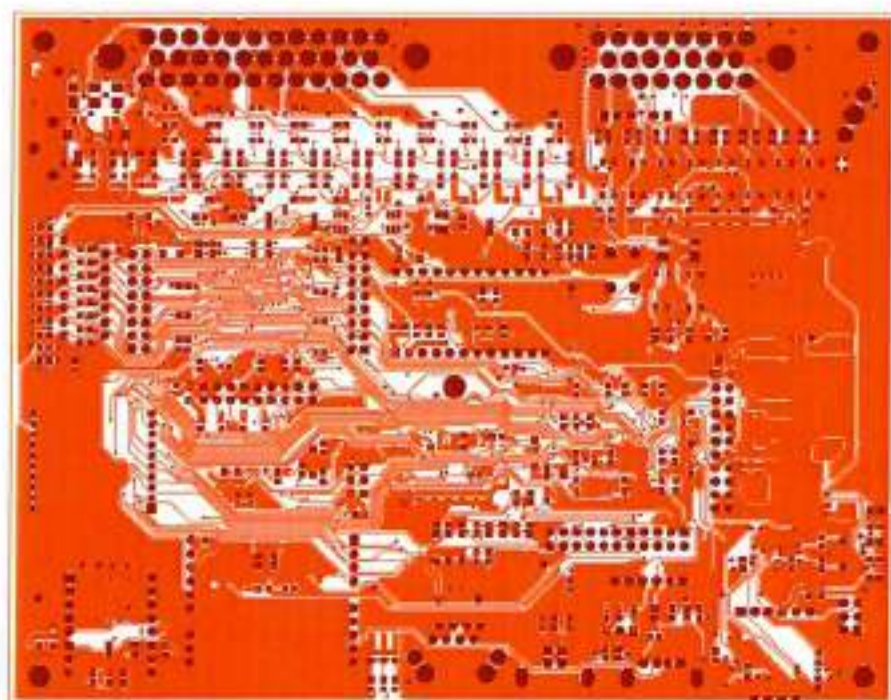
DESIGNAÇÃO: MASCARA DE COMPUTOR	DE: PL-10001	REV: 01
PROJETO: CONTROLO DE	10/06/200	



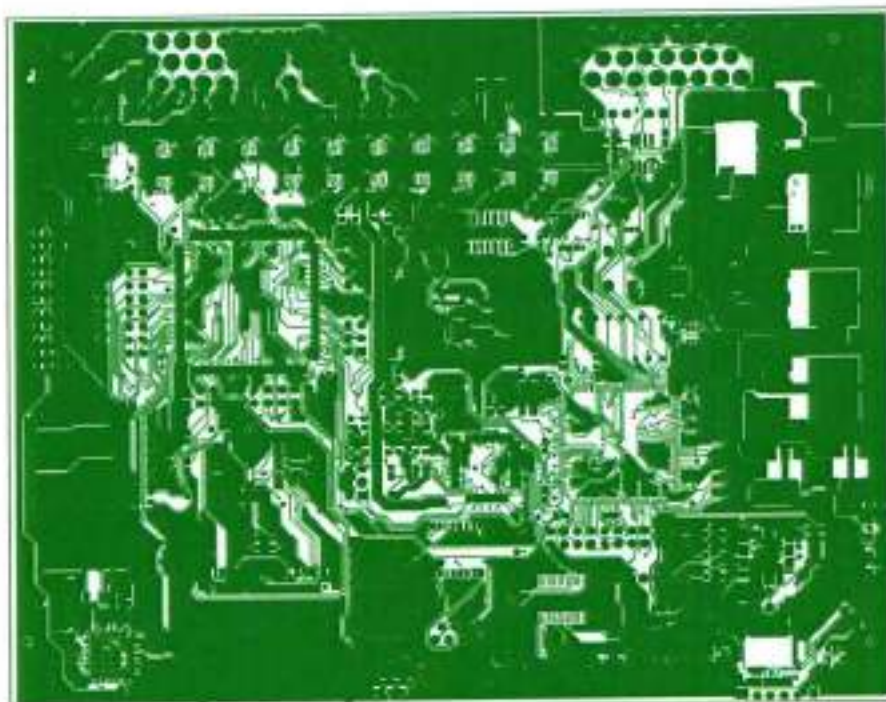
COMPANY		NASCARA DE COME BOTTOM	
DATE		10/10/2010	
DRAWN		10/10/2010	
CHECKED		10/10/2010	



## Apêndice E – Arquivos GERBER do painel de placas do PRDA1



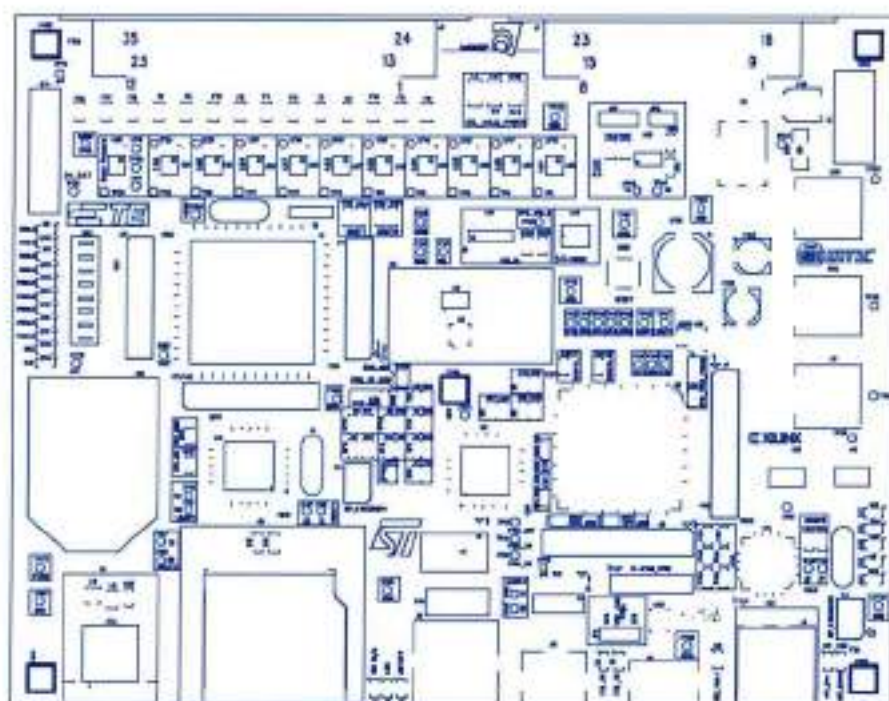
00000000	MASCHERA DE ESDH8 BOTTOM	PC	000000	1/01
00000000	000000000000	001	00000000	00000000



DESIGNER	WASCARA DE COORE TOP	REV	01
DATE	2018	DATE	27/08/2018
DESIGNER	CONSTRUCȚIA 12103		







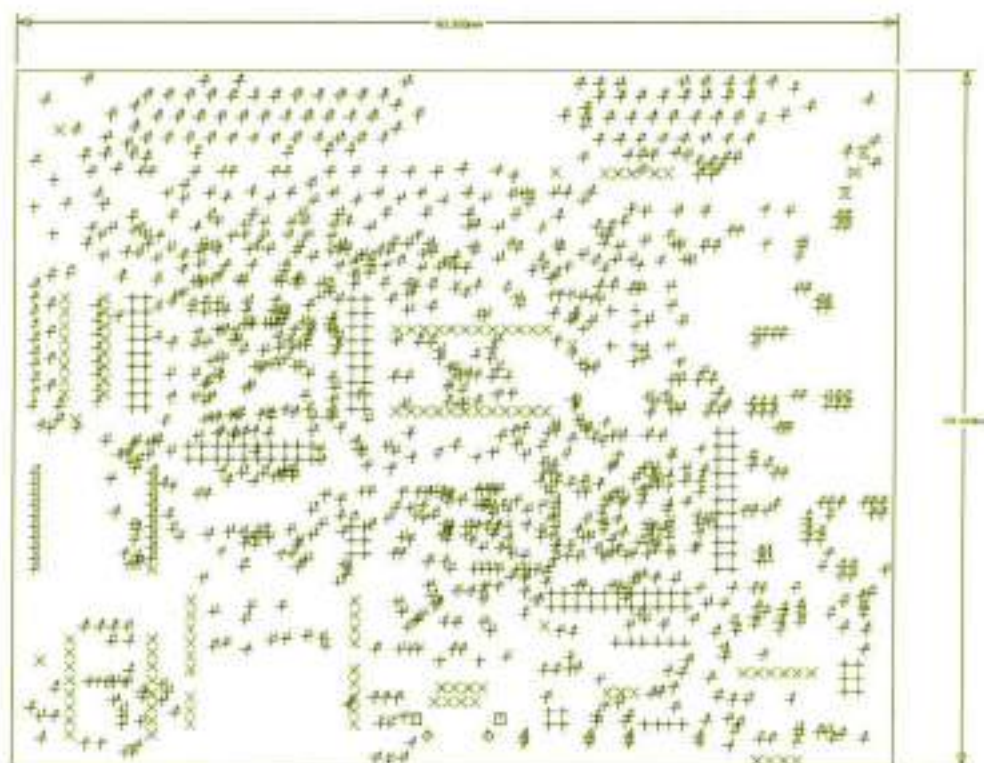
PROJETO	MISCARA DC COMP TOP	PG	1/1
REVISÃO	CONTORRIDA/PIS	DATA	23/04/2018



NAME	DATE
CLASS	PERIOD



IE	QTY	SYM	PLATED	TOL
	135	+	YES	+/-0.0
	167	X	YES	+/-0.0
	2	□	YES	+/-0.0
	2	○	YES	+/-0.0
	2	⊗	YES	+/-0.0
	1	⊗	YES	+/-0.0
	2	⊕	NO	+/-0.0
	58	⊕	YES	+/-0.0
	4	⊕	YES	+/-0.0
	25	⊕	YES	+/-0.0
	9	⊕	YES	+/-0.0
	5	⊕	NO	+/-0.0
	2	⊕	YES	+/-0.0
	1	⊕	NO	+/-0.0
	1	⊕	NO	+/-0.0
	712	⊕	YES	+/-0.0
	10	⊕	YES	+/-0.0



REVISÃO	MÁSCARA DE FURACIS	DE	PR
DATA	27/08/2012	PR	27/08/2012

IE	QTY	SYM	PLATED	TOL
1	1	+	YES	+/-0.0
2	1	X	YES	+/-0.0
3	1	□	YES	+/-0.0
4	1	○	YES	+/-0.0
5	1	⊗	YES	+/-0.0
6	1	⊕	NO	+/-0.0
7	1	⊕	YES	+/-0.0
8	1	⊕	YES	+/-0.0
9	1	⊕	YES	+/-0.0
10	1	⊕	YES	+/-0.0
11	1	⊕	YES	+/-0.0
12	1	⊕	YES	+/-0.0
13	1	⊕	YES	+/-0.0
14	1	⊕	YES	+/-0.0
15	1	⊕	YES	+/-0.0
16	1	⊕	YES	+/-0.0
17	1	⊕	YES	+/-0.0
18	1	⊕	YES	+/-0.0
19	1	⊕	YES	+/-0.0
20	1	⊕	YES	+/-0.0
21	1	⊕	YES	+/-0.0
22	1	⊕	YES	+/-0.0
23	1	⊕	YES	+/-0.0
24	1	⊕	YES	+/-0.0
25	1	⊕	YES	+/-0.0
26	1	⊕	YES	+/-0.0
27	1	⊕	YES	+/-0.0
28	1	⊕	YES	+/-0.0
29	1	⊕	YES	+/-0.0
30	1	⊕	YES	+/-0.0
31	1	⊕	YES	+/-0.0
32	1	⊕	YES	+/-0.0
33	1	⊕	YES	+/-0.0
34	1	⊕	YES	+/-0.0
35	1	⊕	YES	+/-0.0
36	1	⊕	YES	+/-0.0
37	1	⊕	YES	+/-0.0
38	1	⊕	YES	+/-0.0
39	1	⊕	YES	+/-0.0
40	1	⊕	YES	+/-0.0
41	1	⊕	YES	+/-0.0
42	1	⊕	YES	+/-0.0
43	1	⊕	YES	+/-0.0
44	1	⊕	YES	+/-0.0
45	1	⊕	YES	+/-0.0
46	1	⊕	YES	+/-0.0
47	1	⊕	YES	+/-0.0
48	1	⊕	YES	+/-0.0
49	1	⊕	YES	+/-0.0
50	1	⊕	YES	+/-0.0
51	1	⊕	YES	+/-0.0
52	1	⊕	YES	+/-0.0
53	1	⊕	YES	+/-0.0
54	1	⊕	YES	+/-0.0
55	1	⊕	YES	+/-0.0
56	1	⊕	YES	+/-0.0
57	1	⊕	YES	+/-0.0
58	1	⊕	YES	+/-0.0
59	1	⊕	YES	+/-0.0
60	1	⊕	YES	+/-0.0
61	1	⊕	YES	+/-0.0
62	1	⊕	YES	+/-0.0
63	1	⊕	YES	+/-0.0
64	1	⊕	YES	+/-0.0
65	1	⊕	YES	+/-0.0
66	1	⊕	YES	+/-0.0
67	1	⊕	YES	+/-0.0
68	1	⊕	YES	+/-0.0
69	1	⊕	YES	+/-0.0
70	1	⊕	YES	+/-0.0
71	1	⊕	YES	+/-0.0
72	1	⊕	YES	+/-0.0
73	1	⊕	YES	+/-0.0
74	1	⊕	YES	+/-0.0
75	1	⊕	YES	+/-0.0
76	1	⊕	YES	+/-0.0
77	1	⊕	YES	+/-0.0
78	1	⊕	YES	+/-0.0
79	1	⊕	YES	+/-0.0
80	1	⊕	YES	+/-0.0
81	1	⊕	YES	+/-0.0
82	1	⊕	YES	+/-0.0
83	1	⊕	YES	+/-0.0
84	1	⊕	YES	+/-0.0
85	1	⊕	YES	+/-0.0
86	1	⊕	YES	+/-0.0
87	1	⊕	YES	+/-0.0
88	1	⊕	YES	+/-0.0
89	1	⊕	YES	+/-0.0
90	1	⊕	YES	+/-0.0
91	1	⊕	YES	+/-0.0
92	1	⊕	YES	+/-0.0
93	1	⊕	YES	+/-0.0
94	1	⊕	YES	+/-0.0
95	1	⊕	YES	+/-0.0
96	1	⊕	YES	+/-0.0
97	1	⊕	YES	+/-0.0
98	1	⊕	YES	+/-0.0
99	1	⊕	YES	+/-0.0
100	1	⊕	YES	+/-0.0

