

FELIPE BRITO DA SILVA
GUSTAVO CESAR SOARES DA COSTA

**VEÍCULO DE VÍDEO INSPEÇÃO CONTROLADO
REMOTAMENTE**

São Paulo
2008

FELIPE BRITO DA SILVA
GUSTAVO CESAR SOARES DA COSTA

**VEÍCULO DE VÍDEO INSPEÇÃO CONTROLADO
REMOTAMENTE**

Monografia de formatura apresentado ao
Departamento de Engenharia de
Mecatrônica e Sistemas Mecânicos da
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo.

São Paulo

2008

FELIPE BRITO DA SILVA
GUSTAVO CESAR SOARES DA COSTA

VEÍCULO DE VÍDEO INSPEÇÃO CONTROLADO REMOTAMENTE

Monografia de formatura apresentado ao
Departamento de Engenharia de
Mecatrônica e Sistemas Mecânicos da
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo.

Área de Concentração:
Engenharia Mecatrônica

Orientador:
Prof. Dr. Julio Cezar Adamowski

São Paulo
2008

DEDICATÓRIA

Aos nossos familiares e amigos, pelo constante apoio durante todo curso, e a todos que de alguma forma nos ajudaram a chegar aqui e realizar este sonho.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Julio Cezar Adamowsky pelo constante apoio e atenção dedicada, pela orientação nos momentos difíceis e acima de tudo pela oportunidade de realizar um verdadeiro projeto de engenharia.

Ao Engenheiro Feitosa Claudinei Gil, responsável pela coordenação do projeto mecânico e sem o qual esse projeto não seria possível.

Aos técnicos Wellington Ramos e Tiago Monteiro, que tiveram fundamental importância no projeto e construção mecânica.

Ao Engenheiro Alan Souza, por todos os bons conselhos e a ajuda na realização do projeto elétrico

A todo o pessoal do laboratório de ultra-som por nos receber e oferecer suporte sempre que necessário .

A todos que de alguma forma estiveram envolvidos, contribuindo direta ou indiretamente à realização e conclusão deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a construção de um veículo de inspeção remotamente controlado que seja capaz de se locomover e realizar tarefas de inspeção em situações onde seres humanos não poderiam fazê-lo, seja pela impossibilidade da realização da tarefa ou pelo risco nela envolvido.

O veículo de inspeção é controlado por um *joystick*, através do qual é possível realizar tanto a sua movimentação, quanto a movimentação da câmera a ele acoplada. Este *joystick*, possui a função de “force-feedback”, com a qual é possível controlar a rigidez do mesmo baseado na força desenvolvida pelos motores, fazendo com que o controlador tenha um retorno do esforço necessário para a realização dos movimentos do veículo.

Além disso, para que o usuário possa realizar a inspeção em tempo real, as imagens colhidas pela câmera são transmitidas e mostradas simultaneamente na tela do computador, havendo também a possibilidade de gravação das mesmas para uso posterior.

Para o controle do veículo de inspeção, é utilizado um micro-controlador *wireless* interligado com os demais componentes elétricos/eletrônicos do sistema, sendo responsável pelo envio de informações para o computador e pelo recebimento e execução das instruções comandadas pelo usuário. Integrado ao micro-controlador, o veículo de inspeção conta também com um inclinômetro equipado com bússola, que é capaz de medir rotações em 2 graus de liberdade (movimentos de arfagem e rolagem) e determinar a orientação do veículo em relação ao campo magnético da Terra.

Na parte mecânica, visa-se a construção de uma estrutura bastante robusta, que permita a locomoção do veículo em superfícies inclinadas e com pouca aderência, bem como em ambientes úmidos, onde existam superfícies cobertas por pequenas lâminas d'água e até mesmo com queda de água sobre o mesmo, uma vez que o veículo de inspeção deve ser resistente a água.

Palavras-chave: robô, micro-controlador, vídeo inspeção, joystick, force-feedback.

ABSTRACT

This work has as its objective the construction of a remotely controlled inspection vehicle that must be able to perform inspection tasks in situations in which human beings could not do, either because of the impossibility of carrying out the task or because of the risks involved in it. The vehicle is controlled by a joystick, through which is possible to control its movements, as well as the movements of the coupled camera. This joystick has a “force–feedback” function, through which is possible to control the rigidity based on the force developed by the motors; this enables the controller to have a return on the necessary power to perform the vehicle movements. The inspection is carried out in real time, the images taken by the camera are transmitted and displayed simultaneously on the computer screen and any change in the joysticks position is immediately transmitted to the vehicle. There is also the possibility of recording the images or taken snapshots. For the inspection vehicle control, a wireless micro–controller is interconnected to other electric/electronic components, being responsible for sending information to the computer and for receiving and executing the actions determined by the user. Integrated to the micro–controller, the inspection vehicle has an inclinometer equipped with a compass, which is able to measure pitch and roll movements and determine the vehicles orientation relative to the Earth’s magnetic field. The mechanical structure is very robust, and allows the locomotion of the vehicle in sloping areas and with little grip, as well as most environments where the surfaces are covered by small slides of water and even waterfalls over the vehicle, once it is water resistant.

Key - words: robot, micro - controller, video inspection, joystick, force – feedback.

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Especificações iniciais do projeto</i>	24
<i>Tabela 2 - Simbologia utilizada no cálculo dos motores</i>	24
<i>Tabela 3 - Tensões de alimentação dos componentes elétricos</i>	32
<i>Tabela 4 - Corrente necessária para os componentes elétricos</i>	33

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Vista isométrica do veículo</i>	17
<i>Figura 2 - Kit Wireless</i>	20
<i>Figura 3 - Microcontrolador LP3500</i>	21
<i>Figura 4 - Esquema de pinos do microcontrolador LP3500</i>	22
<i>Figura 5 – GeckoDrive</i>	28
<i>Figura 6 - Inclínômetro</i>	30
<i>Figura 7 - Bateria utilizada</i>	34
<i>Figura 8 - Carregador modelo BC6 da Bantam</i>	34
<i>Figura 9 - Balanceador da marca Flight Power</i>	36
<i>Figura 10 - Vista traseira do veículo</i>	40
<i>Figura 11 - Perfil da correia utilizada</i>	43
<i>Figura 12 - Perfil da polia utilizada</i>	43
<i>Figura 13 - Vista lateral do veículo</i>	44
<i>Figura 14- Perfil do rolamento utilizado</i>	45
<i>Figura 15 - Modelo de imagem digital</i>	48
<i>Figura 16 - Modelo de imagem analógico</i>	48
<i>Figura 17 - Modelo de imagem de baixa qualidade</i>	49
<i>Figura 18 - Câmera IP DCS-5300G</i>	50
<i>Figura 19 - Esquema de comunicação com módulos RF</i>	51
<i>Figura 20 - Joystick Sidewinder Force Feedback 2 Microsoft</i>	53
<i>Figura 21 - Interface gráfica do software do computador</i>	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	MOTIVAÇÕES	12
1.2	JUSTIFICATIVAS	13
1.3	OBJETIVOS	14
2	ATIVIDADES REALIZADAS.....	15
3	ARQUITETURA DO VEÍCULO.....	16
4	PROJETO ELÉTRICO	18
4.1	COMPONENTES NECESSÁRIOS	18
4.2	SELEÇÃO DOS COMPONENTES.....	20
4.2.1	<i>Microcontrolador.....</i>	<i>20</i>
4.2.2	<i>Motor.....</i>	<i>23</i>
4.2.3	<i>Redutor.....</i>	<i>27</i>
4.2.4	<i>Encoder.....</i>	<i>27</i>
4.2.5	<i>Drivers.....</i>	<i>28</i>
4.2.6	<i>Inclinômetro.....</i>	<i>28</i>
4.2.7	<i>Bateria</i>	<i>30</i>
4.2.7.1	Tipos de Baterias e Seleção	30
4.2.7.2	Características gerais de baterias.....	31
4.2.7.3	Dimensionamento da Bateria.....	32
4.2.7.4	Carregando a bateria.....	34
4.3	INTEGRAÇÃO DOS COMPONENTES ELÉTRICOS	36
4.3.1	<i>Projeto de alimentação.....</i>	<i>36</i>
4.3.2	<i>Interfaceamento entre os componentes.....</i>	<i>37</i>
5	PROJETO MECÂNICO	39
5.1	SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO.....	39
5.2	FIXAÇÃO DOS COMPONENTES	40
5.3	SELEÇÃO DOS COMPONENTES.....	41
5.3.1	<i>Correias.....</i>	<i>41</i>
5.3.2	<i>Polias</i>	<i>43</i>
5.3.3	<i>Rolamentos.....</i>	<i>44</i>
5.3.4	<i>Estrutura mecânica.....</i>	<i>45</i>
6	SISTEMA DE INSPEÇÃO	47
6.1	ESTUDO PRELIMINAR	47
6.2	ESCOLHA DA CÂMERA	49
6.3	ESCOLHA DO INCLINÔMETRO	50
7	SISTEMA DE CONTROLE DO VEÍCULO.....	51
7.1	ARQUITETURA DO SISTEMA.....	51
7.2	CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE CONTROLE	52
7.2.1	<i>Micro – controlador.....</i>	<i>52</i>
7.2.2	<i>Joystick.....</i>	<i>53</i>
7.2.3	<i>Câmera</i>	<i>53</i>
7.2.4	<i>Receptor (roteador)</i>	<i>54</i>

7.2.5	<i>Computador</i>	54
7.3	PROJETO DO SOFTWARE	55
7.3.1	<i>Software no micro – controlador</i>	55
7.3.2	<i>Software no computador</i>	55
8	RESULTADOS	57
9	CONCLUSÕES	58
10	BIBLIOGRAFIA	59
	ANEXOS	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 *Motivações*

A principal motivação para a realização deste projeto foi poder aplicar todo, ou pelo menos grande parte, do aprendizado obtido durante o curso de engenharia mecatrônica, e poder, através deste, mensurar o grau de conhecimento adquirido na nossa formação de engenheiro.

Para a construção de um veículo de vídeo inspeção controlado remotamente é necessária a integração de um projeto mecânico com projetos elétrico e de controle, que envolvem também o desenvolvimento de softwares. Trata-se portanto de um projeto que necessita de um amplo estudo e que engloba diversas áreas não só da engenharia mecatrônica, como da engenharia como um todo.

Dessa forma, o veículo de inspeção aqui projetado mostra uma aplicação prática do conteúdo estudado durante o curso, compreendendo assim todo o ciclo de desenvolvimento de um verdadeiro projeto de engenharia e abrindo caminhos para o posterior desenvolvimento de projetos mais complexos, como inicialmente idealizado.

A dedicação e o esforço aplicados neste projeto serão, com certeza, de grande valor e importância na nossa formação como engenheiros, contribuindo, em muito, para o nosso desenvolvimento tanto pessoal quanto profissional.

1.2 Justificativas

O veículo será construído com a finalidade de inspecionar ambientes obtendo informações através de imagens; no entanto, dada a arquitetura do mesmo, posteriormente será possível acoplar outros sistemas de inspeção diferentes ou mesmo adicionais à câmera, possibilitando a obtenção de informações específicas conforme a aplicação desejada.

Com as informações coletadas, poderá ser realizado um estudo sobre o ambiente inspecionado e, dependendo da aplicação do veículo, este pode ser utilizado como uma fonte de pesquisa essencial em ambientes os quais o homem não seja capaz de alcançar, incluindo ambientes mal iluminados e úmidos.

Portanto, o veículo de inspeção pode ser visto como uma ferramenta desenvolvida para auxiliar em diferentes estudos e aplicações, onde se deseje coletar informações e imagens de ambientes de difícil acesso ou que apresentem riscos para a presença humana.

1.3 Objetivos

Este trabalho de formatura objetiva a construção de um veículo de inspeção controlado remotamente por um computador, onde se utiliza de tecnologia sem fio para a transmissão de sinais contendo as informações sobre as ações a serem tomadas pelo veículo, que também contará com uma câmera para a captura de imagens em tempo real, permitindo a visualização do ambiente no qual o veículo se encontra, além do registro de fotos para posterior análise.

O veículo deverá apresentar um alcance de controle de no mínimo 50 metros em ambiente aberto, determinado pelo máximo alcance apresentado pela tecnologia de transmissão de dados sem fio utilizada pela câmera escolhida.

O projeto de todas as partes mecânicas necessárias a construção, assim como a seleção/dimensionamento das partes adquiridas separadamente deverão ser minuciosamente documentados para possibilitar a reprodução posterior do projeto.

Será realizada a geração de desenhos de fabricação referentes a todas as peças projetadas de modo a possibilitar sua fabricação posterior.

Será projetado um sistema de inspeção através do qual serão adquiridas imagens do ambiente em tempo real, para isso deverá ser utilizado uma câmera que possibilite visão em ambientes com pouca luminosidade.

Será também projetado um sistema de blindagem contra a infiltração de água de forma a proporcionar inspeções em ambientes apresentando lâminas d'água ou quedas d'água sob o veículo sem que suas partes mecânicas e/ou elétricas sejam danificadas.

2 ATIVIDADES REALIZADAS

Ao longo desse ano, foram realizadas diversas atividades. Primeiramente foi realizado um estudo preliminar e construído um cronograma de atividades.

Um ponto que foi de fundamental importância para a conclusão do projeto foi o fato de serem promovidas diversas reuniões com o nosso orientador, com a equipe disponível para nos ajudar na confecção de peças e em todo planejamento mecânico do projeto e com outros membros da equipe do laboratório de nosso orientador. Foram estabelecidos horários de reuniões semanais onde foram discutidos os principais pontos a serem definidos para um bom planejamento. Através destas reuniões pudemos realizar esboços iniciais a respeito da estrutura do projeto, e como a parte mecânica seria integrada com a parte elétrica. Deste modo realizamos estudos sobre um meio de obter uma estrutura que suprisse toda a necessidade imposta pelo projeto e de fácil integração com a parte elétrica.

Também foram definidas características fundamentais de projeto, e assim, chegamos à conclusão que utilizaremos sistema de correias e polias para a locomoção, rolamentos, métodos de realizar a blindagem a prova d'água e a estrutura básica do veículo.

Foram realizados cálculos para a especificação necessária dos motores, reduções, micro – processador, inclinômetro, câmera e bateria a serem utilizados.

Após o projeto estar com suas especificações e características determinadas, passamos para a fase de compra de materiais e componentes, para possibilitar o início da construção da mecânica e eletrônica do veículo.

Desta forma demos início à produção do veículo, sendo realizada a produção de peças e circuitos eletrônicos em paralelo, sendo que testes foram sendo feitos conforme os componentes eletrônicos eram entregues.

A fase final do projeto foi a elaboração do software responsável pelo interfaceamento do veículo com o usuário e a posterior integração de todos os sistemas, incluindo testes do projeto final.

3 ARQUITETURA DO VEÍCULO

O veículo será controlado por um microcontrolador, que será responsável pelo monitoramento e controle dos outros componentes do sistema elétrico, bem como pela comunicação com o computador utilizado para o controle do veículo. Para a comunicação, serão utilizados módulos RF, que possibilitam a transmissão de dados sem fio entre o microcontrolador e o computador de forma confiável, eficiente e com um alcance suficiente para a aplicação pretendida.

Para a movimentação do veículo, serão utilizados dois motores de corrente contínua, que serão acionados pelo microcontrolador por intermédio de *drivers* de potência. Esses motores serão acoplados a redutores para a obtenção de um maior torque, e contarão com encoders magnéticos que possibilitarão a determinação da velocidade e aceleração dos mesmos, assim como a obtenção de uma estimativa do posicionamento do veículo. Para a determinação da posição do veículo, será utilizado também um inclinômetro, que é capaz de medir os movimentos de arfagem e rolagem do mesmo, além de possuir uma bússola que permite determinar a orientação do veículo em relação ao campo magnético da terra.

O controle do robô será realizado remotamente através de um computador, que se comunicará com o microcontrolador embarcado, recebendo informações e enviando instruções. Ao computador será ligado um joystick, através do qual será possível controlar a velocidade, a direção e o sentido do movimento do veículo. Além disso, o veículo será equipado com uma câmera, que enviará as imagens colhidas diretamente ao computador, para que o operador possa observar o ambiente em que o veículo está e assim realizar o seu controle. O controle da câmera será realizado também pelo joystick, e esta contará com os movimentos de *pan* e *tilt*.

O veículo contará também com uma bateria, que será responsável pela alimentação de todos os componentes do sistema elétrico e deverá possuir autonomia suficiente para a realização da inspeção desejada.

Uma vista isométrica do veículo é mostrada abaixo:

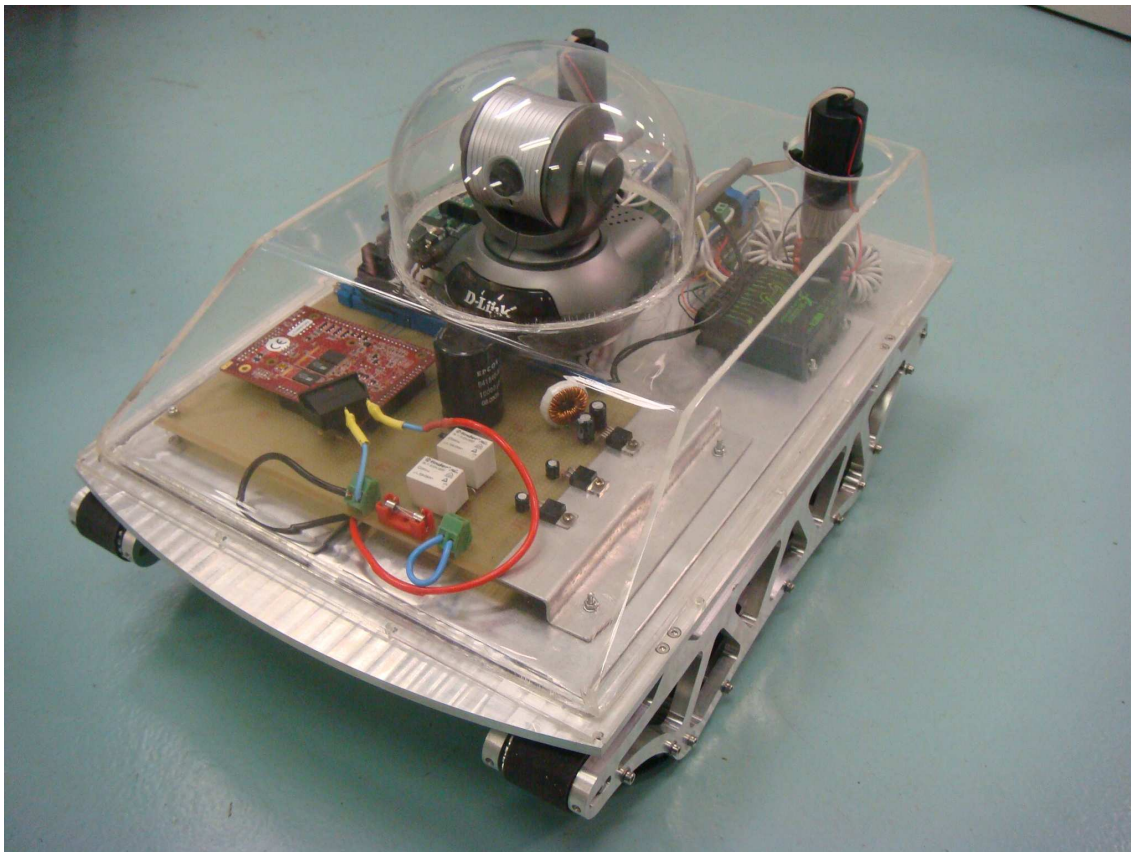


Figura 1 - Vista isométrica do veículo

4 PROJETO ELÉTRICO

Para o projeto da parte elétrica do veículo, devemos considerar todos os elementos necessários e a forma como eles devem ser interligados para que possamos alcançar os objetivos pretendidos. Sendo assim, devemos primeiramente determinar as especificações de projeto para cada um deles, para numa segunda etapa dimensioná-los de acordo com as características desejadas. A listagem de todos os componentes, bem como os cálculos realizados são mostrados nos próximos itens, bem como as ligações entre eles.

4.1 Componentes Necessários

- **Microcontrolador**: Responsável por todo o processamento do veículo, este é o principal componente do projeto elétrico. Ele é responsável pela aquisição e tratamento das informações geradas pelos outros componentes, assim como a comunicação com o computador para o envio das mesmas. Além disso, ele deve também receber do computador as instruções comandadas pelo controlador e executá-las.
- **Motor**: Elemento responsável pela locomoção do veículo. Controlado pelo microcontrolador, deve possuir torque suficiente para a movimentação contínua do veículo mesmo sob condições críticas. Fora isso, é necessário que ele preencha as especificações de velocidade e aceleração do veículo, bem como as especificações de massa e consumo.
- **Redutor**: Acoplado diretamente ao motor, tem como função o aumento do torque fornecido pelo motor, diminuindo a velocidade e a aceleração de entrada pelo fator de redução.

- **Encoder:** Componente utilizado para controle da posição do motor. Através desse elemento, é possível monitorar a variação da posição do motor em relação ao tempo, sendo possível assim obter também a velocidade e a aceleração do mesmo, além de uma estimativa da distância percorrida pelo veículo.
- **Drivers:** Para o controle dos motores, são necessários drivers de potência, pelo intermédio dos quais o microcontrolador é capaz de realizar o controle da posição e velocidade dos mesmos.
- **Inclinômetro:** É utilizado para a obtenção da posição do veículo relativa a um plano de referência, evitando que esse percorra caminhos para os quais não tenha sido projetado, o que poderia fazer com que este viesse a capotar, ocasionando danos ao mesmo e evitando que a inspeção prossiga. Além disso, este também está equipado com uma bússola, que permite a determinação da posição do veículo em relação ao campo magnético da terra e portanto o traçamento do percurso realizado pelo mesmo.
- **Câmera:** Utilizada para a obtenção e transmissão das imagens do ambiente onde se encontra o veículo, deve possuir resolução e alcance necessários para o controle do mesmo e também para a realização da inspeção.
- **Bateria:** É responsável pela alimentação dos componentes elétricos do sistema, devendo possuir capacidade suficiente para suprir as necessidades de todos os mesmos no pior caso.
- **Componentes eletrônicos analógicos/digitais:** São utilizados para a integração dos sinais e das alimentações de todos os componentes utilizados no projeto elétrico, e serão discutidos junto com os mesmos.

4.2 Seleção dos Componentes

Para a determinação do modelo dos componentes a serem utilizados, primeiramente foram considerados todos os pré-requisitos e especificações do projeto, para num segundo momento realizar os cálculos necessários para o dimensionamento e interligação dos mesmos.

4.2.1 Microcontrolador

Para a escolha do microcontrolador, optamos por um modelo da marca Rabbit, pois já utilizamos outro microcontrolador desse fabricante antes e desse modo já estamos familiarizados com a arquitetura do mesmo. Além disso, os microcontroladores da Rabbit são bastante versáteis, fáceis de programar e atendem os requisitos necessários para o projeto.

Para a construção do veículo, decidimos pela escolha de um kit wireless, para que este pudesse ser controlado remotamente com o uso de um computador. Dessa forma, observando os modelos disponíveis no site da fabricante, optamos pela utilização do seguinte kit, disponível em [1]:



Figura 2 - Kit Wireless

O kit conta com um microcontrolador de baixo consumo de energia modelo LP3500, equipado com um microprocessador Rabbit 3000 que possui um clock de até 7.4MHz. Este microcontrolador conta com os seguintes subsistemas:

- 16 entradas digitais
- 10 saídas digitais de alta corrente
- 8 conversores A/D de 11 bits, que podem ser utilizados como 4 pares diferenciais de 12 bits
- 3 saídas PWM
- 6 portas seriais

Dessa forma, essa placa possui as características necessárias para o acionamento dos motores, a leitura dos encoders, a leitura do inclinômetro e a comunicação com o computador, além de possuir outras entradas e saídas que podem vir a ser utilizadas posteriormente para outras aplicações. Uma foto da placa e um esquema dos seus pinos são mostrados abaixo, e podem ser encontradas em [4]:



Figura 3 - Microcontrolador LP3500

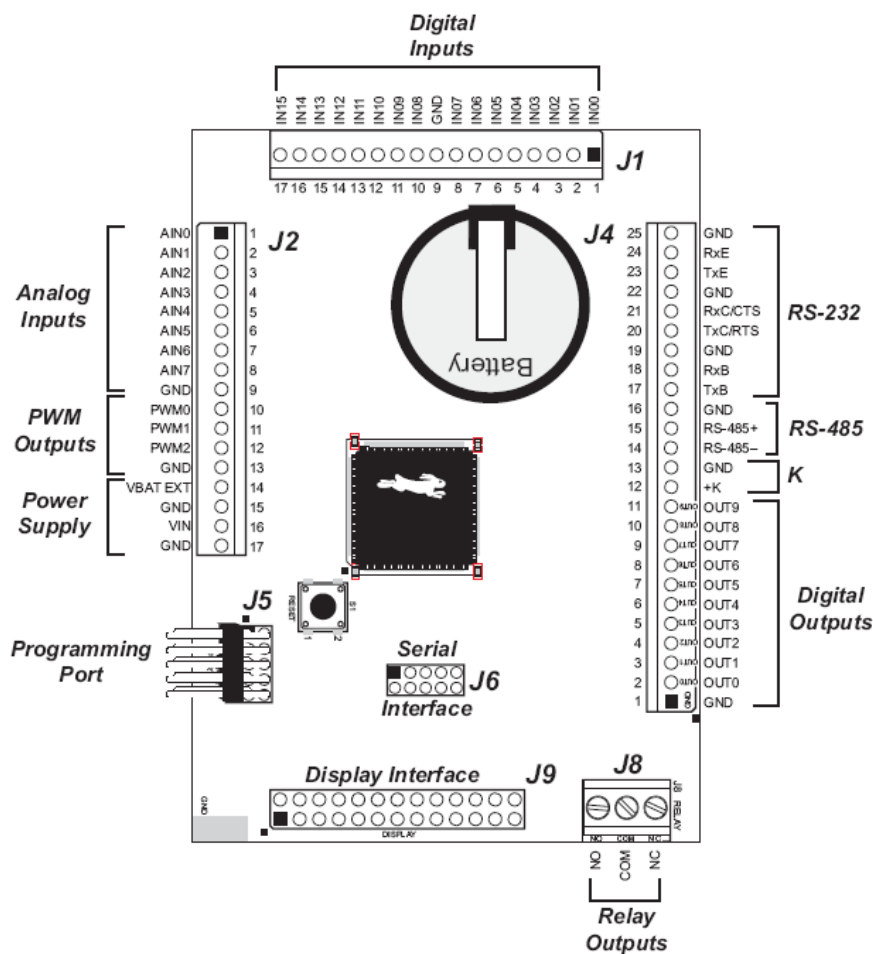


Figura 4 - Esquema de pinos do microcontrolador LP3500

Para a comunicação sem fio, esse kit utiliza dois módulos “MaxStream 24XStream™ RF Modem” de 2.4 GHz, capazes de transmitir dados com uma taxa de 9.6 ou 19.2 Kbps a uma distância de até 180m em ambientes fechados e 16km em ambientes abertos. Além disso, por utilizar comunicação serial, os módulos RF podem ser diretamente ligados ao microcontrolador e a um computador.

O kit conta também com uma placa de prototipagem, que possui botões, leds e diversos conectores para a soldagem de componentes elétricos. Essa placa possui uma interface específica para a conexão do LP3500, que permite um acesso simplificado a todos os seus pinos. Além disso, no kit também são fornecidos cds com os software necessários para a programação do microcontrolador, bem como todos os cabos de alimentação e sinais necessários.

O datasheet do kit wireless pode ser encontrado no Anexo A.

4.2.2 Motor

Para a locomoção do veículo optamos pela utilização de motores de corrente contínua com escovas. A utilização de motores sem escovas (brushless) foi considerada, no entanto, embora estes forneçam diversas vantagens em relação aos motores com escovas, percebemos que não haveria a necessidade da utilização de tais motores, e levando em conta o fato de que o seu preço é bastante superior ao dos com escovas, optamos por não utilizá-los.

No processo de seleção, decidimos pela utilização de motores da marca Faulhaber, que já havia sido utilizada antes pelo nosso orientador e foi muito bem recomendada. Observando o site desse fabricante, optamos pela utilização de motores com rotores sem núcleo, o que permite que esses motores acelerem de forma mais rápida, além de diminuir a energia gasta para a movimentação dos mesmos.

Sendo assim, determinamos as especificações iniciais do projeto e realizamos o dimensionamento de maneira iterativa, uma vez que os parâmetros do motor também são utilizados no cálculo, e o cálculo das polias e correias deve ser feito em conjunto com o cálculo do motor. Dessa forma decidimos pela utilização de motores da série “3257 012 CR”, que possuem as seguintes características:

- Voltagem nominal: 12V
- Velocidade sem carga: 5700rpm
- Torque para operação contínua: 70mNm
- Torque com o eixo travado: 531mNm
- Massa: 242g
- Momento de inércia do rotor: 42gcm²

Uma descrição completa do motor pode ser encontrado no seu datasheet no Anexo B, e outras informações podem ser encontradas em [8]. Abaixo é mostrada uma tabela com as especificações iniciais do projeto:

Tabela 1 - Especificações iniciais do projeto

Especificações iniciais do projeto	
Massa Total do Veículo	10kg
Velocidade Máxima do Veículo	0,5m/s
Aceleração Máxima do Veículo	1m/s ²
Ângulo Máximo de Subida do Veículo	45°

Baseado nas especificações acima e nas informações obtidas dos datasheet dos componentes utilizados, o dimensionamento dos motores foi realizado conforme mostrado abaixo. Nos cálculos realizados, as grandezas são representadas pelos seguintes símbolos:

Tabela 2 - Simbologia utilizada no cálculo dos motores

Símbolo	Grandeza
M	massa total do veículo
η	rendimento global
g	aceleração da gravidade
θ	ângulo de inclinação da pista
J_o	momento de inércia do rotor
J_r	momento de inércia do redutor
J_c	momento de inércia da carga
α_m	aceleração angular do motor
a_p	aceleração do veículo
ω_m	velocidade angular do motor
V_p	velocidade do veículo
N_p	número de polias de cada esteira
M_p	massa de cada polia
M_e	massa da esteira
R_p	raio da polia

Nos cálculos abaixo, foi considerado o motor escolhido, assim como as polias e correias dimensionadas. No cálculo do momento de inércia da carga, foram consideradas as inércias das polias, das esteiras e da massa do veículo como um todo, sendo que as polias foram aproximadas por discos uniformes. Dessa forma, obtivemos a seguinte equação:

$$J_C = (N_p \cdot M_p + M_e + M) \cdot R_p^2 \quad (1)$$

De (1), considerando um total de 4 polias em cada esteira, cada uma com diâmetro de 31,7mm e massa de 50g, e correias com massa de 100g, foi obtido um momento de inércia da carga de $J_C = 2,59 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^2$.

Depois disso, foi realizado o cálculo da razão redução a ser utilizada. Para esse cálculo, foram consideradas a especificação inicial da velocidade máxima do veículo ($0,5\text{m/s}^2$) e a máxima velocidade de entrada do redutor para operação contínua ($4000\text{rpm} = 418,9\text{rad/s}$); e foi utilizada a seguinte equação:

$$r = \omega_m \cdot \frac{R_p}{V_p} \quad (2)$$

De (2), obteve-se uma razão de redução próxima de 13:1, no entanto, foi utilizada uma razão de redução de 14:1 por ser o valor mais próximo disponível. Com essa razão de redução, à partir de (2) foi calculada a velocidade máxima do veículo, obtendo-se um valor de 474mm/s.

Depois disso, foi calculado o valor do torque necessário nos motores em duas etapas. Primeiramente, foi realizado o cálculo do torque necessário para a aceleração do veículo. Posteriormente, foi realizado o cálculo do torque necessário para que o veículo fosse capaz de subir um plano inclinado de 45° (conforme especificação inicial de projeto).

