



TÉCNICO
LISBOA

academia **M**
militar



ROVIM T2D To do (1) To do (2)

Um veículo autónomo de vigilância de instalações militares

Gonçalo Filipe Ribeiro André

Dissertação para a obtenção do grau de mestre em

Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientadores: Prof. To do (3) António Joaquim Serralheiro
Prof. Duarte de Mesquita e Sousa

Júri

Presidente: Prof. Lorem
Orientador: Prof. António Joaquim Serralheiro
Co-Orientador: Prof. Duarte de Mesquita e Sousa
Vogais: Dr. Lorem Ipsum
Prof. Lorem Ipsum

Abril 2016

Agradecimentos

Gostaria de agradecer, à minha família pela oportunidade que me deu de prosseguir os meus estudos, aos meus amigos pelo apoio que me deram e pelos bons momentos que passámos durante a vida académica, à minha namorada por me ter aturado e continuar a fazê-lo, e ao meu orientador por me ensinar a ser um engenheiro melhor.

Abstract

The Objective of this Work ... (English)

Keywords

Keywords (English)

Resumo

O objectivo deste trabalho ... (Português)

Palavras Chave

Palavras-Chave (Português)

Conteúdo

1	Introdução	1
2	Enquadramento	2
2.1	Análise do caderno de encargos	2
2.2	Abordagem	3
2.3	Revisão da literatura	4
2.3.1	Propulsão	4
2.3.2	Acoplamento mecânico e rodas	4
2.3.3	Controlo	4
2.3.4	Motor	5
2.3.5	Armazenamento de energia	6
2.3.6	Direção	8
2.4	Planeamento	8
3	Componentes do sistema	9
3.1	Chassis	9
3.2	baterias	9
3.3	tração	10
3.4	travagem	10
3.5	Circuitos de segurança	10
3.6	direção	11
3.7	Integração dos sistemas	11
3.8	controlo da direção	11
3.9	Programa de controlo	12
4	Utilização do ROVIM	13
4.1	Interface com o utilizador	13
4.1.1	Interface física	13
4.1.1.A	Código de cores do estado do veículo	14
4.1.1.B	Programador do controlador da tração	16
4.1.2	Interface série	16
4.1.2.A	Configuração da ligação	17

4.1.2.B	Sintaxe dos comandos ROVIM T2D	17
	Identificação dos motores	17
4.1.2.C	Especificação dos comandos ROVIM	17
	G10 – Ir para <i>Lockdown</i>	17
	G11 – Sair de <i>Lockdown</i>	19
	Limite de tempo para desbloquear o travão	19
	Tempo de espera após a travagem	19
	G12 – Parar motores	19
	G13 – Controlar os GPIO	20
	G14 – Acelerar	20
	G15 – Desacelerar	20
	G16 – Definir marcha	21
	G17 – Virar	21
	G18 – Controlo de depuração	22
	1=Imprimir nível de verbosidade	22
	2=Definir nível de verbosidade	22
	3=Controlar execução da tarefa de monitorização do sistema	23
	4=Correr a tarefa de monitorização	23
	5=Ligar a depuração da tarefa de geração de <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	23
	6=Controlar o <i>watchdog</i>	23
	7=Bloquear/Desbloquear comandos interditos em <i>lockdown</i>	23
	8=Calibrar a conversão da velocidade	23
	9=Mostrar de novo mensagens de erro	23
	H – Ajuda	24
4.1.3	Interface I ² C	24
4.2	funcionalidades	24
4.2.1	Chave dos fluxogramas	24
4.2.2	Ligar	24
	4.2.2.A Verificações de segurança	24
	4.2.2.B Configuração inicial dos seletores	25
4.2.3	Desligar	25
4.2.4	Travagem de emergência/Ir para <i>lockdown</i>	25
4.2.5	Sair de <i>lockdown</i>	27
4.2.6	Alternar modos de condução	29
	Arranque em modo manual	30
4.2.7	Selecionar marcha	30
4.2.8	Acelerar	31
4.2.9	Desacelerar	31
4.2.10	Virar	31

4.2.11 Colocar em ponto morto	31
4.2.12 Imobilizar	31
4.3 Exemplo típico de utilização	31
4.4 Resolução de problemas	32
4.4.1 Problemas conhecidos	32
5 Conclusão	33
5.1 Trabalhos futuros	33
Bibliografia	35
Apêndice A Apêndice A - código do programa	A-1
Apêndice B Apêndice B - Esquemas elétricos e <i>layout</i> das placas eletrônicas	B-1
Apêndice C Apêndice C - Lista de componentes	C-1
Apêndice D Apêndice D - desenhos técnicos das peças do redutor do motor de tração	D-1

Lista de Figuras

4.1	Chave dos fluxogramas deste capítulo.	25
4.2	Fluxograma do processo de ligar o ROVIM.	26
4.3	Fluxograma do processo de desligar o ROVIM.	27
4.4	Fluxograma do processo de sair do estado de <i>lockdown</i> no Robô de Vigilância de Instalações Militares (ROVIM).	28
4.5	Fluxograma do processo de comutação para modo autónomo de condução do ROVIM.	29
4.6	Fluxograma do processo de comutação para modo manual de condução do ROVIM.	30

Lista de Tabelas

2.1	Requisitos funcionais do ROVIM.	3
2.2	Avaliação das várias topologias de motores elétricos segundo os requisitos do ROVIM.	7
4.1	Elementos físicos de comando acessíveis pelo utilizador.	14
4.2	Indicadores visuais (LEDs) do ROVIM.	15
4.3	Código visual de cores dos LEDs do Micro Controlador (μ C).	16
4.4	Resumo dos comandos úteis para o ROVIM.	18
4.5	Comandos permitidos em <i>lockdown</i>	18

Siglas, Acrónimos e Abreviaturas

To do (4)