EQUIPE POLI RACING  
Painel PN-0001-01  
PRDA1  
27/08/2012

#### OBS:

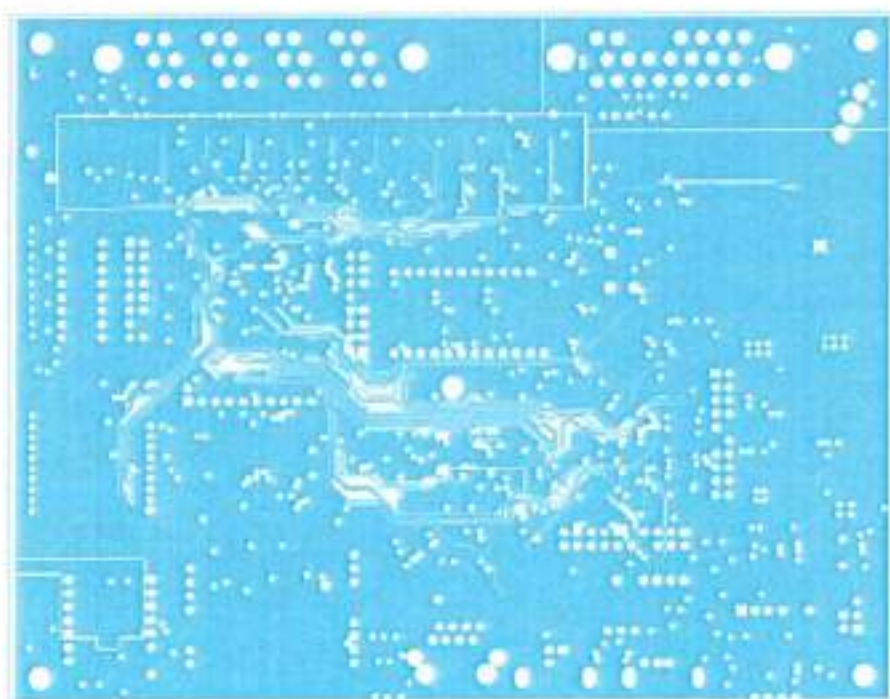
- MEDIDAS EM MILÍMETROS
- MÁSCARA DE SOLDAR - COM VERDE - Usar máscara de solda sobre todas as partes dos componentes, principalmente sobre as "Tina Plots"
- MÁSCARA SELETIVA DE COMPONENTES NA COR BRANCA
- POLI FACE SIMPLES
- Acabamento superficial BRILHANTE
- Placa PCB 1.6 mm +/- 0.05mm com 1 Oz de cobre
- EXECUTAR TESTE ELÉTRICO
- COLOCAR LOGOTIPO DE FABRICANTE
- COLOCAR LOTE DE FABRICAÇÃO
- ENCHIMENTO MÁXIMO 10 PORCENTO DA MARCHA DIAGONAL

#### TOLERÂNCIAS P/ DIÂMETRO DOS FUROS APÓS METALIZAÇÃO (Salvo Indicações em contrário)

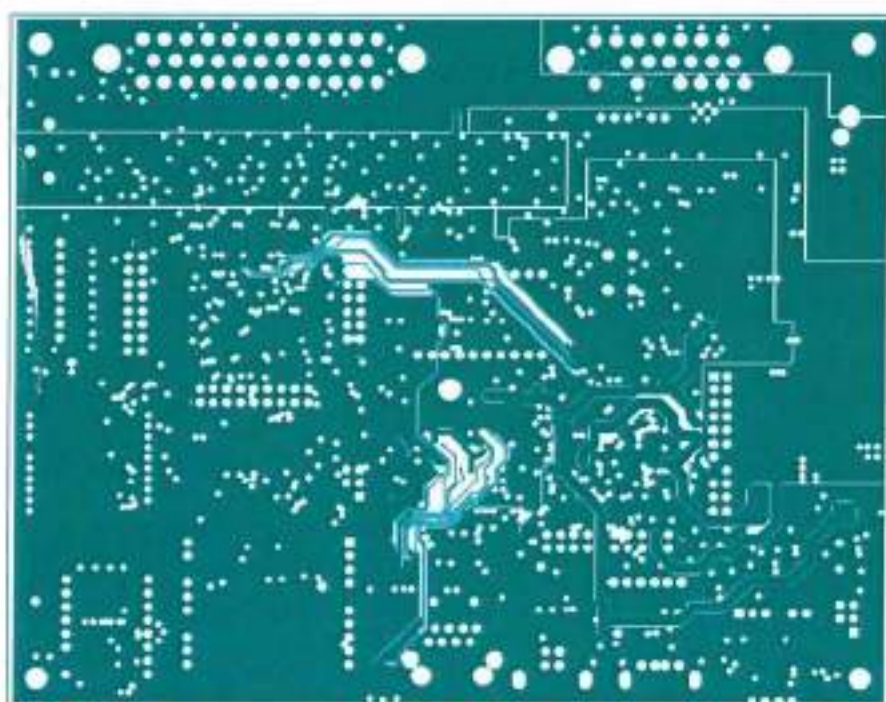
DIÂMETRO	METALIZ	NÃO METALIZ
0 - 0.8 mm	± 0.1 mm	± 0.05 mm
0.8 - 0 - 2.0 mm	± 0.1 mm	± 0.1 mm
0 - 2.0 mm	± 0.1 mm	± 0.15 mm

	REQ	VER	DATA
ELABORADO POR	Ordem	MR	27/08/2012
REVISADO POR	ALBERTO GONÇALVES	MR	27/08/2012
APROVADO POR	—	—	—/—/2012

- Não gravar nada dentro do PAINEL

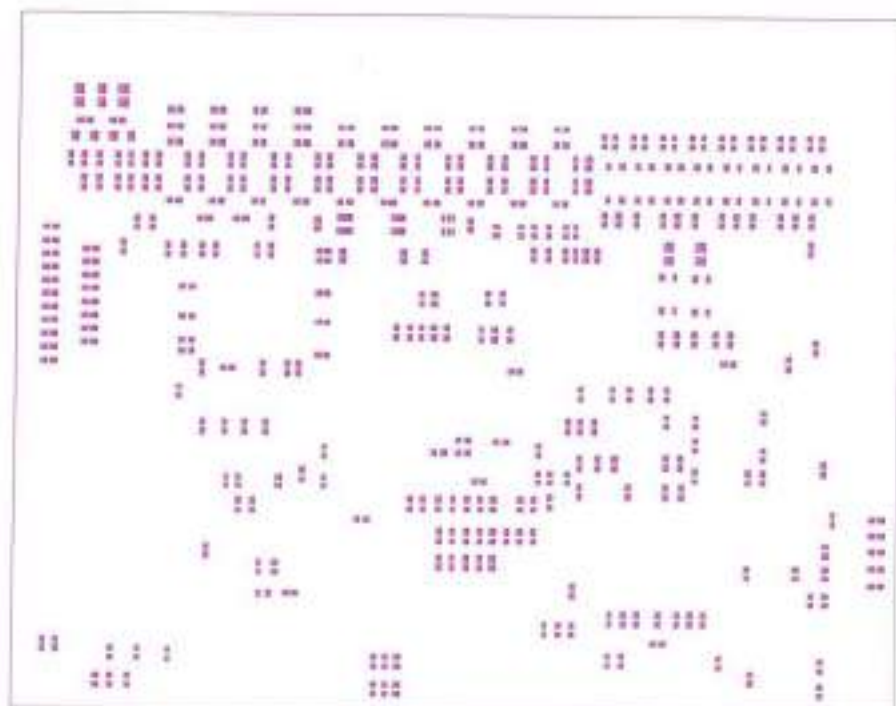


PROJETO	PROJETO DE LAYOUT PCB	NO	1	1
FECHA	10/05/2010	PROJ	1	1



PROYECTO	BASQUA DE LATER A13	FECHA	15/06/2008
CLIENTE	INTERCAL PRO	FECHA	15/06/2008





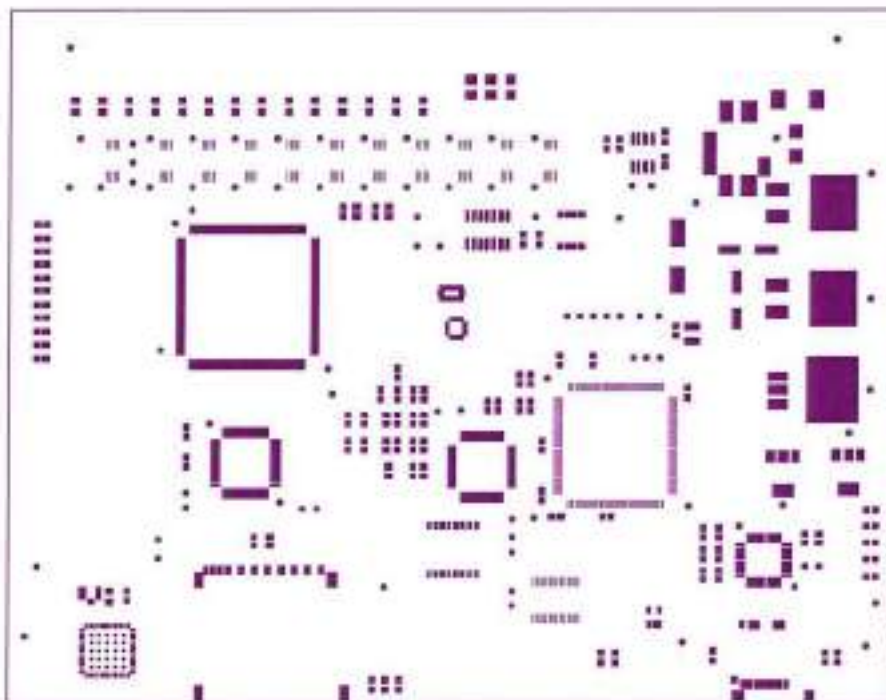
PROCESSO	PRD001-01 - PRD01 - 01	10	10
DATA	27/08/2012	10	10

EQUIPE POLI RACING  
Stencil SN-0001-01 - (BOTTOM SIDE)  
PRD01  
27/08/2012

	REV	QTD	DATA
QUANTIDADE POR	00000	000	27/08/2012
REVISÃO POR	0.000 00001 001	NOK	27/08/2012
APPROVAÇÃO POR	-	-	- / - / 2012