Para o cálculo do torque necessário na aceleração do veículo (T_a), foram considerados os torques necessários para acelerar a carga (T_c), o redutor (T_r) e o rotor (T_o), obtendo a seguinte equação:

$$T_a = \frac{(T_r + T_o + T_c)}{\eta} \quad (3)$$

Onde η representa o rendimento global do sistema de movimentação, que foi estimado em 50%. Reescrevendo os torques em função dos momentos de inércia e das acelerações, obtemos a seguinte equação:

$$T_a = \left(J_r + J_o + \frac{J_c}{r^2} \right) \cdot \frac{\alpha_m}{\eta} \quad (4)$$

O momento de inércia do rotor foi obtido no seu datasheet, e é de 42gcm^2 . Já o momento de inércia do redutor não é fornecido no seu datasheet, e portanto foi estimado como sendo igual ao do rotor. Para o cálculo da aceleração angular do motor, foram consideradas a especificação inicial do projeto para aceleração do veículo (1m/s^2) e a razão de redução escolhida (14:1), obtendo-se uma aceleração angular do motor de 883.3 rad/s^2 .

Dessa forma, utilizando os valores do momento de inércia da carga, da razão de redução e o valor da aceleração angular do motor, de (4) obtemos um valor do torque necessário para a aceleração de $38,2\text{mNm}$.

Para o cálculo do torque necessário para a subida de um plano inclinado (T_s), foi considerado o peso do veículo atuando na direção paralela ao plano inclinado e a força realizada pela polia sobre a correia. Representando o torque na polia por T_p , obtemos as seguintes equações:

$$T_s = \frac{T_p}{r} \quad (5)$$

$$T_p = \frac{M \cdot g \cdot R_p \cdot \sin(\theta)}{\eta} \quad (6)$$

Considerando mais uma vez um rendimento global de 50% e um ângulo de subida de 45° , à partir de (5) e (6) obtemos um torque de subida de $156,9\text{mNm}$. Assim, o máximo torque necessário nos motores (T_m), é dado pela soma do torque de aceleração (T_a) e do torque de subida (T_s), sendo de $195,1\text{mNm}$. Dessa forma, o motor mostrado acima é adequado, uma vez que este é capaz de fornecer um torque de até 531mNm .

4.2.3 Redutor

Para o sistema de redução, optamos pela utilização de redutores planetários, uma vez que estes possuem elevado rendimento e são bastante compactos. Sendo assim, decidimos pela utilização de um modelo da Faulhaber, mesma fabricante do motor, já que esta possui redutores específicos para seus motores que já vêm montados junto aos mesmos. Observando os modelos compatíveis com o motor selecionado, decidimos utilizar um modelo da série 32/3, por ser mais compacto que os outros modelos e não possuir flange para fixação; desse modo, baseado nos cálculos acima, foi utilizada uma razão de redução de 14:1. Dentre as principais características do redutor utilizado, temos:

- Massa: 0,23kg
- Comprimento: 49,4mm
- Máximo torque de saída para operação contínua: 1,4Nm
- Máxima velocidade de entrada para operação contínua

O datasheet do redutor pode ser encontrado no Anexo C, e maiores informações podem ser adquiridas em [8].

4.2.4 Encoder

O encoder utilizado é também da marca Faulhaber, e foi escolhido dentre os modelos listados no datasheet do motor, que são compatíveis e já vêm montados com o mesmo. Dentre esses modelos, optou-se pela utilização de um encoder magnético da série IE2-512 com 512 linhas por revolução. Este modelo era o mais completo disponível para o motor selecionado, e pode ser acoplado diretamente ao driver escolhido. Seu datasheet é apresentado no Anexo D, e também está disponível em [8].

4.2.5 Drivers

Os drivers utilizados são da fabricante Gecko, recomendada pelo nosso orientador, e foram escolhidos por possuírem as características necessárias: são projetados para o controle de motores de corrente contínua com escovas e encoder acoplado, além possuírem faixas de tensão e de corrente compátíveis com as do motor e do encoder utilizados.

Estes drivers são alimentados com uma tensão entre 18 e 80V, e fornecem tanto a alimentação do motor, quanto a alimentação do encoder e entradas para suas duas fases. Para o controle do motor, o driver possui dois sinais que são ligados ao microcontrolador: um para o controle da direção do motor ("DIR") e o outro para o comando de passo ("STEP").

Para o comando de passo, são consideradas as linhas do encoder, sendo que o driver possui um multiplicador interno que permite multiplicar cada passo comandado por 1x, 2x, 5x ou 10x, podendo-se obter assim múltiplos passos de saída para cada passo de entrada. Uma imagem do driver escolhido obtida em [9] é mostrada abaixo, e seu datasheet pode ser encontrado no anexo E:



Figura 5 – GeckoDrive

4.2.6 Inclinômetro

O inclinômetro selecionado é o modelo A4025-45A da fabricante "Fluxgate World Subsystems/Autonnic", que foi sugerido por nosso orientador. Esse inclinômetro é capaz de medir os movimentos de pitch e roll do veículo,

além de possuir uma bússola integrada. Dentre suas principais características temos:

- Medição de movimentos de pitch e roll de até 45°
- Resolução de 0,1° para os movimentos de pitch e roll
- Medição da orientação em relação ao campo magnético da Terra com precisão de 0,2°
- Voltagem de entrada: 8 à 15V

Este modelo conta com duas interfaces, uma analógica e uma digital:

- Interface analógica: são fornecidos quatro sinais analógicos ANO1-ANO4, que devem ser utilizados da seguinte forma:

- $ANO1 = ANO3 \pm \text{Pitch}$
- $ANO1 = ANO3 \pm \text{Roll}$
- $ANO3 = 2,5V$
- $ANO4 = \text{Bússola linear}$

Os movimentos de *Pitch* e *Roll* são representados por 9bits com uma referência de 2,5V (ANO3). Como exemplo, para uma inclinação de 30°, a saída seria de $2,5 + 2,5 \times (300/512) = 3,96 \text{ V}$, já para uma inclinação de -24,6°, a saída seria $2,5 - 2,5 \times (246/512) = 1,30V$.

Para a bússola, é utilizado um incremento de 13,89mV por °, obtendo uma saída de 0 – 4,998V para uma variação de 0 – 359,9° em relação ao sentido de referência do inclinômetro.

- Interface digital: nessa interface é utilizada comunicação serial com o protocolo RS422, que na maioria dos casos pode ser integrada diretamente a uma porta que utilize o protocolo RS232, sem a necessidade do uso de um conversor. Essa interface possui as seguintes características:

- Taxa de transmissão: 4800bps
- 8 bits de dados

- 1 bit de parada
- Sem paridade

A interface digital utiliza um protocolo bi-direcional, de forma que além de receber as medidas de *pitch*, *roll* e da bússola, também é possível enviar comandos de configuração, como comandos para calibração da bússola e determinação da taxa de atualização das saídas.

O datasheet do inclinômetro selecionado pode ser encontrado no Anexo F, e uma imagem do mesmo disponível em [7] é mostrada abaixo:

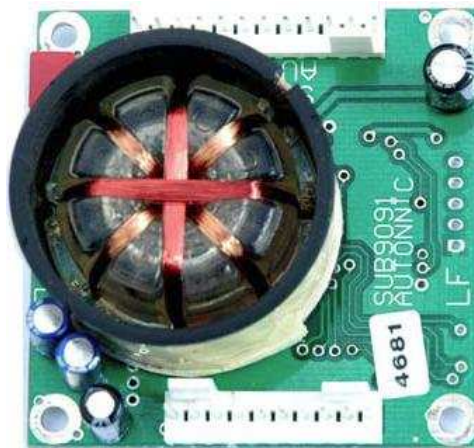


Figura 6 - Inclinômetro

4.2.7 Bateria

4.2.7.1 Tipos de Baterias e Seleção

Para a seleção da bateria, foram considerados inicialmente os seguintes tipos: Níquel Cadmiun (NiCd), Níquel Metal Hídreto (NiMH) e Lithium Polímero (LiPo). Dentre estes tipos, foi escolhida uma bateria de Lithium Polímero, por possuir as seguintes vantagens em relação as baterias de Níquel:

- o Maior capacidade de corrente
- o Menor variação da tensão de saída
- o Menor relação massa/energia
- o Menor relação volume/energia

As baterias do tipo Lipo são bastante utilizadas em aplicações de aeromodelismo principalmente devido a sua baixa relação massa/energia e a possibilidade de utilização de correntes muito superiores à sua corrente nominal. Estas se encontram disponíveis em diversas lojas de modelismo, e são normalmente vendidas em packs montados com células de 3,7V e 2500mAh.

4.2.7.2 Características gerais de baterias

Dentre as principais características de uma bateria utilizadas em sua dimensão e selecionamento podemos destacar:

- o **Tensão nominal**: cada tipo de célula possui uma tensão nominal, que varia de acordo com o tipo e o tamanho da mesma, embora durante o processo de descarregamento da bateria, a tensão de saída não se mantenha constante.
- o **Variação de tensão**: quando completamente carregada, uma célula possui uma tensão ligeiramente maior que a sua tensão nominal de operação. Quando esta começa a ser descarregada, sua tensão cai rapidamente a uma tensão próxima da tensão nominal, e se mantém em torno da mesma até o fim do ciclo de descarregamento, onde decai rapidamente.
- o **Capacidade de Corrente**: assim como a tensão nominal, cada célula possui também uma capacidade de corrente, usualmente expressa em mili-âmpère hora (mAh). Essa capacidade, representa a corrente que a bateria consegue fornecer constantemente durante um certo periodo de tempo. Por exemplo, uma bateria de 2500mAh é capaz de fornecer uma corrente de 2500mA durante um periodo de uma hora, mas também pode ser utilizada para fornecer uma corrente constante de 1250mA durante duas horas.
- o **Capacidade de carga**: assim como uma bateria é capaz de fornecer uma corrente menor por um periodo de tempo mais longo, essa também

pode fornecer uma corrente maior por um intervalo de tempo menor. Essa capacidade varia de acordo com o tipo e a montagem da bateria, e é medida com a unidade nC, onde C representa a capacidade nominal dessa bateria. Por exemplo, uma bateria com uma capacidade de carga de 10C, é capaz de fornecer uma corrente de até dez vezes o valor nominal especificado por um tempo dez vezes menor.

o **Associação de células:** como afirmado anteriormente, as baterias são normalmente vendidas em packs, que são associações de duas ou mais células, sendo que cada célula possui uma tensão e uma corrente nominal. Na associação de células, em geral são utilizadas células de mesma capacidade e tamanho, e a associação é feita em série para o aumento da tensão e em paralelo para o aumento da corrente.

4.2.7.3 Dimensionamento da Bateria

Para a seleção da bateria, inicialmente foi considerada a tensão necessária, para isso, foram consideradas as tensões de alimentação de todos os componentes do sistema elétrico, conforme mostrado na tabela abaixo:

Tabela 3 - Tensões de alimentação dos componentes elétricos

Tensão de alimentação dos componentes elétricos	
Microcontrolador	3 - 30V
Módulo RF	7 - 15V
Inclinômetro	8 - 15V
Câmera	12V
Drivers	18 - 80V

Dessa forma, percebeu-se que a tensão mínima necessária para a bateria é de pelo menos 18V. No entanto, como explicado anteriormente, a tensão de saída varia durante o ciclo de descarregamento, dessa forma optou-

se pela utilização de uma bateria de LiPo com 6 células (6S), de forma que a tensão nominal da bateria seja de 22,2V (3.7V por célula).

Posteriormente, foi analisada a corrente necessária por cada componente, obtendo-se a tabela abaixo:

Tabela 4 - Corrente necessária para os componentes elétricos

Corrente necessária para os componentes elétricos	
Microcontrolador	20mA
Módulo RF	150mA
Inclinômetro	70mA
Câmera	1,5A
Motores	9,2A

Nessa tabela, o valor de 9,2A representa a soma das máximas correntes dos dois motores, que é determinada pelo limite térmico de seus enrolamentos. No entanto, para o controle do motor, será utilizado um PWM, e estes não serão utilizados em sua corrente máxima, de forma que o valor médio da corrente em cada um dos mesmos para a condição crítica de operação pretendida é de aproximadamente 1,5A. Sendo assim, a corrente necessária para a bateria nas condições mais críticas é de cerca de 5A.

Dessa forma, optou-se pela utilização de uma bateria com uma capacidade de 5000mAh, resultando numa autonomia de uma hora na condição mais crítica. Sendo assim, foi utilizada uma bateria modelo EVO25 da fabricante Flight Power, que possui as seguintes características:

- **Tensão nominal:** 22,2V
- **Capacidade de corrente:** 5000mAh
- **Corrente de descarga:** 25C (125A)
- **Corrente de descarga momentânea:** Até 50C (250A)
- **Massa:** 799 gramas
- **Dimensões:** 54 x 44 x 166mm

Uma foto da bateria utilizada é mostrada abaixo, e foi obtida em [15]:



Figura 7 - Bateria utilizada

4.2.7.4 Carregando a bateria

Para carregar uma bateria LiPo, é necessário um procedimento especial, com monitoração constante da voltagem e corrente utilizadas, uma vez que devido a sua densidade de carga estas baterias podem ser muito perigosas se manipuladas incorretamente, podendo até mesmo resultar em acidentes como a explosão da mesma. Dessa forma, foi adquirido um carregador especial modelo BC6 da fabricante Bantam, que é dimensionado para a carga desse tipo de bateria e portanto pode ser utilizado com segurança. Uma foto do mesmo, obtida em [16] é mostrada abaixo:



Figura 8 - Carregador modelo BC6 da Bantam

Este carregador possui diversos recursos que ajudam a garantir a segurança durante a carga da bateria, dentre as quais podemos citar:

- Cada operação é controlada com comunicações e links mútuos para evitar qualquer possibilidade de erro.
- Proteção contra inversão de polaridade
- Aviso de voltagem de entrada
- Erro de contagem de células de lítio
- Circuito de alta potência e desempenho com refrigeração altamente eficiente

Além disso esse carregador possui também as seguintes características:

- **Voltagem de entrada** : DC 11-18 volts ou AC 100-240V, 50/60hz
- **No. de células LiPo**: 1-6 células
- **Corrente de carga**: 0,1 a 10A
- **Corrente de descarga**: 0,1 a 5A
- **Massa**: 960g
- **Dimensões**: 160 X 120 X 40 mm
- **Temperatura de corte da carga**: 20 a 80C ou OFF
- **Limite de tempo para segurança**: 10 a 720 min. ou OFF
- **Limite de capacidade máxima de carga para segurança**: 10 a 9990mAh ou OFF
- **Alerta de baixa voltagem de entrada**: 10 a 11V

Fora o carregador, para que as células sejam carregadas de maneira mais precisa e possuam uma maior vida útil, foi adquirido também um balanceador do mesmo fabricante da bateria. Este é capaz de monitorar a tensão de cada célula durante o processo de carregamento e dessa forma equalizar a carga da bateria. Uma imagem é mostrada abaixo, e pode ser obtida em [17]:



Figura 9 - Balanceador da marca Flight Power

4.3 Integração dos componentes elétricos

4.3.1 Projeto de alimentação

Para a alimentação dos componentes elétricos, foi realizado o projeto de uma fonte, que pode ser acoplada diretamente a bateria, garantindo a distribuição correta de tensão além de possuir proteção contra eventuais sobrecargas ou curto-circuitos no sistema. Para ligar e desligar a alimentação, esta conta com um relé-reed, que pode ser acionado através do uso de um ímã, acionando assim um relé principal, responsável pelo fechamento do circuito.

Para a regulação da tensão, foram utilizados reguladores de tensão lineares para os elementos que possuem baixo consumo e grande sensibilidade a ruídos e reguladores de tensão chaveados para altos consumos. Dessa forma, foram utilizados reguladores de tensão lineares modelo 7805 para a alimentação do microcontrolador e do módulo RF e modelo 7812 para a alimentação do inclinômetro, e foi utilizado um regulador de tensão chaveado modelo LM2576 para a alimentação da câmera, que possui uma chave liga/desliga.

Além disso, foram utilizados capacitores, diodos e fusíveis para a proteção contra sobrecargas, curto-circuitos e estabilização das tensões fornecidas. Um esquema elétrico completo da fonte pode ser encontrado no Anexo G.

4.3.2 Interfaceamento entre os componentes

O responsável pelo controle dos componentes do sistema elétrico do veículo é o microcontrolador, e dessa forma ele se encontra conectado aos outros elementos da seguinte forma:

- **Drivers:** para o controle de cada driver são necessários dois sinais, sendo um de direção e outro para comando de passo. Embora esses dois sinais possam utilizar como tensão comum tanto o terra como uma tensão de 5V, foi decidida a utilização de uma tensão de 5V, uma vez que decidiu-se pela utilização de saídas digitais do tipo *sinking* do microcontrolador .
- **Inclinômetro:** conforme explicado, o inclinômetro utilizado possui duas interfaces distintas: uma serial e outra analógica. Dessa forma, ambas as interfaces foram conectadas ao microcontrolador , sendo que a interface analógica foi conectada diretamente a conversores A/D e a interface serial foi conectada a uma das portas seriais disponíveis. Além disso, o inclinômetro conta também com outros sinais de controle, que foram ligados à saídas digitais do tipo *sinking* do microcontrolador com o uso de resistores de *pull-up*.
- **Módulo RF:** para a comunicação sem fio, o módulo RF foi ligado diretamente a duas portas seriais do microcontrolador, sendo cada uma com 3 fios de sinais, possibilitando o uso de uma delas para a transmissão/recepção de dados e o uso da outra para o controle de fluxo
- **LM2576:** Como descrito anteriormente, o regulador de tensão chaveado utilizado para a alimentação da câmera possui uma chave liga/desliga, que foi ligada a uma saída digital do tipo *sourcing* do microcontrolador.
- **Bateria:** conforme havia sido dito, a manipulação da bateria deve ser feita com muito cuidado para que se evite qualquer tipo de acidente. Dessa forma, a tensão e a temperatura da bateria são também controladas através do uso de conversores A/D do microcontrolador. Para o controle da tensão, é utilizado um divisor resistivo que fornece uma atenuação de 10 vezes, uma vez que a tensão da bateria é maior que o intervalo de entrada do conversor. Já para o monitoramento da

temperatura, é utilizado um sensor linear de temperatura modelo LM335, que fica dentro da bateria e é alimentado com uma tensão de 5V.

Um esquema elétrico completo das ligações do microcontrolador pode ser encontrado no Anexo G, e um esquema elétrico da ligação dos drivers aos motores pode ser encontrado no Anexo H.

5 PROJETO MECÂNICO

Para realizar o projeto da parte mecânica é necessário determinar todos os elementos necessários e o modo pelo qual eles serão conectados para que as metas propostas possam ser alcançadas. Desta forma, o primeiro passo a ser tomado é a realização das especificações de projeto para cada item utilizado, para que posteriormente possa ser realizado o dimensionamento dos mesmos de acordo com as características listadas.

A seguir serão apresentados os componentes utilizados, assim como suas especificações e dimensionamentos.

5.1 *Sistema de movimentação*

Para o projeto mecânico foram inicialmente estudados os componentes utilizados no sistema de movimentação do veículo, chegando assim a duas possíveis soluções, conforme abaixo:

- Sistema de rodas: é possível de ser implementado, porém não fornece as características desejadas para a função do veículo, e a dirigibilidade é afetada conforme se opte por tração traseira e dianteira.
- Sistema de esteiras e polias: este sistema de movimentação proporciona uma maior aderência, o que facilita a movimentação em superfícies inclinadas e em ambientes úmidos e molhados, e uma maior facilidade para transpor obstáculos.

Inicialmente foi proposta a utilização de um sistema que oferecesse dois graus de liberdade relativos entre as esteiras, de modo a permitir melhor adaptação a terrenos não uniformes. Porém, devido a estudos posteriores ficou decidido a não utilização deste sistema, por razões de necessidade e complexidade.

5.2 Fixação dos componentes

A fixação da esteira necessitou de um conjunto de polias que a fixasse e ao mesmo tempo fornecesse um contato contínuo com a superfície do terreno. Para isso, foram estudadas diferentes configurações possíveis. A configuração escolhida e seu motivo são mostrados no item seguinte.

As polias são conectadas à estrutura por meio de eixos que atravessam rolamentos contidos nas longarinas do veículo.

Os motores são fixados verticalmente na plataforma, com transmissão através de um eixo passante pela mesma, conectado às polias motoras através de engrenagens cônicas de mesmo tamanho. A utilização de motores na vertical é necessária para evitar o contato dos mesmos com eventuais lâminas d'água e, assim, diminuir o risco de queima; além disso esta configuração permite um melhor aproveitamento do espaço sobre a base do veículo e a utilização de uma estrutura menor. Uma vista traseira do veículo é mostrada abaixo:

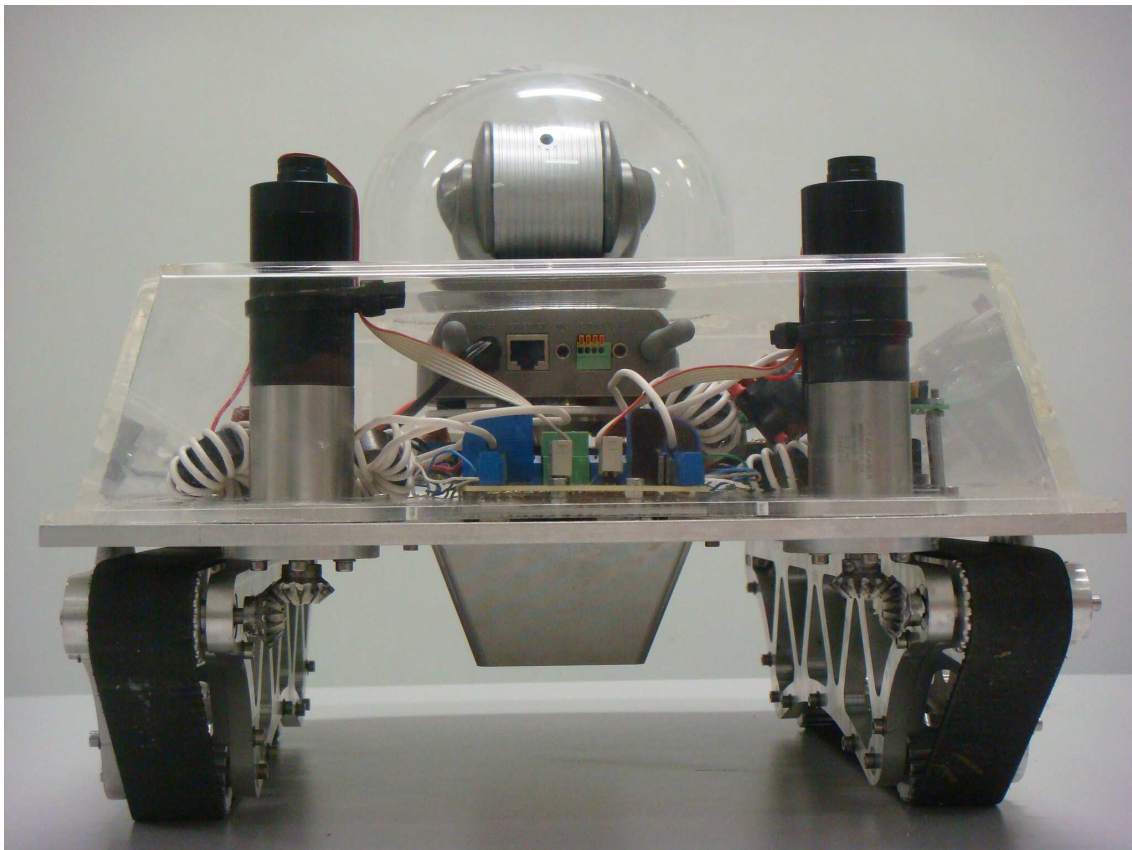


Figura 10 - Vista traseira do veículo

Sobre a base do veículo serão contidos todos os componentes elétricos e do sistema de inspeção, organizados de forma a apresentar a menor configuração possível ao projeto e, assim, diminuir a massa total através da utilização de menos material na estrutura.

5.3 Seleção dos Componentes

Os componentes foram selecionados de forma a suprir as funções desejadas para o veículo, e foram dimensionados conforme os cálculos explicitados nos próximos itens.

5.3.1 Correias

Primeiramente, devido ao veículo apresentar uma certa precisão na locomoção e por dever se locomover em ambientes molhados, as correias não devem apresentar escorregamento e assim, para essa função, foi selecionado o uso de correias dentadas sincronizadoras, apresentando dentes na parte interna da correia para que não ocorra escorregamento entre ela e a polia, porém lisas na parte externa, uma vez que devido a grande área de contato com o solo esta mantém-se com boa aderência.

Para a tração do veículo, optamos por utilizar tração traseira, uma vez que os motores ficaram de pé e isso poderia atrapalhar a visão da câmera, que será posicionada na parte frontal do veículo.

No cálculo das correias, foram utilizados os dados e fórmulas fornecidos no catálogo do fabricante Breco, permitindo a determinação das correias e polias mais adequadas para nossa aplicação. Dessa forma, foram realizados os cálculos a seguir.

Para o dimensionamento das correias, o primeiro fator a ser levado em conta é a tensão de cisalhamento nos dentes, que nos permiti calcular a largura da correia através do uso da seguinte fórmula:

$$b = \frac{P}{z_1 z_e P_{spez}} \quad (7)$$

Onde b representa a largura da correia, z_1 representa o número de dentes da polia, z_e representa o número de dentes engrenados na correia, P_{spez} representa a potência específica da correia (medida em W/cm) e P representa a potência a ser transmitida. Para a determinação de z_1 , z_e e P_{spez} devemos calcular o valor de P , a rotação da correia e o torque nas polias. Para o cálculo do torque, foi considerado o máximo torque necessário no motor (195,1mNm) e a razão de redução calculada (14:1), obtendo-se um torque na polia de 2,73Nm. Para o cálculo da rotação da polia, consideramos a máxima velocidade do motor (velocidade sem carga = 5700rpm) e a redução calculada, obtendo uma velocidade da polia de 407,1rpm, resultando assim numa potência transmitida de 116,4W. Dos gráficos fornecidos pelo fabricante, optamos por uma correia da série XL com uma polia de $z_1=16$ dentes. Com esse valor, das tabelas fornecidas pelo fabricante, obtivemos um valor de P_{spez} de 0,639 W/cm. Analisando a geometria do sistema de polias e esteiras, percebemos que o número de dentes engrenados na correia é de $z_e=6$. Com esse dados, à partir de (7) calculamos a espessura necessária da correia como sendo de 19mm.

Calculada a tensão de cisalhamento nos dentes, devemos ver se a correia resiste ao esforço de tração necessário, para isso, a seguinte fórmula é fornecida pelo fabricante:

$$b = \frac{M}{z_1 z_e M_{spez}} \quad (8)$$

Onde M representa o torque na polia, e M_{spez} representa o torque específico, fornecido como sendo de 1,525Ncm/cm. Sendo assim, considerando os valores de z_1 , z_e , e M fornecidos anteriormente, de (8) obtemos uma espessura da correia de 18,6mm. Sendo assim, devemos adotar o valor mais crítico para a espessura da correia (19mm), no entanto, uma correia dessa espessura poderia trazer dificuldades na instalação e na estabilidade do veículo, dessa forma, optamos pela seleção de uma correia com espessura de 30mm, obtendo uma certa segurança quanto ao valor calculado. Foram utilizadas então correias da fabricante Schneider, código 310 XL, que possuem como parâmetros o comprimento de 787,40 mm e 155

dentos. O perfil das correias utilizadas pode ser observado abaixo, e foi obtido em [10]:

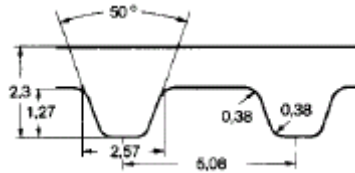


Figura 11 - Perfil da correia utilizada

5.3.2 Polias

De acordo com os cálculos acima, as polias foram selecionadas de forma a permitir o maior ângulo de abraçamento pela correia para assim aumentar o contato e, por consequência, a potência transmitida à mesma. A configuração apresentada pelo conjunto de polias é necessária para que haja um contato constante com a superfície. A inexistência de tal contato dificultaria a locomoção e a transposição de obstáculos. A configuração adotada para a posição das polias pode ser vista na figura abaixo, obtida em [11], onde:

- $\varnothing F = 31,7 \text{ mm}$
- $\varnothing D_p = 25,88 \text{ mm}$
- $\varnothing C = 17,5 \text{ mm}$
- $L1 = 14,3 \text{ mm}$
- $L2 = 19,8 \text{ mm}$

São utilizadas polias da Schneider, código 16 XL 37.

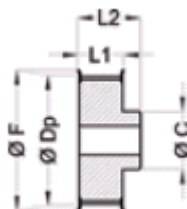


Figura 12 - Perfil da polia utilizada

Uma vista lateral do veículo é mostrada abaixo:

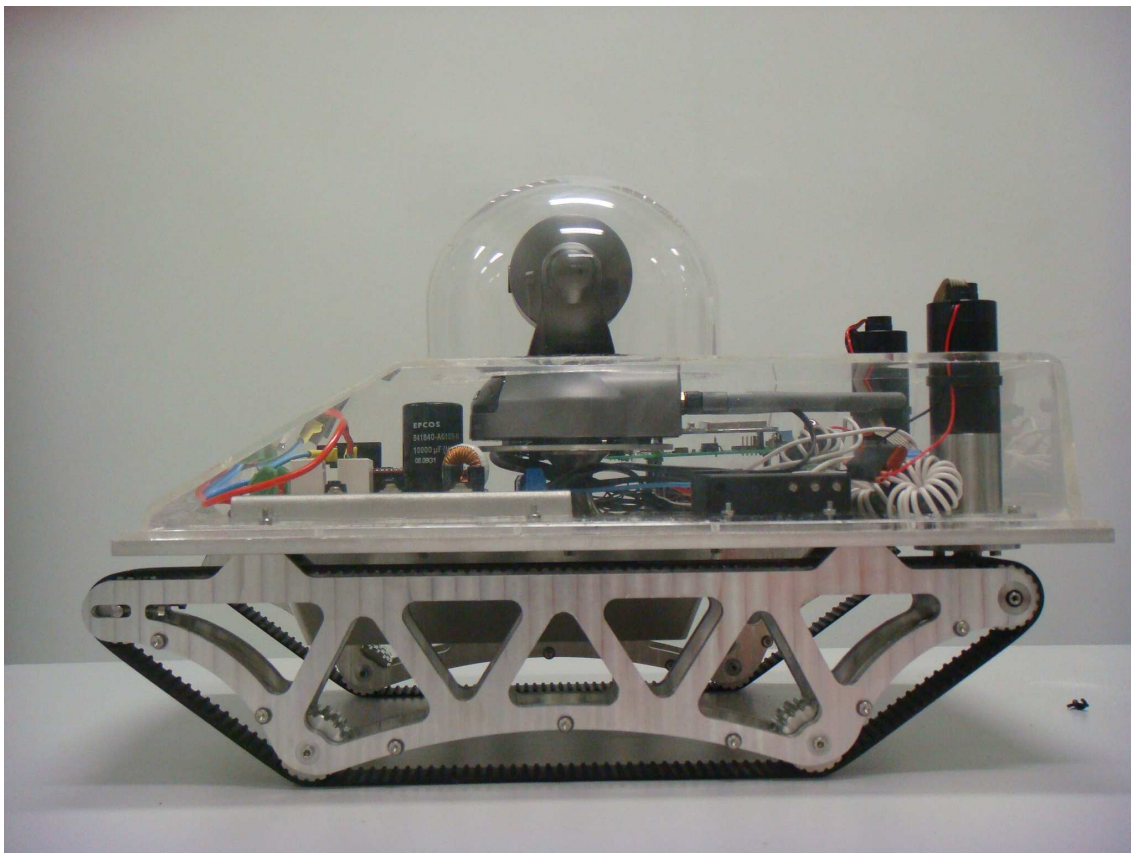


Figura 13 - Vista lateral do veículo

5.3.3 Rolamentos

A seleção dos rolamentos se deu de acordo com o dimensionamento realizado, e o material de sua composição foi o aço inox para que o ambiente úmido não prejudique seu funcionamento a longo prazo, por se tratar de um material com características de ser resistente à corrosão.

O rolamento selecionado apresenta 8mm de diâmetro e 2,5mm de espessura, conforme pode ser observado na figura abaixo, obtida em [12]:

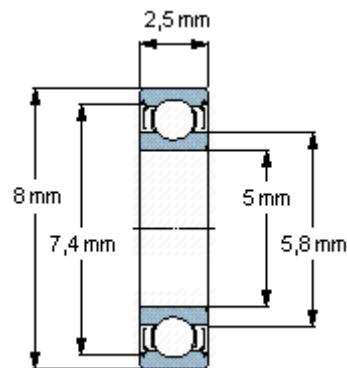


Figura 14- Perfil do rolamento utilizado

5.3.4 Estrutura mecânica

A estrutura mecânica é composta basicamente de componentes fabricados com material alumínio. Tal material apresenta seguintes propriedades úteis ao nosso projeto:

- Baixa massa específica;
- Fácil de usinar;
- Bom condutor de calor;
- Resistente;
- Pouco suscetível à corrosão.