PWM *Pulse Width Modulation*, modulação por largura de pulso

ROVIM Robô de Vigilância de Instalações Militares

T2D Tração, Travagem e Direção

SeN Sensores e Navegação

I²C *Inter-Integrated Circuit*

MDF *Medium-Density Fibreboard*, fibra de madeira de média densidade

DC *Direct Current*, corrente contínua

AC *Alternating Current*, corrente alternada

NiMH *Nickel Metal Hydride*, níquel-hidreto metal

VRLA *Valve-Regulated Lead-Acid*, bateria de ácido chumbo selada

Li-Ion *Lithium-ion*, íões de lítio

LED *Light Emitting Diode*, díodo emissor de luz

PID Proporcional Integral Derivativo

μC Micro Controlador

GPIO *General Purpose Input/Output*, pino programável de entrada/saída

USB *Universal Serial Bus*

ASCII *American Standard Code for Information Interchange*

PC *Personal Computer*, computador pessoal

TE *Terminal Emulator*, emulador de terminal

1

Introdução

Resumo da dissertação para quem não a leu.

- introduzir o projeto: retirar do enquadramento da tese;
- porquê é que se está a fazer este projeto.
- Descrever a plataforma ROVIM
- descrever o T2D
- descrever com os outros módulos interação com o T2D. Qual o papel do T2D na plataforma completa.
- Apresentar claramente o objetivo deste projeto;
- descrever sucintamente o que foi feito: abordar o problema, planejar e construir, e observar os resultados;
- resumir os capítulos.
- sem imagens ou tabelas.

2

Enquadramento

2.1 Análise do caderno de encargos

O objectivo deste projeto é a construção de um protótipo funcional de um veículo autónomo destinado à vigilância de instalações militares. A sua estrutura básica é definida no enquadramento do módulo Tração, Travagem e Direção (T2D) e consiste em motores elétricos de tração, travagem e direção e seus controladores, baterias e sistema de monitorização, embarcados no *chassis* de uma moto-quatro.

Os requisitos funcionais da plataforma para este módulo são apresentados na tabela 2.1. Esta não pretende ser uma lista exaustiva, mas apenas balizar o desenho da plataforma. Estes foram definidos a partir do âmbito do projeto e de uma análise das necessidades e potenciais capacidades de uma plataforma deste género.

Os requisitos funcionais são demasiado vagos para orientarem eficazmente o desenvolvimento do projeto. Mas não faz sentido criar demasiadas condicionantes numa prova de conceito e primeira iteração de um protótipo executado por alunos sem experiência prévia neste tipo de trabalho. Por isso foram definidos princípios de desenho, que pretendem emular requisitos subjacentes à ideia da plataforma. Este princípios permitem orientar o desenvolvimento do protótipo e eliminar a rigidez de uma longa lista de requisitos mensuráveis, muitos dos quais não são conhecidos à partida.

É expectável nesta iteração do protótipo que algumas das soluções inicialmente projetadas se mostrem inviáveis e tenham que ser corrigidas. É também razoável esperar que o protótipo apresentado seja alvo de modificações em iterações futuras. Assim, é essencial que todas as soluções projetadas acomodem facilmente alterações futuras. Por isso, estas devem ser simples, flexíveis e sobredimensionadas. As optimizações devem ser relegadas para iterações futuras.

O protótipo a desenhar deverá ser tão seguro quanto possível, quer ao nível da prevenção de curto-circuitos e choques elétricos, quer ao nível da prevenção de embates. As suas dimensões tornam-no capaz de infligir sérias lesões em caso de acidente.

Parâmetros como a fiabilidade, a autonomia, o custo e a facilidade de utilização são importantes, mas não são prioritários num protótipo inicial. Por isso são considerados como princípios secundários.

Em suma, a concepção da plataforma rege-se primariamente por critérios de segurança, flexibilidade e simplificação tecnológica e secundariamente por fiabilidade, autonomia, custo e facilidade de utilização. Teste ao requisito 1, R7.

Id.	Requisito	Quantificação
R1	Autonomia	> 2 h
R2	Velocidade máxima	> 10 km/h
R3	Velocidade mínima	< 1 km/h
R4	Condução autónoma	Acelera, desacelera e vira por comandos de um computador sem ligações exteriores à plataforma
R5	Condução manual	Acelera, desacelera e vira por ações humanas sem interface computadorizada
R6	Imobilização	Desacelera até se imobilizar
R7	Imobilização	Permite bloquear imediatamente as rodas em caso de emergência
R8	Imobilização	Permite apenas desbloquear as rodas após ação humana deliberada

Tabela 2.1: Requisitos funcionais do [ROVIM](#).

2.2 Abordagem

rever (5) O objectivo deste projeto é a construção de um protótipo funcional de um veículo autónomo destinado à vigilância de instalações militares. Na seção 2.1 foram definidos os seus requisitos funcionais, bem como os princípios a seguir no seu desenho.

O protótipo a construir pode ser visto como três atuadores embarcados num *chassis*, e respetivo *hardware* e *software* de suporte. A projecção de cada um será, exceto quando explicitamente mencionada, aproximada como independente, de modo a simplificar o dimensionamento dos componentes.

Analisando as especificidades dos atuadores, observa-se que o seu dimensionamento se assemelha a dois tipos de problemas distintos: a construção de um veículo elétrico e a construção de um robô.

A literatura existente valida esta distinção. A literatura sobre veículos elétricos é vasta, mas trata maioritariamente sobre veículos com condutor. A propulsão e armazenamento de energia são amplamente discutidos, mas outros sistemas elétricos são ignorados. A direção do veículo é melhor endereçada na literatura de robótica, por se assemelhar a um problema de controlo.

Assim, o projeto é dividido em duas áreas do saber: veículos elétricos, que compreende o *chassis*, sistema de tração e baterias, e robótica, que compreende o desenho do sistema de viragem. O sistema de travagem não é tratado neste capítulo, pois a tecnologia usada já é endereçada para os outros dois sistemas.