- Não gravar este quadro no stencil

OBSERVAÇÕES
STENCIL PRD01-01-01
- Célula 1 em gravado: 010001 - 01-0001-01
- Dim. Externa do stencil: 415 x 415 mm
- Espessura: 0,20 mm (8 mils)
- Material: Aço Inox
- Processo: <input type="checkbox"/> Corte químico
<input checked="" type="checkbox"/> Corte Laser
<input type="checkbox"/> Estruturização
- Gravador: Laser Beam - Foto: Lado Boto
- Imagem: Controlada
- Tolerância: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
QUANTO / FIM
- Dimensões externas: <input checked="" type="checkbox"/> 11" x 17" (280x430 mm)
<input type="checkbox"/> 18" x 20" (457x508 mm)
- Perfil: <input type="checkbox"/> Flat <input checked="" type="checkbox"/> 1/4" V2" <input type="checkbox"/> 1/2" V2"
- Buchas: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Qtd: 4 - Risco: 1/4
Unid. Desenho: 5.11 x 5.11 mm
- Posição do Stencil no Quadro: <input checked="" type="checkbox"/> Centralizada
- Não gravar este quadro no stencil

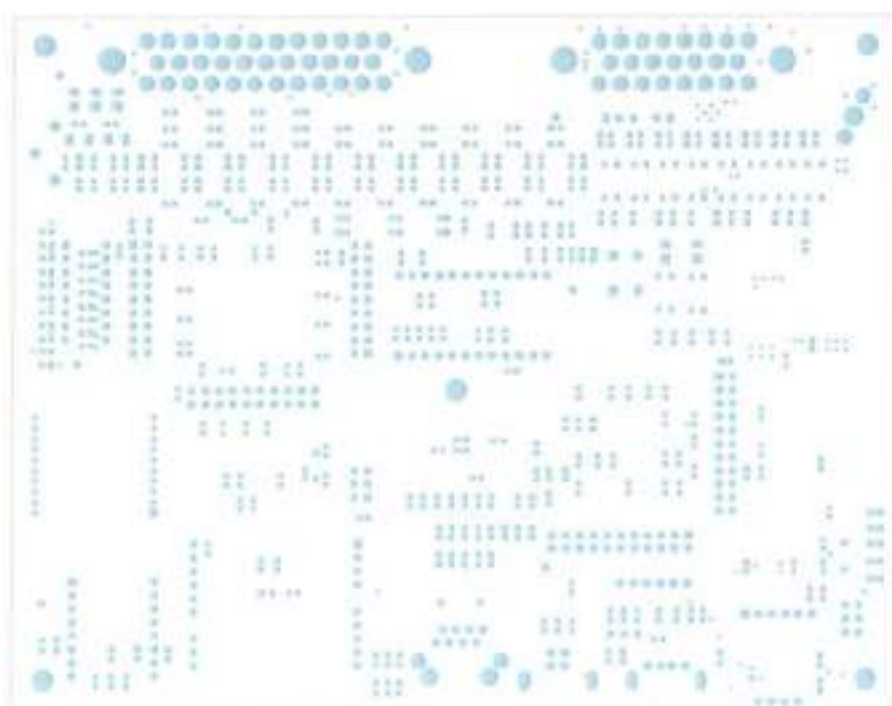


NUMERO	MASCARA DE PASTA TOP	DE	PRD
00001	PSTTOPV001/170	001	21/08/2012

EQUIPE POLI RACING  
Stencil: SN-0001-01 - (TOP SIDE) PASTA  
PRDA1  
27/08/2012

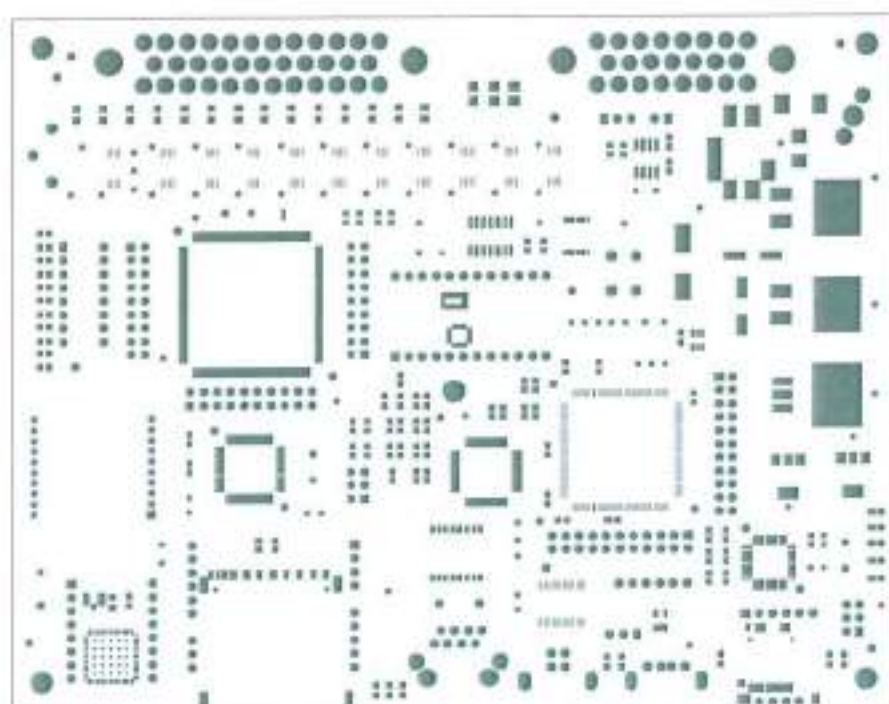
	NOME	VERSO	DATA
ELABORADO POR:	Ordenez	MPC	27/08/2012
REVISADO POR:	ALZIR GODOY NET	AGN	27/08/2012
APROVADO POR:	-	-	___/___/2012
- Não gravar este quadro no Stencil			

OBSERVAÇÕES
STENCIL: PASTA DE SOLDA
- Código a ser gravado: STC001 - SN-0001-01
- Dim. Externas do metal: 410 x 410 mm
- Espessura: 0,15 mm (6 mils)
- Material: Aço Inox
- Processos: <input type="checkbox"/> Corte químico
<input checked="" type="checkbox"/> Corte Laser
<input type="checkbox"/> OutrosProcessos
- Gravadores: Leds, Rolo - Verificar cada Rolo
- Imagem: Centralizada
- Fixação: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
QUADRO / FRAME
- Dimensões externas: <input checked="" type="checkbox"/> 22"x21"(564x534 mm)
<input type="checkbox"/> 28"x28"(716x716 mm)
- Perfil: <input type="checkbox"/> 1"x1" 60"x1 1/2" <input type="checkbox"/> 1 1/2"x1 1/2"
- Buchas: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Quant.: 4, Rota: 1/4
Dist. Centros: 533 x 533 mm
- Posição do Stencil no Quadro: <input checked="" type="checkbox"/> Centralizado
- Não gravar este quadro no stencil



Map of the coastal region of the United States, showing the distribution of the population and the major cities. The map is oriented with North at the top. The coastline is irregular, with numerous inlets and peninsulas. The interior of the bay is filled with a dense pattern of small, dark, rectangular shapes, possibly representing buildings or vegetation. Several larger, light-colored areas are scattered throughout, likely representing open water or marshland. The map is framed by a thin black border.





PROJEKTOVAZ	BRACANA DE SOUZA TOP	04	05
PROJEKTOVAZ	BRACANA DE SOUZA TOP	04	05
PROJEKTOVAZ	BRACANA DE SOUZA TOP	04	05

## Apêndice F – Coordenadas dos Componentes para a *Pick & Place*



## **Arquivo de Coordenadas – PRDA1**

*Coordenadas dos componentes a serem montadas na parte superior da placa PRDA1 através de máquina Pick & Place*

Setembro de 2012



PartType	RefDes	Orientação (graus)	X (mm)	Y (mm)
PCB_FUSE_0805	F2	90	72	112
PCB_FUSE_0805	F3	90	62	112
PCB_FUSE_0805	F4	90	47	112
PCB_FUSE_0805	F5	90	32	112
PCB_FUSE_0805	F6	90	77	112
PCB_FUSE_0805	F7	90	57	112
PCB_FUSE_0805	F8	90	42	112
PCB_FUSE_0805	F9	90	27	112
PCB_FUSE_0805	F10	90	67	112
PCB_FUSE_0805	F11	90	52	112
PCB_FUSE_0805	F12	90	37	112
PCB_FUSE_0805	F13	90	22	112
PCB_FUSE_0805	F14	90	17	112
PCB_FUSE_0805	F15	90	12	112
FIDUCIAL	FID1	0	59,75	63
FIDUCIAL	FID3	0	30,75	90,25
FIDUCIAL	FID5	0	127,25	37,5
FIDUCIAL	FID6	0	154,5	124,5
FIDUCIAL	FID7	0	100,75	61,25
FIDUCIAL	FID8	0	98,25	35,25
FIDUCIAL	FID9	90	80	55
FIDUCIAL	FID10	0	50,75	38,25
FIDUCIAL	FID11	0	37,5	52,75
FIDUCIAL	FID12	180	3	13
FIDUCIAL	FID13	0	136,75	33,75
FIDUCIAL	FID14	0	147	22,25
R_3K3_0603	R3	270	77,5	44
R_3K3_0603	R4	90	75,5	48,75
R_3K3_0603	R5	90	72,5	48,75
R_3K3_0603	R7	270	75,5	53,5
R_3K3_0603	R8	90	70,5	53,5
R_3K3_0603	R9	270	63,5	53,5
R_3K3_0603	R10	270	77,5	58,25
R_3K3_0603	R14	270	66,25	48,75
R_ORO_0603	R97	90	89,5	56
R_ORO_0603	R98	270	97,5	61
R_ORO_0603	R99	90	95,5	56
R_ORO_0603	R103	270	111,5	105
R_10K_0603	R104	270	114	105
R_ORO_0603	R106	90	72,5	62,25
R_ORO_0603	R113	90	33	45,75
R_ORO_0603	R153	90	68,25	92,5
R_150R_0603	R163	270	130	28,5
R_150R_0603	R166	270	133	28,5
R_150R_0603	R168	90	130	24,5
R_ORO_0603	R171	90	71	44

PRDA1 – Poli Racing Data Acquisition 1

R_ORO_0603	R173	90	33	51,25
R_ORO_0603	R174	180	112	35,5
R_ORO_0603	R191	90	69,5	58,25
R_ORO_0603	R194	270	151,5	31,5
R_ORO_0603	R195	270	149	31,5
R_10K_0603	R206	90	124,75	70
STM32F407IG	U1	0	44,5	76,5
XC3S200	U2	270	113,5	48,75
STE100P	U3	180	88,5	44,75
LSM303DLHC	U5	0	82,5	77
L3GD20	U6	0	83,5	70,5
ATMEGA644PA	U10	270	44,25	45,5
ATMEGA328P	U11	180	145,5	24,5
FT232RL	U13	180	102,5	19,75
SN65HVD230D	U19	0	118,25	103,25
LM1815	U21	0	89,25	89
TS9222IYPT	U22	180	101	102
TS9222IYPT	U23	180	53	102
TS9222IYPT	U24	180	29	102
TS9222IYPT	U25	180	77	102
TS9222IYPT	U26	180	37	102
TS9222IYPT	U27	180	61	102
TS9222IYPT	U28	180	85	102
TS9222IYPT	U29	180	45	102
TS9222IYPT	U30	180	19	102
TS9222IYPT	U31	180	93	102
TS9222IYPT	U32	180	69	102
VENUS638FLPX-L	U43	90	18,5	10,25
ST3232ECTR	U44	90	105	89

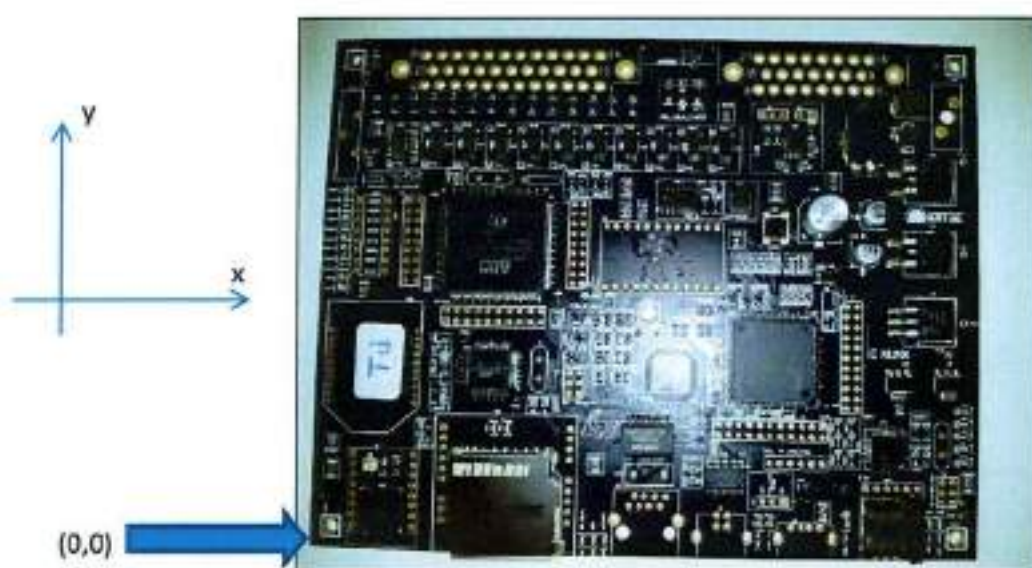


Figura 1 - Origem de coordenadas [Vista Superior]