Porém, trata-se de um material de custo elevado. A utilização deste material para a fabricação estrutural do veículo, apesar de proporcionar pequena massa total, deve ser realizada utilizando-se de furos calculados para alívio de e otimização da massa total.

A estrutura é formada por 2 pares de longarinas, cada par fica responsável pela sustentação de uma esteira. As longarinas apresentam apoios, por onde é suportada a base do veículo. Sobre a base do veículo são colocados todos os componentes necessários para os sistemas elétricos e de inspeção. Nas longarinas são realizados os furos necessários à fixação das polias, rolamento, suporte da base e oblongos para ajuste da pré-tensão das correias.

É utilizado um suporte para a câmera IP utilizada, de modo que a câmera seja erguida e possua um campo de visão de acordo com o planejado. Suas dimensões podem ser observadas no Anexo I.

Para a fixação dos componentes elétricos / eletrônicos é utilizada uma placa onde são realizadas todas as furações necessárias, de forma que facilite a montagem e manutenção do veículo.

Por fim, é realizada a vedação de todo o veículo, utilizando – se de uma carenagem de acrílico usinada e O-rings, de modo que possibilite a utilização do veículo em ambientes que apresentem água. Além disso, os eixos passantes dos motores são vedados utilizando – se retentores. Para essa vedação, as peças onde os retentores são alojados foram usinadas em torno de precisão, conforme o Anexo I, garantindo uma boa vedação desses eixos, e facilitando a vedação em relação a plataforma, uma vez que esta é feita através de O-rings.

6 SISTEMA DE INSPEÇÃO

6.1 *Estudo preliminar*

Para o sistema de inspeção a ser implantado, foram estudadas diferentes tipos de câmeras para a transmissão de imagens. Dentre as diversas opções, as que se mostraram mais aptas a cumprir com o nosso objetivo foram câmeras do tipo IP e CFTV (Circuito Fechado de Televisão).

Primeiramente foram comparadas as tecnologias dos sensores foto sensíveis de captura: o CCD e o CMOS. A análise comparativa entre essas diferentes tecnologias guiou à escolha de uma câmera com tecnologia CCD com transmissão de sinal digital, devido aos seguintes fatos:

- O sensor CMOS é normalmente 10 vezes menos sensível do que o sensor CCD;
- O olho humano pode ver objetos abaixo de 1 lux (numa noite de lua cheia). O sensor CCD normalmente pode visualizar igual ou melhor do que olhos humanos na faixa de 0.1~3 lux;
- O sensor CCD é de 3 a 10 vezes melhor que um sensor CMOS.

A superioridade da tecnologia CCD se dá devido a:

- Tamanho pequeno e baixo consumo de energia;
- Alta durabilidade: a porcentagem de defeito é baixa;
- Suporta luz intensa;
- Não acontece a retenção de imagem (quando muda – se a posição da imagem, não observa – se a imagem anterior impressa no sensor como em câmeras CMOS expostas por longos períodos na mesma posição);
- É difícil ser interrompido por campo eletro – magnético;
- Não acontece a distorção de imagens;
- Resolução estável;
- Anti – vibração.

Uma comparação entre diferentes tecnologias para aquisição de imagens foi obtida em [14] e é mostrada nas próximas sessões.

Abaixo é representado um modelo de imagem digital. Estas possuem excelente qualidade nos detalhes, melhor reconhecimento de pessoas e objetos e cores reais.



Figura 15 - Modelo de imagem digital

Comparativamente à figura acima, pode-se observar a figura abaixo, a qual representa um modelo de imagem analógica. Suas características são: boa qualidade nos detalhes, pouca variação da cor, objetos ao longe com menos reconhecimento.



Figura 16 - Modelo de imagem analógico

Por fim, a figura abaixo representa um modelo de imagem de baixa qualidade. Nota-se a perda do detalhe e o reconhecimento dificultado, devido à qualidade da lente ou do sensor CMOS; as bordas são distorcidas e as cores alteradas.



Figura 17 - Modelo de imagem de baixa qualidade

Lux é a unidade de medida de iluminação que mede a incidência perpendicular de 1 lúmen em uma superfície de 1 metro quadrado. Essa unidade pode variar de 0 a 9, onde 0 representa escuridão total e 9 claridade total.

6.2 Escolha da Câmera

Foi escolhida a utilização de uma câmera IP e não de uma CFTV devido ao primeiro tipo de câmera apresentar melhor resolução quando comprada com a do tipo CFTV. Apesar de apresentar um custo maior, a câmera IP apresenta vantagens e melhor adaptação à função estabelecida ao nosso veículo de inspeção, como por exemplo maior facilidade de obtenção do sinal.

Dentre os diversos modelos de câmeras IPs (CCD) possíveis, utilizou-se uma modelo DCS-5300G da fabricante D-Link. Esta câmera se destacou pela sensibilidade apresentada, muito superior em relação às outras, podendo visualizar imagens em ambientes de escuridão quase total (0.1 lux), e desta maneira fica descartado o uso de um sistema de iluminação próprio do veículo. Suas dimensões são reduzidas (4.0"/4.1"/4.4"), resolvendo o problema de espaço, que se mostrou um fator limitante para o nosso projeto. Sua alta qualidade de áudio e vídeo utiliza da tecnologia wireless padrão 802.11g. O acesso e controle da câmera podem ser realizados através do web browser do Internet Explorer v6. A câmera oferece também a funcionalidade de obtenção de snapshots ou gravação direta do web browser para um disco rígido local sem que seja necessária a instalação de software adicional. A DCS-5300G pode ser alimentada com 12 Volts a partir da bateria especificada para o veículo de inspeção. Por fim, a câmera oferece as funções de pan, tilt e zoom,

que podem ser controladas diretamente do controle remoto. O datasheet da câmera pode ser encontrado no Anexo J, e uma ilustração da mesma obtida em [6] é mostrada abaixo:



Figura 18 - Câmera IP DCS-5300G

6.3 Escolha do Inclínômetro

Para a inspeção e monitoramento de características do ambiente também foi utilizado um inclinômetro, capaz de fornecer dados a respeito da sua posição em relação ao ambiente utilizando – se de ângulos de pitch e roll, e uma bússula integrada possibilitando a determinação de sua orientação.

Sua escolha foi realizada através de análise das características dos dados fornecidos pelo mesmo, sendo que suas características físicas e eletrônicas podem ser observadas em seu datasheet, no Anexo F.

7 SISTEMA DE CONTROLE DO VEÍCULO

O sistema de controle do veículo é composto por um conjunto de placas do Jack Rabbit (Wireless Control Application Kit), uma câmera para vídeo inspeção com o receptor do sinal, um joystick para controle da movimentação e um computador capaz de coletar os dados coletados e mostrar ao usuário via interface gráfica.

7.1 Arquitetura do Sistema

Os sinais de controle são gerados no manuseio do joystick e/ou manipulação da interface gráfica e são captados pelo computador, processados e enviados diretamente à câmera ou microcontrolador situados no veículo, por intermédio de tecnologia wireless ou pelo uso de módulos RF, respectivamente.

Através do módulo de transmissão RF, o RS-232 envia os sinais para o receptor RF localizado no veículo de inspeção.

O módulo receptor RF presente no veículo capta os sinais transmitidos do computador e transmite ao módulo RS-232. Do módulo RS-232 localizado no veículo o sinal é transmitido para a placa LP3500 para posterior interpretação via software de controle implementado.

Abaixo é mostrado um desenho, obtido em [3], que exemplifica essa transferência de dados do computador ao veículo para execução do controle de direção e velocidade.



Figura 19 - Esquema de comunicação com módulos RF

O caminho inverso será percorrido por sinais contendo informações para monitoramento do status do veículo, como por exemplo sinais para processamento de um force – feedback do joystick, status da carga da bateria, informações obtidas a partir do inclinômetro, etc.

Para envio de imagens a partir da câmera será utilizado um roteador que será responsável pela captação dos sinais providos da câmera IP. Desta maneira utiliza – se fonte diferentes para o controle do veículo e para o monitoramento e aquisição de imagens.

A transmissão de imagens não é possível de ser realizada através do micro – controlador devido a este não apresentar uma taxa de transmissão de dados suficientemente grande para este envio.

7.2 Características dos componentes do sistema de controle

7.2.1 Micro – controlador

Os componentes do kit do micro – controlador wireless para realização do controle são:

- Dynamic C – ambiente de desenvolvimento de software;
- LP3500 single – board computer;
- 2 módulos RF de transmissão de dados sem fio 2.4 GHz Digi 24XStream.
- 2 interfaces para o protocolo RS-232 para uso com os módulo RF de transmissão.

A placa LP3500 é adequada para o nosso projeto por ser projetada para aplicações de baixa potência, como por exemplo equipamentos portáteis movidos a bateria. Além disso, a placa possui todas as saídas PWM necessárias para o nosso projeto.

Outras características da placa LP3500 que justificaram sua escolha foi sua operação a 7.4MHz com tensão de entrada de 3-30 Volts e corrente de apenas 20mA quando em estado completamente funcional, sendo que a corrente cai a 100µA quando no estado de power – save. Algumas

funcionalidades da placa podem ser desativadas quando não estão em uso e, assim, existe a possibilidade de diminuir ainda mais o consumo de energia.

7.2.2 Joystick

O joystick utilizado apresenta controle mecânico do veículo, incluindo direção e velocidade, e da movimentação da câmera (pan, tilt e zoom).

Uma funcionalidade particular deste joystick é a possibilidade de controle do veículo apresentando um force – feedback. Desta maneira é possível saber se o veículo está bloqueado ou se há algum objeto dificultando a passagem do mesmo, mesmo que não se consiga obter essas informações através da câmera. Uma imagem do joystick obtida em [13] é mostrada abaixo:



Figura 20 - Joystick Sidewinder Force Feedback 2 Microsoft

7.2.3 Câmera

A câmera de inspeção utilizada é do tipo IP, conforme discutida no item “Sistema de inspeção”. Desta maneira fica necessária a presença de um

receptor, por exemplo um roteador, para que o sinal enviado pela câmera seja captado e transmitido ao computador.

Uma vez transmitido ao computador, o sinal proveniente da câmera é processado e enviado ao monitor para que o usuário observe as imagens adquiridas.

7.2.4 Receptor (roteador)

Para possibilitar a comunicação e envio de sinais entre a câmera selecionada e o computador onde são mostradas as imagens é necessária a utilização de um roteador adequado às funções desejadas do veículo. Tais funções requerem o uso de um roteador com tecnologia wireless, e que assim possibilite a transmissão das imagens adquiridas sem a necessidade de utilização de fios.

Para a seleção de um receptor adequado deveu – se estudar a taxa de transmissão apresentada e o alcance máximo na qual o envio de sinais pode ser efetivamente realizado. Ambos os parâmetros podem ser obtidos a partir da configuração apresentada pelo sistema de inspeção (configurações da câmera IP selecionada).

7.2.5 Computador

Em uma das pontas da comunicação para envio de sinais é necessário um computador que processe os sinais adquiridos pelo módulo RF de transmissão e pelo roteador, e com estes sinais realize o processamento necessário para transmitir ao usuário a respectiva informação contida no sinal.

Foi implementada neste computador uma interface gráfica contendo as informações transmitidas do veículo e ao veículo. Assim, é possível monitorar o nível de bateria ainda restante, o declive do terreno onde o veículo se encontra, a direção do veículo, as imagens adquiridas pela câmera e outras informações que se julgaram necessárias.

7.3 Projeto do software

Para o controle do veículo, é necessário o desenvolvimento de dois softwares, sendo um deles embarcado no veículo (microcontrolador) e o outro rodando no computador utilizado para o controle. Uma descrição das funções de cada software é mostrada abaixo.

7.3.1 Software no micro – controlador

O software embarcado no veículo deve ser capaz de processar as informações de todos os componentes e enviá-las para o computador, além de receber instruções do mesmo e executá-las. As seguintes informações são processadas pelo microcontrolador e enviadas para o computador:

- Corrente dos motores
- Tensão e temperatura da bateria
- Medidas de *pitch*, *roll* e *heading* do inclinômetro

Havendo também a possibilidade de adição de novas informações caso novos componentes sejam acoplados ao sistema. Quanto as instruções, o microcontrolador deve receber e executar as seguintes:

- Velocidade e direção dos motores
- Calibração do inclinômetro
- Comandos para liga/desligar outros componentes

A listagem completa do código embarcado no microcontrolador pode ser encontrada no Anexo L.

7.3.2 Software no computador

O software rodando no computador é a peça chave para o controle de todo o veículo, pois é o responsável pelo controle de todos os sistemas

envolvidos. Este apresenta uma interface gráfica através da qual as informações são mostradas ao usuário, e possui uma máquina de estados que é responsável pelo controle do mesmo e realiza as seguintes funções:

- Leitura do status do joystick e envio de comandos de force-feedback
- Recepção das imagens da câmera e plotagem na tela
- Controle dos movimentos de pan e tilt e do zoom da câmera
- Envio de instruções para o microcontrolador
- Recepção das informações do veículo e plotagem das mesmas na tela

Uma imagem da interface gráfica utilizada é mostrada abaixo, e a listagem completa do código pode ser encontrada no Anexo M.

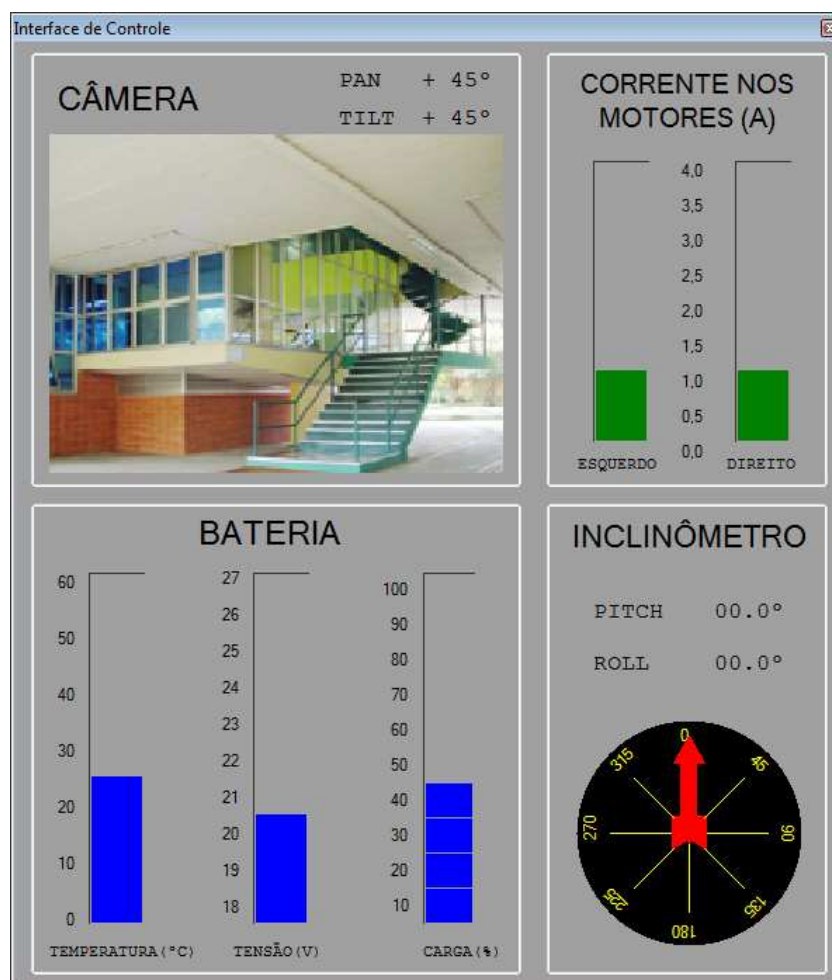


Figura 21 - Interface gráfica do software do computador

8 RESULTADOS

Como resultado, temos a construção de um robô controlado remotamente e a documentação de todos os passos tomados na realização do projeto. Podemos notar de forma satisfatória o funcionamento do veículo como esperado: de forma autônoma e com todos seus sistemas integrados.

A integração de todos os sistemas e componentes foi uma das partes mais desafiadoras na implementação do projeto e, apesar de todos os esforços realizados, algumas metas não puderam ser cumpridas devido às dificuldades encontradas principalmente em relação à compra de componentes importados.

A fabricação de peças para a estrutura mecânica ocorreu dentro do planejado, uma vez que as pessoas envolvidas no projeto possuíam vasta experiência no assunto e todo ferramental necessário para a finalidade proposta.

A elaboração e construção do sistema elétrico/eletrônico, apesar de apresentar grande complexidade, foi realizada de forma eficiente, objetiva e com o sucesso esperado.

9 CONCLUSÕES

Após observarmos os resultados obtidos e a metas concluídas, notamos a importância da realização do projeto em nossas vidas acadêmicas, pessoais e profissionais. Devemos ressaltar o esforço, dedicação e comprometimento com o trabalho durante todo o período de elaboração do mesmo.

Toda a equipe responsável pela concepção e construção do veículo mostrou – se interessada pelo tema e pelo trabalho durante todo período de projeto e construção, e todos concordaram em se tratar de um trabalho interessante, desafiador e que, apesar do grande tempo e dedicação requeridos, pode nos fornecer bons resultados, que com certeza irão nos agregar muito valor e conhecimento para um próximo trabalho. Ao finalizar este projeto, além de confirmar as expectativas iniciais, pudemos notar o grau de evolução obtido em nossa visão sobre o mundo da engenharia e projetos, e o grau de desenvolvimento em nossa habilidade de trabalho em equipe e integração de trabalhos de diferentes áreas, times e características. Por estes e outros motivos concluímos nosso trabalho de formatura com grande alegria e satisfação, uma vez que mesmo com toda a complexidade envolvida, obtivemos resultados satisfatórios e de acordo com o esperado pela equipe.

10 BIBLIOGRAFIA

- [1] - Rabbit Semiconductor. Wireless Control Application Kit Data Sheet. Disponível em:
http://www.rabbitsemiconductor.com/products/WC_App_Kit/WCAppKit_DS.pdf
Acesso em: novembro de 2008.
- [2] - Rabbit Semiconductor. Wireless Control Application Kit Getting Started (900 MHz Digi9XCite RF Modem). Disponível em:
<http://www.rabbitsemiconductor.com/documentation/docs/appkits/WirelessControl/RFXCiteGS.pdf>
Acesso em: novembro de 2008.
- [3] - Rabbit Semiconductor. Wireless Control Application Kit Getting Started (2.4 GHz Digi24XStream RF Modem). Disponível em:
<http://www.rabbitsemiconductor.com/documentation/docs/appkits/WirelessControl/RFXStreamGS.pdf>
Acesso em: novembro de 2008.
- [4] - Rabbit Semiconductor. LP3500 Fox User's Manual. Disponível em:
<http://www.rabbitsemiconductor.com/documentation/docs/manuals/LP3500/LP3500UM.pdf>
Acesso em: novembro de 2008.
- [5] - Rabbit Semiconductor. LP3500 Schematic. Disponível em:
<http://www.rabbitsemiconductor.com/documentation/schematic/090-0150.pdf>
Acesso em: novembro de 2008.
- [6] - DCS-5300G Wireless IP Câmera. Disponível em:
<http://www.dlink.com/products/?sec=0&pid=342>
Acesso em: novembro de 2008.
- [7] - Inclinômetro com bússola. Disponível em:
<http://www.autonnic.com/802570900035631E/pages/BAC5C57FAB586DFB802570B700484B4B>
Acesso em: novembro de 2008.
- [8] - Faulhaber. Disponível em:
<http://www.faulhaber-group.com/>
Acesso em: dezembro de 2008.

[9] – Geckodrive. Disponível em:

<http://www.geckodrive.com/>

Acesso em: dezembro de 2008.

[10] – Correias modelo XL da fabricante Schneider. Disponível em:

<http://www.correias.com.br/pdf/pag23.pdf>

Acesso em: dezembro de 2008.

[11] – Polias para correias modelo XL da fabricante Schneider. Disponível em:

<http://www.correias.com.br/pdf/pag56.pdf>

Acesso em: dezembro de 2008.

[12] – Grupo SKF. Disponível em:

<http://www.skf.com/skf/productcatalogue/Forwarder?action=PPP&lang=pt&imperial=false&windowName=&prodid=1010476275>

Acesso em: dezembro de 2008.

[13] – Active Network. Disponível em:

<http://www.activewin.com/reviews/hardware/joysticks/microsoft/ff2/index.shtml>

Acesso em: dezembro de 2008.

[14] – Active Seg. Disponível em:

<http://www.activeseg.com.br/artigos-em-pdf/CARACTER%CDSTICAS%20DOS%20EQUIPAMENTOS%20DE%20CFTV%20PROFISSIONAL.pdf>

Acesso em: dezembro de 2008.

[15] – Big Field Hobby. Disponível em:

http://www.bfhobby.com.br/P/flight_power_bateria_5000mah_6s_222v_lipo_evo_25_25c_brick_29643.aspx

Acesso em: dezembro de 2008.

[16] – Big Field Hobby. Disponível em:

http://www.bfhobby.com.br/P/bantam_carregador_estacion_bc6_dual_power_16_celulas_balanceador_29884.aspx

Acesso em: dezembro de 2008.

[17] – Big Field Hobby. Disponível em:

http://www.bfhobby.com.br/P/flight_power_vbalance_balanceador_de_bateria_2s6s_completo_24075.aspx

Acesso em: dezembro de 2008.

Anexos

Anexo A	Datasheet Kit Wireless
Anexo B	Datasheet do Motor
Anexo C	Datasheet do Redutor
Anexo D	Datasheet do Encoder
Anexo E	Datasheet do Driver
Anexo F	Datasheet do Inclínômetro
Anexo G	Esquema elétrico da Placa Principal
Anexo H	Esquema elétrico da ligação dos drivers com os motores
Anexo I	Desenhos de fabricação
Anexo J	Datasheet da câmera
Anexo L	Software embarcado no microcontrolador
Anexo M	Software rodando no computador

ANEXO A

Datasheet do Kit Wireless

Wireless Control

900 MHz and 2.4 GHz RF Control

Application Kit

Key Features

- Low power LP3500 with low-EMI Rabbit® 3000 microprocessor
 - up to 512K each of Flash and SRAM
 - 26 industrialized digital I/O
 - A/D inputs and PWM outputs
 - 6 serial ports, one relay
 - 2 dedicated function ports for easy connection to Serial Flash, keypad/display, and other devices
- Two MaxStream® license-free RF Modules, FCC approved
- Complete software libraries and samples
- ModBus control and PPP support for serving web pages
- RabbitWeb™ simplified html programming software with real-time refresh mechanism
- User-friendly interface for simple wireless set-up and configuration

Design Advantages:

- Reference application that uses a license-free wireless module to connect Rabbit-based devices
- Various RF topology support: peer-to-peer, point-to-point
- Easily scalable for commercial deployment applications
- Use of a non-Ethernet Rabbit single-board computer that can serve up web pages
- Royalty-free software modules

Applications

- Low-cost wireless embedded control applications
- Ideal for remote monitoring of equipment, devices, locations
- Data logging applications
- Wireless ModBus communication and control



Wireless Control Application Kit

The Wireless Control Application Kit provides a reference to interface a license-free 900 MHz or 2.4 GHz wireless data module to a new or existing Rabbit-based embedded system.

The Wireless Control Application Kit comes with samples, libraries and hardware to integrate low-cost wireless connectivity operating at frequencies of either 900 MHz or 2.4 GHz with a Rabbit device. The kit contains one Rabbit single board computer and two MaxStream RF modules for full application reference, which can also serve as a template for a robust wireless implementation where a serial connection is required. The Wireless Control Application Kit offers a serial connection alternative where wired cables are not practical to use as well as exemplifies the versatility and simplicity of adding wireless connectivity to an embedded application. Applications

include simple remote monitoring, proximity sensor readings, wireless I/O control, and data transmission.

The kit contains a low power LP3500 single board computer with a power-save mode that draws less than 100 μ A, 26 industrialized I/O, 8 A/D inputs w/ programmable gain, 6 serial ports and available keypad/display peripherals. It is then partnered with your choice of a low-cost 900 MHz 9XCite module featuring over-the-air throughput data rates up to 38.4 Kbps or the longer range 2.4 GHz 24XStream module with range of up to 3 miles (outdoor RF line-of-site) with the appropriate antenna.

RABBIT
Semiconductor

www.rabbit.com

A Modbus master PC application allows the user to control the single board computer as a Modbus wireless slave device, and it is designed to be easily portable for other ModBus slave devices. This allows any standard Modbus wired/wireless serial master application to control and monitor the digital and analog I/O in near real-time. In addition, we have implemented a PPP Host/Client direct wired/wireless connection to demonstrate how to use Point-to-Point Protocol (PPP) to make a direct connection over a wireless serial port. Using a direct PPP connection allows wired/wireless serial devices to utilize common protocols like HTTP, FTP, SMTP, POP3, etc. This can be especially useful for devices that only have serial interfaces and no Ethernet and/or WiFi. Using our RabbitWeb software module, the LP3500 can serve web pages accessible from to offer accessibility from the Internet.



MaxStream Partnership

Rabbit Semiconductor and MaxStream are teaming up to supply embedded control and wireless solutions for customers to develop a variety of wireless control systems. MaxStream's wireless modems are easy-to-use and provide reliable delivery of critical data between devices. The flexibility of MaxStream RF Modules creates the perfect fusion of range, power-conservation, performance and networking features to ensure accurate and reliable RF communications. For more information regarding MaxStream's products and services, you may visit their website at www.maxstream.net, email rf-xperts@maxstream.net, or call toll-free (866) 765-9885.

Wireless Control Application Kit			
Features		MaxStream 9XCite™ RF Modem	MaxStream 24XStream™ RF Modem
Frequency		902–928 MHz	2.4000–2.4835 GHz
Antenna		Integrated wire antenna	Integrated wire antenna
Performance	Indoor Range	300 ft (90 m)	up to 600 ft (180 m)
	Outdoor Line-of Sight Range	up to 1000 ft (300 m)	up to 10 miles (16 km)
	Power Output	4 mW (6 dBm)	50 mW (17 dBm)
	RF Data Rate	9.6 or 38.4 Kbps	9.6 or 19.2 Kbps
	Interface Data Rate	up to 57.6 Kbps	up to 57.6 Kbps
	Receiver Sensitivity	-108 dBm (@ 9600 bps)	-110 dBm (@ 9600 bps)
Networking	Spread-Spectrum Type	FHSS (frequency hopping)	FHSS (frequency hopping)
	Supported Network Topologies	Peer-to-peer, Point-to-point, Point-to-multipoint	Peer-to-peer, Point-to-point, Point-to-multipoint, Repeater
	Filtration Options	• VID (vendor ID number) • Channels • Addressing	• VID (vendor ID number) • Channels • Addressing
	Channel Capacity	7 frequency hopping or 25 single-frequency	7 hop sequences share 25 frequencies
	Addressing	65,000 network addresses per channel	65,000 network addresses per channel
Power (typical)	Supply Voltage	2.8–5.5 V DC (regulated)	5 ± 0.25 V DC (regulated)
	Transmit Current	55 mA @ 2.85 V	150 mA
	Receive Current	45 mA @ 2.85 V	50 mA
	Sleep Current	20 µA	26 µA
Operating Temperature		0°C to +70°C	
Connectors		One power connector and One DB9F connector	
Board Size		2.51" × 4.00" × 0.84" (64 mm × 102 mm × 21 mm)	
Certifications		CE, FCC, Industry Canada	
Features		LP3500	
Microprocessor		Rabbit® 3000 processor at up to 7.4 MHz	
Flash Memory		512K (2 × 256K)	
SRAM		256K	
Digital Inputs		16 protected to ±36 V DC	
Digital Outputs		10 total: 8 sink and 2 source 200 mA each, 36 V DC max.	
Relay		1 SPDT, 1 A, 30 V DC, bi-stable	
Analog Inputs		8 single-ended or 4 differential inputs: • 1 MΩ input Impedance • sampling rates up to 200 samples/s • 8 software controlled voltage ranges from 0–1 V to 0–20 V • resolution—11 bits (single-ended), 12 bits (differential) • accuracy—8 bits (single-ended), 9 bits (differential)	
Analog Outputs		3 unfiltered, pulse-width modulated, 1 kΩ output impedance	
Serial Ports		Six 3.3 V CMOS-compatible ports	
Power		3–30 V DC, 20 mA max. @ 7.4 MHz, 100 µA max. @ 2 kHz	
Operating Temperature		–40°C to +70°C	
Humidity		5% to 95%, non-condensing	
Connectors		One 1 × 25, 0.1" pitch header, Two 1 × 17, 0.1" pitch headers, One 2 × 5 header for programming with 2 mm pitch, One 3-position screw-terminal header for relay	
Board Size		2.60" × 3.65" × 0.45" (66 mm × 93 mm × 11 mm)	
Pricing			
Wireless Control Application Kit		\$599	\$699
Part Number		101-1159	101-1165



Rabbit Semiconductor, Inc. 2900 Spafford Street Davis, CA 95618 USA Tel 530.757.8400 Fax 530.757.8402

Copyright© 2006-2007, Rabbit Semiconductor, Inc. All rights Reserved. Rabbit and RabbitCore are trademarks or registered trademarks of Rabbit Semiconductor, Inc. All other trademarks are the property of their respective owners.

ANEXO B

Datasheet do Motor

DC-Micromotors

Graphite Commutation

70 mNm

For combination with (overview on page 14-15)

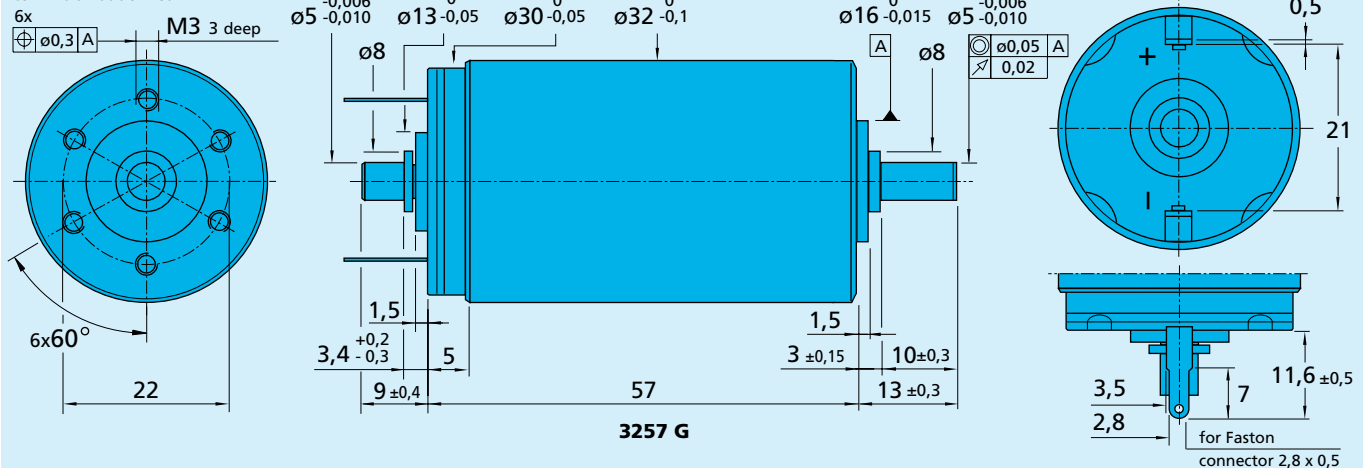
Gearheads:
32/3, 38/1, 38/2

Encoders:
IE2 – 16 ... 512, 5500, 5540

Series 3257 ... CR

3257 G		012 CR	024 CR	048 CR		
1	Nominal voltage	U _N	12	24	48	Volt
2	Terminal resistance	R	0,41	1,63	6,56	Ω
3	Output power	P _{2 max.}	79,2	83,2	84,5	W
4	Efficiency	η _{max.}	83	83	83	%
5	No-load speed	n _o	5 700	5 900	5 900	rpm
6	No-load current (with shaft ø 5,0 mm)	I _o	0,258	0,129	0,064	A
7	Stall torque	M _H	531	539	547	mNm
8	Friction torque	M _R	4,9	4,9	4,9	mNm
9	Speed constant	k _n	500	253	125	rpm/V
10	Back-EMF constant	k _E	2,00	3,95	7,98	mV/rpm
11	Torque constant	k _M	19,1	37,7	76,2	mNm/A
12	Current constant	k _I	0,052	0,027	0,013	A/mNm
13	Slope of n-M curve	Δn/ΔM	10,7	10,9	10,8	rpm/mNm
14	Rotor inductance	L	70	270	1 100	μH
15	Mechanical time constant	τ _m	4,7	4,7	4,7	ms
16	Rotor inertia	J	42	41	42	gcm ²
17	Angular acceleration	α _{max.}	130	130	130	·10 ³ rad/s ²
18	Thermal resistance	R _{th 1} / R _{th 2}	2 / 8			K/W
19	Thermal time constant	τ _{w1} / τ _{w2}	17 / 810			s
20	Operating temperature range:					
	– motor		– 30 ... + 125			°C
	– rotor, max. permissible		+ 155			°C
21	Shaft bearings		ball bearings, preloaded			
22	Shaft load max.:					
	– with shaft diameter		5,0			mm
	– radial at 3 000 rpm (3 mm from bearing)		50			N
	– axial at 3 000 rpm		5			N
	– axial at standstill		50			N
23	Shaft play:					
	– radial	≤	0,015			mm
	– axial	=	0			mm
24	Housing material		steel, black coated			
25	Weight		242			g
26	Direction of rotation		clockwise, viewed from the front face			
Recommended values - mathematically independent of each other						
27	Speed up to	n _{e max.}	5 000	5 000	5 000	rpm
28	Torque up to	M _{e max.}	70	70	70	mNm
29	Current up to (thermal limits)	I _{e max.}	4,60	2,30	1,15	A

Orientation with respect to motor terminals not defined



For details on technical information and lifetime performance refer to pages 28-34.