2.3 Revisão da literatura

2.3.1 Propulsão

O veículo a motor é hoje em dia um componente fundamental da sociedade, e a base da plataforma Robô de Vigilância de Instalações Militares (ROVIM). Existem dois tipos principais de motores usados na propulsão de veículos: o motor de combustão interna e o motor elétrico.

O motor de combustão interna é uma tecnologia fiável e refinada ao longo de mais de um século. No entanto, é maioritariamente usada em veículos conduzidos por humanos. Adaptar um veículo com motor de combustão interna para condução autónoma exige um conjunto de alterações ao nível do seu funcionamento interno (no caso de motores mais antigos sem controlo eletrónico), da sua gestão e do acoplamento mecânico demasiado complicadas e dispendiosas em relação à adoção de motores elétricos. Estes permitem, através dos controladores eletrónicos disponíveis atualmente, controlar com exatidão a potência produzida e a direção do movimento.

A propulsão puramente elétrica é principalmente adequada para veículos pequenos, de baixa velocidade e curta autonomia [1], pelo que se adequa perfeitamente para o ROVIM. O sistema de propulsão é a parte fundamental de um veículo elétrico [1]. É composto pelo motor e o seu controlador, o acoplamento mecânico e as rodas.

2.3.2 Acoplamento mecânico e rodas

As rodas dos veículos elétricos são idênticas às dos veículos com motor de combustão, à exceção de algumas aplicações demasiado complexas para os objetivos deste projeto.

O acoplador mecânico transmite a potência do motor para as rodas. É dimensionado em conjunto com o motor, tendo em conta as necessidades de locomoção e a disposição dos componentes no veículo. Pode ser apenas uma ligação solidária entre os veios do motor e o eixo das rodas, mas tipicamente consiste num conjunto de engrenagens que desmultiplica a rotação do motor, de modo a aumentar o binário disponível nas rodas. A esta peça dá-se o nome de redutor, quando a razão de desmultiplicação é fixa, e caixa de velocidades, quando é variável. Devido à maior disponibilidade de binário dos motores elétricos, um redutor é suficiente para aplicações típicas, o que simplifica o controlo do sistema.

Há três características técnicas a ter em conta na escolha de redutores para este projeto: as dimensões, o alinhamento dos eixos e a direção da transmissão. As dimensões e o alinhamento dos eixos são importantes no planeamento da disposição dos componentes no veículo. A direção da transmissão consiste na definição do veio de entrada (onde é aplicado o binário) e de saída do redutor. Há topologias de redutores, como o parafuso sem-fim e coroa, que não permitem facilmente reverter a direção da transmissão [2].

O redutor do motor de tração deverá transmitir binário bidirecionalmente, para permitir que o veículo possa movimentar-se em ponto morto.

2.3.3 Controlo

O controlo do sistema de propulsão de um veículo elétrico consiste dum conversor de potência e um controlador eletrónico. O conversor converte e regula a energia fornecida pelas baterias ao motor. O controlador atua sobre o conversor, implementando o algoritmo de controlo.

Existem varias topologias destes componentes, mas a sua escolha depende diretamente do motor a controlar, pelo que se torna secundária em relação à escolha do motor.

2.3.4 Motor

Existem vários tipos de motor elétrico com potencial técnico para uso na locomoção de veículos: o motor *Direct Current* (DC) com escovas, o motor *Alternating Current* (AC) de indução, o motor síncrono de ímanes permanentes, o motor síncrono de escovas, o motor de relutância variável e o motor de Lynch.

O motor de relutância variável consiste num rotor com pólos salientes de material magnético. Os rotor gira consoante o campo magnético produzido no estator, de modo a minimizar a relutância do circuito magnético. Estes são baratos, simples e com boas características de binário e velocidade para uso em veículos elétricos, mas não são conhecidas aplicações comerciais desta tecnologia [3].

O motor de indução é um motor muito simples, robusto e tecnologicamente maduro. Consiste num rotor bobinado, em que a corrente é induzida pelo campo magnético gerado nos enrolamentos do estator. Esta por sua vez gera um campo magnético que tende a seguir o do estator, gerando movimento. É especialmente indicado para aplicações estáticas, mas pode ser adaptado para aplicações de veículos elétricos, com recurso a técnicas avançadas de controlo. O motor síncrono de ímanes permanentes é um motor que gera um campo magnético constante no rotor, com recurso a ímanes permanentes. Este gira sincronamente com o campo do gerado nos enrolamentos do estator. Os motores síncronos de ímanes permanentes são alimentados por corrente AC, com recurso a controladores específicos. Este tipo de motores é muitas vezes equipado com inversores que permitem que sejam alimentados por corrente DC. Nesse caso tomam a designação de motores DC sem escovas. Devido ao uso de ímanes permanentes, estes motores conseguem atingir uma elevada eficiência e adquirir formas não convencionais.

Os ímanes permanentes nos motores síncronos podem ser substituídos por enrolamentos no rotor, alimentados por corrente DC, com recurso a escovas e anéis coletores. Estes motores têm um controlo mais simples e mais adaptável que os motores de ímanes permanentes, mas pior rendimento.

O motor DC com escovas consiste num rotor com vários enrolamentos, alimentados por um sistema de comutação com escovas, e um estator que gera um campo estático. O estator pode ser bobinado, ou de ímanes permanentes. Estes são motores fiáveis, tecnologicamente maduros, baratos e fáceis de controlar. Para além disso é possível controlar o fluxo magnético e o binário independentemente. As suas principais desvantagens são o baixo rendimento e densidade de potência, e as necessidades de manutenção e contra-indicação para uso em ambientes inflamáveis, devido às faíscas e ao desgaste produzidos na comutação das escovas.