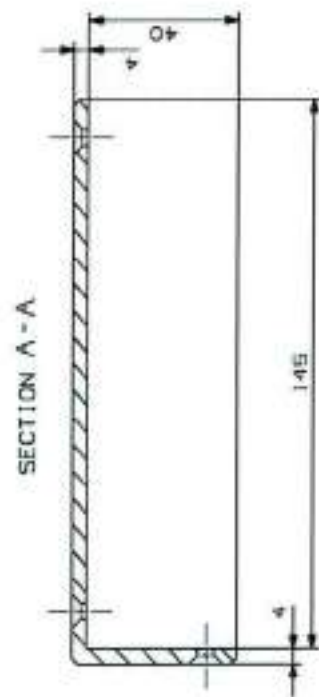
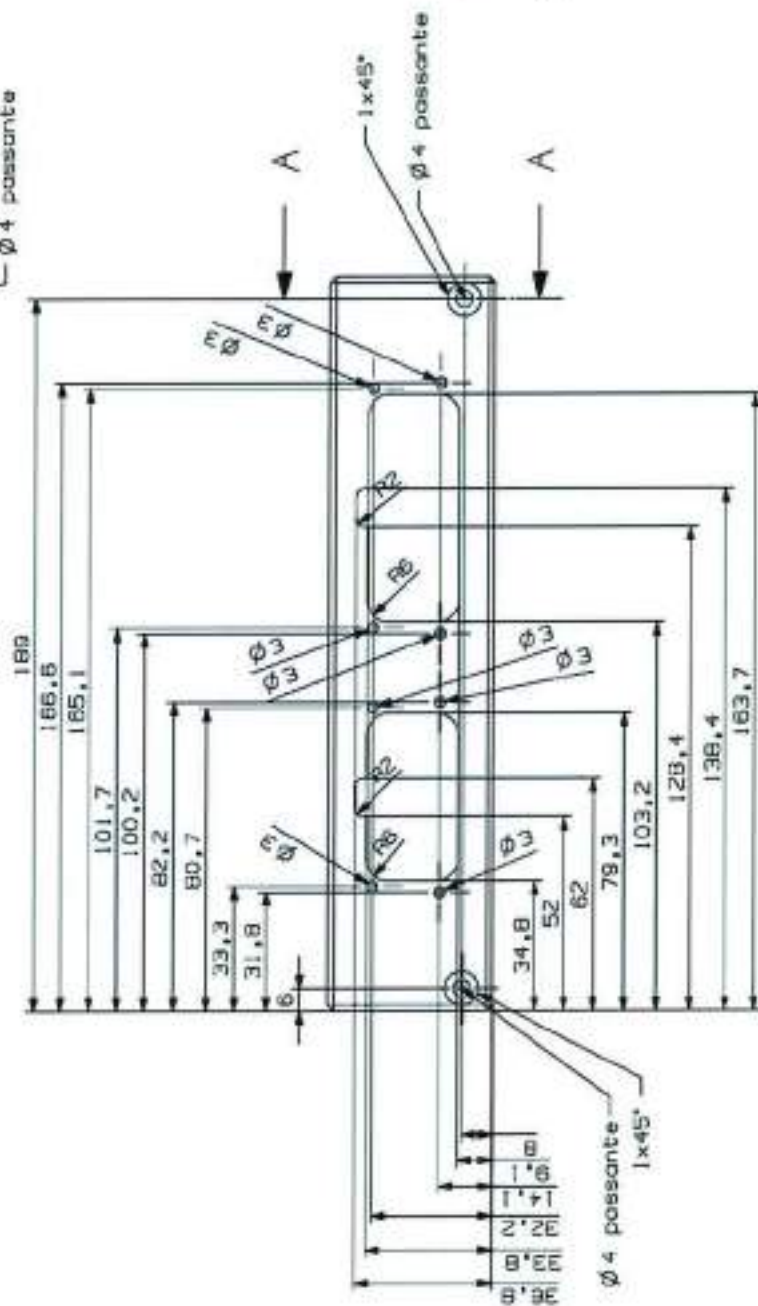
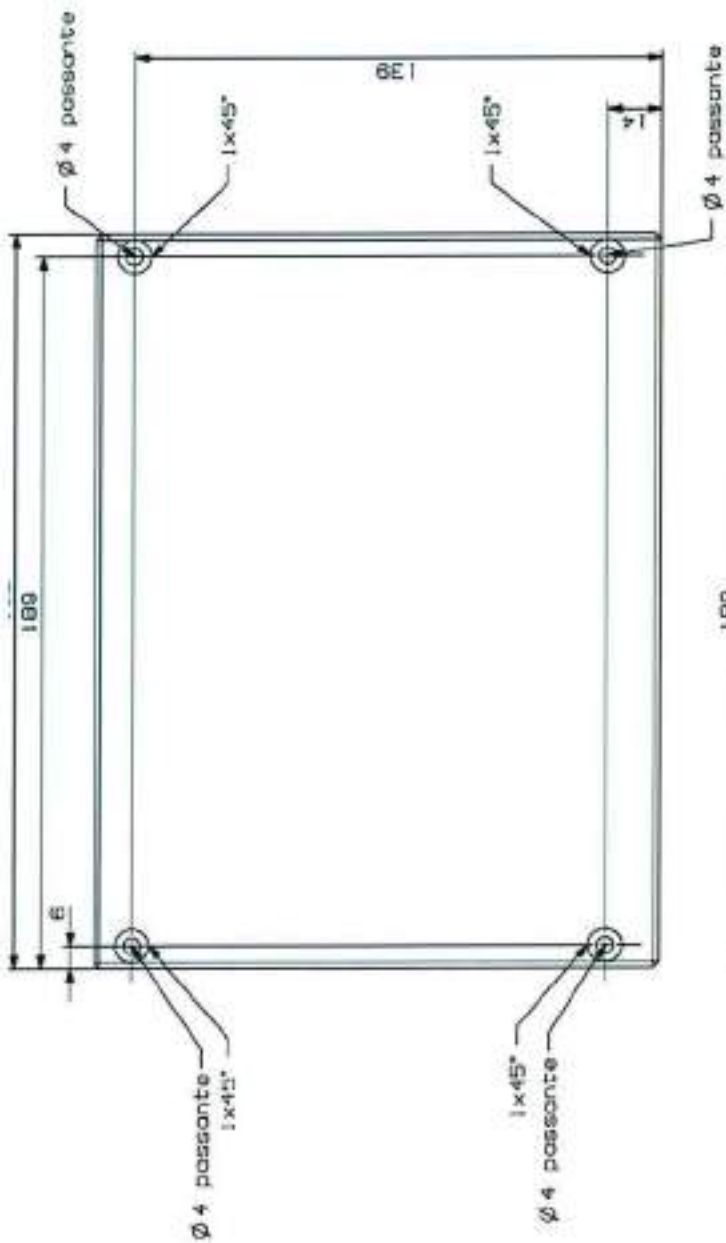


## Apêndice G – Desenhos de fabricação da caixa do PRDA1

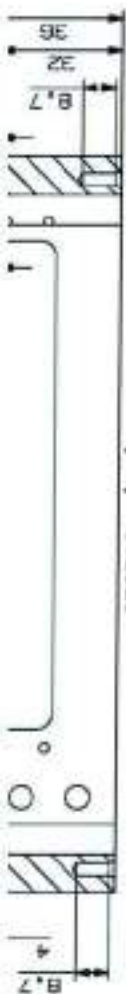


PROJ - Parte superior da caixa	
Desenho	Alzino / Rafael / Kalenin
Material	Al 5052
Quantidade	1 peça
Arestas chanfradas de 1.5mm x 45 graus	
Todas as dimensões em mm	
Vistas no terceiro diedro	