Edition 2006-2007

For options on DC-Micromotors refer to page 64. Specifications subject to change without notice.

www.faulhaber-group.com

ANEXO C
Datasheet do Redutor

Planetary Gearheads

7 Nm

For combination with (overview on page 14-15)
 DC-Micromotors:
 3242, 3257, 3557
 Brushless DC-Servomotors:
 3564

Series 32/3

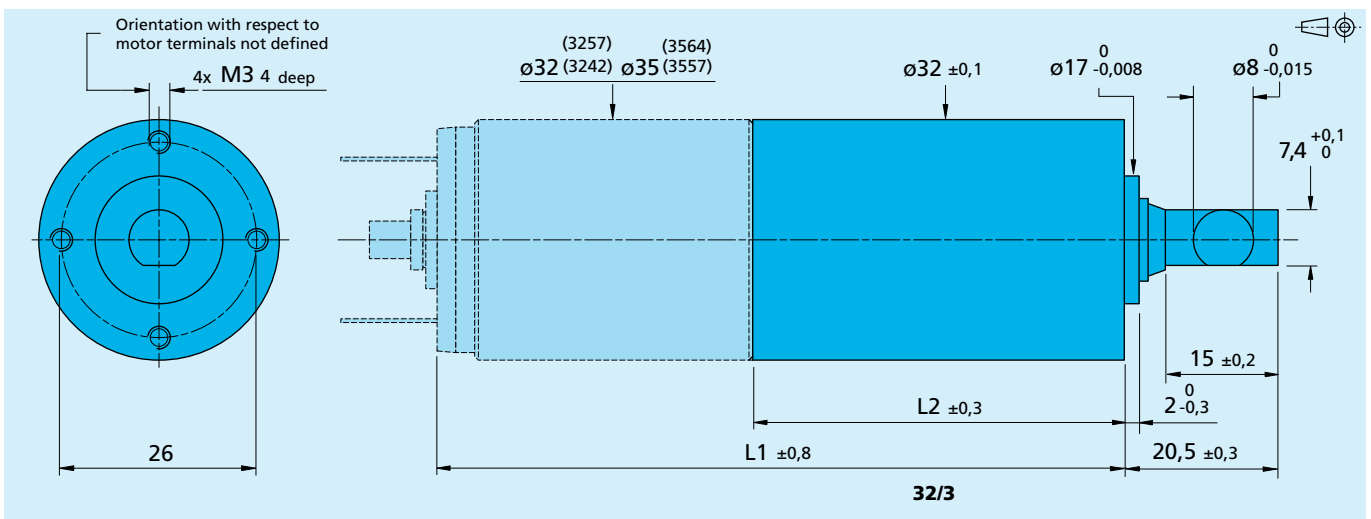
	32/3
Housing material	metal
Geartrain material	steel ¹⁾
Recommended max. input speed for:	
– continuous operation	4 000 rpm
Backlash, at no-load	≤ 1°
Bearings on output shaft	ball bearings, preloaded
Shaft load, max.:	
– radial (10 mm from mounting face)	≤ 200 N
– axial	≤ 200 N
Shaft press fit force, max.	≤ 250 N
Shaft play (on bearing output):	
– radial	≤ 0,015 mm
– axial	≤ 0,15 mm
Operating temperature range	– 20 ... + 125 °C

Specifications									
reduction ratio (nominal)	weight without motor	length without motor L2 mm	length with motor			output torque		direction of rotation (reversible)	efficiency
			3242 G	3257 G 3557 K	3564 K	continuous operation	intermittent operation		
			L1 mm	L1 mm	L1 mm	M max. Nm	M max. Nm		
3,71:1	160	33,9	75,9	90,9	97,9	4,2	5,3	=	88
14 :1	190	41,6	83,6	98,6	105,6	0,4 (7)	0,6 (10)	=	80
43 :1	230	49,4	91,4	106,4	113,4	1,4 (7)	1,9 (10)	=	70
66 :1	230	49,4	91,4	106,4	113,4	2,0 (7)	2,6 (10)	=	70
134 :1	260	57,2	99,2	114,2	121,2	4,0 (7)	5,2 (10)	=	60
159 :1	260	57,2	99,2	114,2	121,2	4,9 (7)	6,5 (10)	=	60
246 :1	260	57,2	99,2	114,2	121,2	5,8 (7)	8,0 (10)	=	60
415 :1	290	65,0	107,0	122,0	129,0	7,0 (7)	10 (10)	=	55
592 :1	290	65,0	107,0	122,0	129,0	7,0 (7)	10 (10)	=	55
989 :1	290	65,0	107,0	122,0	129,0	7,0 (7)	10 (10)	=	55
1 526 :1	300	65,0	107,0	122,0	129,0	7,0 (7)	10 (10)	=	55

¹⁾ Gearheads with ratio ≥ 14:1 have plastic gears in the input stage. For extended life performance, the gearheads are available with all steel gears and heavy duty lubricant as type 32/3 S.

The values for the torque rating indicated in parenthesis are for gearheads type 32/3 S with all steel gears.

Note: The reduction ratios are rounded, the exact values are available on request.



ANEXO D
Datasheet do Encoder

Encoders

Magnetic Encoders

Features:
 64 to 512 Lines per revolution
 2 Channels
 Digital output

Series IE2 – 512

		IE2 – 64	IE2 – 128	IE2 – 256	IE2 – 512	
Lines per revolution	N	64	128	256	512	
Signal output, square wave		2				channels
Supply voltage	V _{DD}	4,5 ... 5,5				V DC
Current consumption, typical (V _{DD} = 5 V DC)	I _{DD}	typ. 6, max. 12				mA
Output current, max. ¹⁾	I _{OUT}	5				mA
Pulse width	P	180 ± 45				°e
Phase shift, channel A to B	Φ	90 ± 45				°e
Signal rise/fall time, max. (C _{LOAD} = 50 pF)	tr/tf	0,1 / 0,1				µs
Frequency range ²⁾ , up to	f	20	40	80	160	kHz
Inertia of code disc ³⁾	J	0,09				gcm ²
Operating temperature range		– 25 ... + 85				°C

¹⁾ V_{DD} = 5 V DC: Low logic level < 0,5 V, high logic level > 4,5 V: CMOS and TTL compatible

²⁾ Velocity (rpm) = f (Hz) x 60/N

³⁾ For the brushless DC-Servomotors 1628 ... B, 2036 ... B and 2444 ... B the inertia of code disc is J = 0,14 gcm²

Ordering information

Encoder	number of channels	lines per revolution	in combination with:
IE2 – 64	2	64	DC-Micromotors series 1336 ... C, 1516 ... SR, 1524 ... SR, 1717 ... SR, 1724 ... SR, 1727 ... C, 2224 ... SR, 2232 ... SR, 2342 ... CR, 2642 ... CR, 2657 ... CR, 3242 ... CR, 3257 ... CR, 3863 ... C
IE2 – 128	2	128	
IE2 – 256	2	256	
IE2 – 512	2	512	
			Brushless DC-Servomotors series 1628 ... B, 2036 ... B, 2057 ... B, 2444 ... B

Features

These incremental shaft encoders in combination with the FAULHABER DC-Micromotors and Brushless DC-Servomotors are used for indication and control of both shaft velocity and direction of rotation as well as for positioning.

The encoder is integrated in the DC-Micromotors SR-Series and extends the overall length by only 1,4 mm. Built-on option for DC-Micromotors and Brushless DC-Servomotors.

Hybrid circuits with sensors and a low inertia magnetic disc provide two channels with 90° phase shift.

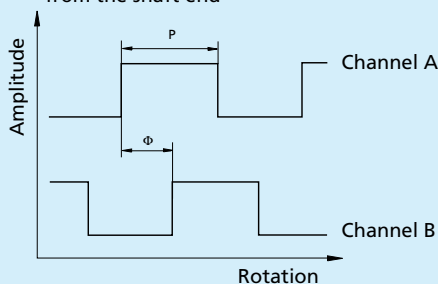
The supply voltage for the encoder and the DC-Micromotor as well as the two channel output signals are interfaced through a ribbon cable with connector.

Details for the DC-Micromotors and suitable reduction gearheads are on separate catalogue pages.

Output signals / Circuit diagram / Connector information

Output signals

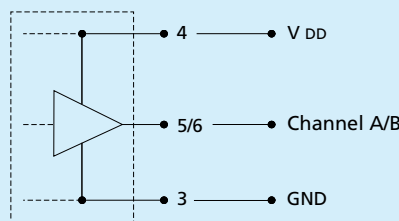
with clockwise rotation as seen from the shaft end



Admissible deviation of phase shift:

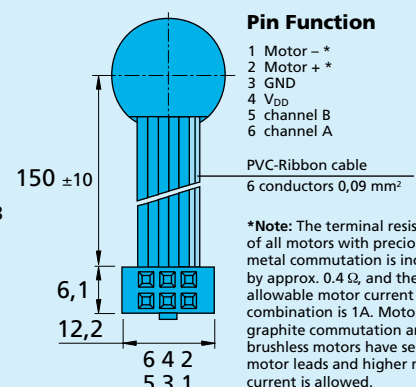
$$\Delta\Phi = \left| 90^\circ - \frac{\Phi}{P} * 180^\circ \right| \leq 45^\circ$$

Output circuit



Pin Function

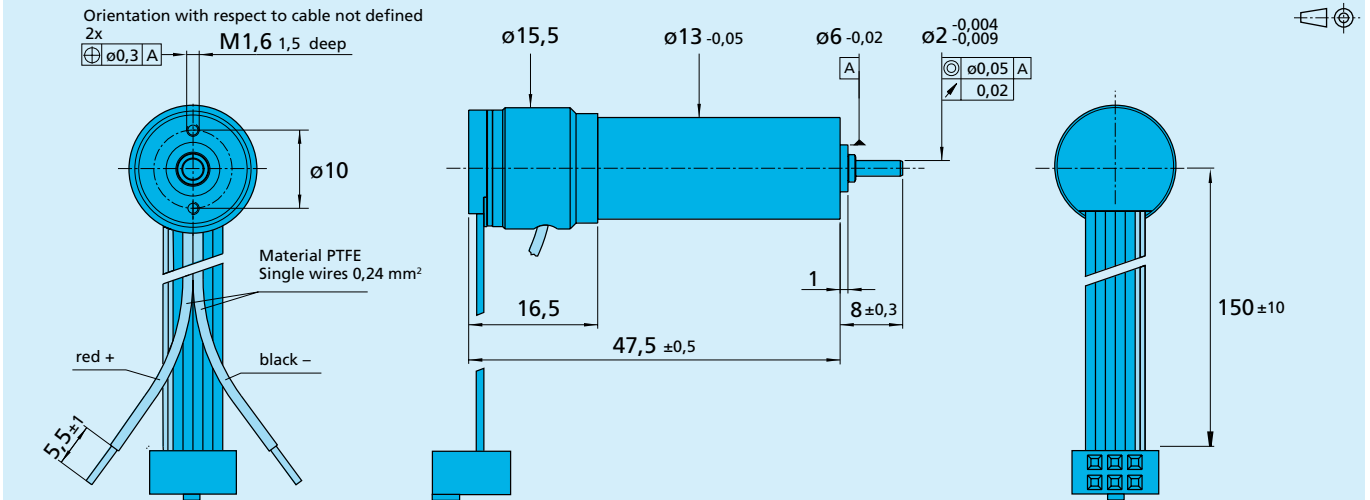
- 1 Motor – *
- 2 Motor + *
- 3 GND
- 4 V_{DD}
- 5 channel B
- 6 channel A



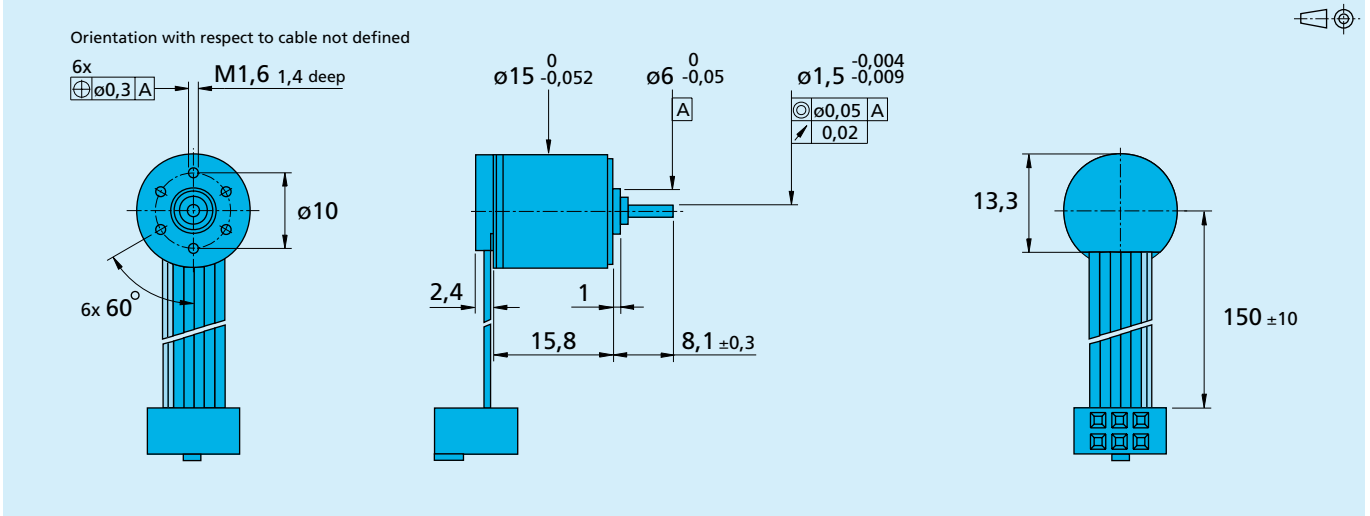
***Note:** The terminal resistance of all motors with precious metal commutation is increased by approx. 0,4 Ω, and the max. allowable motor current in combination is 1A. Motors with graphite commutation and brushless motors have separate motor leads and higher motor current is allowed.

Connector
 DIN-41651
 grid 2,54 mm

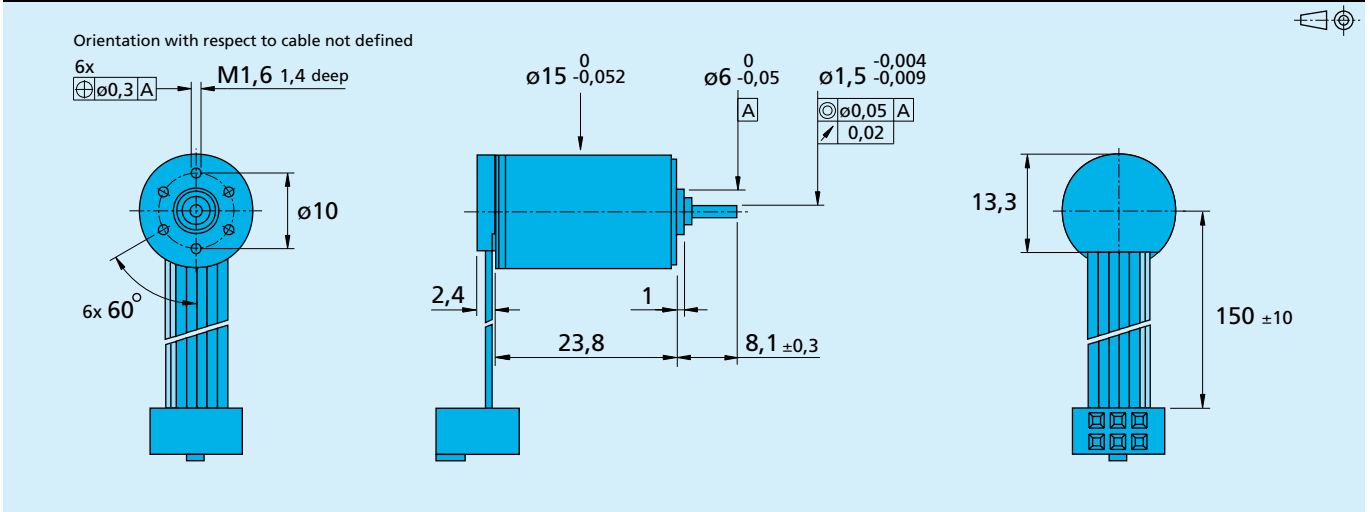
DC-Micromotor 1336 U ... C - 123 with Encoder IE2 – 16 ... 512

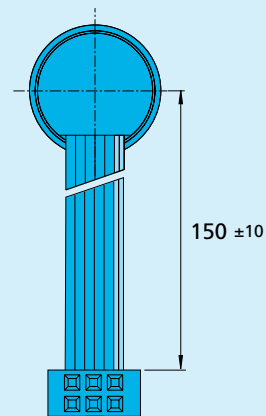
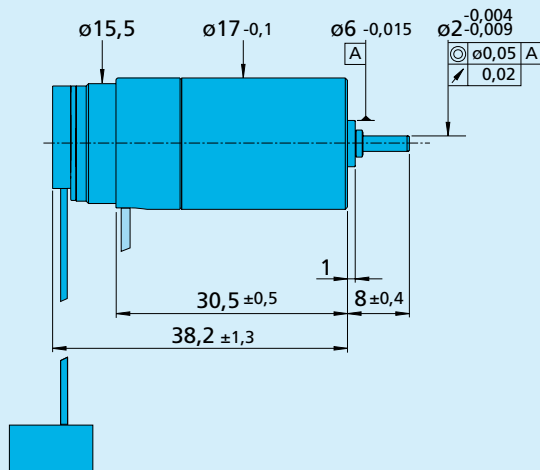
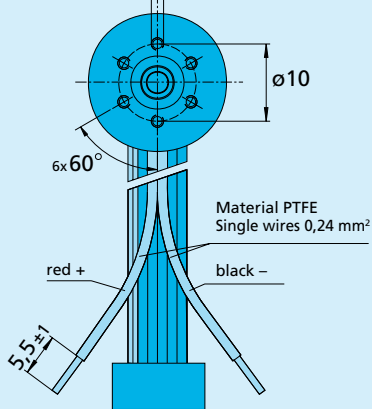
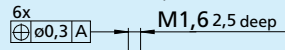
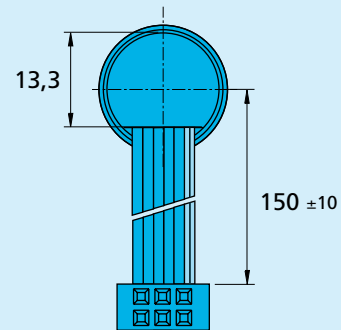
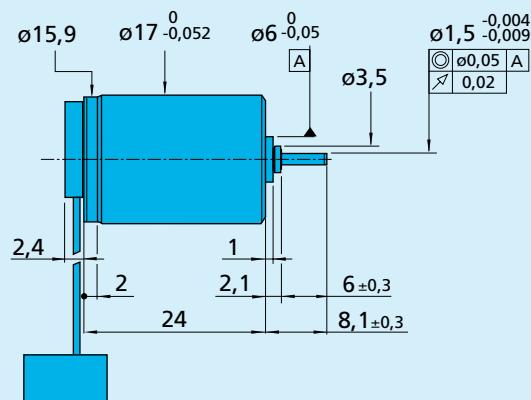
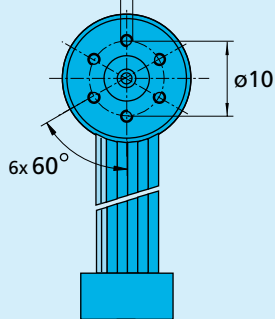
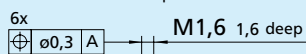
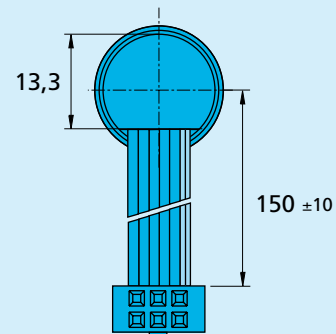
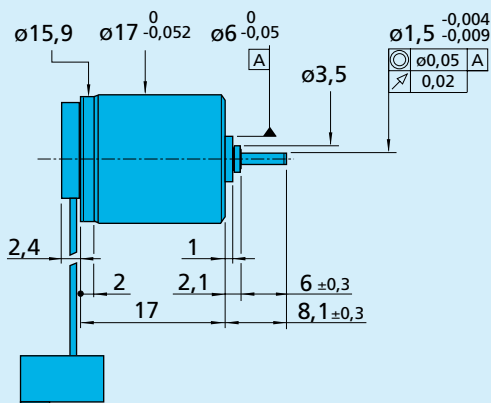
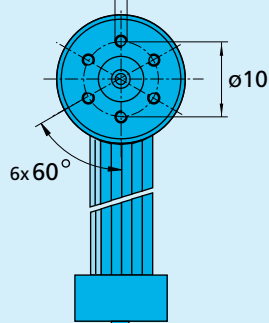
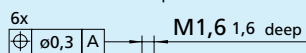


DC-Micromotor 1516 T ... SR with Encoder IE2 – 16 ... 512

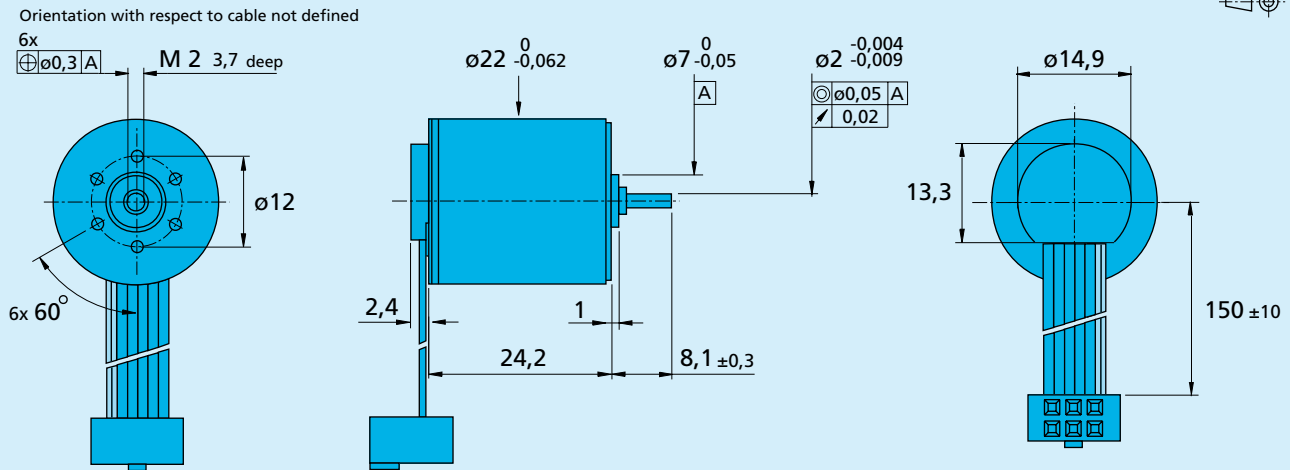


DC-Micromotor 1524 T ... SR with Encoder IE2 – 16 ... 512

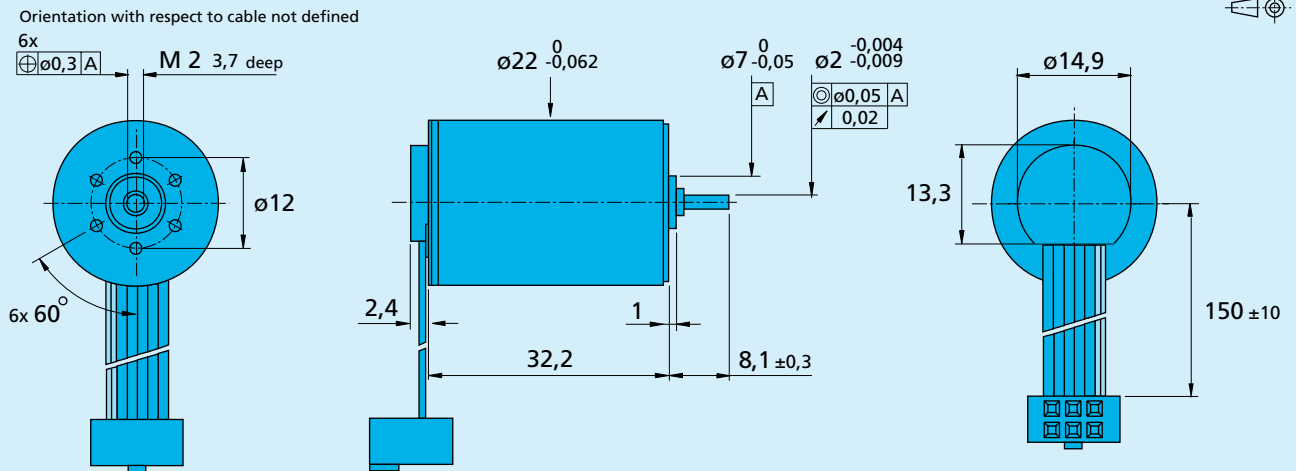




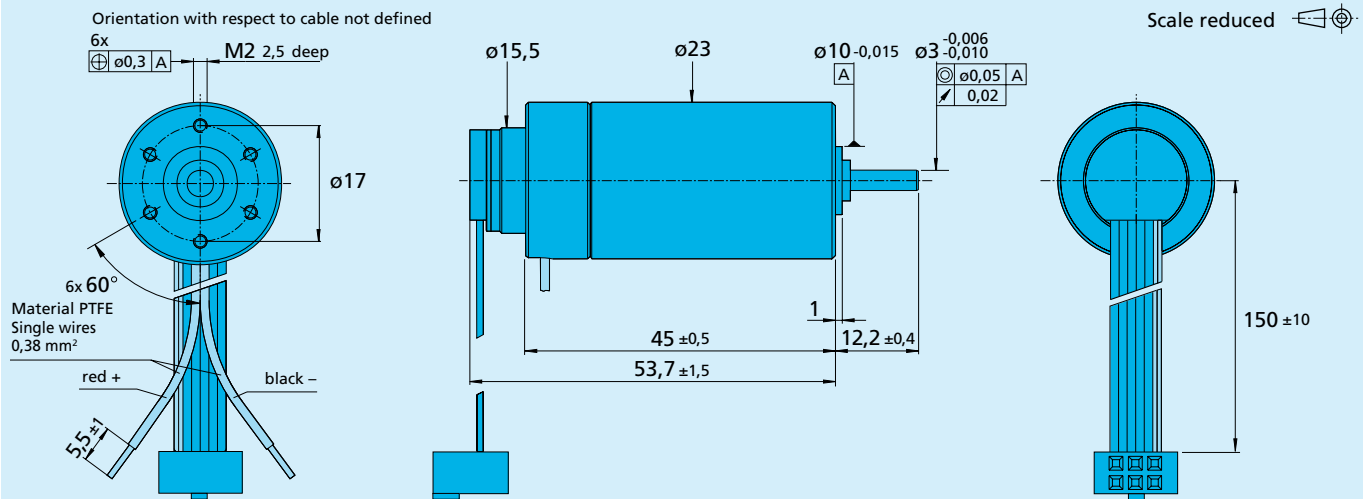
DC-Micromotor 2224 U ... SR with Encoder IE2 – 16 ... 512



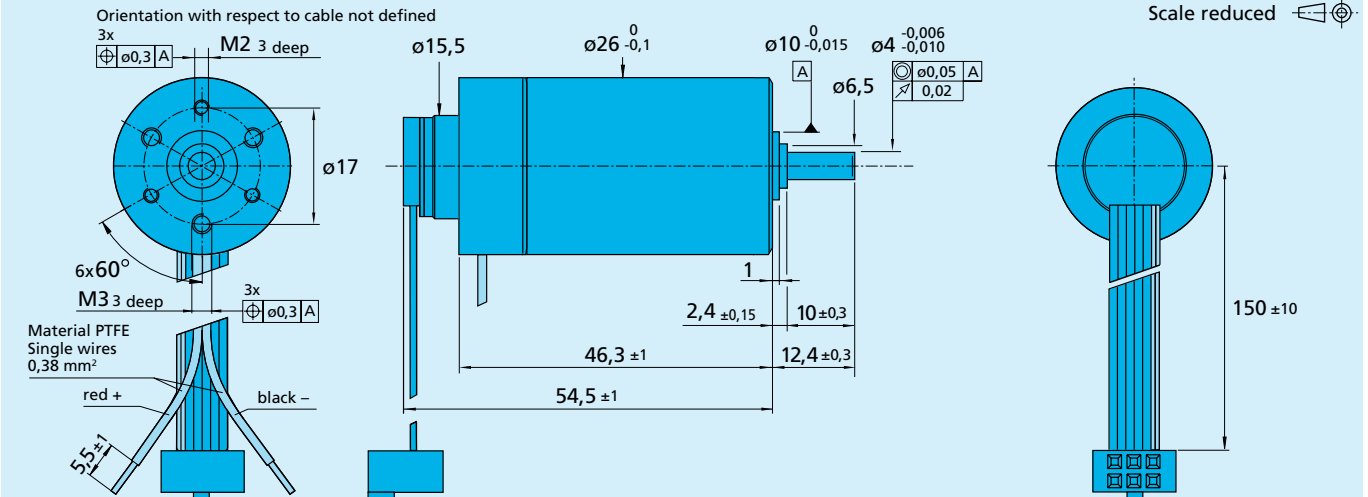
DC-Micromotor 2232 U ... SR with Encoder IE2 – 16 ... 512



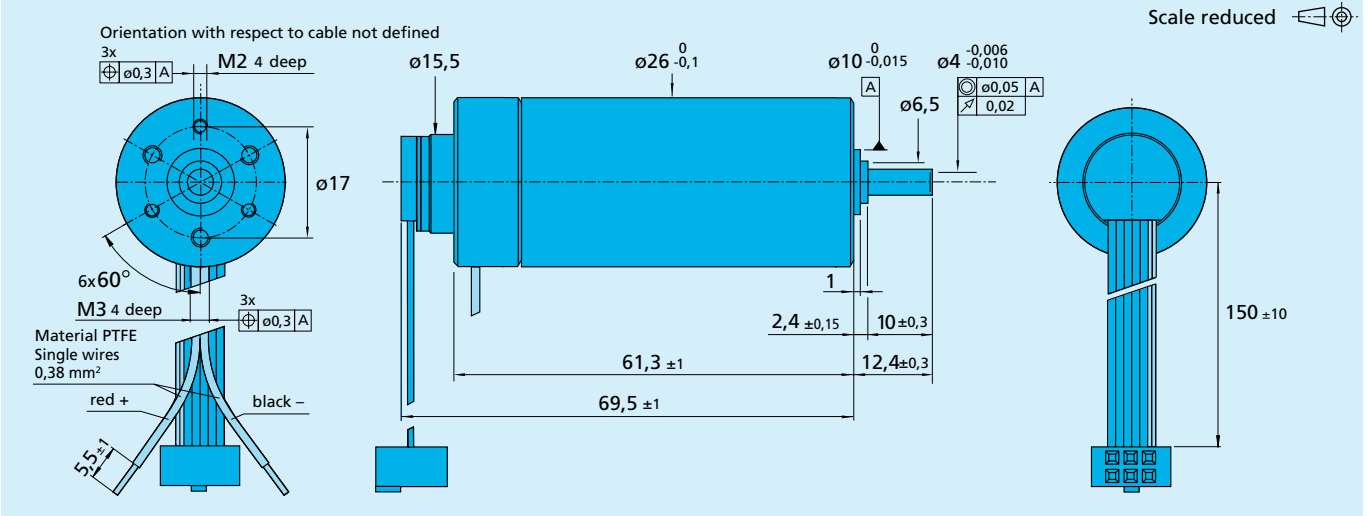
DC-Micromotor 2342 S ... CR with Encoder IE2 – 16 ... 512