Uma configuração particular do motor DC com escovas de ímanes permanentes é o motor de Lynch. Em [4] é apresentada uma descrição da estrutura do motor e da sua performance. Este é um motor de fluxo magnético axial, ao contrário das restantes tecnologias apresentadas (de fluxo radial). O rotor consiste em enrolamentos laminares de cobre, com "dentes" de ferro compactados entre os enrolamentos, que ajudam a conduzir o fluxo. O estator é formado por dois discos de ímanes permanentes que o ladeiam. Este motor apresenta algumas das vantagens dos motores DC de ímanes permanentes, nomeadamente rendimento e densidade de potência elevados, mas é a sua compactidade a principal vantagem em aplicações de pequenos veículos elétricos, pois permite maior flexibilidade no desenho de soluções de propulsão. Além disso, é atualmente usado em aplicações de

pequenos barcos, motas e veículos elétricos de porte semelhante ao da plataforma [ROVIM](#).

Em [1], [3] e [5] são apresentadas comparações semelhantes dos méritos destas topologias de motores (à exceção do motor de Lynch) para soluções comerciais de veículos rodoviários. Nos três casos conclui-se que os motores síncronos de ímanes permanentes e os motores de indução são os mais indicados. Esta comparação é um excelente ponto de partida no processo de escolha do motor de propulsão da plataforma. No entanto, estas aplicações têm diferentes requisitos dos da plataforma [ROVIM](#), pelo que se impõe uma análise crítica destes resultados.

Em [5] é apresentada uma tabela (tabela II) com a avaliação dos diferentes sistemas de tração para veículos elétricos. Os critérios de avaliação (de igual ponderação) usados são: densidade de potência, eficiência, controlabilidade, fiabilidade, maturidade e custo. Tendo em conta os critérios de desenho e os requisitos da plataforma [ROVIM](#), estes critérios foram ponderados da seguinte forma: densidade de potência, controlabilidade, fiabilidade, e maturidade valem o dobro na classificação final, enquanto que a eficiência e o custo valem o seu valor apenas. Para poder comparar o motor de Lynch com as outras topologias, este foi avaliado de forma idêntica (à luz dos requisitos desta aplicação). Foi-lhe atribuída a seguinte classificação (de 0 a 5):

Densidade de potência 5: apresenta dimensões reduzidas (especialmente o comprimento axial) que facilitam a instalação em veículos pequenos e elevada densidade de potência [4];

Eficiência 3,5: cerca de 93 % de eficiência máxima [6] (idêntica à do motor de relutância [5]);

Controlabilidade 5: igual à de um motor [DC](#) com escovas;

Fiabilidade 3: igual à de um motor [DC](#) com escovas;

Maturidade 4,5: patenteado em 1986. Desenvolvido para aplicações semelhantes ao [ROVIM](#);

Custo 3: Custo idêntico ao de um motor síncrono de ímanes permanentes;

O motor Lynch é também usado num dos protótipos do Projeto FST Novabase, o que permite potenciais trocas de experiências e impressões entre as equipas de concepção e acesso mais fácil a peças suplentes. Para além disso, este motor possui uma gama de controladores recomendados pela marca, o que simplifica o seu processo de escolha e aumenta o grau de confiança na solução projetada. Por isso, foram atribuídos a este motor 4 pontos adicionais à classificação final.

A tabela 2.2 apresenta a classificação das topologias apresentadas, revista de acordo com os requisitos deste projeto. Dos resultados expressos na tabela 2.2 se conclui que o motor de indução, de ímanes permanentes e o motor de Lynch são os mais adequados para satisfazer os requisitos desta aplicação, não havendo um vencedor definido. Isto significa que a escolha do motor não recai nos méritos das várias tecnologias, mas em outros aspetos práticos de implementação.

2.3.5 Armazenamento de energia

A fonte de energia dos veículos puramente elétricos é o principal entrave à sua massificação [1]. As principais tecnologias usadas atualmente para acumular energia em veículos puramente elétricos são: super condensadores, baterias elétricas e células de combustível.

Critério	peso	Topologia				
		DC	Indução	Ímanes permanentes	Relutância variável	Lynch
Densidade de potência	x2	2,5	3,5	5	3,5	5
Eficiência	x1	2,5	3,5	5	3,5	3,5
Controlabilidade	x2	5	5	5	3	5
Fiabilidade	x2	3	5	4	5	3
Maturidade	x2	5	5	4	4	4,5
Custo	x1	4	5	3	4	3
Pré-total		37,5	45,5	44	38,5	45,5
Extra		0	0	0	0	4
Total		37,5	45,5	44	38,5	45,5

Tabela 2.2: Avaliação das várias topologias de motores elétricos segundo os requisitos do [ROVIM](#).

A célula de combustível é um dispositivo eletroquímico que usa uma reação química para gerar energia elétrica. Esta reação não é reversível na célula. Esta tecnologia não é ainda considerada comercialmente viável [1].

Os super condensadores são condensadores de capacidade muito elevada. Têm uma densidade de energia (kWh/Kg) extremamente baixa [1], mas uma densidade de potência (kW/kg) bastante elevada. Por isso podem ser usados como fonte auxiliar de energia para picos de potência. Em combinação com baterias tradicionais, permitem aumentar a autonomia e reduzir o desgaste das baterias. No entanto, esta combinação introduz complexidade adicional à gestão da baterias.

As baterias elétricas são atualmente a principal fonte de energia dos veículos puramente elétricos [1]. Estas transformam energia química acumulada em energia elétrica. Nas baterias usadas em veículos elétricos a reação química que produz a energia elétrica é reversível, o que permite recarregá-las e reutilizá-las.

Em [7] são apresentadas as tecnologias de baterias mais comuns para uso em veículos elétricos. Estas dividem-se em três famílias principais: ácido-chumbo, à base de lítio e à base de níquel. Destas três famílias, três tecnologias merecem especial destaque pela sua adequação ao uso em veículos elétricos: *Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA)*, *Nickel Metal Hydride (NiMH)* e *Lithium-ion (Li-Ion)*.