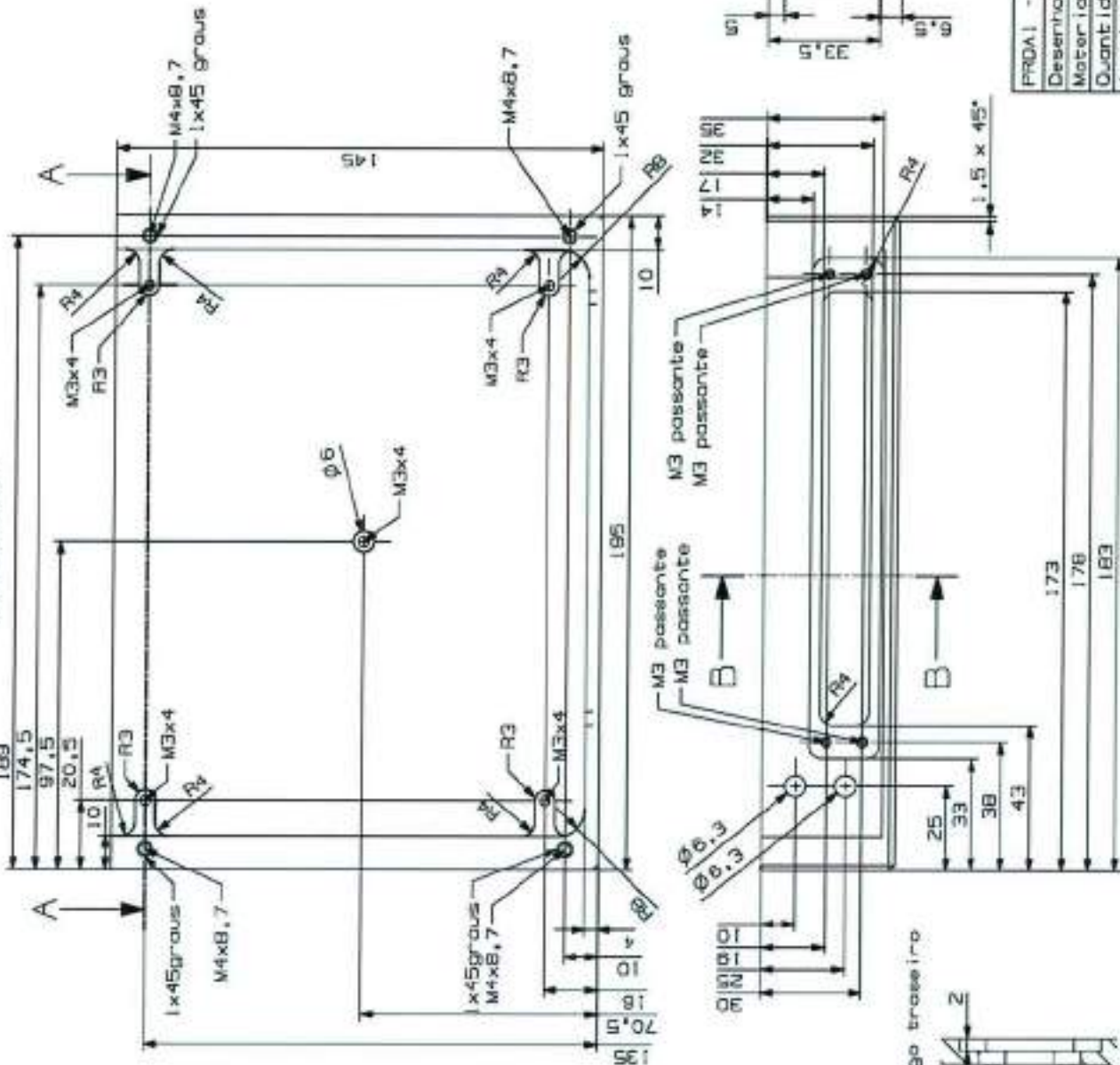
EQUIPE  
**POLI**  
RACING



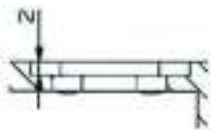
Vista detalhada das aletas



SECTION A-A



Vista detalhada do rasgo traseiro

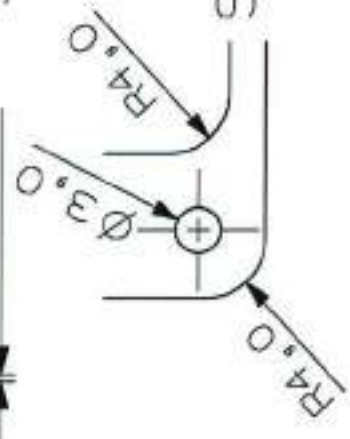
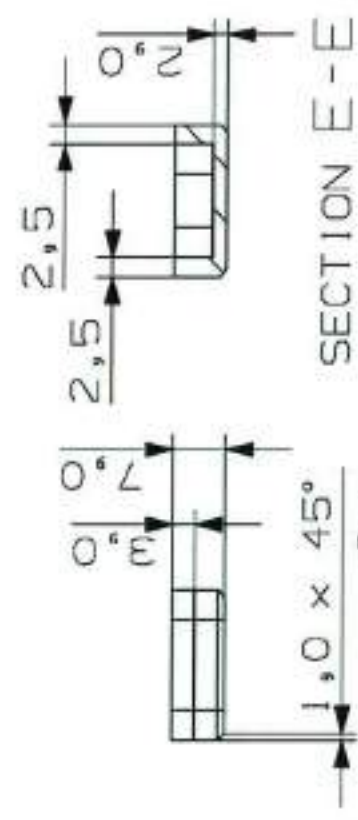
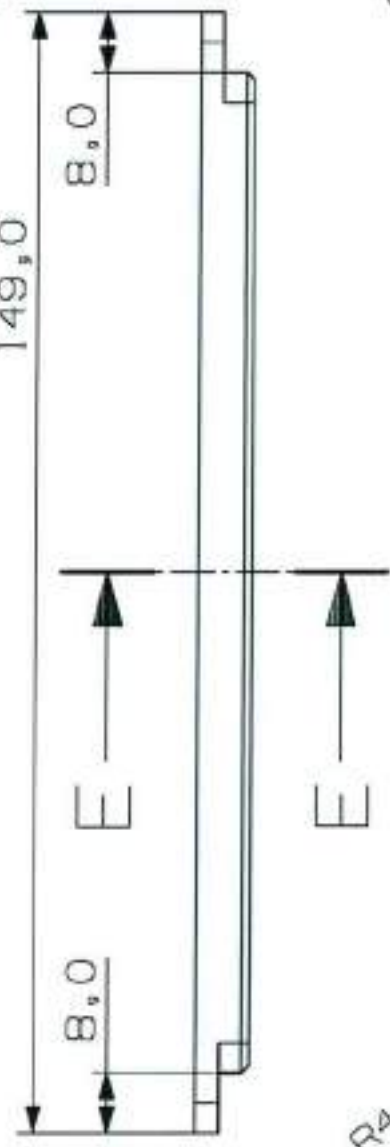
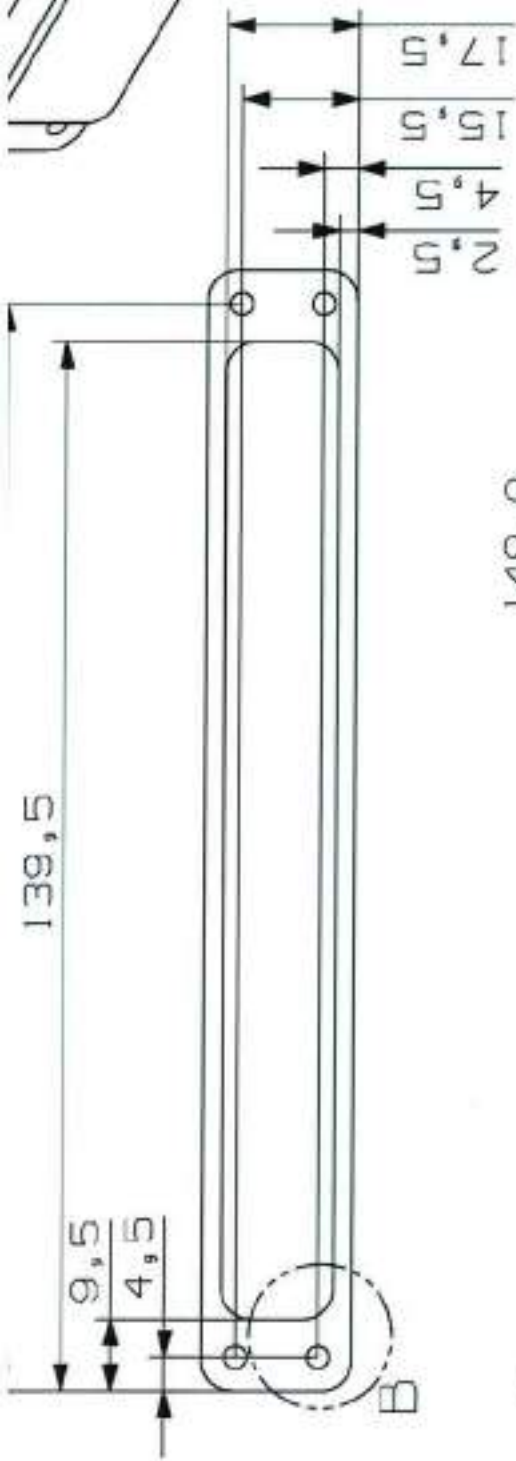
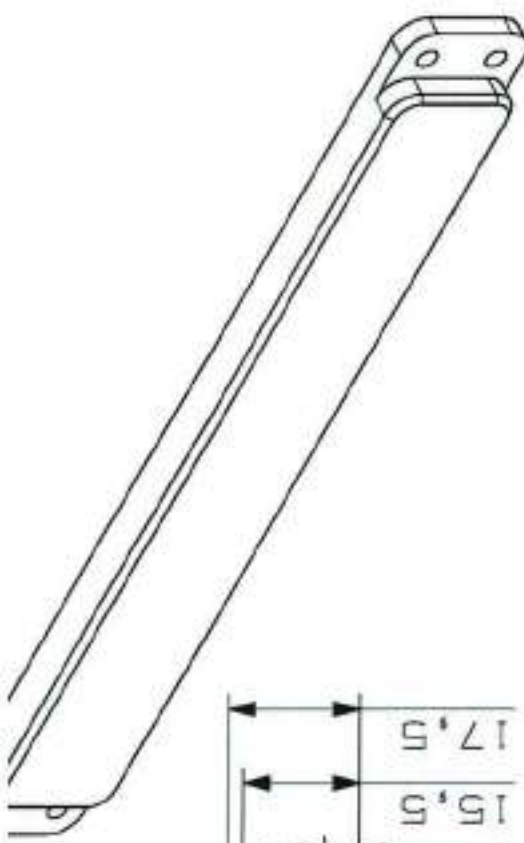


SECTION B-B

DETAIL D  
SCALE 2:1

PRDA1 - Parte inferior da caixa	
Desenho	Alzira / Rafael / Kalenin
Material	Al 5052
Quantidade	1 peça
Arestas chanfradas de 1,5mm x 45 graus	
Todas as dimensões em mm	
Vista no terceiro diedro	

EQUIPE  
POLI  
RACING



DETAIL B  
SCALE 2:1

PRDAI - Tampa traseira	
Desenho	Alziro Neto
Material	Al 5052
Quantidade	1 peça
Arestas chanfradas de 1mm x 45 graus	
Todas as dimensões em mm	
Vista no primeiro diedro	





## Apêndice H – Relatório de teste com câmera infra-vermelha

# **Relatório de Teste**

## **Imageamento térmico do módulo eletrônico PRDA1**

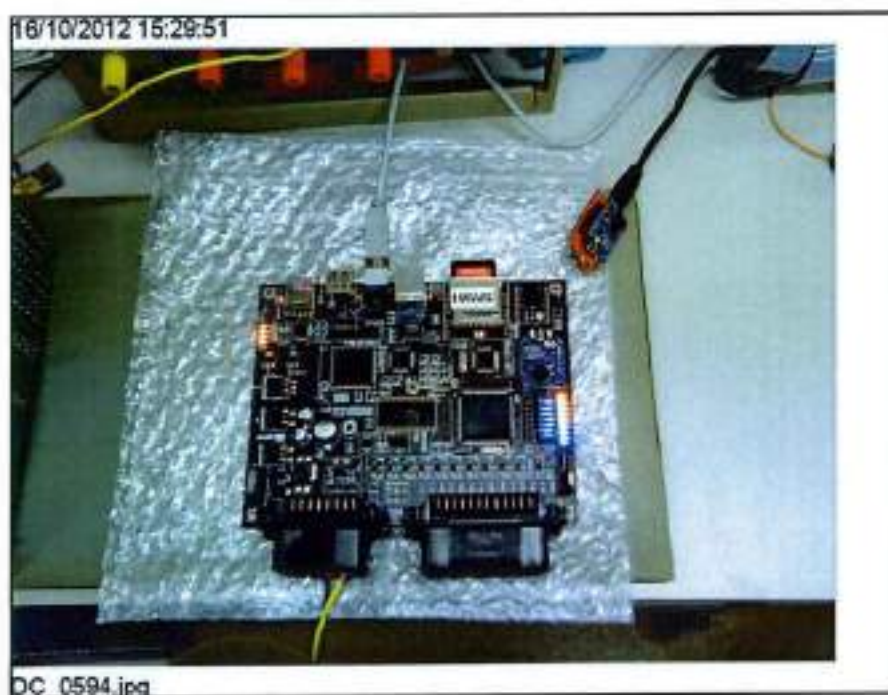
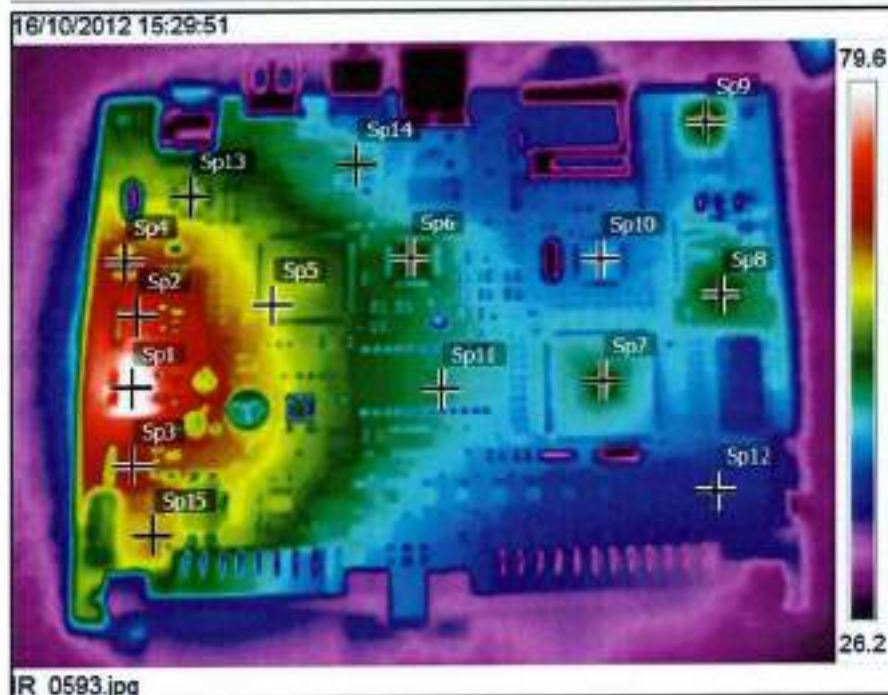
**Câmera utilizada: FLIR E60**

Measurements °C

Sp1	86.7
Sp2	65.4
Sp3	55.9
Sp4	56.6
Sp5	47.0
Sp6	42.5
Sp7	42.6
Sp8	41.5
Sp9	43.8
Sp10	36.9
Sp11	38.4
Sp12	34.6
Sp13	46.0
Sp14	38.8
Sp15	51.3

Parameters

Emissivity	0.95
Refl. temp.	20 °C



Vista geral do perfil de temperatura da face superior do módulo PRDA1.