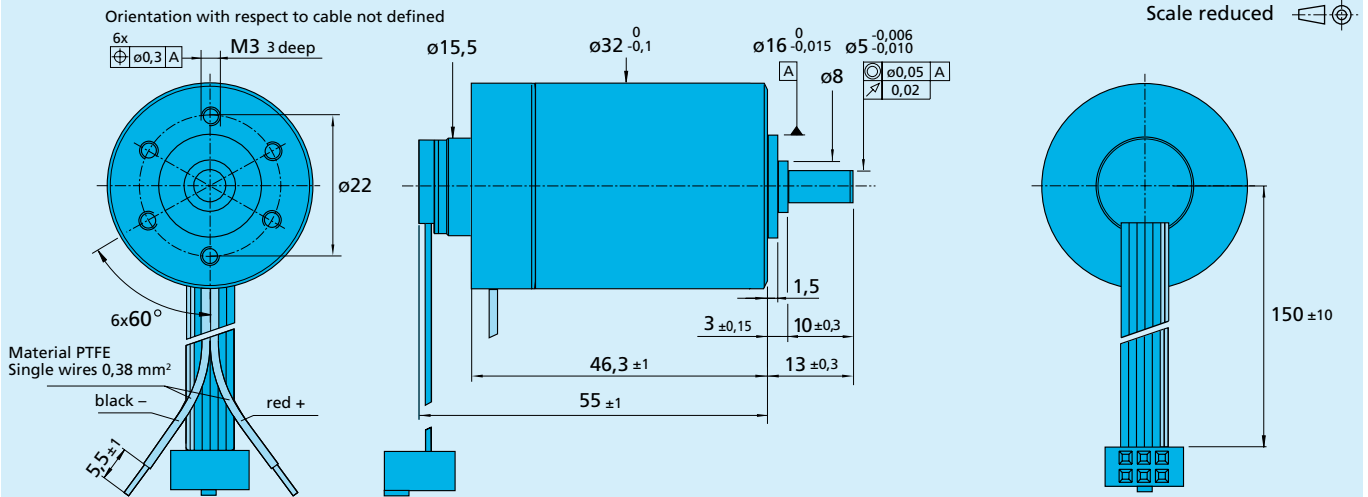
DC-Micromotor 2642 W ... CR with Encoder IE2 16 – 512



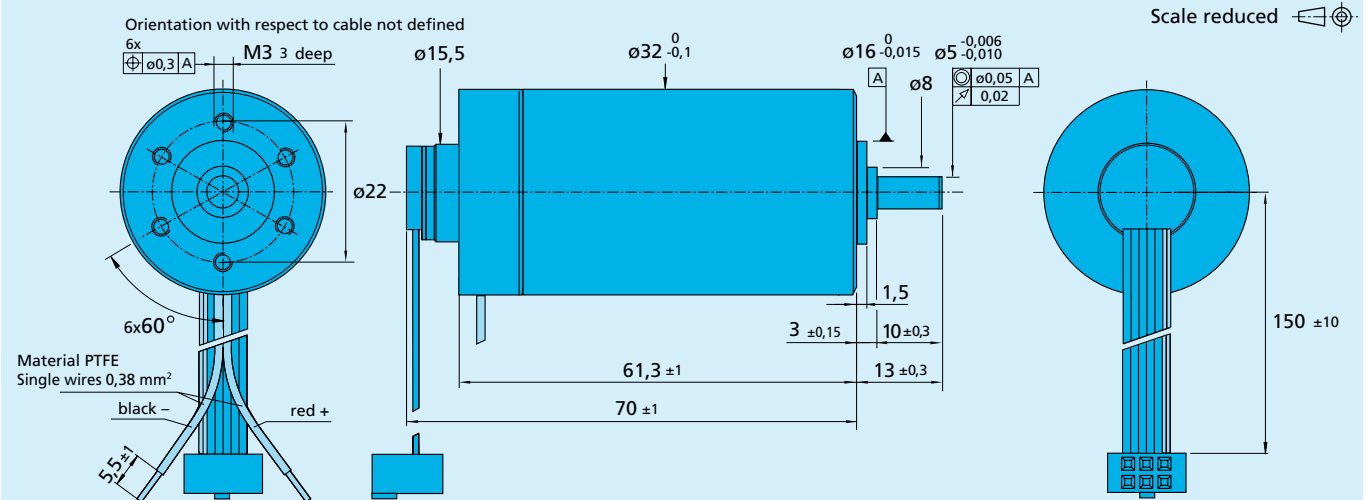
DC-Micromotor 2657 W ... CR with Encoder IE2 16 – 512



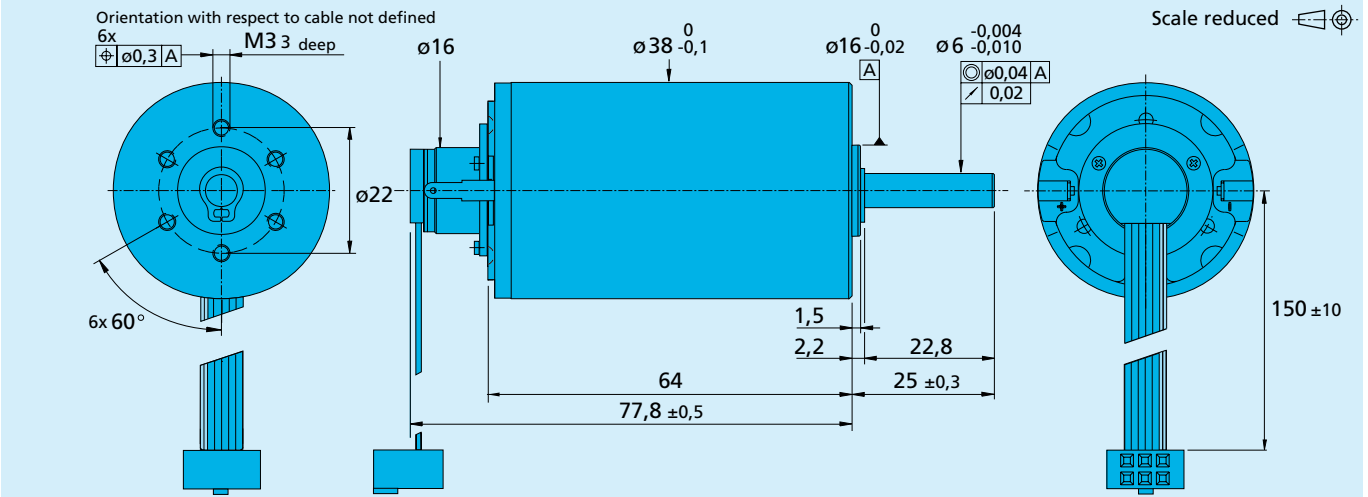
DC-Micromotor 3242 G ... CR with Encoder IE2 16 – 512



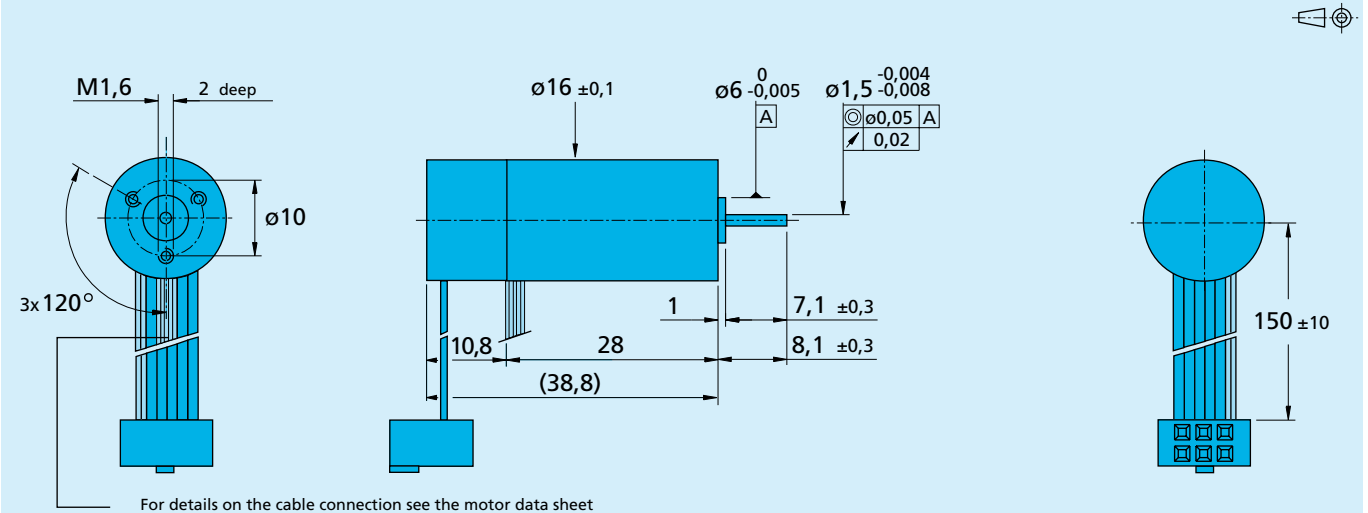
DC-Micromotor 3257 G ... CR with Encoder IE2 16 – 512



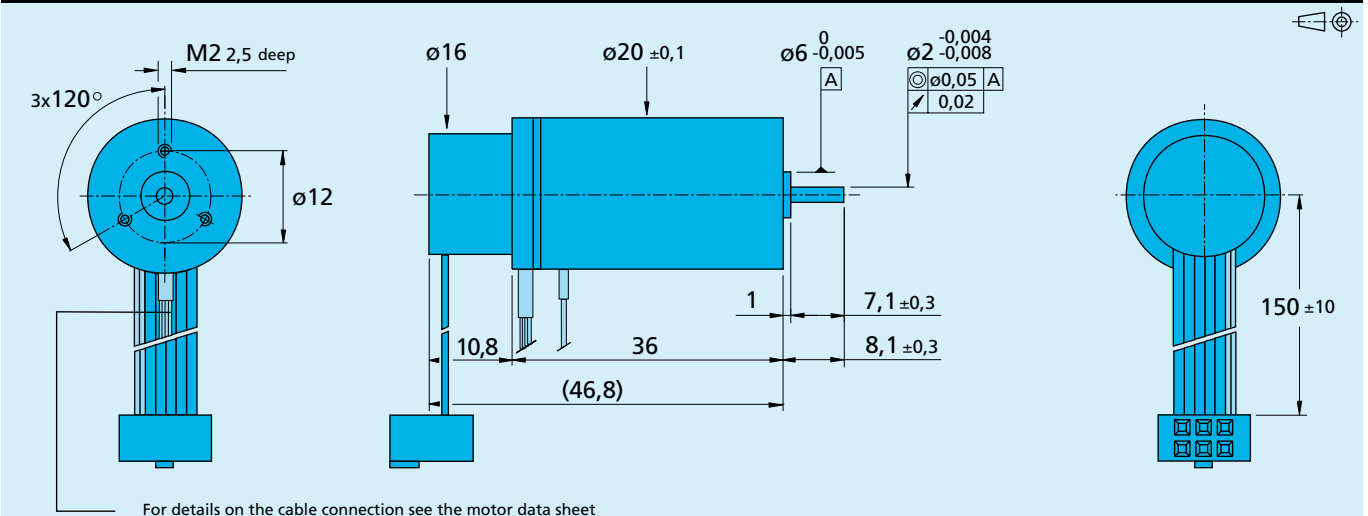
DC-Micromotor 3863 H ... C - 2016 with Encoder IE2 16 – 512



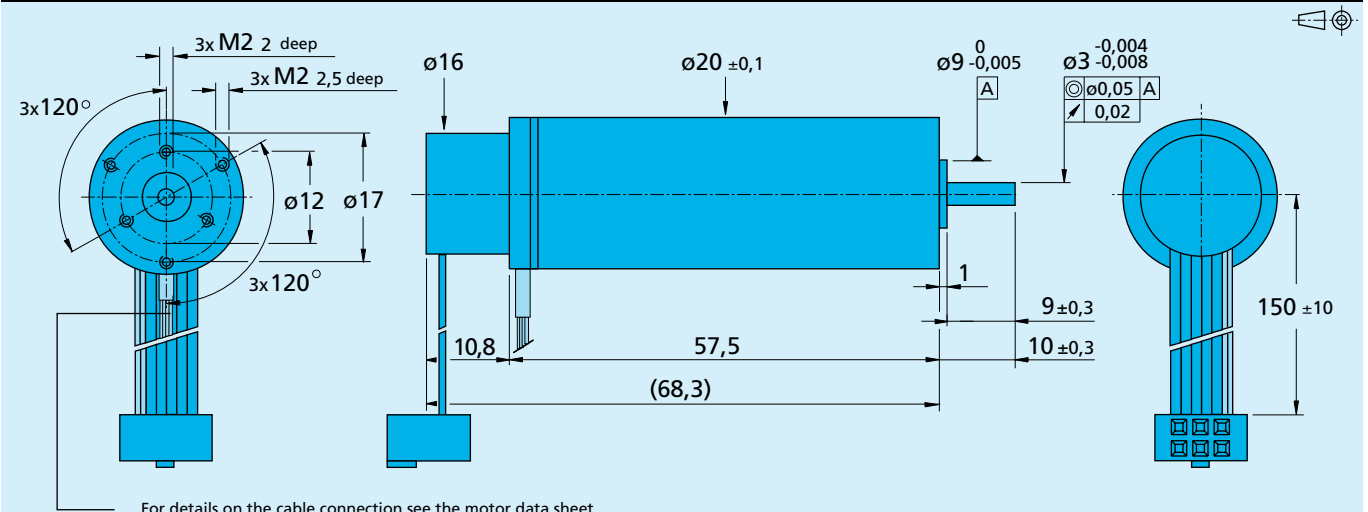
Brushless DC-Servomotor 1628 T ... B - K313 with Encoder IE2 – 16 ... 512



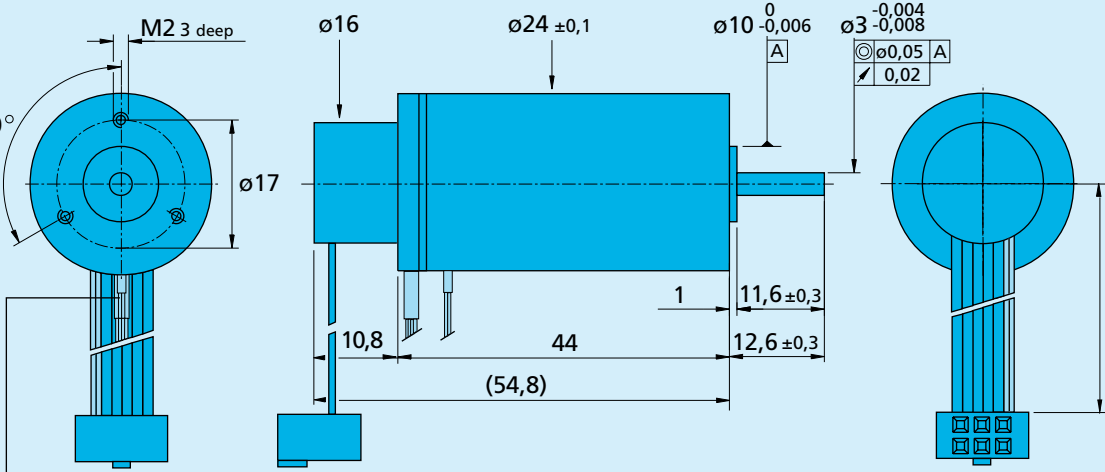
Brushless DC-Servomotor 2036 U ... B - K313 with Encoder IE2 – 16 ... 512



Brushless DC-Servomotor 2057 S ... B - K313 with Encoder IE2 – 16 ... 512



Brushless DC-Servomotor 2444 S ... B - K313 with with Encoder IE2 – 16 ... 512



ANEXO E

Datasheet do Driver

G340 INSTALLATION NOTES

(April 3, 2008)

Thank you for purchasing the G340 drive. The G340 DC servo drive is warranted to be free of manufacturing defects for 1 year from the date of purchase. Also anyone who is dissatisfied with it or is unable to make it work will be cheerfully refunded the purchase price if the G340 is returned within 15 days of the purchase date.

PLEASE READ FIRST BEFORE USING THE G340:

If you are not familiar with DC servo drives please do the following setup instructions with the motor on the bench before mounting it on the mechanism it will eventually run. This will allow you to get a baseline motor behavior of what to expect.

Before you start, you must have a suitable encoder mounted and properly aligned on the motor. Follow the manufacturer's instructions on mounting and aligning the encoder if the motor doesn't already come with one.

Next you must have a DC power supply suitable for the motor. Do not use a power supply voltage more than 5 volts in excess of the motors rated voltage. The power supply current rating must equal the maximum current you expect to run the motor at.

Finally have a STEP and DIRECTION pulse source available.

Before going on, turn the current LIMIT trimpot a quarter to half of full scale. Turn the GAIN trimpot fully off and turn the DAMP trimpot to a quarter of full scale. The trimpots are single-turn, do not over-torque them with a screwdriver.

REMOVING AND REPLACING THE COVER:

The STEP PULSE MULTIPLIER and the INPUT OPTION settings are jumpered internally. It is necessary to remove the cover of the drive to change these settings from their default values. Please follow the steps below on how to remove and replace the cover to avoid damaging the drive:

REMOVING THE COVER:

- 1) Remove the two 2-56 phillips-head screws on the bottom of the drive.
- 2) Gently lift the back of the cover upward until the LED clears the rectangular hole
- 3) Slide the cover backwards while still lifting until it clears the drive.

REPLACING THE COVER:

- 1) Make sure the LED is vertical relative to the drive printed circuit board.
- 2) Slide the cover forward over the drive while lifting the back of the cover.
- 3) When the cover is fully forward, look to see the LED is aligned with the hole.
- 4) Gently press the cover down, making sure the LED moves into the hole.
- 5) Replace the screws on the bottom of the drive.

It is recommended to use small needle-nose pliers or tweezers to move the jumpers on the internal headers.

G340 MULTIPLIER AND INPUT OPTION HEADERS:

MULTIPLIER OPTION HEADER

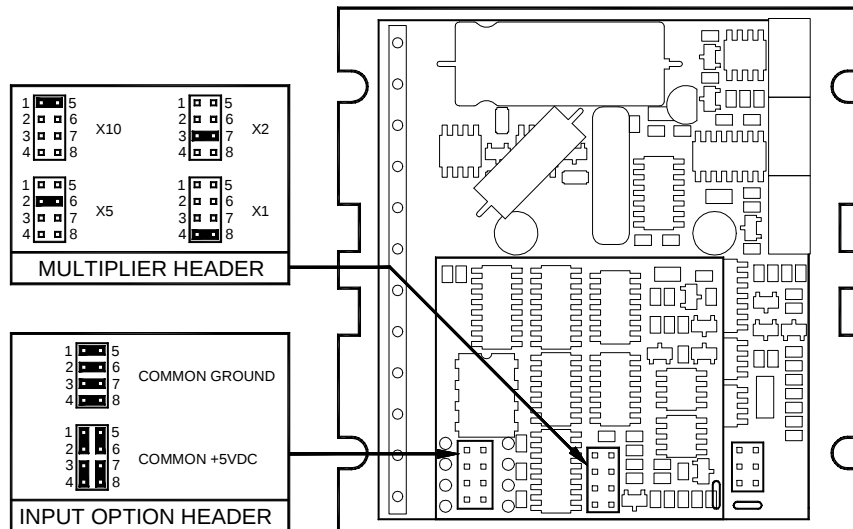
The G340 has a built in STEP PULSE MULTIPLIER. This circuit puts out 1, 2, 5, or 10 pulses for every input STEP pulse. All motor moves will be in these increments. For example, if X10 is selected, then the motor will move 10 encoder counts for every STEP pulse sent to the G340. Move the jumper on the MULTIPLIER HEADER to select the desired multiplier. Do not operate the drive without a jumper.

INPUT OPTION HEADER

The INPUT OPTION HEADER allows the STEP and DIRECTION opto-isolators to be configured as either common ground or common +5VDC.

If the G340 inputs are driven by a source that has only ground available, such as a PC parallel port, move the 4 jumpers on the header so that it looks like the COMMON GROUND setting. Connect the input driver ground to TERM 12 on the main connector.

If the G340 inputs are driven by open collector transistors or standard TTL gates, move the 4 jumpers on the header so that it looks like the COMMON +5VDC setting.



G340 TERMINAL WIRING:

IMPORTANT: When first testing the G320, connect ERR/RES (term. 5) to ENC+ (term. 7). Please follow the next steps in the sequence they are given.

STEP 1: ENCODER HOOK-UP

The encoder must be at minimum a 25 line-count digital quadrature encoder and must operate on a single +5VDC power supply. If the encoder supply current is more than 50 mA, use an external +5VDC supply. It may have an INDEX output, which will not be used. If it has differential outputs, use only the "+" phase outputs. **IMPORTANT:** Connect a 470-ohm resistor from TERM. 6 to TERM. 7 if an external power supply is used for the encoder.

(TERM. 6) ENC- Connect the encoder power supply ground to this terminal.

(TERM. 7) ENC+ Connect the encoder +5VDC to this terminal

(TERM. 8) PHASE A Connect the encoder phase "A" to this terminal

(TERM. 9) PHASE B Connect the encoder phase "B" to this terminal

To determine the optimal encoder line count, please follow the instructions below.

- 1.) Determine motors no load RPM
- 2.) Calculate rated RPM as 80% of no load RPM
- 3.) Divide (#2) by 60 to get revolutions per second
- 4.) Determine the CNC program's maximum step pulse frequency (in Hz)
- 5.) Divide (#4) by (#3), which will give you the maximum counts per revolution
- 6.) Divide (#5) by 4, which will give you the max line count
- 7.) Pick the first standard line count below (#6)

An example of using that formula with a 45kHz step pulse frequency and a maximum motor RPM of 3000:

$$(45\text{kHz} / 40) / 4 = 281.25$$

STEP 2: POWER SUPPLY HOOK-UP

CAUTION! Never put a switch on the DC side of the power supply! This will damage, if not destroy, your drive!

Keep the power supply leads short and use the largest wire gauge that will fit in the terminals. If the lead length is more than 18" use a 1000 uF capacitor across the G340 power supply terminals. Make sure your power supply can provide the peak current the motor may draw. The power supply voltage must be between 18 VDC and 80 VDC. The actual voltage should not be more than 5 volts higher than the motor's rated voltage.

(TERM. 1) POWER GROUND Connect the power supply ground to this terminal.

(TERM. 2) +18 TO 80 VDC Connect the power supply "+" to this terminal

STEP 3: TESTING THE ENCODER

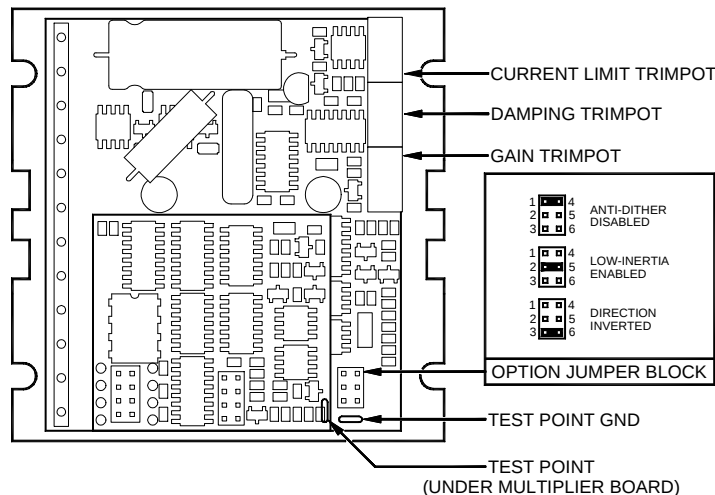
At this point the encoder should be tested for functionality. If you wish to monitor the POSITION ERROR test point with a voltmeter or oscilloscope, then remove the cover of the drive now. If you have a choice, pick the oscilloscope.

The POSITION ERROR test point shows the difference between the command position and the actual motor position. When both are the same, the voltage will be +5VDC. For every count the motor is clockwise of the command position, the voltage will decrease by 0.04 volts. When it drops to 0.4 volts, the protection circuit takes over and resets the drive for 3 seconds. While reset, the FAULT light is on.

For counter-clockwise position errors the voltage will increase by 0.04 volts for every count until it reaches 9.6 volts when again the protection circuit takes over as before.

VOLTMETER MONITORING: Place the red lead on the test point and the black lead on the large blue capacitor lead (GND) furthest from the main connector. Turn on the power supply. The FAULT light should be on for 3 seconds and then turn off. The voltmeter should read +5VDC. Turn the motor shaft clockwise VERY slowly. The voltmeter reading should decrease 0.04 volts for every encoder count. When the reading reaches 0.4 volts, the red light will turn on and the voltage will jump back to +5VDC. After 3 seconds the light will turn off. You may turn the motor shaft counter-clockwise as well. The voltage will increase then by 0.04 volts per count until it reaches 9.6 volts and trips the protection circuit.

OSCILLOSCPE MONITORING: Set the scope to 2 volts / cm vertical and about 1 millisecond per cm horizontal. Zero the trace to the bottom line on the screen. DC couple the input. Place the probe on the test point and the ground clip to the blue capacitor ground lead. Follow the steps in VOLTMETER TESTING above.



STEP 4: CONTROL INPUT HOOK-UP

The control input group is the standard step motor drive STEP, DIRECTION and +5VDC lines. The STEP and DIRECTION signal drivers must be TTL compatible and have edge transition times of 100 ns or faster. The +5VDC is the opto-isolator common anode line and must be returned to the pulse source +5VDC supply.

(TERM. 10) DIR Connect the DIRECTION line to this terminal.

(TERM. 11) STEP Connect the STEP line to this terminal.

(TERM. 12) +5VDC Connect this terminal to the controller +5VDC power supply

STEP 5: TESTING THE CONTROL INPUTS

You may wish to test the functionality of these inputs. If you used an oscilloscope in the previous section, leave it connected to the test point. If you used a voltmeter, then remove it from the drive.

Set the STEP pulse generator to about 40 pulses per second and set the DIRECTION output to clockwise (logical "1"). Turn on the power supply. After the power-on reset period of 5 seconds the FAULT light will turn off.

If you are using an oscilloscope, then the test point voltage will begin to increase until 3 seconds later it trips the protection circuit at 9.6 volts. The FAULT light will turn on for 5 seconds and voltage will snap back to +5VDC. After the FAULT turns off, the sequence will repeat again.

If you are not using an oscilloscope, just see if the FAULT light turns on and off every three seconds.

STEP 6: MOTOR HOOK-UP

Make sure the power is off and the STEP pulse source is set to zero pulses per second. Check to see if the trimpot settings are set according to the instructions on page 2. You may wish to secure the motor so it can't jump off the bench.

(TERM. 3) ARM- Connect the BLACK motor lead to this terminal.

(TERM. 4) ARM+ Connect the RED motor lead to this terminal.

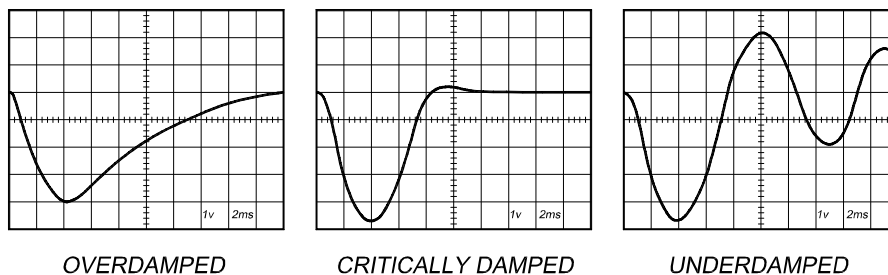
STEP 7: TUNING THE SERVO

Turn on the power supply. The FAULT light should turn off after 3 seconds. If everything is correct you should hear the motor "singing". This is normal. The motor is dithering or bouncing between adjacent encoder counts. The integral term in a PID loop has infinite DC gain over time and will amplify even the smallest position error. Because encoder feedback can only occur on count edges, the loop is "blind" until it encounters an encoder count edge. It then reverses the motor direction until another edge is found, then the process repeats.

If the motor jumps slightly and the FAULT light immediately turns back on, then either the motor is wired backwards or the trimpots are misadjusted. Check the trimpot settings. If they seem right then switch the motor leads and try again. If it still doesn't work and you followed all the previous steps, call me at the number at the end of this document.

Now turn on your STEP pulse source and ramp the speed up to see if the motor turns. It should turn clockwise with a logical "1" on the DIRECTION input.

The optimum way to tune the servo is to induce an impulse load on the motor while watching an oscilloscope to see how the motor behaves in response, then adjusting the PID co-efficient for optimal behavior.



In all cases the motor must return to the command position, what matters is how it does it. The manner in which the motor returns to its command position is called damping. At one extreme, called over damped response, the motor returns to position after a long, drawn out delay. At the other extreme, called under damped response, the motor returns to its position too rapidly, overshoots, returns and undershoots and so on until it finally settles at its command position. This is also called ringing; when extreme, the over/undershoot builds in amplitude until the motor enters violent oscillation. Between the two extremes is the optimal response called critical damping. Here the motor rapidly returns to its position with little or no overshoot in the minimal amount of time.

GAIN AND DAMPING

GAIN and DAMPING settings generally track each other. If you increase GAIN (greater stiffness), then increased DAMPING is needed as well to restore critical damping. Be careful, increasing GAIN without increasing DAMPING may cause the motor to break out into violent oscillation.

The higher GAIN is set, the noisier the motor will be when stopped. This is because higher gain causes more vigorous dithering between encoder counts at rest. There is a trade-off between high gain (high stiffness) one hand and excessive dithering (noise and motor heating) on the other. Use judgment here.

To see how your servo is compensated it is first necessary to induce a disturbance. The easiest way is to switch the DIRECTION input while commanding a constant speed via the STEP input. The abrupt direction change puts just the momentary load needed on the motor while you watch how it responds.

If you are using an oscilloscope, use channel 1 on the test point and channel 2 on the DIRECTION input. Set the trigger to "normal", trigger source to channel 2 and trigger edge to "+". You should see a single sweep for every clockwise change in direction.

Slowly increase STEP speed until you get a picture similar to one of the three above, and then do the following:

- 1) OVERDAMPED: Decrease DAMPING or increase GAIN
- 2) CRITICALLY DAMPED: Do nothing; you're there
- 3) UNDERDAMPED: Decrease GAIN or increase DAMPING

(POSITION ERROR TEST POINT NOTE)

Don't confuse the POSITION ERROR with the motor or machine position. The signal is actually the differential position error between the command speed and the motor speed. As noted above, sending clockwise STEP pulses moves the POSITION ERROR voltage more positive while turning the motor clockwise moves the POSITION ERROR voltage more negative.

When the motor encoder counts match the number of STEP pulses being sent one for one, the POSITION ERROR voltage stays at +5VDC. If the motor gets ahead of the STEP pulses such as during very rapid deceleration, the voltage will decrease by 0.04 volts for every encoder count the motor is ahead of the STEP pulses sent. The PID algorithm will force the motor to match the STEP input over time and restore the POSITION ERROR voltage back to +5 VDC.

CURRENT LIMIT

The current LIMIT trimpot sets maximum current the motor is permitted to have. It is adjustable from 0 amps to 20 amps. Normally the LIMIT trimpot is set to maximum (20 amps) unless you want to limit motor torque to a lower value.