As baterias de iões de lítio possuem a melhor densidade de energia e excelente densidade de potência. São usadas maioritariamente em aplicações de baixa potência, mas estão em constante evolução tecnológica e a sua adopção tem aumentado gradualmente. No entanto são mais instáveis, caras, e são suscetíveis a incendiar-se em caso de sobrecarga.

As baterias de [NiMH](#) são a tecnologia mais usada em veículos elétricos [7]. Possuem elevada densidade de potência e são bastante seguras de operar.

As baterias de [VRLA](#) são baterias de ácido e chumbo, uma tecnologia extremamente robusta e disseminada, mas seladas e com regulação por válvula, que as tornam mais seguras e tolerantes a sobrecarga. Possuem uma boa densidade de potência e são baratas, mas têm fraca densidade de energia, o que as torna pouco adequadas para aplicações de baixo peso e/ou elevada autonomia. No entanto, devido à sua simplicidade e robustez, são válidas para uso em protótipos; em particular para uso nesta fase do projeto [ROVIM](#), que requer baixa velocidade e curta

autonomia.

Aplicações com várias baterias ligadas em série, como é o caso das aplicações em veículos elétricos requererem uma unidade de monitorização e balanceamento de cargas e temperatura. Isto é especialmente verdade para as baterias de [NiMH](#) e [Li-Ion](#). As baterias de [VRLA](#) suportam melhor temperaturas adversas.

2.3.6 Direção

[rever \(7\)](#) [rever \(8\)](#) O sistema de direção do [ROVIM](#) deve permitir controlar o ângulo de viragem do veículo por computador.

A direção de uma moto-quatro é tipicamente um sistema de Ackermann atuado através de um guiador. Esta é uma geometria de viragem coordenada de duas rodas paralelas, que permite mantê-las num movimento de rotação pura (sem derrapagem) durante uma viragem em que estas seguem trajetórias de raios diferentes.

Este sistema pode ser controlado por um controlador Proporcional Integral Derivativo ([PID](#)) simples. O controlador é composto pelos componentes: o atuador (o motor e o acoplador mecânico), o dispositivo de retroalimentação (um sensor de posição) e um controlador que execute o algoritmo de controlo. [To do \(9\)](#) [To do \(10\)](#)

Para projetar um controlador para o sistema, este precisa de ser traduzido por um modelo matemático. Existem duas abordagens para o fazer: deduzir as equações do movimento do sistema, ou estimá-las usando um método de identificação.

[To do \(11\)](#)

2.4 Planeamento

A execução do projeto foi planeada numa sequência natural de planeamento, construção e validação, de modo a minimizar o custo de alterações futuras. Para validar a execução foi definido um objetivo preliminar de instalação dos componentes principais no veículo e um objetivo intermédio: a implementação das funcionalidades de condução manual.

Após instalar os componentes principais (os acumuladores de energia, atuadores e acoplamentos mecânicos) no veículo, as necessidades logísticas e de recursos difíceis de obter num laboratório de eletrónica diminuem.

A funcionalidade de condução manual do veículo é um objetivo mais simples que o objetivo final e permite validar a execução do projeto numa etapa intermédia, e continuar de seguida em direção ao objetivo final sem necessidade de executar modificações relevantes no veículo.

Assim, inicialmente cada subsistema foi projetado e dimensionado com o detalhe que a visão inicial sobre o projeto permitiu. Foi possível compreender as suas características fundamentais, mas pormenores avançados de implementação foram capturados e resolvidos nas fases de construção e validação.

De seguida foram adquiridos e acomodados no *chassis* os componentes principais, de modo a validar o planeamento da sua disposição e atingir o objetivo preliminar.

A terceira fase consistiu na instalação das funcionalidades de tração e travagem e dos sistemas de segurança, de modo a atingir o objetivo intermédio do projeto.

Por fim partiu-se para o objetivo final, que a este ponto consistia no controlo da direção e integração das várias funcionalidades e o seu comando por computador.

3

Componentes do sistema

Descrever o resultado final, subsistema a subsistema (em cada secção é apresentado um subsistema que funciona individualmente, mas não está integrado com os restantes). Referir as opções de design feitas, o dimensionamento feito.

3.1 Chassis

Dizer que a primeira coisa que se fez foi comprar o chassis, e depois escolher e colocar os componentes. Dizer porque se comprou o chassis e o que vinha e não vinha (carretos da corrente, rodas, etc). Descrever brevemente o chasis (travão de tambor, direção ackermann, eixo traseiro com cremalheira já incorporada, coluna de direção, espaço entre a forquilha traseira e parte de cima) Descrever as várias modificações, e o porquê. Dizer que foram usados parafusos onde possível. Entrar aqui com o layout dos componentes principais de forma ligeira.
imagens e tabelas: fotos do chassis despido, modificações de cada subsistema (4 fotos).

3.2 baterias

Descrever as baterias, e a sua disposição na moto. Justificar a sua escolha. Dizer que só foi possível assim por causa do motor. Apresentar um valor esperado para a autonomia (com base nos cálculos do motor de lynch), mas dizer que se incluíram o máximo que se conseguiu no espaço que havia. Dizer que se optou por ir à campeão, sem sistema de gestão das baterias. Referir as limitações no isolamento dos circuitos e no facto de não estarem fixas à moto. Referir os carregadores.
imagens e tabelas: vista expandida das baterias, com os espaçadores..

3.3 tração

Dizer qual o motor que se escolheu, e porquê. Descrever o kit que se comprou. Apresentar cálculos básicos das necessidades de potência, mas dizer que a escolha não se regeu por isso, mas sim pelo kit facilitar a escolha e compra do resto. Dizer que se procuraram redutores, mas achámos ou muito caros, ou com pouca relação de redução, ou unidireccionais, o que não pode ser para aqui pq queremos andar com a moto desengatada.

Dizer que se fez um redutor, e descrevê-lo. Apresentar os esquemas e a errata.

Apresentar o controlador e as suas ligações (modo manual). Apresentar a sua configuração. Dizer que este está ligado a um sistema de segurança integrada, e apontar para a secção.