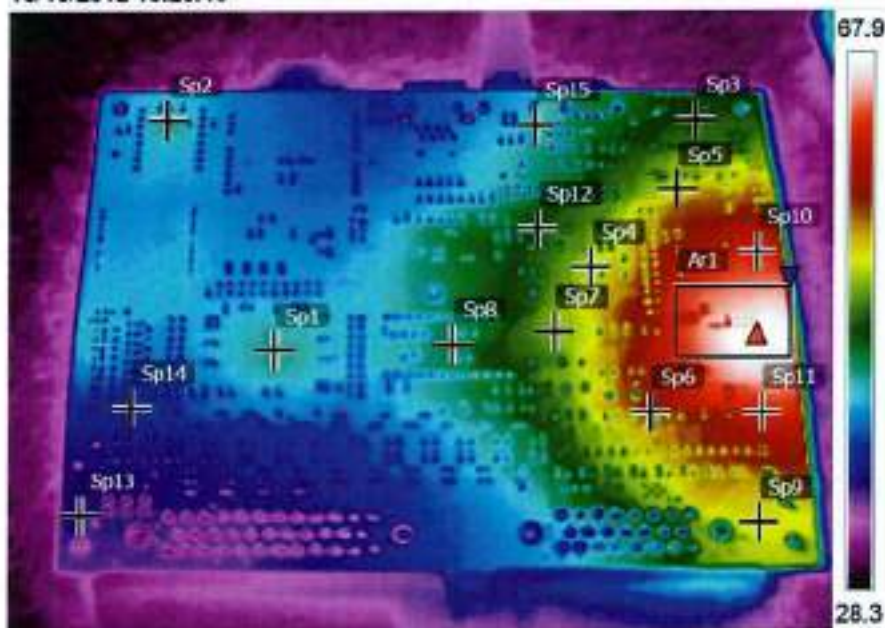
Measurements °C

Ar1	Max	71.0
	Min	42.1
	Average	64.0
Sp1		38.3
Sp2		36.8
Sp3		42.3
Sp4		46.4
Sp5		47.8
Sp6		51.1
Sp7		45.1
Sp8		39.2
Sp9		47.0
Sp10		58.6
Sp11		58.7
Sp12		41.5
Sp13		33.1
Sp14		35.5
Sp15		38.0

Parameters

Emissivity	0.95
Ref. temp.	20 °C

16/10/2012 15:28:46



IR\_0689.jpg

16/10/2012 15:28:46



DC\_0590.jpg

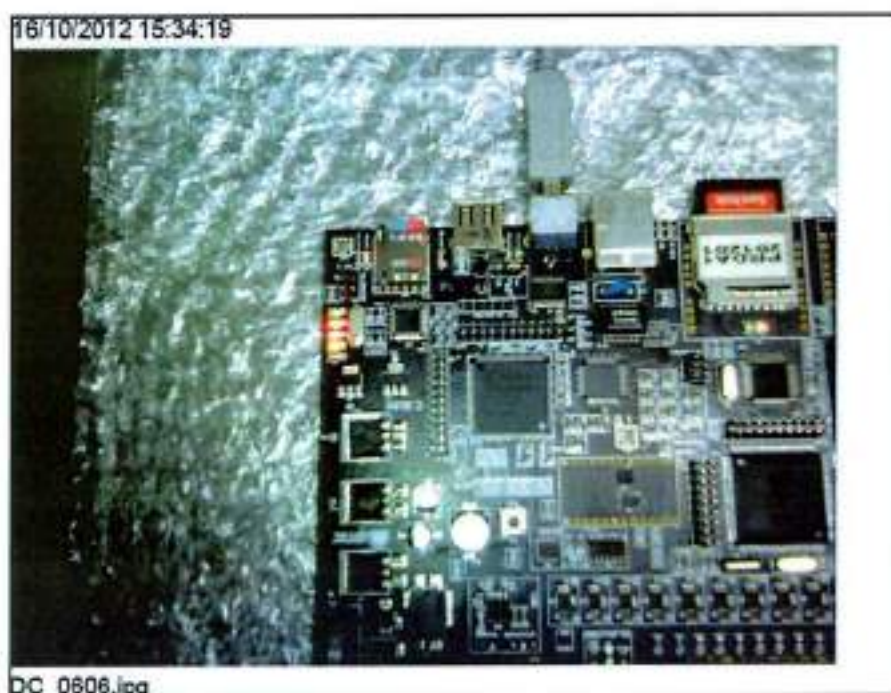
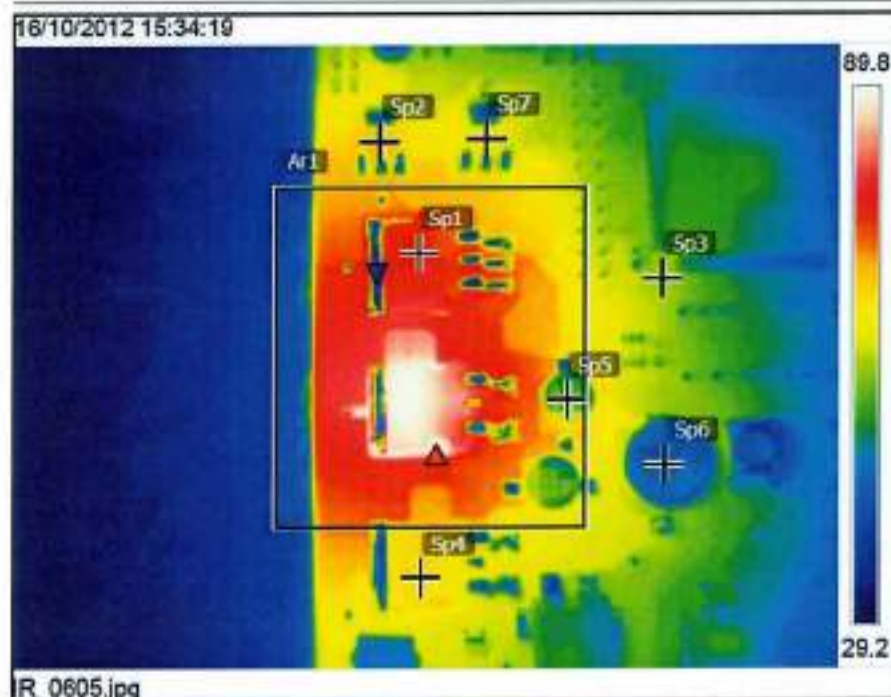
Vista geral do perfil de temperatura da face inferior do módulo PRDA1.

# Measurements °C

Ar1	Max	94.2
	Min	31.3
	Average	60.9
Sp1		67.4
Sp2		58.2
Sp3		51.3
Sp4		57.2
Sp5		46.4
Sp6		41.8
Sp7		54.9

## Parameters

Emissivity	0.95
Ref. temp.	20 °C

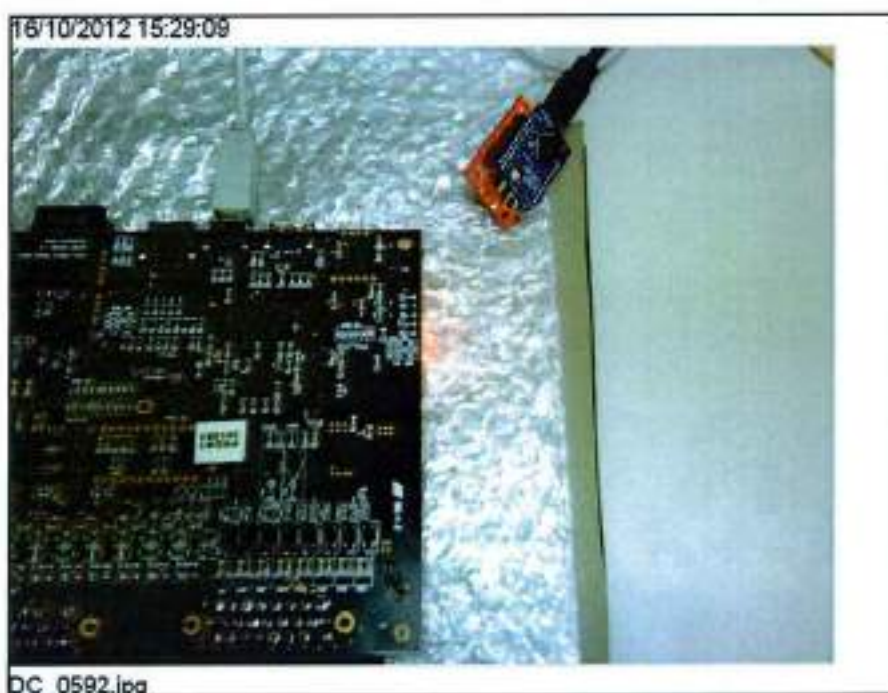
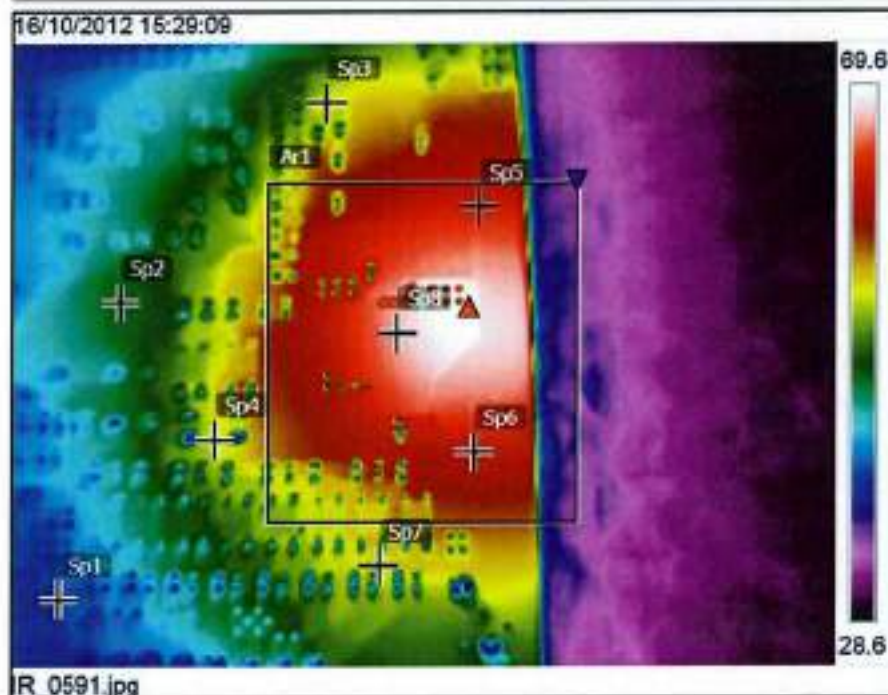


Dissipação de potência excessiva constatada no regulador de 5V dedicado aos circuitos internos do PRDA1. O calor gerado está sendo propagado para outros reguladores e capacitores eletrolíticos próximos, o que pode acarretar problemas em médio prazo.



Measurements			"C
Ar1	Max	72.8	
	Min	31.7	
	Average	58.3	
Sp1		39.3	
Sp2		45.8	
Sp3		51.9	
Sp4		51.4	
Sp5		61.8	
Sp6		60.2	
Sp7		52.0	
Sp8		66.3	