Motor speed and position is unaffected by the current LIMIT setting unless the torque demand due to load exceeds this setting, then the motor position will fall behind the command position because of insufficient torque.

FAULT INDICATOR

The FAULT indicator is on while the drive is in power-on reset, the DISABLE input is held "low" or if the protection circuit is tripped due to a fault condition. All power MOSFETs are turned off and all internal counters are reset. The FAULT condition lasts for 3 seconds, and then self-resets to try again. If the protection circuit tripped it and the cause is not cleared, then it will immediately re-enter the FAULT state again and repeat the cycle.

There are two conditions that will trip the protection circuit. One condition is if a short-circuit occurs and current exceeds 20 amps. The other condition is if the POSITION ERROR exceeds +/- 120 counts causing a break of the servo-lock. This condition can have several causes:

- 1) The loop settings are severely under-damped and the motor breaks out into oscillation.
- 2) Excessive motor load due to acceleration or workload.
- 3) The speed command in excess of what the motor can deliver.
- 4) The current LIMIT is set too low.
- 5) The power supply current is insufficient for the demand.
- 6) The power supply voltage is below 18 VDC.
- 7) The motor is wired backwards, is broken or disconnected.
- 8) Encoder failure.

REVERSING DEFAULT MOTOR DIRECTION

The G340 will turn the motor in the CW direction when the DIRECTION input is "high" (logical "1", or +5VDC). If instead CCW is preferred, then:

- 1) Reverse the motor "+" and "-" leads (term. 3 with term. 4)
- 2) Reverse the encoder "channel A" and "channel B" leads (term. 8 with term. 9)

USING THE G340 WITH VERY SMALL MOTORS

Very small motors have low inductance relative to their operating current. Consequently ripple current due to pulse-width modulation can quickly overheat and destroy these motors. If the G340 will be used with these motors, then an external low pass filter must be used to attenuate ripple current to tolerable levels.

A suggested filter consists of two 150 micro Henry inductors in series with each motor lead and a 2 microfarad, low inductance film capacitor across the motor leads. The inductors must be rated for the anticipated peak motor current.

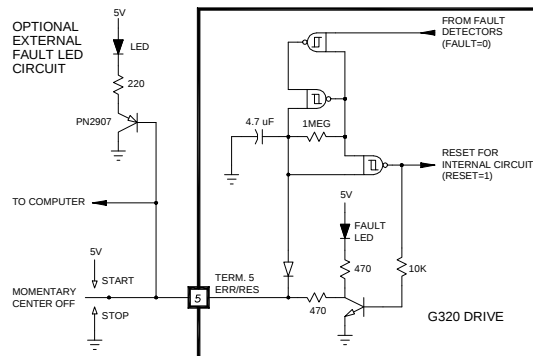
This filter is also need if ironless-armature or "pancake" motors are used. These motors have very low inductance as well and will overheat if driven directly by the G340.

(TERM. 5) ERR / RES

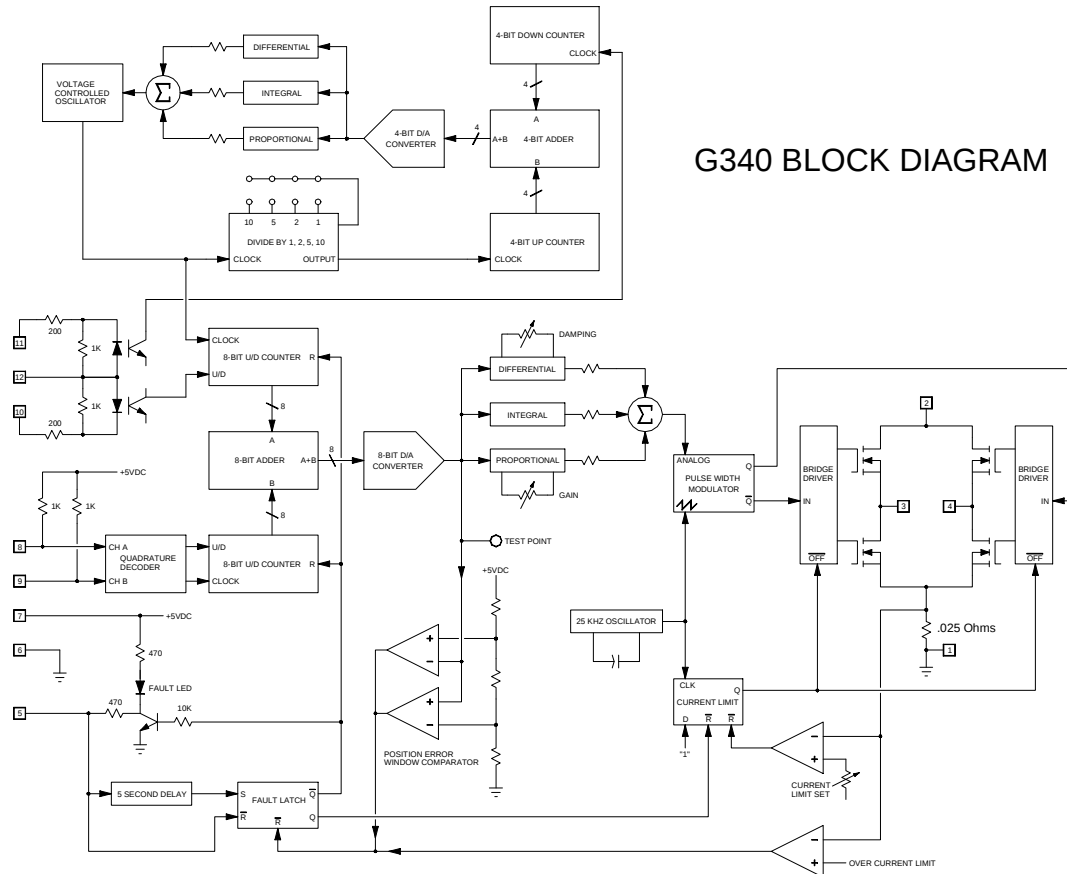
This terminal functions as an ERROR output and as a RESET input. Because this terminal functions as both an input and an output, some detailed description is necessary.

The ERROR output is latched in the "ERROR" state (term. 5 = "0") by the power-on reset circuitry in the G340. It will stay in this state indefinitely until it is cleared by applying +5V to this terminal for at least 1 second.

Normally when the G340 is first powered up, it will be necessary to push the momentary switch to START for 5 seconds. This will clear the power-on reset condition and extinguish the FAULT LED. The motor will then be enabled and the drive will begin to operate. If at anytime after that a condition occurs that causes the G340 to "fault out", such as not being able to complete a step command, the ERR/RES terminal will go to "0", signaling the computer an error has occurred. This will require the operator to correct the problem that caused the fault and then push the switch to "START" for 5 seconds to re-enable the G340.

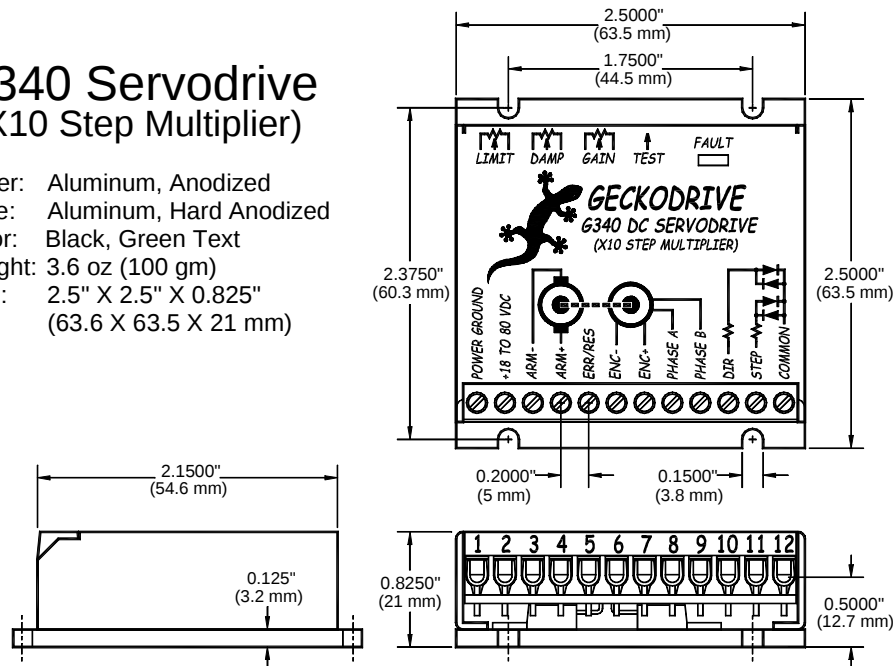


At anytime the operator can push the switch to the “STOP” position to immediately halt the G340 drive. Anytime the G340 is in the “FAULT” state (FAULT LED lit), all switching action stops and the motor freewheels and is unpowered. This will light the “FAULT” light.



G340 Servodrive (X10 Step Multiplier)

Cover: Aluminum, Anodized
 Plate: Aluminum, Hard Anodized
 Color: Black, Green Text
 Weight: 3.6 oz (100 gm)
 Size: 2.5" X 2.5" X 0.825"
 (63.6 X 63.5 X 21 mm)



G340 SPECIFICATIONS:

Power Supply	18 to 80 VDC
Motor Current	0 to 20 Amps
Lock Range	+/- 128 count following error
Feedback	Quadrature TTL Encoder
Feedback Resolution	X4 Encoder Line Count
Switching Frequency	25 kHz
Current Limit	0 to 20 Amp, Trimpot Adjustable
Analog PID	Damping and Gain Trimpots
Step Pulse Frequency	0 to 250 kHz
Step Pulse "0" Time	0.5 Microseconds Min.
Step Pulse "1" Time	3.5 Microseconds Min.
Multiplier Settings	X1, X2, X4, X5 and X10
Size	2.5" X 2.5" X 0.825"
Weight	3.6 oz weight
Encoder Supply	+5VDC, 50mA max

Geckodrive Inc.
 14662 Franklin Ave
 Suite E
 Tustin, CA 92780

Phone: 1-714-832-8874
 Fax: 1-714-832-8082
 Web Site: www.geckodrive.com

ANEXO F

Datasheet do Inclínômetro



FEATURES

- PITCH AND ROLL TO 35° or 45°
- AZIMUTH BY COMPASS
- COMPACT
- LOW COST
- REMOTE INPUT FOR ZERO
- ANALOGUE: LINEAR X AND Y AND HEADING
- SERIAL DIGITAL

APPLICATIONS

- SAFETY
- SURVEY INSTRUMENTS
- ROBOTICS
- SELF-LEVELLING PLATFORMS

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

PARAMETER	DESCRIPTION	NOTES	CONDITIONS	VALUE	UNIT
θ_{STOR}	Storage Temp Range			-20 to +100	°C
θ_{OPER}	Operating Temp Range			-20 to +65	°C
	Shock Resistance		Single impact	±40	G
	Vibration Resistance		60Hz, 10 Minutes	±11	G
	Climate Test		+71°C, 95% Humidity -20°C, 85% Humidity	6	Hours
V_{CC}	Supply Voltage			15	Vdc
P_{MAX}	Operating Pressure Range			-0.5 to +1	Bar
ALT_{MAX}	Operating Altitude Range			-2000 to +6000	Metres

PERFORMANCE

PARAMETER	DESCRIPTION	NOTES	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Os	Output Scale - Deviation		Resolves 0.1°		48.8		mV/°
Or	Output Range		Where n=35° or 45°	-n		+n	°
Oerr	Pitch and Roll error	-45 version	Between +35° and -35°		0.2		°
H	Heading		After auto- calibration		0.2		°

ORDER INFORMATION

PART	DESCRIPTION
A4025-35A or B	OEM 35deg Compass Module
A4025-45A or B	OEM 45deg Compass Module

A – connectors up
B – connectors down

ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT 20°C

PARAMETER	DESCRIPTION	NOTES	MIN	TYP	MAX	UNIT
V _{CC}	Supply Voltage		4.8	5	5.2	Vdc
I _{CC}	Current consumption	5		25	70	mA
	NMEA Output Loads			4		NMEA loads
I _{max-an}	Analogue output current				1	mA
V _{in}	Digital input range	1	1		4	V
I _{max-dig}	Digital output current	2			1	mA
I _{CC}	Current consumption	3			2	mA
I _{CC}	Current consumption	4		60		mA

NOTES 1 <1 for low, >4v for hi 2 either source or sink 3 shut-down 4 during compass autocal
5 typ=average

SERIAL OUTPUTS selectable from the following:

\$HCHPR, hhh.h, ±pp.p, ±rr.r, v<CR><LF>
\$HCHPR, hhh.h, +/-pp.p, +/-rr.r, r<CR><LF>
\$HCHPR, hhh.h, +/-pp.p, +/-rr.r, cc<CR><LF> where **cc** is the checksum.
\$HCHPR, hhh.h, +/-pp.p, +/-rr.r, ssss<CR><LF> where **ssss** is the decimal serial number.
\$HCHDG, hhh.h, , , , <CR><LF>
\$HCPNR, ±pp.p, ±rr.r, r<CR><LF>
\$, ±pp.p, ±rr.r, r<CR><LF>
\$, ±pp.p<CR><LF>
\$, ±rr.r<CR><LF>
\$, hhh.h<CR><LF>

Where **hhh.h** is the compass heading in degrees e.g. 047.3
±pp.p is the pitch in signed degrees e.g. +28.2
±rr.r is the roll in signed degrees e.g. -11.8

Update rate and filtering is also selectable

Analogue Format A1:

ANO1 = ANO3 ± Pitch where Pitch is represented as 1bit of a 9bit output with 2.5V reference. i.e. 30° is 2.5+(2.5 x 300/512) = 3.086V

ANO2 = ANO3 ± Roll where Roll is represented as 1bit of a 9bit output with 2.5V reference. i.e. -24.6° is 2.5-(2.5 x 246/512) = 2.019V

ANO3 = 2.5V Use this as the common signal for ANO1 and ANO2

ANO4 = Linear compass using 13.89mV per ° i.e. 0-4.998V = 0 – 359.9°

Dimensions

Fluxgateworld, Autonnic and the *A logo are registered Trade Marks of Autonnic Research Ltd.

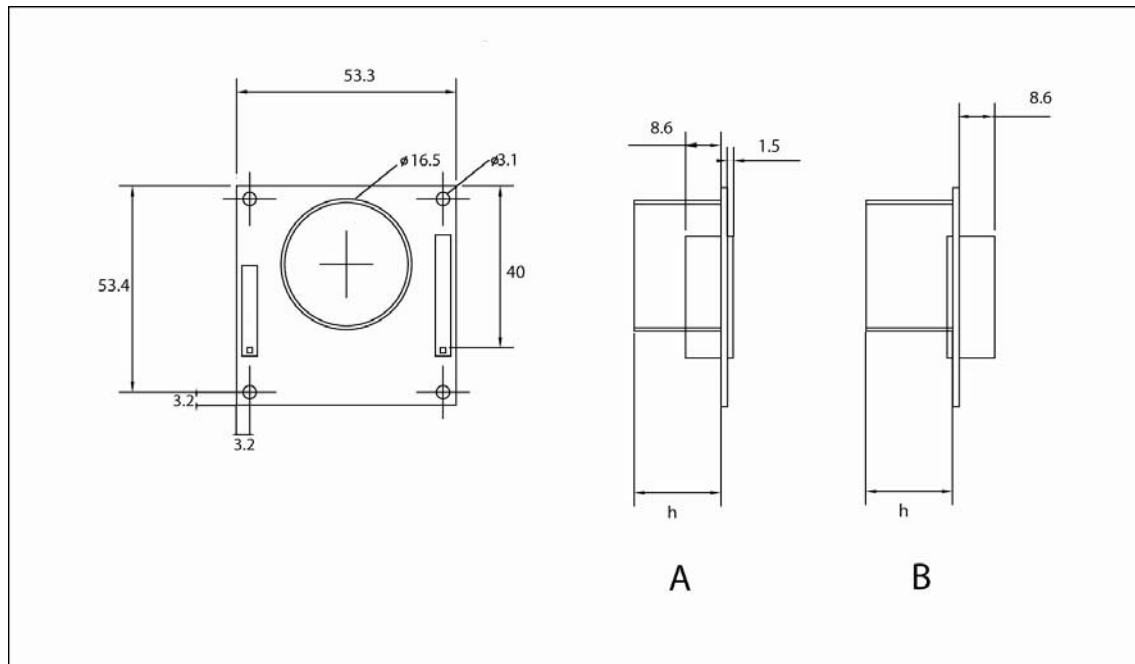
Copyright Autonnic Research Ltd 2006

Document A4025-01-05

Autonnic Research Ltd, Tollesbury, Essex, CM9 8SE UK

www.fluxgateworld.com

www.autonnic.com



h=21

Where A shows the connectors up version and B is with the connectors down.

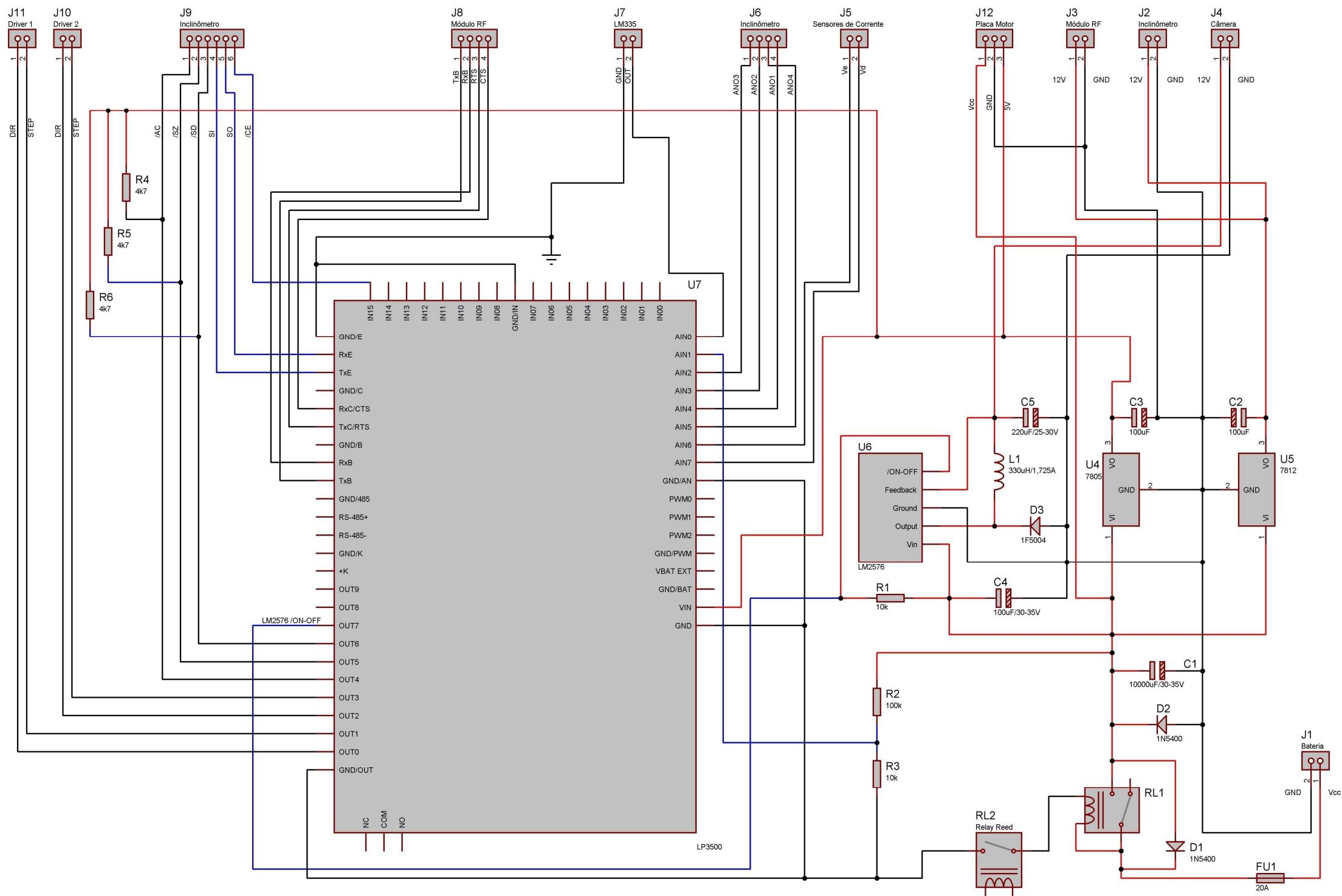
Connections

J1	Header Block		
Pin	In or Out		
1	P	GND	Supply and signal ground
2	I	/AC	not Start Compass auto-cal.
3	I	/SZ	not Set Compass zero heading
4	I		not used
5	I	/SD	not Shut-down
6	O	CE	Compass cal status output
7	I	ANI	Analogue Input
8	O	SO	Serial output
9	I	SI	Serial input
10	O	NMEAO	RS422 / NMEA-0183 O/P (+)
11	I	NMEAI-	RS422 / NMEA-0183 I/P (-)
12	I	NMEAI+	RS422 / NMEA-0183 I/P (+)

J2	Header Block		
Pin	In or Out		
1	O	ANO4	Analogue Output 4
2	O	ANO1	Analogue Output 1
3	O	ANO2	Analogue Output 2
4	O	ANO3	Analogue Output 3
5			not used
6			not used
7			not used
8			not used
9	P	+PWR	+7-15 supply
10	P	GND	Supply and signal ground

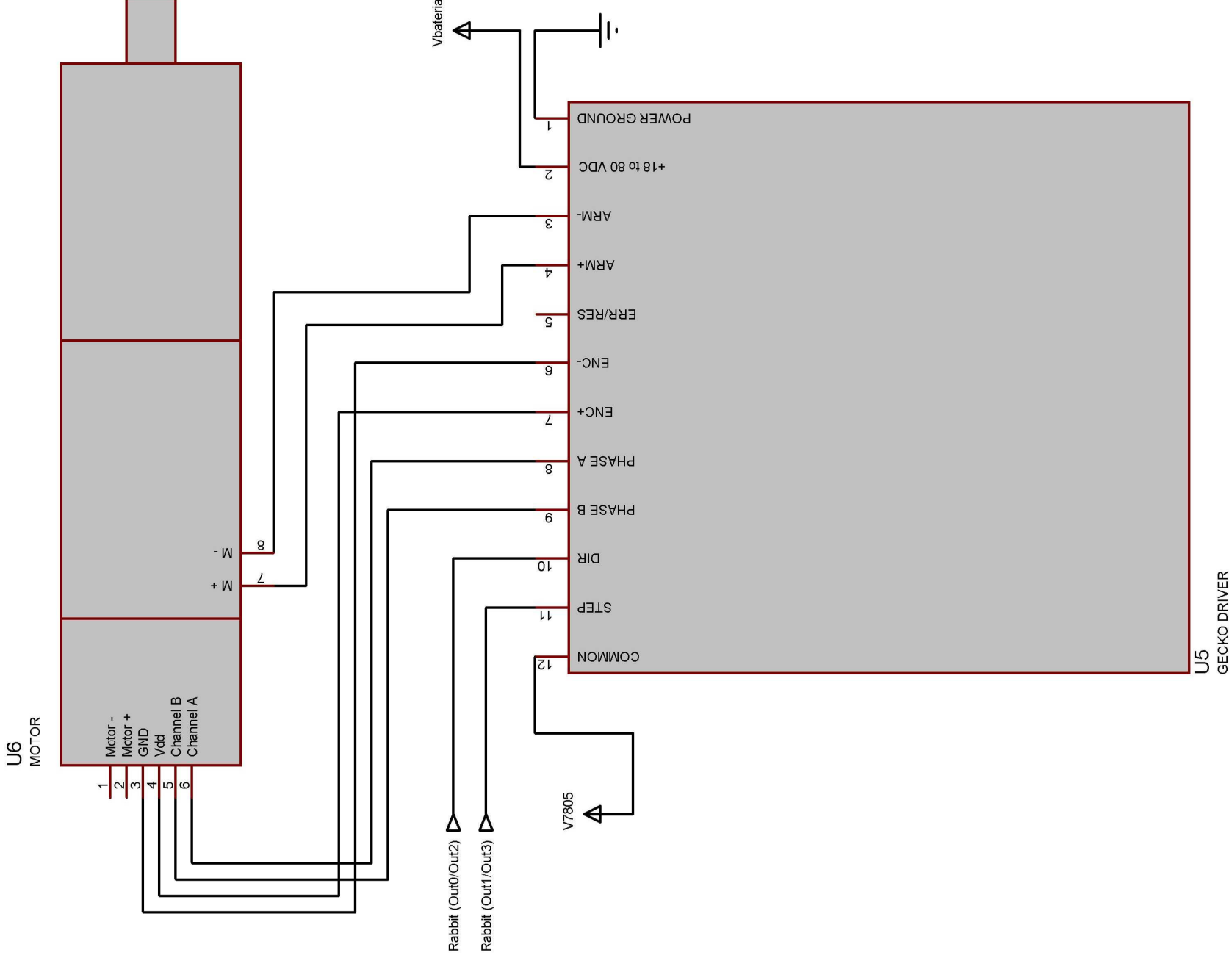
ANEXO G

Esquema elétrico da Placa Principal



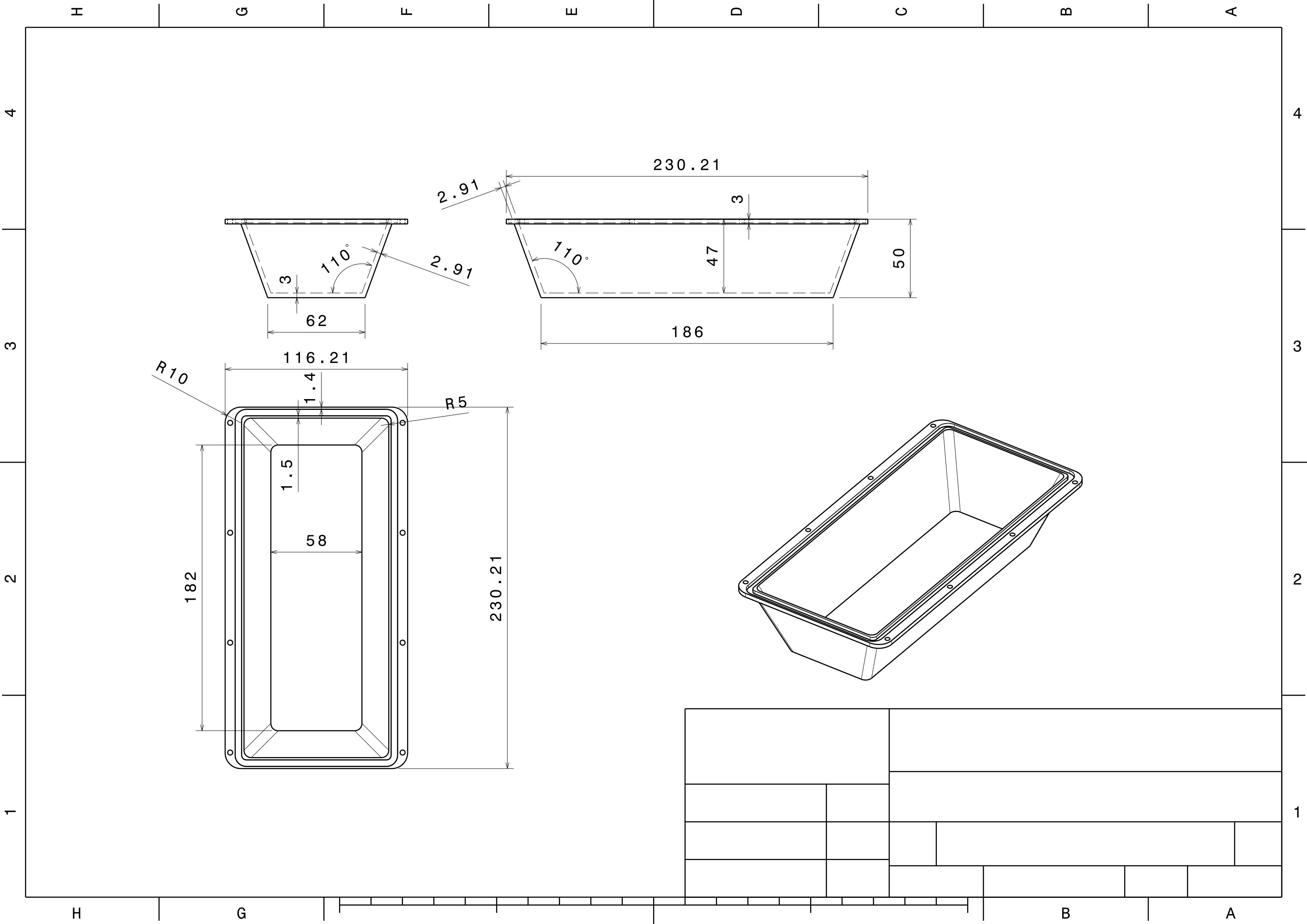
ANEXO H

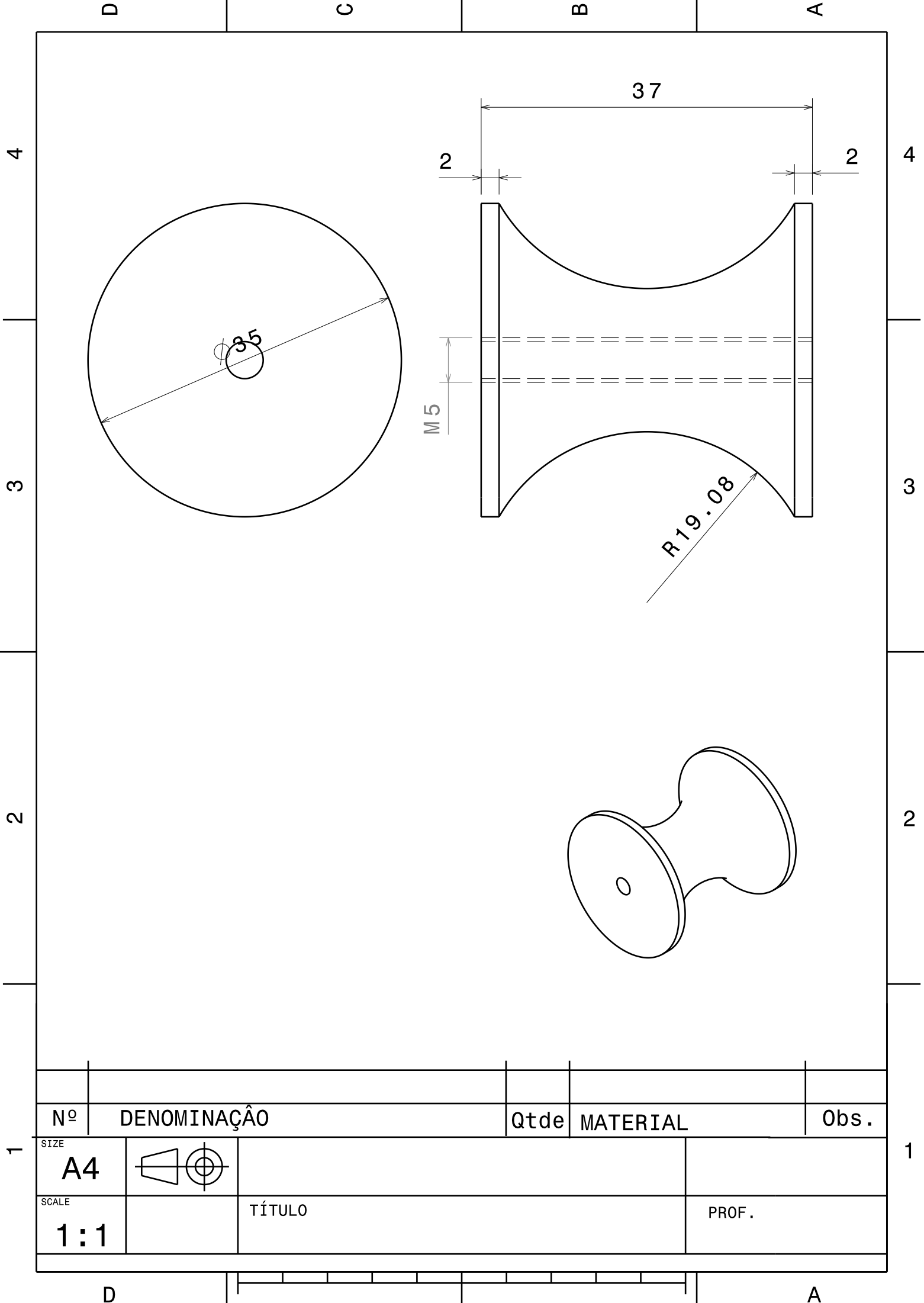
Esquema elétrico da ligação dos drivers com os motores