Apresentar o sensor de velocidade: feito para feedback ao controlador e para o cérebro. Dizer pq se escolheu este tipo. Apresentar as suas limitações para velocidade baixa. Dizer que foi instalado ali por simplicidade, mas que deveria ter sido instalado no veio do motor, ou idealmente escolhida outra topologia. Referir apenas os problemas de leitura e o condicionamento de sinal na secção do hw de controlo, pq só foram feitos por causa do uC (e não por causa do Sigmadrive)

Apresentar os esquemas elétricos: sensor velocidade: ligações controlador sem dispositivos de segurança.

imagens e tabelas: motor + redutor instalados na moto. placa do sensor. Sensor final instalado, montagem do controlador + fusível + contactor.

3.4 travagem

Descrever o que foi feito para atuar o travão: parafuso e pivô no tambor, fdc para controlar a paragem do motor. Dizer o motor escolhido e o controlador. Explicar a filosofia de travão de emergência (tudo ou nada). Apresentar as ligações do motor do travão, com fdc, sem dispositivos de segurança. Referir que o sistema é comandado por um sistema de segurança integrada, que neste caso é também o controlador do motor e apontar para a secção. imagens e tabelas: motor + ligação ao parafuso. Ligação do parafuso ao tambor.

3.5 Circuitos de segurança

Explicar a filosofia de funcionamento dos circuitos: default off, ao estilo watchdog; atuação complementar do travão e dos outros motores; minimizar e tornar robusto hw travão (relés em vez de transistores; motor ligado diretamente à bateria).

Explicar os vários botões de segurança. Referir o controlo por sw. Explicar o monoestável. Referir que este circuito só afeta os motores, pois são o que pode causar originar colisões, e que tem total prioridade de controlo sobre eles, mas que não atua no computador (não o desliga).

Referir os fdc como detetores de erros para a viragem, e como parte do sistema de controlo em cadeia aberta para o travão. Explicar os mecanismos de destravagem. Explicar que é o sistema está preparado para destravar para o sw, mas como o acionamento do travão é considerado um erro grave, que tem que se feito manualmente. No futuro pode ser alterado. Apontar nas imagens do tambor do travão e do potenciometro das secções anteriores os fdc. Apresentar esquema elétrico dos controlos de segurança (sem motores). Apontar para imagem da caixa

da eletrónica e referir a placa dos relés.

imagens e tabelas: disp. homem morto.

3.6 direção

Descrever como se ligou o atuador ao sistema manual de direção. Descrever o motor, redutor (e porque aqui dá jeito um redutor de pinhão e coroa) e engrenagens. Descrever que a correia tem um esticador para poder ser retirado para condução manual (virar com o guiador). Descrever o conversor e a sua ligação à bateria. Descrever o sistema de feedback, e como ele foi instalado na moto. Descrever o controlador e porquê se obteve por ele. Falar por alto que se usou um pic para implementar o algoritmo de controlo e servir de controlador geral do sistema. Indicar a secção onde ele está descrito.

Apontar para a imagem da caixa de eletrónica e referir a placa com o contactor e o fusível.

imagens e tabelas: motor + redutor + correia e engrenagens instalados na moto, potenciometro, fdc e roda dentada instalados na moto, esquema elétrico do sensor e da alimentação do motor.

3.7 Integração dos sistemas

Descrever a possibilidade de condução por manual e por computador. Dizer como isto foi feito: os sinais de controlo para o controlador da tração foram re-roteados por seletores do modo de condução, de forma a se poder injetar sinal do computador. O travão manteve o seu modo de funcionamento, só foi adicionada uma forma de comando adicional por sw. O controlador da direção só está previsto funcionar por sw. Dizer que o sistema de segurança tem prioridade na atuação nos motores, mas que não interfere na atuação normal do controlador.

Apresentar o uc. Referir as suas funções: monitorização do sistema (medição de sinais), interface com o módulo superior, controlo do conversor do travão e dos controladores da tração e travão.

Apresentar os sinais que interagem com o uC, o seu condicionamento. Apresentar os interruptores e leds. Apresentar a condução manual. Referir o que não pode ser controlado por computador: ligar/desligar e recuperar de erros graves (acionar o travão).

Apresentar a condução por computador: comandada por sw (apontar para a secção), e só consegue desacelerar usando a travagem regenerativa. Às velocidades previstas para a moto não se prevêem dificuldades de controlo. O controlador da tração foi configurado para deixar deslizar a moto quando está em neutro, e para manter a posição quando está selecionada uma direção de movimento. imagens e tabelas: caixa da eletrónica; tabela de elementos de interface com o utilizador (inputs e outputs).

3.8 controlo da direção

Dizer que se planeou um pid originalmente. Identificar as características de operação: terreno variado => grande variação do coeficiente de atrito e possível força lateral de perturbação, quando se tenta virar em cima de pedras, que apesar do redutor usado, ainda consegue alterar a posição da direção ou aumentar muito a resistência ao movimento => muitas e fortes perturbações no sistema de controlo. Para além disso, à medida que se chega aos fdc, a força necessária para virar aumenta, o que significa que este é um sistema não-linear. No fim da instalação do atuador foram introduzidos dois problemas adicionais difíceis de resolver: a zona morta na

atuação da direção, e o salto da correia quando esta no chão de azulejo (baixo atrito - melhor cenário). Obtou-se por avançar com essas limitações em vez de as corrigir. Isso implica que a moto só possa virar quando está em movimento.

Explicar o modelo do sistema criado. Referir que se optou por usar o mecanismo de controlo de motores em cadeia fechada do dalf, e dizer como funciona.

Aproximou-se o sistema a um slit, e tentou-se modelar o sistema com recurso à identificação pelo método de ziegler nichols, mas os resultados não foram satisfatórios, pelo que se partiu para a afinação a olho dos parametros do PID, para o caso das rodas no ar.