Parameters	
Emissivity	0.95
Ref. temp.	20 °C



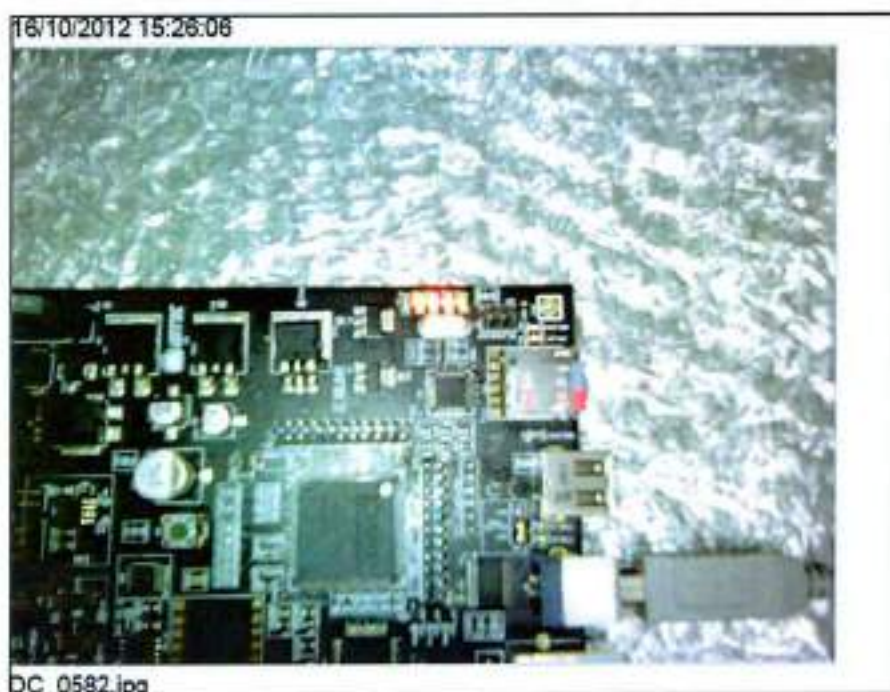
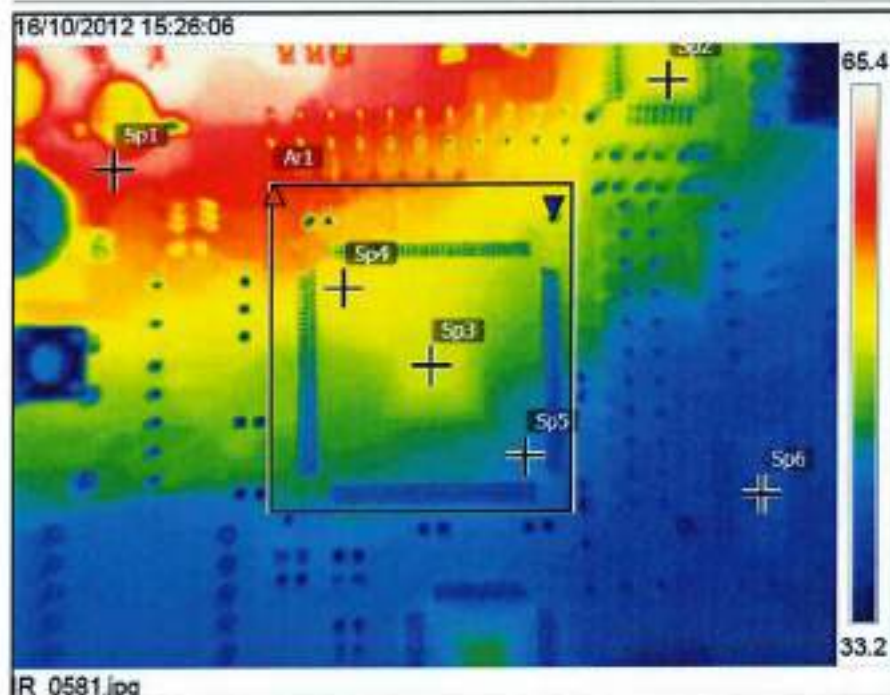
Vista em detalhe do gradiente térmico da face inferior do módulo PRDA1 que está sendo gerado pelo regulador de 5V interno. O calor está atingindo vários componentes passivos como capacitores e resistores que podem ter seus valores alterados pelo aumento de temperatura.



Measurements °C		
Ar1	Max	56.2
	Min	37.1
	Average	46.1

Sp1	58.9
Sp2	48.4
Sp3	47.4
Sp4	49.0
Sp5	42.6
Sp6	40.6

Parameters	
Emissivity	0.95
Refl. temp.	20 °C

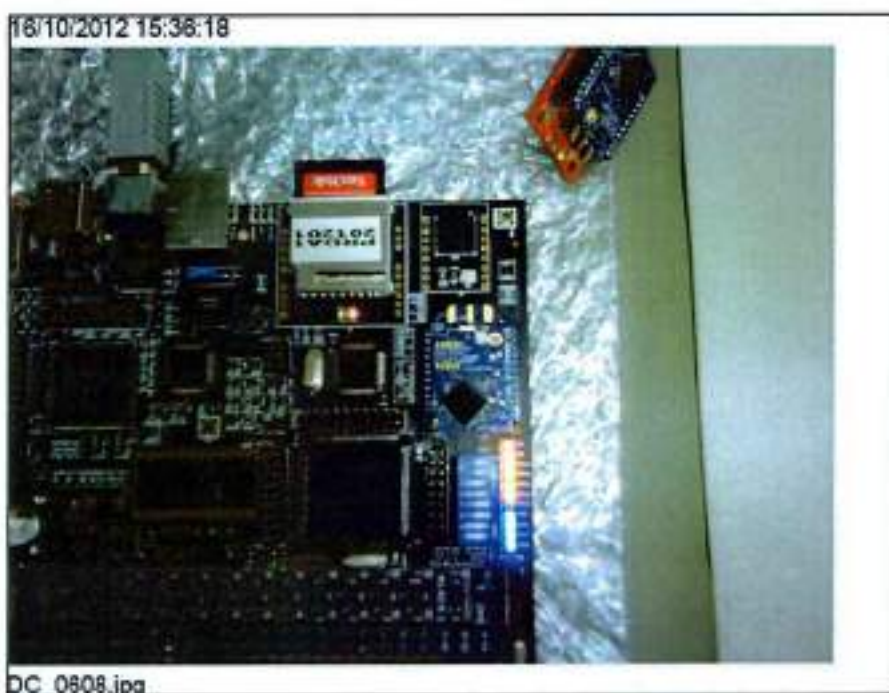
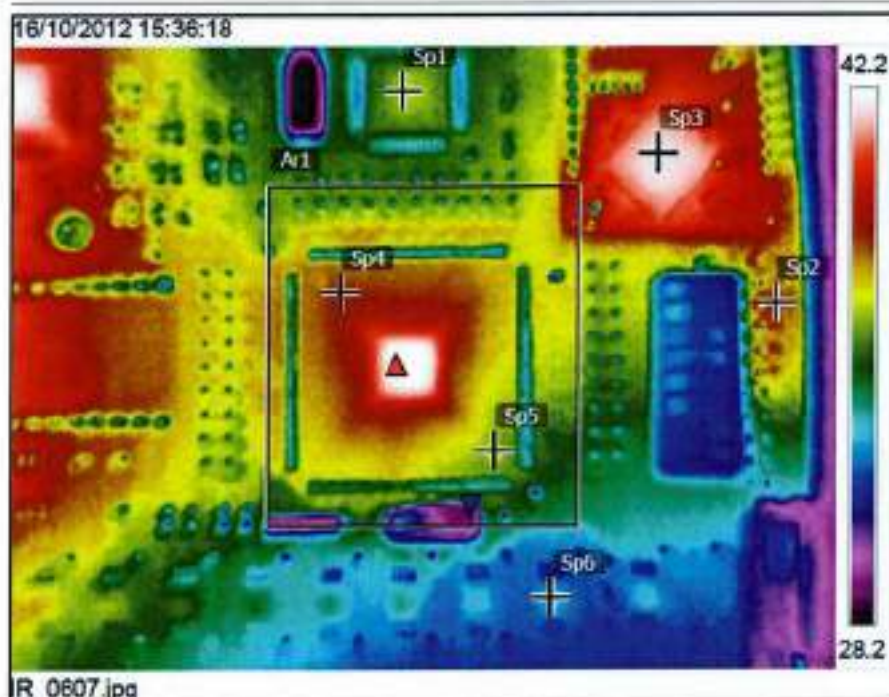


Verificação da influência do gradiente térmico na FPGA Spartan 3 e componentes próximos. Apesar da elevada temperatura do regulador a FPGA e os componentes próximos não apresentam temperatura excessivamente elevada.

Measurements °C		
Ar1	Max	43.0
	Min	28.6
	Average	37.0

Sp1	36.8
Sp2	38.0
Sp3	41.4
Sp4	37.8
Sp5	37.1
Sp6	34.9

Parameters	
Emissivity	0.95
Refl. temp.	20 °C



Verificação da assinatura térmica do transceiver XBee, microcontrolador ARM STM32F407 e ATmega644PA.

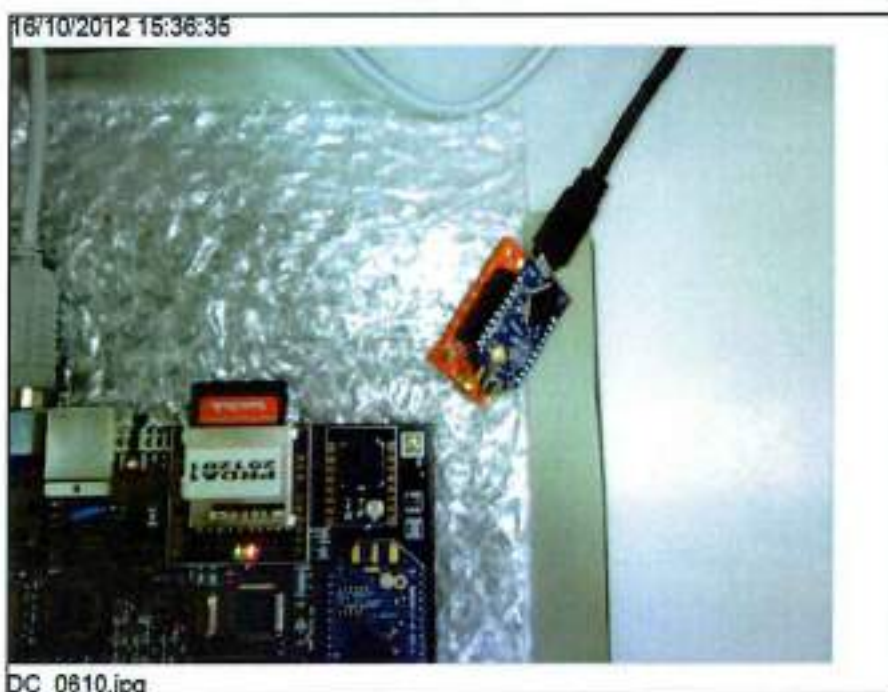
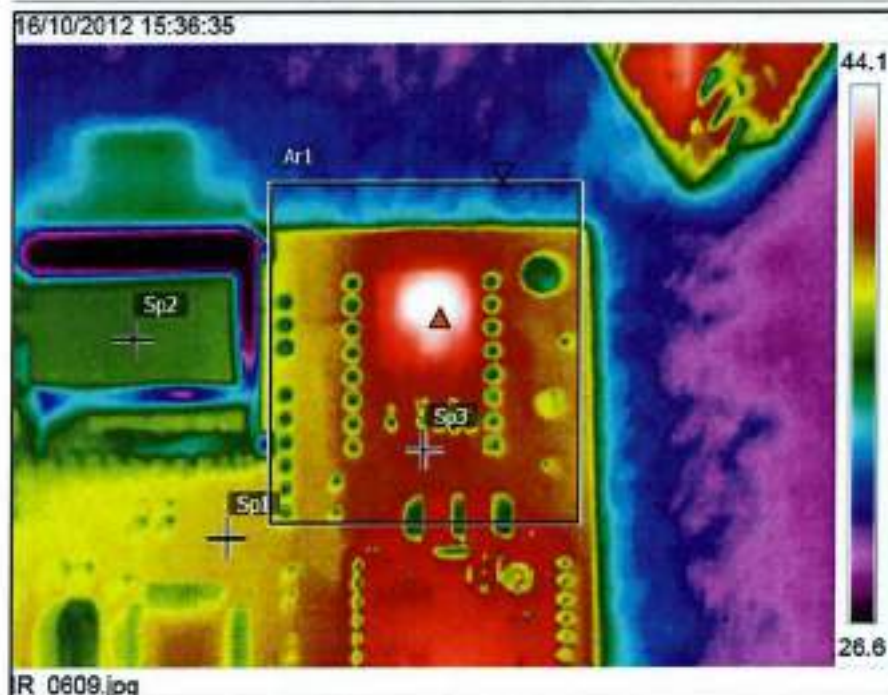


Measurements °C

Ar1	Max	46.1
	Min	30.6
	Average	36.4
Sp1		36.4
Sp2		34.6
Sp3		37.2

Parameters

Emissivity	0.95
Ref. temp.	20 °C



Assinatura térmica do chip VenusGPS.



## Apêndice I – Relatório de teste dos canais AD



## **Plano de testes – PRDA1**

*Caracterização da resposta em frequência dos  
canais analógicos do PRDA1*

Outubro de 2012

### Histórico do teste

Data	Revisão do Hardware	Realizador	Aprovado
2/11/12	1.0	Alziro Godoy Neto	Alziro Godoy Neto

### 1. Introdução

Filtros analógicos são úteis para limitar a banda de frequências de um sinal para que não haja recobrimento quando o sinal for amostrado.

O PRDA1 possui filtros analógicos passa-baixas projetados para limitar a banda dos sinais de entrada em 200Hz e conta com diversos estágios de proteção e condicionamento de sinais. É de fundamental importância conhecer a resposta em frequência destes canais, para que não haja distorções na entrada dos canais AD e para verificação dos resultados simulados.

Também é necessário caracterizar a faixa em que os dispositivos de proteção entram em atuação.

### 2. Objetivos

O objetivo deste teste é levantar a resposta em frequência de todos os canais analógicos do PRDA1 e compará-los com a resposta em frequência simulada.