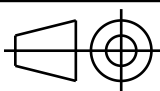


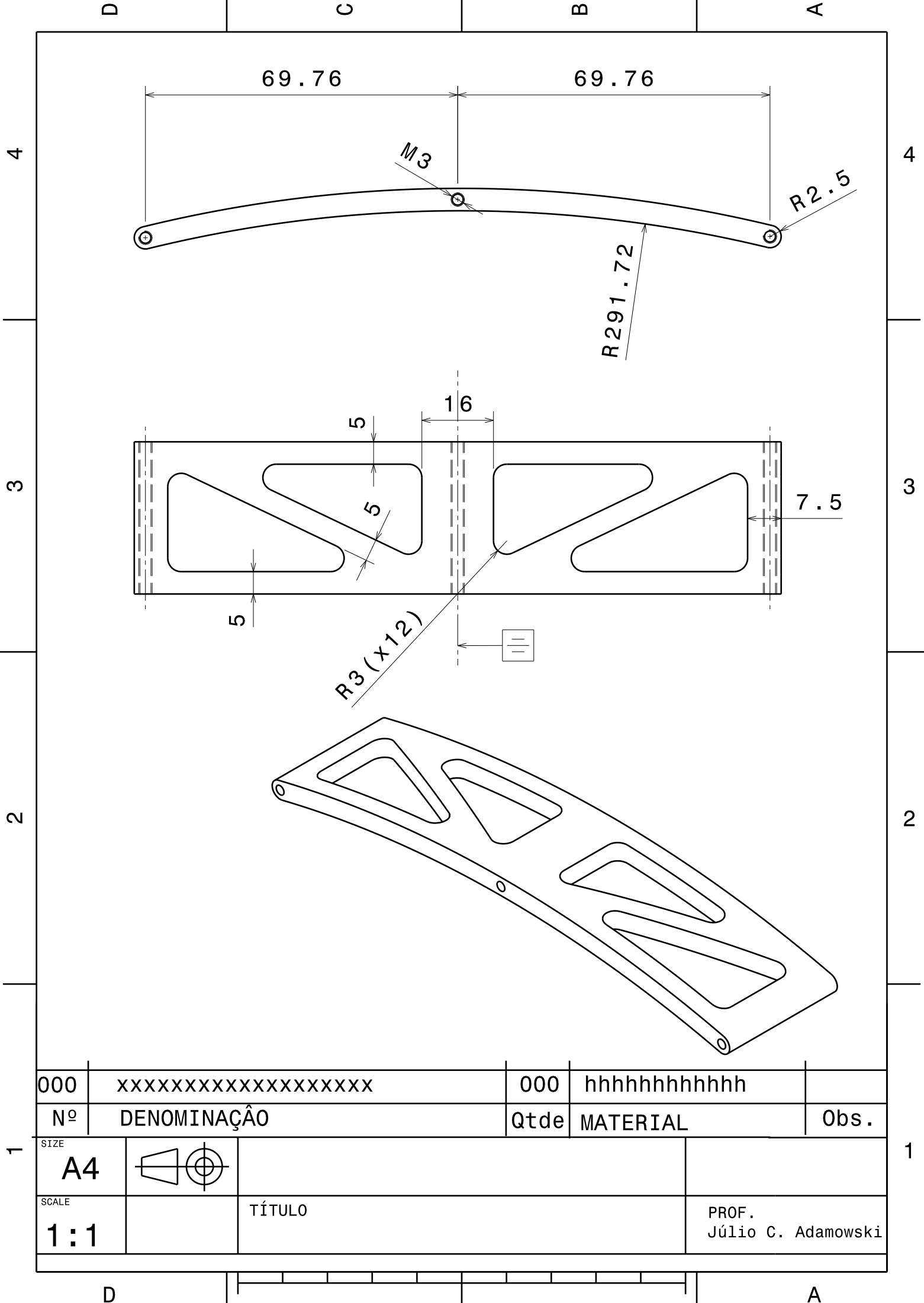
ANEXO I

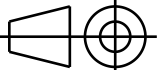
Desenhos de fabricação

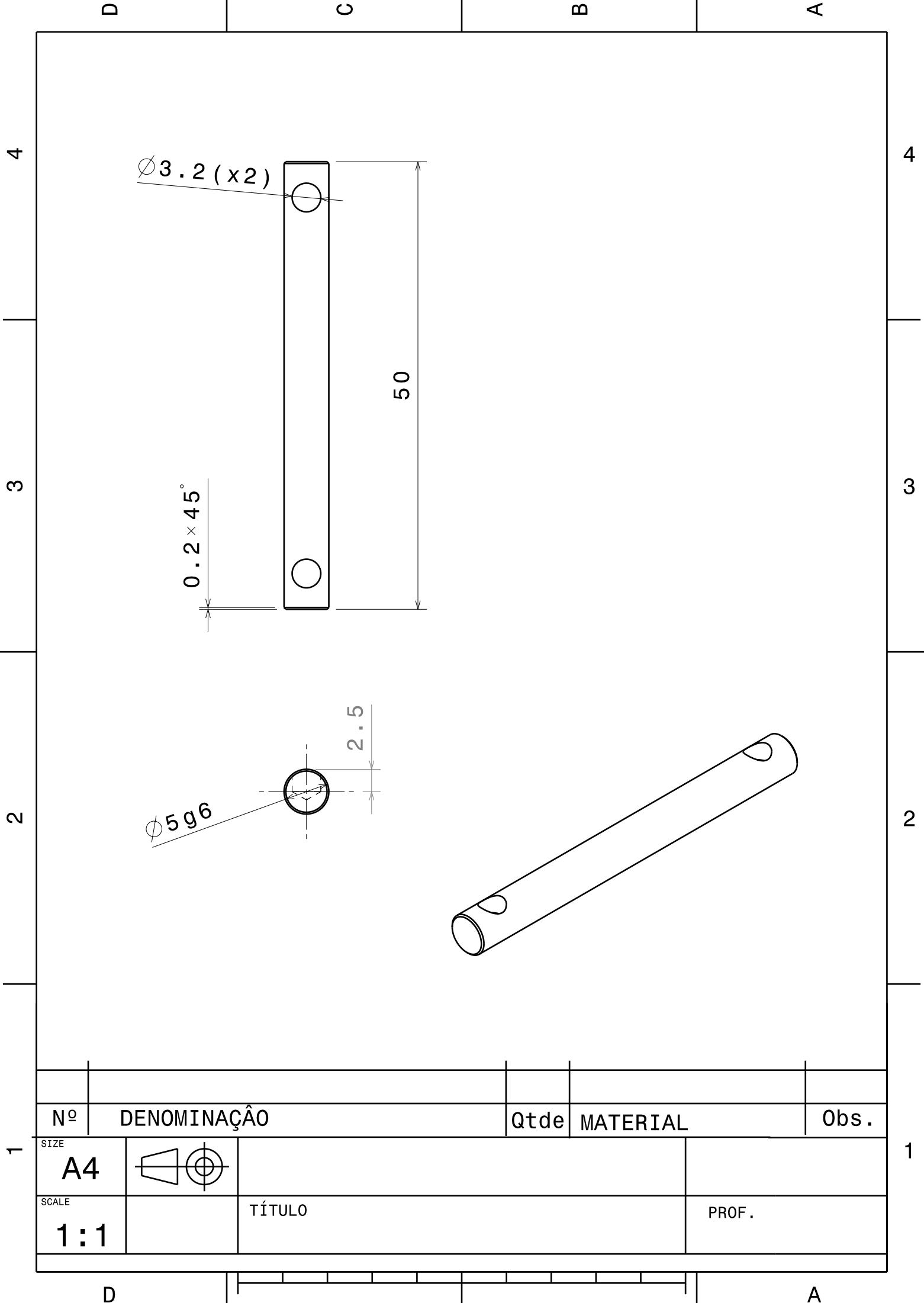


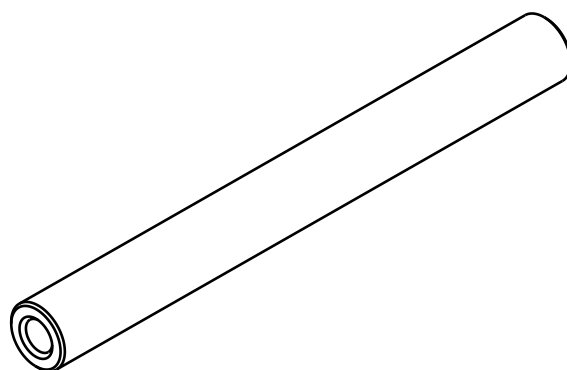


Nº	DENOMINAÇÃO	Qtde	MATERIAL	Obs.
SIZE A4				
SCALE 1:1		TÍTULO	PROF.	

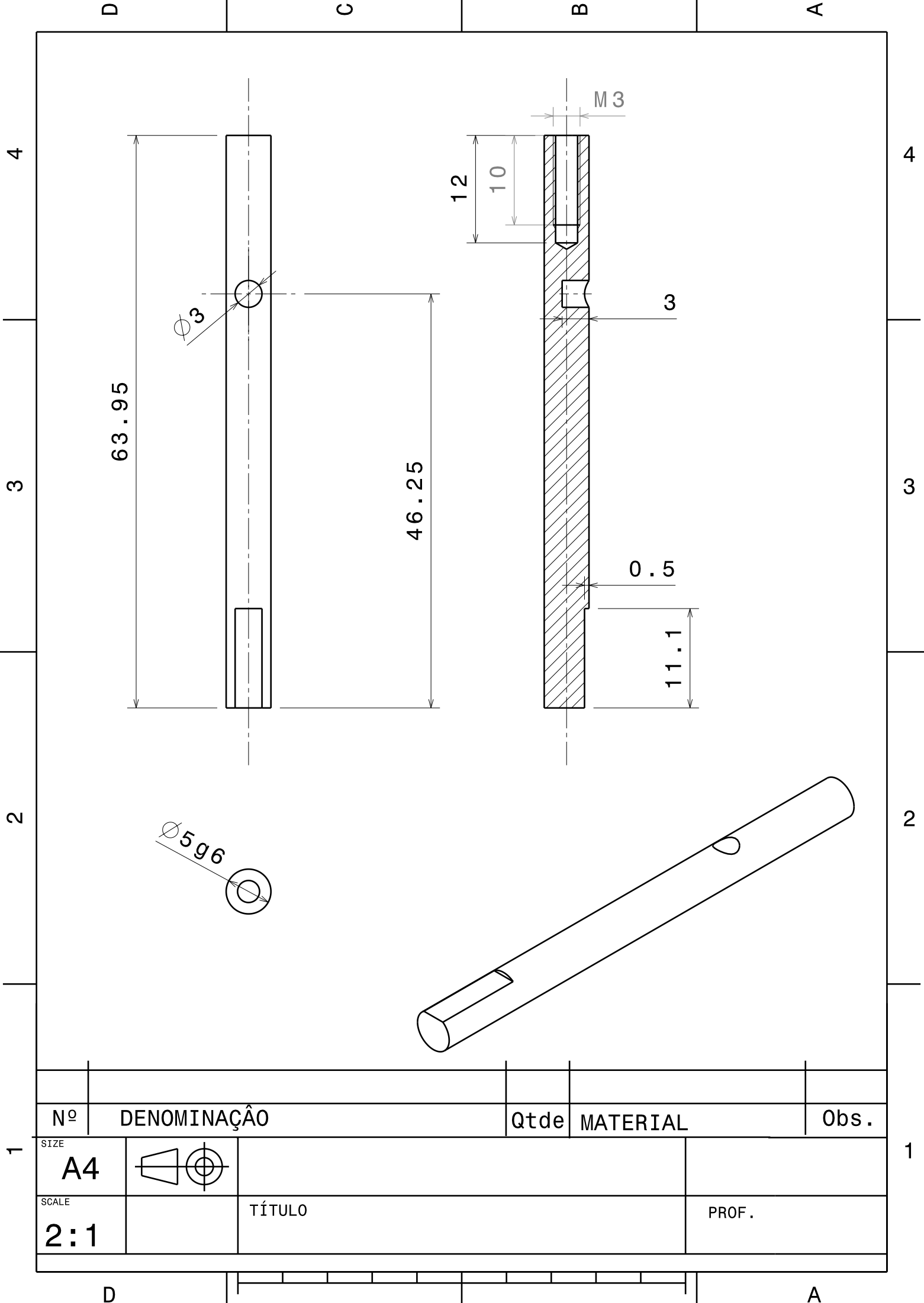


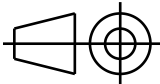
000	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	000	hhhhhhhhhhhhh	
Nº	DENOMINAÇÃO	Qtde	MATERIAL	Obs.
SIZE	A4 			
SCALE		TÍTULO	PROF. Júlio C. Adamowski	
1 : 1				

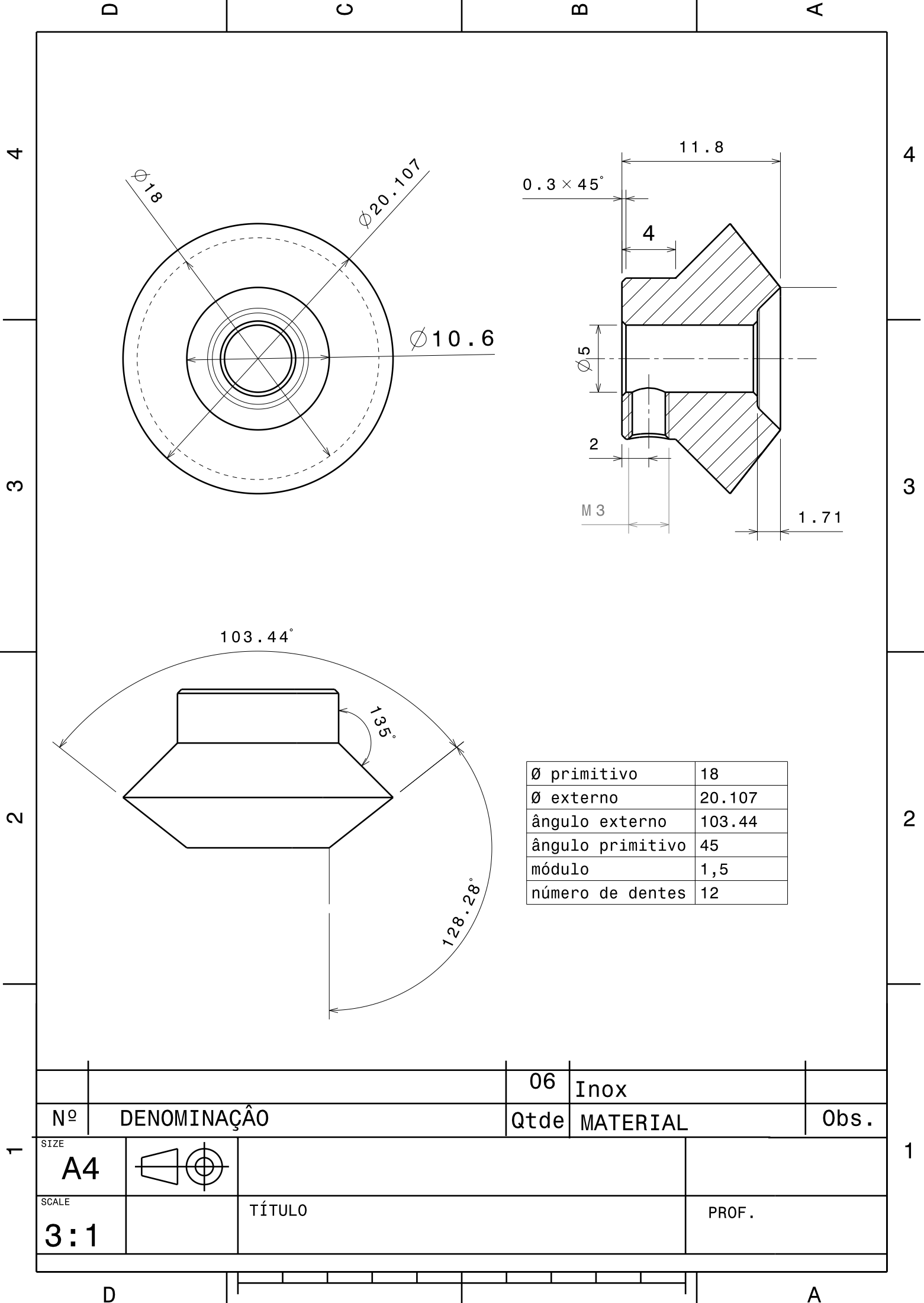




		02	Inox	
Nº	DENOMINAÇÃO	Qtde	MATERIAL	Obs.
SIZE A4				
SCALE 2:1		TÍTULO	PROF.	

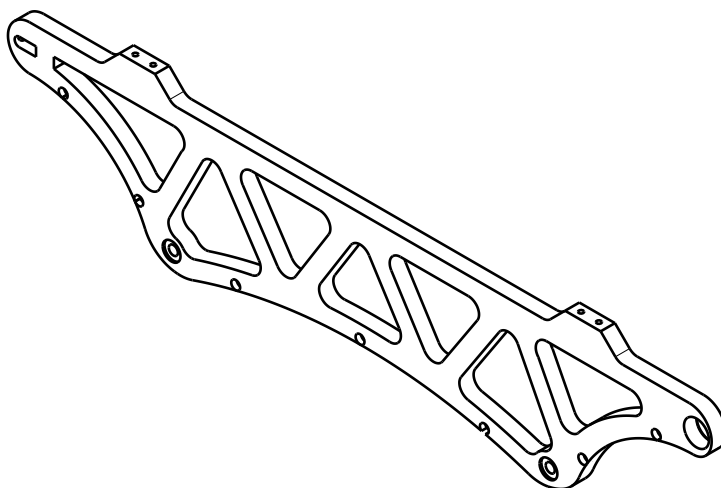


Nº		DENOMINAÇÃO		Qtde	MATERIAL	Obs.
SIZE	A4					
SCALE	2:1		TÍTULO			PROF.

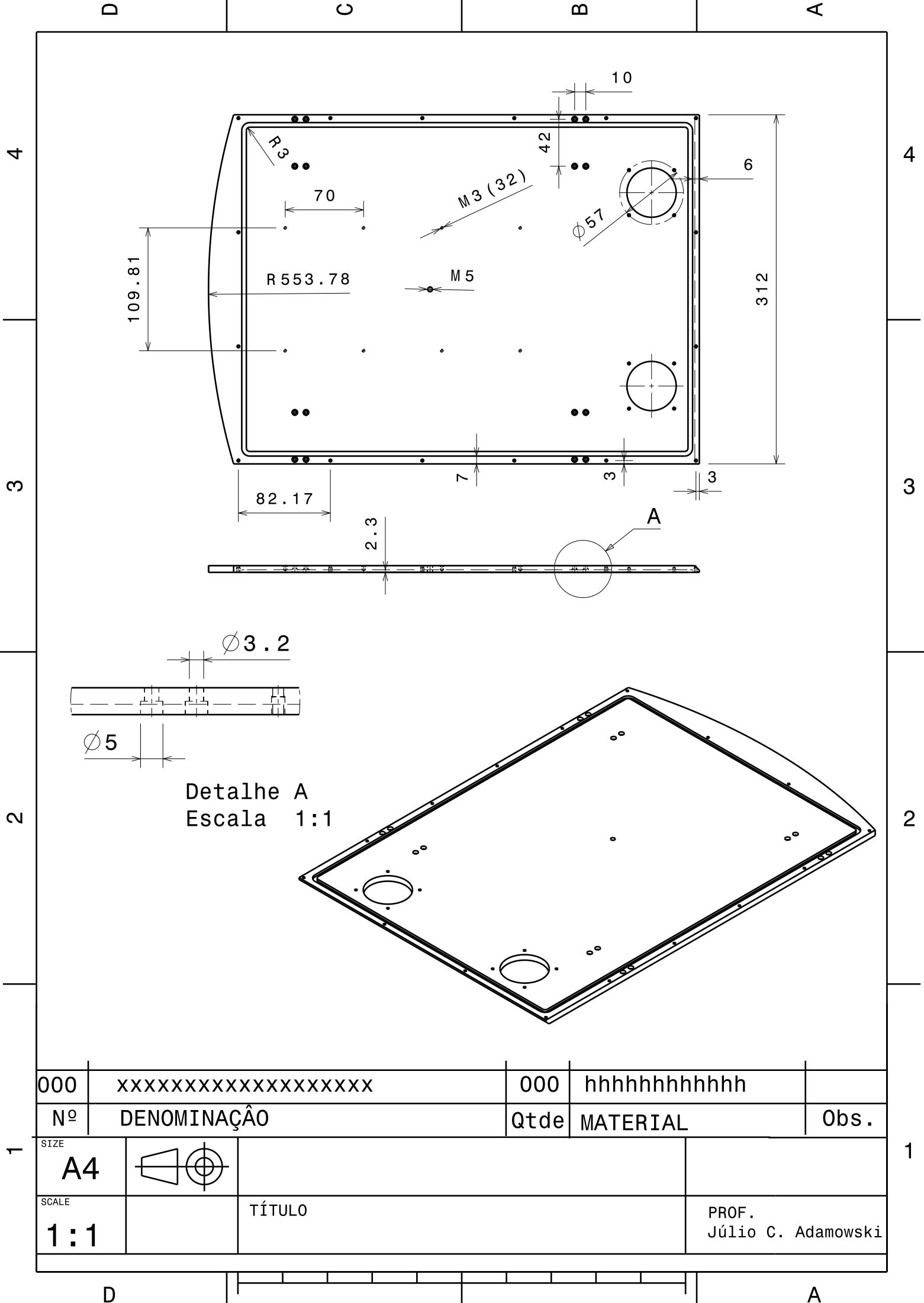


Ø primitivo	18
Ø externo	20.107
ângulo externo	103.44
ângulo primitivo	45
módulo	1,5
número de dentes	12

		06	Inox	
Nº	DENOMINAÇÃO	Qtde	MATERIAL	Obs.
SIZE	A4			
SCALE	3:1	TÍTULO	PROF.	

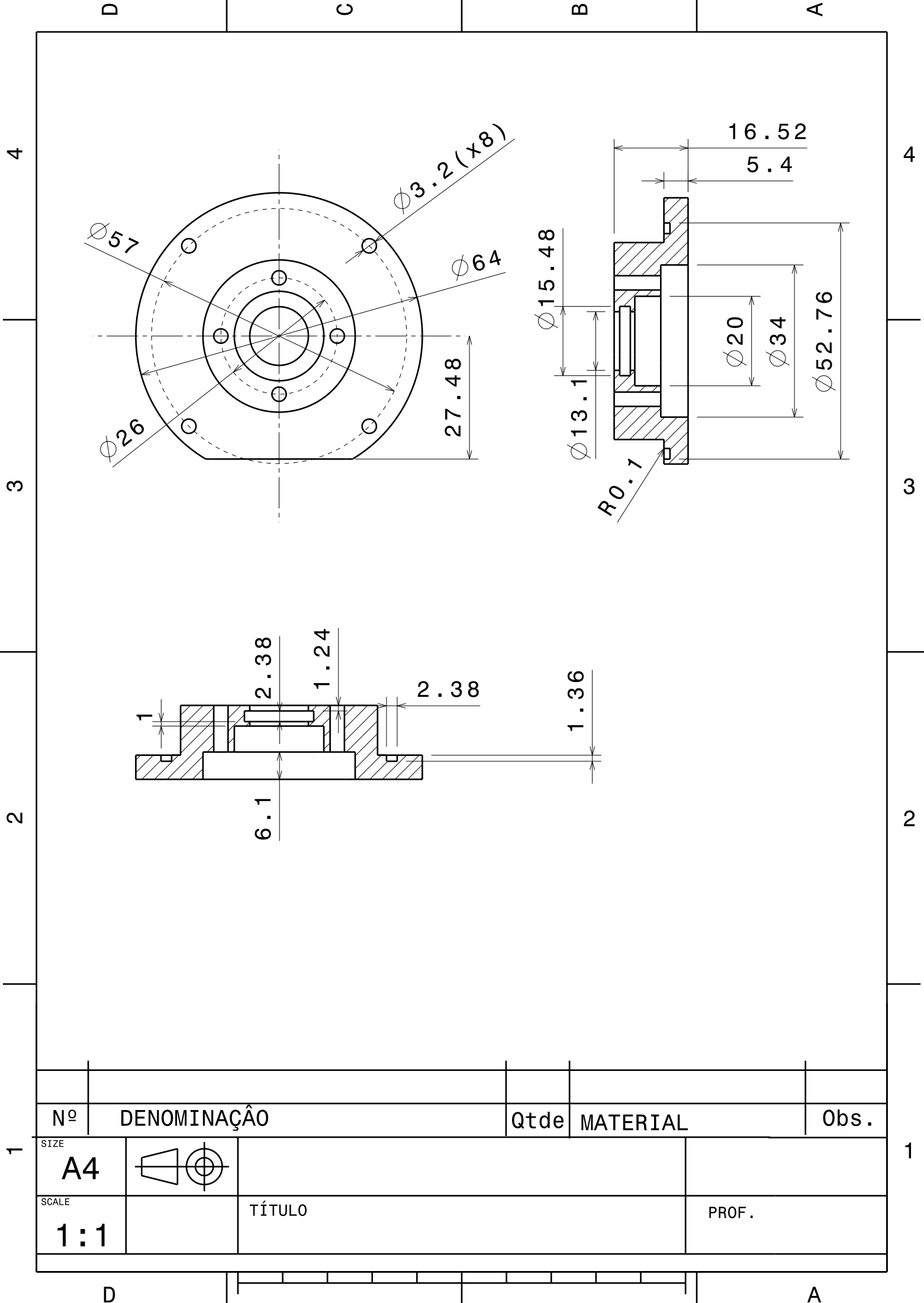


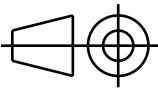
1

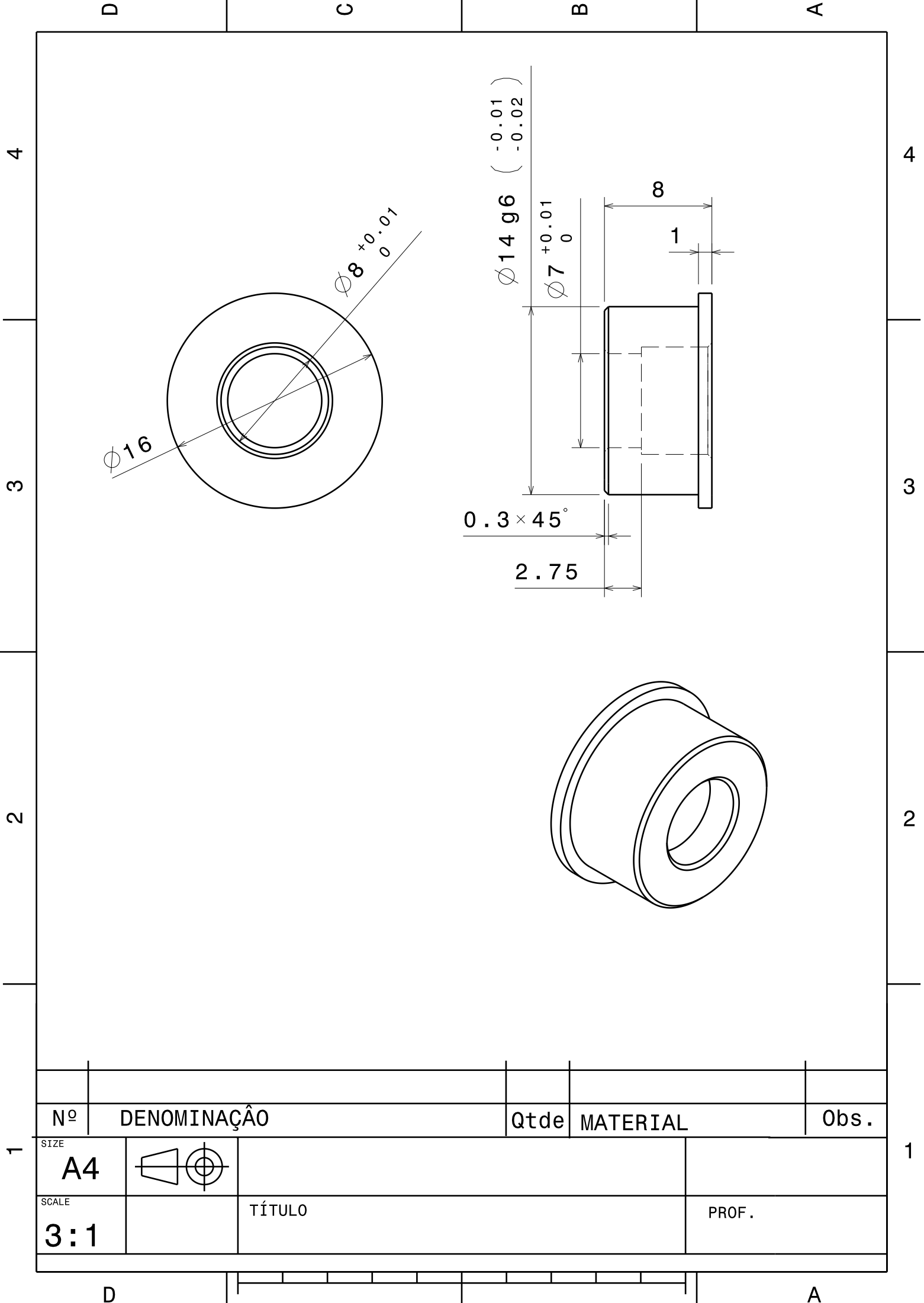


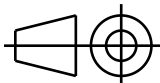
Detalhe A
Escala 1:1

000	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	000	hhhhhhhhhhhhh	
Nº	DENOMINAÇÃO	Qtde	MATERIAL	Obs.
SIZE	A4			
SCALE	1:1	TÍTULO	PROF. Júlio C. Adamowski	



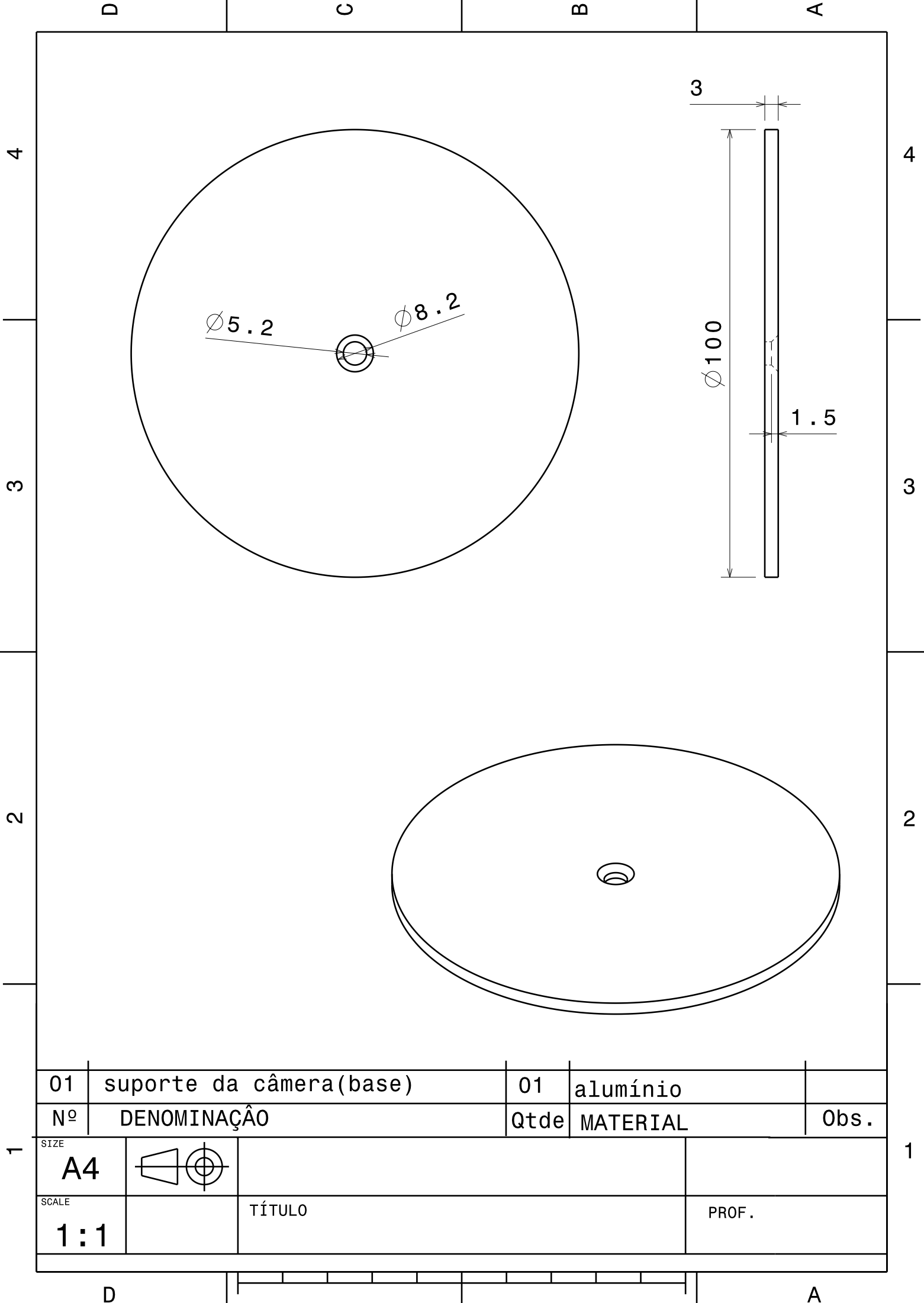
Nº	DENOMINAÇÃO		Qtde	MATERIAL	Obs.
SIZE	A4				
SCALE	1 : 1		TÍTULO		PROF.