Apresentar o PID. Referir que este é um controlo de prova de conceito, mas com bastantes limitações. Mais testes de refinação poderiam produzir uma coisa melhor. Referir que se quisesse fazer um PID melhor com o que tenho, arranjava um PID para cada tipo de terreno e arranjava uma opção de seleção pelo utilizador.

imagens e tabelas: diagrama de blocos do pid ideal: zona morta + pid diferente consoante o tipo de terreno + perturbação no sinal de comando devido ao saltar da correia + perturbação na variável controlada devido a irregularidades do terreno (ruído no sensor não é relevante); diagrama com a representação do ângulo da direção (0°, 45° bombordo estibordo).

3.9 Programa de controlo

Apresentar e explicar o diagrama de estados do programa. Explicar o estado de lockdown. Explicar a arquitetura do programa de controlo: escuta e execução de comandos, e daemons de controlo dos motores(direção usei o do dalf, e tração criei eu o pwm) e monitorização do sistema. Explicar a arquitetura do firmware dalf. Explicar como foi construído: o programa foi construído em cima do firmware dalf, de duas maneiras: adições à funcionalidade da plataforma, que não são específicas para o rovim, e software destinado apenas ao rovim, de implementação do programa de controlo, mas que precisava de funcionalidades genéricas que a plataforma não tinha. dizer que a destravagem tem precedência sobre a travagem, e como isso foi torneado. Definir os GPIOs e a sua configuração. imagens e tabelas: diagrama de estados. diagrama de threads.

4

Utilização do ROVIM

Este capítulo descreve a interface e as funcionalidades da T2D. O veículo é aqui apresentado em detalhe do ponto de vista da sua utilização, enquanto que o capítulo ?? se foca na sua concepção. Armado com este conhecimento, o leitor pode agora compreender a explicação das várias funcionalidades acessíveis ao utilizador.

Este capítulo pretende mostrar ao leitor o resultado final do protótipo. No seu final o leitor deve conseguir operar o veículo com confiança e em segurança.

4.1 Interface com o utilizador

A interface com o utilizador é composta por vários elementos, de dois tipos: físicos e de *software*.

Os elementos físicos correspondem aos vários *Light Emitting Diodes* (LEDs), interruptores, botões e outros controlos embarcados no veículo que requerem interação presencial com um utilizador humano. Estes elementos foram já descritos no capítulo ??, mas são aqui agrupados. É possível controlar o veículo recorrendo apenas a este tipo de interface, ainda que com funcionalidades limitadas.

A interface de *software* consiste num conjunto de comandos que permitem, em conjunto com os elementos físicos, interagir e controlar todas as funcionalidades do sistema. A interface de *software* é acessível por dois canais distintos, um dos quais pode também ser utilizado por outros programas de computador.

4.1.1 Interface física

A tabela 4.1 apresenta os interruptores, botões e outros mecanismos físicos de controlo do ROVIM acessíveis pelo utilizador.

To do (12) A tabela 4.2 apresenta os indicadores visuais presentes no ROVIM.

Id.	Fig.	Elemento	Tipo	Função	Estados
HwIn1		Chave	Interruptor de chave	Corte geral do sistema	Ligar Desligado
HwIn2		Tração	Seletor de 2 posições	Liga/desliga o controlador da tração	Lig. Desl.
HwIn3		M/A	Seletor de 2 posições	Seleciona condução manual ou autónoma	Manual Auto
HwIn4		F/N/T	Seletor de 3 posições	Seleciona a direção da marcha, quando em modo manual	Frente Neutro Trás
HwIn5		Ativar tração	Seletor de 2 posições	Sinaliza que o veículo está pronto a andar, quando em modo manual	Activar Bloq.
HwIn6		Destruar	Botão de pressão	Ordena a destravagem do travão de emergência	Pressionado Solto
HwIn7		Desbloquear direção	Botão de pressão	Permite mover a direção em <i>lockdown</i>	Pressionado Solto
HwIn8		Botão de emergência	Botão de emergência	Envia o ROVIM para <i>lockdown</i>	Pressionado Solto
HwIn9		Dispositivo do homem morto	Dispositivo de homem morto	Envia o ROVIM para <i>lockdown</i>	Colocado Retirado
HwIn10		Acelerador	Acelerador elétrico de punho	Controla a velocidade da tração, quando em modo manual	
HwIn11		Travão de mão	<i>Manete</i> de travão	Trava as rodas da frente	
HwIn12		Esticador da correia da direção	Rolo esticador de contacto	Permite desengatar a direção	Apertado Solto
HwIn13		<i>Reset</i>	Botão de pressão	Reinicia o <i>software</i> do Micro Controlador (μC)	Pressionado Solto
HwIn14		BTN	Botão de pressão	Reinicia os parâmetros de origem do <i>software</i> , em conjunto com o botão <i>Reset</i>	Pressionado Solto
HwIn15		ICD	Seletor de 2 posições	Configura o μC para arrancar a partir do <i>debugger</i>	ICD Oposto ICD
HwIn16		PGM	Seletor de 2 posições	Configura o μC para ser programado por porta série	PGM Oposto PGM

Tabela 4.1: Elementos físicos de comando acessíveis pelo utilizador.

4.1.1.A Código de cores do estado do veículo

Os indicadores led10, led11, led12, led13 e led14 estão programados para fornecerem uma indicação visual básica do estado do veículo. A tabela 4.3 apresenta os vários estados dos **LEDs** e o seu significado.