### 3. Materiais necessários

Para a execução deste teste se fazem necessários os seguintes materiais:

1. Gerador de sinais
2. Fonte de tensão variável
3. Osciloscópio
4. Placa do módulo PRDA1

### 4. Materiais utilizados

Foram utilizados os seguintes equipamentos para este teste:

Gerador de sinais: Rigol DG1022 – Número de patrimônio USP: 003.042957

Fonte de tensão variável: Politerm HY3003E-3 – Número de patrimônio USP: 003.041903

Osciloscópio: Agilent DSO3102A – Número de patrimônio USP: 003.041957

Placa do módulo PRDA1: Número de série PRDA1.2012.01

Não foi possível precisar a última data de calibração dos equipamentos.

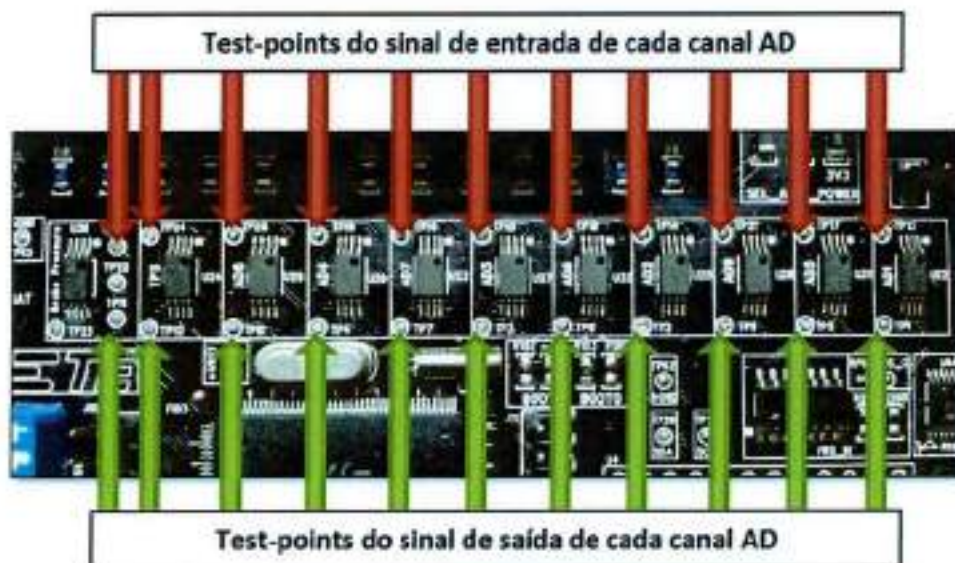


### 5. Caracterização da resposta em frequência dos canais AD

#### I. Roteiro Experimental

Aplicar ondas senoidais com  $2,5 V_{DC}$  de offset e  $1,5 V_{pp}$  de tensão pico-a-pico. As frequências a serem utilizadas estão discretizadas nas tabelas abaixo juntamente com os campos que devem ser preenchidos com as medições.

Utilizar os test-points da placa de circuito impresso correspondentes às entradas e saídas do circuito para fazer as medições com o osciloscópio.



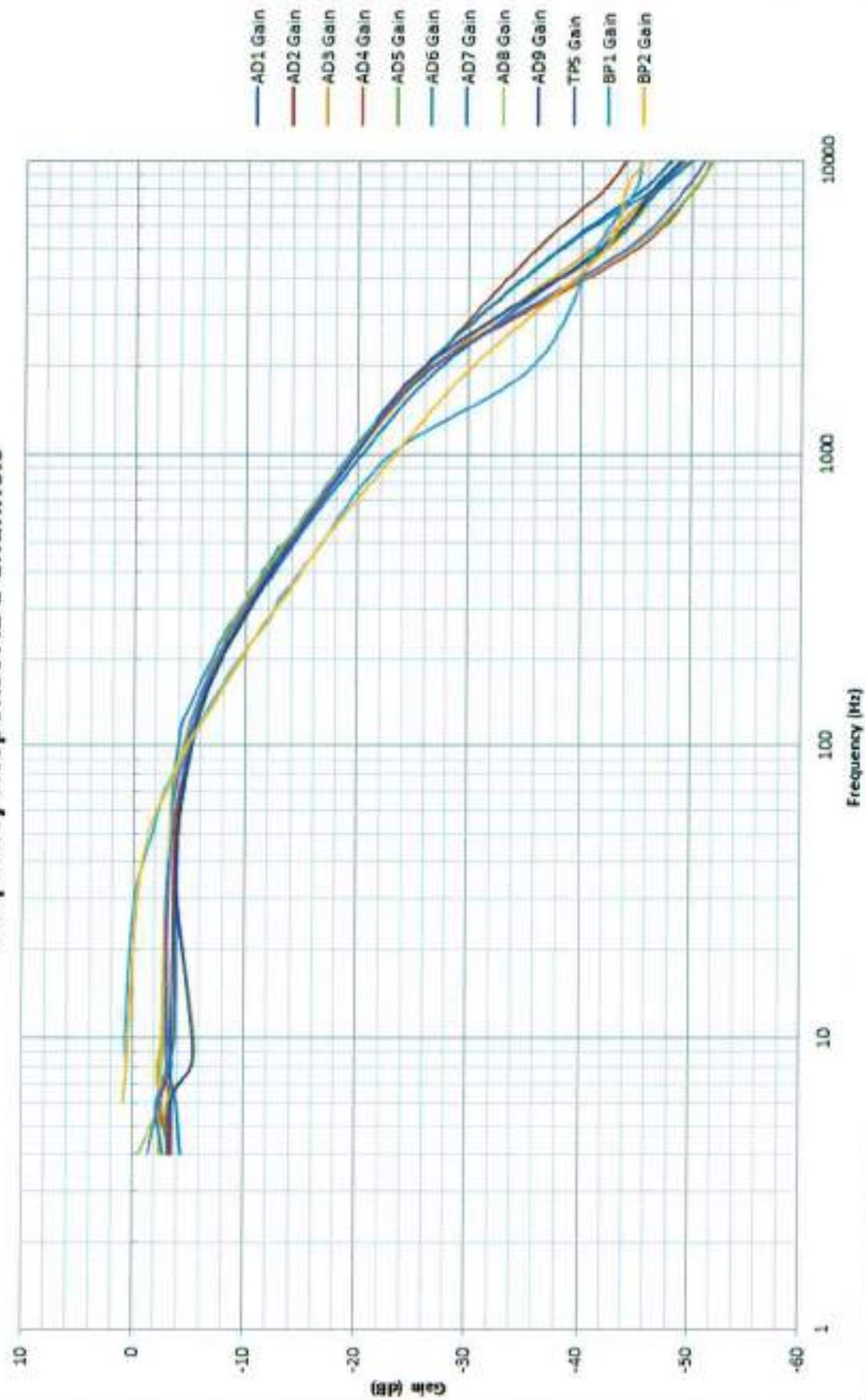
#### II. Dados experimentais

Devido à grande quantidade de dados experimentais, estes serão armazenados em forma digital e aqui será reproduzido apenas a resposta em frequência de todos os canais AD.

#### III. Resultados

As curvas de ganho na resposta em frequência estão reproduzidas na página a seguir. Foi possível concluir que todos os ganhos estão de acordo com os valores esperados e com a curva simulada durante a etapa de projeto.

Frequency Response ADC Channels



## Apêndice J – Relatório de teste do circuito de alimentação





## **Plano de testes – PRDA1**

### *Teste dos circuitos de alimentação e proteção*

Outubro de 2012

### Histórico do teste

Data	Revisão do Hardware	Realizador	Aprovado
31/10/2012	1.0	Alziro Godoy Neto	Alziro Godoy Neto

### 1. Introdução

Fontes de alimentação de baixa qualidade podem apresentar ruídos excessivos que talvez impliquem em mal funcionamento da eletrônica conectada. No caso de alimentações de eletrônicas veiculares isto é especialmente preocupante devido ao fato de existir pesadas cargas indutivas, como o motor de partida, e fontes geradoras de ruído, como motores elétricos, atuadores e faíscas de vela.

Com o PRDA1 inserido neste ambiente, todo o seu circuito de alimentação foi projetado para contra atacar estes problemas e outros que por ventura aconteçam por erro de operador, como inversão de polaridade da eletrônica.

### 2. Objetivos

O objetivo deste teste é verificar as seguintes características do circuito de alimentação do PRDA1:

- Teste de sobretensão: Verifica o comportamento do circuito quando há uma sobretensão na entrada de alimentação do PRDA1.
- Teste de inversão de polaridade: Busca averiguar qual seria o resultado da inversão de polaridade pelo operador do módulo.
- Teste de tensão mínima de operação: Caracterização da mínima tensão necessária para a eletrônica partir e desempenhar suas funções.

### 3. Materiais necessários

Para a execução deste teste se fazem necessários os seguintes materiais:

1. Gerador de sinais com função de ruído
2. Fonte de tensão variável
3. Osciloscópio
4. Placa do módulo PRDA1

### 4. Materiais utilizados

Foram utilizados os seguintes equipamentos para este teste:

Gerador de sinais: Rigol DG1022 – Número de patrimônio USP: 003.042957

Fonte de tensão variável: Politerm HY3003E-3 – Número de patrimônio USP: 003.041903

Osciloscópio: Agilent DSO3102A – Número de patrimônio USP: 003.041957

Placa do módulo PRDA1: Número de série PRDA1.2012.01

Não foi possível precisar a última data de calibração dos equipamentos.

### 5. Teste de sobretensão

#### I. Roteiro Experimental

Aplicar 20V na entrada de alimentação do circuito e observar se o mesmo continua funcionando de forma adequada, ou seja, sem nenhum tipo de RESET ou comportamento errôneo.

#### II. Critérios de aprovação

O módulo PRDA1 deve continuar funcionando mesmo com sobretensão, indicando que o diodo TVS na entrada do circuito entrou em atuação após aproximadamente 18V. Espera-se notar um aumento na corrente de saída da fonte já que o diodo irá se tornar um caminho de baixa impedância para o terra.

Atentar para o fato de sobre aquecimento causado por excesso de corrente, que pode causa a queima dos componentes e destruição de trilhas de cobre. A condição normal de operação está exemplificada na figura abaixo.



#### III. Resultados

Na figura apresentada abaixo pode-se notar que o diodo de proteção contra sobretensão entrou em funcionamento devido ao aumento da corrente e que este está atuando conforme o esperado.





Os resultados obtidos com este teste comprovam que o circuito de proteção contra sobretensão está funcionando bem e irá atuar quando for solicitado, a fim de proteger a integridade dos componentes semicondutores sensíveis.

### 6. Teste de Inversão de polaridade

#### I. Roteiro experimental

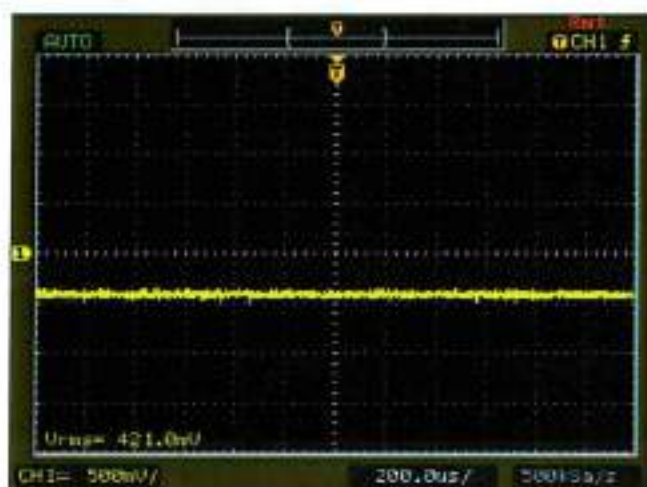
As polaridades dos cabos de alimentação devem ser invertidas e a fonte deve ser configurada para 12 V positivos, acerretando assim um tensão negativa de - 12 V na entrada do circuito e que caracteriza uma montagem errada dentro do veículo fórmula.

#### II. Critérios de aprovação

O circuito deve rejeitar a tensão negativa na entrada através do seu diodo de proteção série e não permitir que ocorra qualquer dano aos componentes. Após as polaridades serem retornadas ao normal, o circuito deve ligar e operar de forma alheia aos acontecimentos anteriores.

#### III. Resultados

Verificou-se que o diodo série realizou o seu papel e evitou maiores danos ao circuito completo. Abaixo temos uma imagem da fonte fornecendo a tensão invertida de 12 V e uma imagem da tensão negativa medida pelo osciloscópio que estava sendo medida terra do circuito.



## 7. Teste de tensão mínima de operação

### I. Roteiro experimental

Variar a tensão de alimentação de entrada do circuito no fonte até que o sinal de RESET do fornecido pelo Reset Manager vá para o nível baixo, o que carectiza o ponto de partida para os microcontroladores e a FPGA.