Nº	DENOMINAÇÃO		Qtde	MATERIAL	Obs.
SIZE	A4				
SCALE	3:1		TÍTULO		PROF.

D

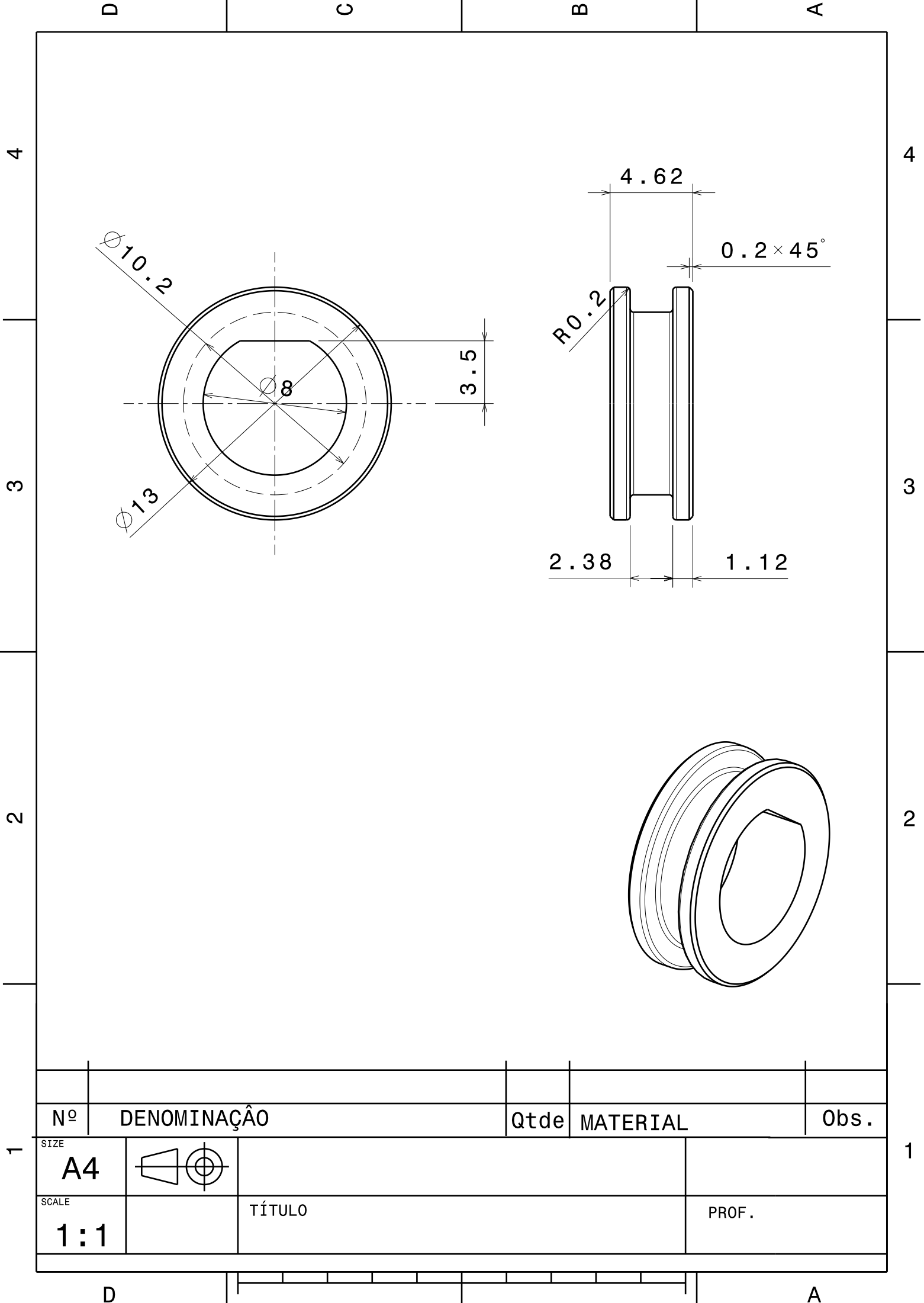
A



01	suporte da câmera(base)	01	alumínio	
Nº	DENOMINAÇÃO	Qtde	MATERIAL	Obs.
SIZE				
SCALE		TÍTULO	PROF.	
1:1				

D

A



Nº	DENOMINAÇÃO		Qtde	MATERIAL
Obs.				
SIZE	A4			
SCALE	1:1	TÍTULO		PROF.

ANEXO J

Datasheet da Câmera



DCS-5300G **802.11g Wireless Pan, Tilt & Zoom** **Internet Camera**



Remotely watch and listen with the D-Link SECURICAM Network DCS-5300G Internet Camera. The DCS-5300G is a fully-featured surveillance system that connects to an Ethernet or wireless broadband network to provide remote high-quality video and audio. Using the latest 802.11g wireless technology, the DCS-5300G communicates at a maximum wireless signal of up to 54Mbps².

You can access and control the DCS-5300G using Internet Explorer version 6. Watch and listen remotely as the DCS-5300G captures both sound and video of your site. The DCS-5300G uses a CCD sensor that provides sharp and clear video with lifelike color representation.

Features:

- First-to-Market 802.11g Wireless Internet Camera
- Pans and Tilts for More Site Coverage
- 4x Digital Zoom¹ for Close-up Viewing
- Built-in Microphone for Audio Monitoring and Recording
- Built-in Motion Detection with E-mail Notification
- A/V Output Enables Connection to TV or VCR for Recording

The DCS-5300G has a pan, tilt, and zoom function that can be controlled from the Web interface or from the included remote control. Pan the camera up to 270 degrees horizontally and tilt it up to 90 degrees vertically. The pan/tilt speed can be adjusted to your preference. 4x digital zoom lets you remotely zoom in on all the action for close-up viewing.

The DCS-5300G adheres to the Universal Plug & Play (UPnP™) specification which allows computers running Windows® XP/Me to automatically recognize the DCS-5300G and add it to your network. The DCS-5300G can be accessed and viewed from "My Network Places" as a device on the network.

By signing up with one of the many free Dynamic DNS services available on the Web, you can assign an easy-to-remember name and domain to the camera (e.g. www.mycamera.myddns.com). This allows you to remotely access your camera without having to remember the IP address, even if it has been changed by your Internet Service Provider.

Everything needed to get started is included with the DCS-5300G. Simple installation procedures, along with the built-in Web-based interface offer easy integration into your network environment. Powerful surveillance software is included to enhance the monitoring and management of the DCS-5300G. You can record high quality video to your hard drive using MPEG4 compression, playback video, monitor as many as 16 cameras on a single screen, and set up motion detection to trigger automatic recording and e-mail alerts. The DCS-5300G is a cost-effective and versatile security solution for your home or business.

¹ 4x digital zoom enlarges an image by magnifying the pixels in a selected portion of the image by 4 times.

² Maximum wireless signal rate based on IEEE Standard 802.11g specifications. Actual data throughput will vary. Network conditions and environmental factors lower actual data throughput rate.

DCS-5300G

802.11g Wireless Pan, Tilt & Zoom

Internet Camera

Technical Specifications

Camera Specification

- 1/4 inch color CCD sensor
- AGC/AWB
- Electronic shutter: 1/60~1/15000 sec.
- Fixed focus glass lens, F2.0, 1 LUX

Ports

- 10/100Mbps Fast Ethernet
- Audio/Video output
- External microphone input
- External I/O

Connectivity

- Wireless 802.11g
- 10/100Mbps Fast Ethernet

Video Algorithm Supported

H.263+ (MPEG4 Short Header Mode)

Features

- Built-in Motion Detection
- MPEG4 short header mode compression for streaming video
- JPEG compression for still images Audio
- 24Kbps
- Built-in omni-directional microphone

Video Resolution

- Up to 30fps at 160x120
- Up to 30fps at 320x240
- Up to 10fps at 640x480

Pan, Tilt, and Zoom Control

- Auto pan and auto patrol mode with preconfigured stops
- Pan: Range 270°
- Tilt: Range 90°
- 4x Digital Zoom1

Networking Protocols

TCP/IP, HTTP, SMTP, FTP, Telnet, NTP, DNS and DHCP

Remote Management

Configuration and system log can be accessed via Web browser and FTP application remotely

Network Application

- DDNS support with several popular DDNS servers
- UPnP support
- SMTP client
- FTP client
- FTP server
- HTTP server

General I/O

- 1 Opto-isolated sensor input (max. 12VDC 50mA)
- 1 relay output (max. 24VDC 1A, 125VAC 0.5A)

Security

- 128-bit WEP encryption
- Administrator and user group protected
- Password authentication

Viewing System Requirement

Protocol

ActiveX

Operating System

Microsoft Windows® XP, 2000, Me

Browser

Internet Explorer v6

LEDs

- Power
- POST, connection, and heartbeat

Power Input

- External Power Supply
- 12VDC 1.5A

Dimension

4.0" L x 4.1" W x 4.4" H

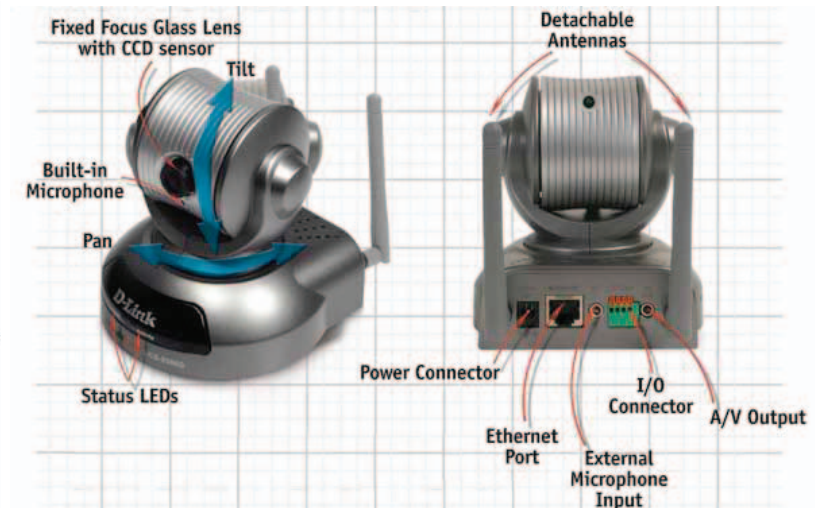
Weight

12.2 oz. (0.75lb)

Warranty

1 Year

¹ 4x digital zoom enlarges an image by magnifying the pixels in a selected portion of the image by 4 times.



ANEXO L

Software embarcado no microcontrolador

Jack Rabbit.C

```
#class auto

#define BINBUFSIZE 1023
#define BOUTBUFSIZE 1023

#define DIREITA 0
#define ESQUERDA 1

#define SENT_FRENTE 0
#define SENT_TRAS 1

#define RANGE_CORRNT_MOTOR 3
#define MAX_CORRNT_MOTOR 4
#define RANGE_TEMP_BATERIA 2
#define MAX_TEMP_BATERIA 5
#define RANGE_VOLT_BATERIA 3
#define MAX_VOLT_BATERIA 5
#define RANGE_VOLT_INCMTRO 2
#define MAX_VOLT_INCMTRO 5

static char cmd_string[100];

void bateria_sts (char * buffer)
{
    auto float aIn0, aIn1;
    auto float voltage, temp;

    aIn0 = anaInVolts(0, RANGE_TEMP_BATERIA);
    temp = (100*aIn0 - 273.15)*10;
    if (temp > 99)
    {
        temp = 99;
    }
    aIn1 = anaIn(1, SINGLE, RANGE_VOLT_BATERIA);
    voltage = 0.24306*aIn1 - 6.42361;
    sprintf(buffer, "A%3d%3d", (int) temp, (int) voltage);
}

/**void inclinometro_sts(char * buffer)
{
    auto char sinal_pitch, sinal_roll;
    auto float v_Pitch, v_Roll, v_Commom, v_Compass;
    auto float pitch, roll, compass;

    v_Pitch = (anaIn(4, SINGLE, RANGE_VOLT_INCMTRO)*MAX_VOLT_INCMTRO)/2047
    v_Roll = (anaIn(3, SINGLE, RANGE_VOLT_INCMTRO)*MAX_VOLT_INCMTRO)/2047
    v_Commom = (anaIn(2, SINGLE, RANGE_VOLT_INCMTRO)*MAX_VOLT_INCMTRO)/2047
    v_Compass = (anaIn(5, SINGLE, RANGE_VOLT_INCMTRO)*MAX_VOLT_INCMTRO)/(204

    pitch = (int)(v_Pitch - v_Commom)*(512/v_Commom);
    if (pitch < 0)
        sinal_pitch = '-';
    else
        sinal_pitch = '+';
    pitch = abs(pitch);
    roll = (int)(v_Roll - v_Commom)*(512/v_Commom);
    if (roll < 0)
        sinal_roll = '-';
    else
        sinal_roll = '+';
    roll = abs(roll);
    compass = (int)(v_Compass*10);

    sprintf(buffer, "E%s%3d%s%3d%3d", sinal_pitch, pitch, sinal_roll, roll, c
}**/
```

Jack Rabbit.C

```
void motor_sts(char * buffer)
{
    auto float iLeft, iRight;

    iLeft = (anaIn(6, SINGLE, RANGE_CORRNT_MOTOR)*100*MAX_CORRNT_MOTOR)/204
    iRight = (anaIn(7, SINGLE, RANGE_CORRNT_MOTOR)*100*MAX_CORRNT_MOTOR)/204
    sprintf(buffer, "U%03d%03d", (int) iLeft, (int) iRight);
}

void main()
{
    auto int i, sentido_E, sentido_D, velocidade_E, velocidade_D, count1, co
    auto char buffer[64], pega_vel_E[4], pega_vel_D[4];

    static CoData move_motor_E;
    static CoData move_motor_D;

    brdInit();
    powerMode(1);
    serBopen(9600);
    serBwrFlush();
    serBrdFlush();
    serMode(1);

    velocidade_D = 0;
    velocidade_E = 0;

    for (i=0; i<=7; i++)
    {
        digOut(i, 0);
    }
    digOut(8, 1);
    digOut(9, 1);

    while (1)
    {
        costate principal always_on
        {
            wfd
            {
                cof_serBgets(cmd_string, 20, 100);
            }

            switch(cmd_string[0])
            {
                case 'C':
                    switch(cmd_string[1])
                    {
                        case '0':
                            digOut(7, 1);
                            serBputc('R');
                            break;
                        case '1':
                            digOut(7, 0);
                            serBputc('R');
                            break;
                        case '2':
                            digOut(6, 1);
                            serBputc('R');
                            break;
                        case '3':
                            digOut(6, 0);
                            serBputc('R');
                            break;
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```

Jack Rabbit.C

```
        default:
            serBrdFlush();
            break;
    }
    break;

case 'I':
    switch(cmd_string[1])
    {
        case 'S':
            switch(cmd_string[2])
            {
                case 'B':
                    bateria_sts(buffer);
                    serBputs(buffer);
                    break;
                case 'N':
                    serBputs(buffer);
                    break;
                case 'T':
                    motor_sts(buffer);
                    serBputs(buffer);
                    break;
                default:
                    serBrdFlush();
                    break;
            }
            break;
        case 'M':
            switch(cmd_string[2])
            {
                case '+':
                    sentido_E = SENT_FRENTE;
                    break;
                case '-':
                    sentido_E = SENT_TRAS;
                    break;
                default:
                    serBrdFlush();
                    break;
            }

            switch (cmd_string[6])
            {
                case '+':
                    sentido_D = SENT_FRENTE;
                    break;
                case '-':
                    sentido_D = SENT_TRAS;
                    break;
                default:
                    serBrdFlush();
                    break;
            }

            for (i=0; i<3; i++)
            {
                pega_vel_E[i] = cmd_string[i+3];
                pega_vel_D[i] = cmd_string[i+7];
            }

            velocidade_E = atoi(pega_vel_E);
            velocidade_D = atoi(pega_vel_D);
            serBputc('0');
```

Jack Rabbit.C

```
        break;

        default:
            serBrdFlush();
            break;
        break;
    }

    default:
        serBrdFlush();
        break;
    }
}

costate move_motor_E always_on
{
    if (velocidade_E == 0)
        abort;
    digitalWrite(0, sentido_E);
    digitalWrite(1, 1);
    wfd{DelayMs(velocidade_E)};
    digitalWrite(1, 0);
    wfd{DelayMs(velocidade_E)};
}

costate move_motor_D always_on
{
    if (velocidade_D == 0)
        abort;
    digitalWrite(2, sentido_D);
    digitalWrite(3, 1);
    wfd{DelayMs(velocidade_D)};
    digitalWrite(3, 0);
    wfd{DelayMs(velocidade_D)};
}
}
serBcloses();
}
```

ANEXO M

Software rodando no computador

Program.cs

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Windows.Forms;

namespace TF
{
    static class Program
    {
        /// <summary>
        /// The main entry point for the application.
        /// </summary>
        [STAThread]
        static void Main()
        {
            Application.EnableVisualStyles();
            Application.SetCompatibleTextRenderingDefault(false);

            Application.Run(new Form1());

            Form1.T_Control.Abort();
            Form1.T_Update.Abort();
        }
    }
}
```

Form1.cs

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;

using System.Threading;
using Microsoft.DirectX;
using Microsoft.DirectX.DirectInput;
using System.IO.Ports;

namespace TF
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        /*****THREADS*****/
        static public Thread T_Update = null;
        static public Thread T_Control = null;

        /*****DEVICES*****/
        static public Device Joystick_Device = null;
    }
}
```

```

SerialPort Serial_Port = new SerialPort();
Effect ef;
EffectObject eo;
int[] direction = new int[2];

static public String Pitch, Roll;
static public int Heading, Temperatura_Bateria, Tensao_Bateria,
Carga_Bateria;
static public double Corrente_Motor_Esquerdo,
Corrente_Motor_Direito;

static int Velocidade_Motor_Esquerdo, Velocidade_Motor_Direito;

static char[] receive_buffer = new char[100];
static String transmit_buffer = new String('0',15);
static String Str = new String('0',16);

bool camera_ligada = true;
byte[] buttons = new byte[8];

int[] axis = null;

public Form1()
{
    InitializeComponent();
}

private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
    Initialize_Joystick();

    Serial_Port.PortName = "COM7";
    Serial_Port.BaudRate = 9600;
    Serial_Port.DataBits = 8;
    Serial_Port.Parity = Parity.None;
    Serial_Port.StopBits = StopBits.One;
    Serial_Port.Open();

    Serial_Port.DiscardInBuffer();

    ThreadStart Control_Start = new ThreadStart(Thread_Control);
    T_Control = new Thread(Control_Start);
    T_Control.Start();

    ThreadStart Update_Start = new ThreadStart(Thread_Update);
    T_Update = new Thread(Update_Start);
    T_Update.Start();
}

private void Thread_Control()
{
    State state;
    state = State.Controle_dos_Motores;

    int rotation;

```

```

while (true)
{
    Serial_Port.DiscardInBuffer();

    switch (state)
    {
        case State.Controle_dos_Motores:

            rotation =
(int)((Joystick_Device.CurrentJoystickState.Rz - 32767) / 327.67);

            if (rotation == 0)
            {
                if ((Joystick_Device.CurrentJoystickState.Y >
30) || (Joystick_Device.CurrentJoystickState.Y < -30))
                {
                    if
((Joystick_Device.CurrentJoystickState.X > 30) ||
(Joystick_Device.CurrentJoystickState.X < -30))
                    {
                        Velocidade_Motor_Esquerdo = -100 /
Joystick_Device.CurrentJoystickState.Y
                                                    +100 /
Joystick_Device.CurrentJoystickState.X;
                        Velocidade_Motor_Direito = -100 /
Joystick_Device.CurrentJoystickState.Y
                                                    -100 /
Joystick_Device.CurrentJoystickState.X;
                    }
                    else
                    {
                        Velocidade_Motor_Esquerdo = -100 /
Joystick_Device.CurrentJoystickState.Y;
                        Velocidade_Motor_Direito = -100 /
Joystick_Device.CurrentJoystickState.Y;
                    }
                }
            }
            else
            {
                Velocidade_Motor_Esquerdo = 0;
                Velocidade_Motor_Direito = 0;
            }
        }
        else
        {
            Velocidade_Motor_Esquerdo = +100 / rotation;
            Velocidade_Motor_Direito = -100 / rotation;
        }

        transmit_buffer = String.Concat("IM",
Velocidade_Motor_Esquerdo.ToString("+000;-000"),
Velocidade_Motor_Direito.ToString("+000;-000"), "\r\n");

        Serial_Port.Write(transmit_buffer);

        while (Serial_Port.BytesToRead < 1) ;
    }
}

```

```

        //Str = '0'
        Serial_Port.Read(receive_buffer, 0, 1);

        state = State.Controle_da_Camera;
        break;

    case State.Controle_da_Camera:

        buttons =
Joystick_Device.CurrentJoystickState.GetButtons();

        if (buttons[1] == 128)
        {
            if (camera_ligada)
            {
                //Desliga a Câmera
                Serial_Port.Write("C0");

                while (Serial_Port.BytesToRead < 1) ;

                //Str = 'R'
                Serial_Port.Read(receive_buffer, 0, 1);

                camera_ligada = false;
            }
            else
            {
                //Liga a Câmera
                Serial_Port.Write("C1");

                while (Serial_Port.BytesToRead < 1) ;

                //Str = 'R'
                Serial_Port.Read(receive_buffer, 0, 1);

                camera_ligada = true;
            }

            System.Threading.Thread.Sleep(500);
        }

        state = State.Status_Bateria;
        break;

    case State.Status_Bateria:

        Serial_Port.Write("ISB");

        while (Serial_Port.BytesToRead < 7) ;

        Serial_Port.Read(receive_buffer, 0, 7);

        Update_Status_Bateria();

        state = State.Status_Motores;

```

```

        break;

    case State.Status_Motores:

        Serial_Port.Write("IST\r\n");

        while (Serial_Port.BytesToRead < 7) ;

        Serial_Port.Read(receive_buffer, 0, 7);

        Update_Status_Motores();

        state = State.Set_ForceFeedback;
        break;

    case State.Set_ForceFeedback:

Joystick_Device.SendForceFeedbackCommand(ForceFeedbackCommand.Reset);

        foreach (EffectInformation ei in
Joystick_Device.GetEffects(EffectType.ConstantForce))
        {
            int[] direction = new int[2];

            direction[0] =
Joystick_Device.CurrentJoystickState.X;
            direction[1] =
Joystick_Device.CurrentJoystickState.Y;

            ef = new Effect();
            ef.Flags = EffectFlags.ObjectOffsets |
EffectFlags.Cartesian;

            ef.Duration = (int)DI.Infinite;
            ef.SamplePeriod = 0;
            ef.Gain = (int)DI.NominalMax;
            ef.TriggerButton =
(int)Microsoft.DirectX.DirectInput.Button.NoTrigger;
            ef.TriggerRepeatInterval = 0;
            ef.UsesEnvelope = false;
            ef.SetDirection(direction);
            ef.ConditionStruct = new Condition[2];
            ef.StartDelay = 0;
            ef.EffectType = EffectType.ConstantForce;
            ef.SetAxes(axis);

            ef.Constant.Magnitude =
(int)(Corrente_Motor_Direito + Corrente_Motor_Esquerdo)*125;

            eo = new EffectObject(ei.EffectGuid, ef,
Joystick_Device);

            eo.SetParameters(ef,
EffectParameterFlags.TypeSpecificParams);

            eo.Unload();

```

```

        eo.Download();

        eo.Start(1, EffectStartFlags.NoDownload);
    }

    state = State.Controle_dos_Motores;

    break;

case State.Status_Inclinometro:

    Serial_Port.Write("ISN");

    Serial_Port.Read(receive_buffer, 0, 12);

    Update_Status_Inclinometro();

    state = State.Controle_dos_Motores;
    break;
    }
}

private void Update_Status_Motores()
{
    //Str = "Uxxxxyy"
    //xxx - corrente motor esquerdo    -> x.xx
    //yyy - corrente motor direito     -> y.yy

    Str = new string(receive_buffer);

    Str.Replace(' ', '0');

    //System.Windows.Forms.MessageBox.Show(Str, "Motores");

    try
    {
        Corrente_Motor_Direito =
Convert.ToDouble(Str.Substring(1, 3));
        Corrente_Motor_Esquerdo =
Convert.ToDouble(Str.Substring(4, 3));

        Motor_Direito.Value = (int)(Corrente_Motor_Direito);
        Motor_Esquerdo.Value = (int)(Corrente_Motor_Esquerdo);
    }
    catch(FormatException e)
    {
    }
}

private void Update_Status_Bateria()
{
    //Str = "Axxxxyy"
    //xxx - temp    -> xx.x
    //yyy - tensão -> yy.y
    Str = new string(receive_buffer);

```

```

Str.Replace(' ', '0');

//System.Windows.Forms.MessageBox.Show(Str,"Bateria");

try
{
    Temperatura_Bateria = Convert.ToInt32(Str.Substring(1,
3));
    Tensao_Bateria      = Convert.ToInt32(Str.Substring(4,
3));
}
catch (FormatException e)
{
}

if (Tensao_Bateria > 255)
{
    Carga_Bateria = 100;
}
else
{
    if (Tensao_Bateria > 230)
    {
        Carga_Bateria = 80;
    }
    else
    {
        if (Tensao_Bateria > 210)
        {
            Carga_Bateria = 60;
        }
        else
        {
            if (Tensao_Bateria > 200)
            {
                Carga_Bateria = 40;
            }
            else
            {
                if (Tensao_Bateria > 180)
                {
                    Carga_Bateria = 20;
                }
                else
                {
                    Carga_Bateria = 0;
                }
            }
        }
    }
}

BateriaTemperatura.Value = (Temperatura_Bateria + 150) / 10;
BateriaTensao.Value = Tensao_Bateria - 180;
BateriaCarga.Value = Carga_Bateria;

```

```

    }

    private void Update_Status_Inclinometro()
    {
        //Str = "E+/-xxx+/-yyyzzz"
        //xxx - pitch    -> +/-xx.x
        //yyy - roll     -> +/-yy.y
        //zzz - heading
        Str = new string(receive_buffer);

        Pitch = Str.Substring(1, 3);
        Roll = Str.Substring(4, 3);
        Heading = Convert.ToInt32(Str.Substring(7, 4));

        Inclinometro_Pitch.Text = Pitch + "°";
        Inclinometro_Roll.Text = Roll + "°";
        Inclinometro_Compass.Angle = Heading;
    }

    private void Thread_Update()
    {
        while (true)
        {
            Thread.Sleep(200);
        }
    }

    private void Initialize_Joystick()
    {
        while (true)
        {
            //Cria dispositivo para Force Feedback
            foreach (DeviceInstance di in
Manager.GetDevices(DeviceClass.GameControl, EnumDevicesFlags.AttachedOnly
|
EnumDevicesFlags.ForceFeedback))
            {
                Joystick_Device = new Device(di.InstanceGuid);
                break;
            }

            //Verifica se o dispositivo foi criado corretamente
            if (Joystick_Device == null)
            {
                MessageBox.Show("Nenhum joystick encontrado. Conecte
um Joystick e pressione OK");

                //result = MessageBox.Show("Nenhum joystick
encontrado:\n" +
                //
                "selecione \"Repetir\" para procurá-lo.\n" +
                //
                "para continuar sem um Joystick.\n" +
                "Conecte um joystick e
                "Selecione \"Ignorar\"

```

```

        //                                     "Selecione \"Anular\" para
sair do programa",                                     "Erro",
        //                                     "Erro",
        MessageBoxButtons.AbortRetryIgnore);

        //if (result ==
System.Windows.Forms.DialogResult.Ignore)
        //    return;
    }
    else
        break;

    //result = MessageBox.Show(message, caption, buttons);

    //if (result == System.Windows.Forms.DialogResult.Yes)
    //{

        //    // Closes the parent form.

        //    this.Close();

        //}
    }

    //Configura o dispositivo encontrado
    Joystick_Device.Properties.AutoCenter = false;

    Joystick_Device.SetDataFormat(DeviceDataFormat.Joystick);

    Joystick_Device.SetCooperativeLevel(this,
CooperativeLevelFlags.Exclusive | CooperativeLevelFlags.Background);

    Joystick_Device.Properties.AxisModeAbsolute = true;

    //Habilita a aquisição de dados
    Joystick_Device.Acquire();

    //Configura os eixos do dispositivo
    foreach (DeviceObjectInstance doi in Joystick_Device.Objects)
    {

        //Configura o alcance dos eixos
        if ((doi.ObjectId & (int)DeviceObjectTypeFlags.Axis) !=
0)
        {

            Joystick_Device.Properties.SetRange(ParameterHow.ById, doi.ObjectId, new
InputRange(-100, 100));
        }

        int[] temp;

        //Adquiri informações sobre os eixos de ForceFeedBack do
dispositivo
        if ((doi.Flags & (int)ObjectInstanceFlags.Actuator) != 0)
        {

```

```

        if (axis != null)
        {
            temp = new int[axis.Length + 1];
            axis.CopyTo(temp, 0);
            axis = temp;
        }
        else
        {
            axis = new int[1];
        }

        //Guarda a posição de cada eixo.
        axis[axis.Length - 1] = doi.Offset;
        if (axis.Length == 2)
        {
            break;
        }
    }
}

```

```
Joystick_Device.SendForceFeedbackCommand(ForceFeedbackCommand.StopAll);
```

```

        foreach (EffectInformation ei in
Joystick_Device.GetEffects(EffectType.ConstantForce))
        {
            int[] direction = new int[2];

            direction[0] = 0;
            direction[1] = 0;

            ef = new Effect();
            ef.Flags = EffectFlags.ObjectOffsets |
EffectFlags.Cartesian;
            ef.Duration = (int)DI.Infinite;
            ef.SamplePeriod = 0;
            ef.Gain = (int)DI.NominalMax;
            ef.TriggerButton =
(int)Microsoft.DirectX.DirectInput.Button.NoTrigger;
            ef.TriggerRepeatInterval = 0;
            ef.UsesEnvelope = false;
            ef.SetDirection(direction);
            ef.ConditionStruct = new Condition[2];
            ef.StartDelay = 0;
            ef.EffectType = EffectType.ConstantForce;
            ef.SetAxes(axis);

            ef.Constant.Magnitude = 0;

            eo = new EffectObject(ei.EffectGuid, ef,
Joystick_Device);

            eo.SetParameters(ef,
EffectParameterFlags.TypeSpecificParams);

            eo.Unload();
        }
    }
}

```

```

        eo.Download();

        eo.Start(1);

    }
}

private void pictureBox1_Click(object sender, EventArgs e)
{
}
}
}

```

Data types

```

using System;
using System.Data;
using System.Text;
using System.Runtime.InteropServices;

enum State
{
    Controle_dos_Motores,
    Controle_da_Camera,
    Status_Bateria,
    Status_Inclinometro,
    Status_Motores
};

```