Id.	Fig.	Elemento	Cores	Indicação
Led1		Indicador de destravagem	Verde	Indica que o travão está destravado, quando o botão de destravagem está pressionado
Led2		Indicador de travagem	Vermelho	Indica que o travão não está destravado
Led3		Erro na tração	Vermelho	Indica um erro no controlador da tração
Led4		Erro na tração 2	Vermelho	Idêntico ao Led3
Led5		Luz de presença tração	Verde	Indica que o controlador da tração está ligado
Led6		Luz de presença direção	Verde	Indica que o controlador da direção está ligado
Led7		Luz de presença controlador	Verde	Indica que o μC está ligado
Led8		PGM	Amarelo	Indica que o μC está em modo de programação
Led9		ICD	Amarelo	Indica que o μC está em modo de depuração
Led10		MTR1	Verde Vermelho	Indica a direção e intensidade da alimentação do motor da tração
Led11		MTR2	Verde Vermelho	Indica a direção e intensidade da alimentação do motor da direção
Led12		LED1	Verde	Indica o estado do motor da tração
Led13		LED2	Verde	Indica o estado do motor da direção
Led14		LED3	Verde Vermelho	Indica a existência de erros no sistema
Led15		Indicador de marcha	Vermelho	Indica que o veículo está em movimento

Tabela 4.2: Indicadores visuais (LEDs) do ROVIM.

LED	Estado	Significado
LED1 ^a	Ligado	Motor da tração ligado e sem erros
	Desligado	Motor da tração não está pronto a andar
	Desligado	Motor da tração não está a ser acelerado
MTR1 ^a	Verde	Motor da tração está a acelerar
	Vermelho	Motor da tração está a desacelerar
	Ligado	Motor da direção está estagnado
LED2 ^{ab}	Pisca rápido	Motor da direção controlado em velocidade
	Pisca lento	Motor da direção controlado em posição
	Desligado	Motor da direção está desligado
	Desligado	Motor da direção está desligado
MTR2 ^{ab}	Verde	Motor está a mover a direção para estibordo
	Vermelho	Motor está a mover a direção para bombordo
	Ligado	Bateria fraca
LED3	Pisca rápido	ROVIM em <i>lockdown</i>
	Desligado	Não há erros no sistema

^a A informação dada pelo LED só é válida em modo autónomo.

^b A intensidade do brilho do LED depende do ciclo de utilização do motor.

Tabela 4.3: Código visual de cores dos LEDs do μC .

4.1.1.B Programador do controlador da tração

O controlador da tração possui um dispositivo de programação e diagnóstico removível. A sua utilização é descrita em [8].

Este dispositivo é apenas usado na fase de desenvolvimento e em funções avançadas de depuração e é referido para assegurar a integralidade da informação, mas não é usado durante a utilização normal do ROVIM.

4.1.2 Interface série

A interface série é uma de duas interfaces disponibilizadas pelo programa de controlo da T2D.

A interface série do ROVIM é uma extensão da interface *Terminal Emulator* (TE) do *firmware* dalf para servir os objetivos desta plataforma. A principal diferença de concepção entre as duas é que a extensão do ROVIM foi pensada para transmitir muito mais informação ao utilizador do que a versão original.

A interface original dalf foi, na medida do possível, inalterada. A sua documentação está disponível no manual do utilizador do dalf [9], secção 10, e será aqui apenas complementada para a extensão do ROVIM.

O *software* de controlo do ROVIM instalado no μC pode ser comandado através de duas interfaces: a interface série e a interface *Inter-Integrated Circuit* (I²C).

A interface série é a interface preferencial para desenvolvimento e depuração do módulo e para condução do ROVIM por humanos. Ao contrário da interface I²C, permite comunicar assincronamente com o utilizador. A interface série deve ser usada para controlar a T2D independentemente dos outros módulos do ROVIM. De

momento, apenas a interface série está disponível para controlar todas as funcionalidades do **ROVIM**.

A interface série é uma ligação RS232 em modo *American Standard Code for Information Interchange* (**ASCII**), que pode ser usada com recurso a uma aplicação de emulador de terminal num *Personal Computer* (**PC**). Os parâmetros estão formatados em formato hexadecimal.

4.1.2.A Configuração da ligação

A interface série do **ROVIM** aceita comandos em formato **ASCII** hexadecimal, e envia resultados e informações de estado no mesmo formato.

A interface é estabelecida através de uma ligação RS232 configurada para 57600 baud/s, 8 bit, sem paridade, e com 1 bit de paragem. O equipamento necessário para estabelecer esta ligação consiste num cabo RS232 (ou equivalente *Universal Serial Bus* (**USB**)), um computador com uma ligação para o cabo e uma aplicação de emulação do terminal.

4.1.2.B Sintaxe dos comandos **ROVIM T2D**

Cada comando original da interface **TE** do *firmware* dalf é invocado através de uma sequência de caracteres formatada, em que o primeiro *byte* é o identificador, que consiste numa letra do alfabeto, seguido depois pelos parâmetros do comando, em número variável. Nesta abordagem apenas estão disponíveis 26 comandos base, dos quais apenas 2 não são já usados (G e H).

A interface do **ROVIM** usa o comando da letra G para estender a funcionalidade. Cada comando da extensão da interface é diferenciado dos comandos originais pelo prefixo G, seguido de um identificador numeral único. O comando da letra H é usado para mostrar uma mensagem de ajuda.

A tabela 4.4 apresenta resumidamente os comandos específicos da extensão da interface para o **ROVIM**, assim como os comandos da interface original dalf mais úteis para esta aplicação. Serve como listagem rápida dos comandos disponíveis.

Identificação dos motores

Alguns comandos da interface série atuam sobre motores, e exigem a identificação do motor sobre o qual atuar. Existem dois motores registados no *software*: o motor da tração e o motor da direção. O motor da tração é identificado pelo número 1, enquanto que o da direção é o número 2.

Alguns comandos permitem que não seja especificado o número do motor. Nesse caso atuam sobre ambos. Nestes casos esta opção é referida na sua especificação.

4.1.2.C Especificação dos comandos **ROVIM**

G10 – Ir para Lockdown

Sintaxe: "G10"

Este comando envia o **ROVIM** para o estado de *lockdown*. O estado de *lockdown* é descrito em ??.

Enquanto estiver em *lockdown*, o **ROVIM** só pode executar comandos de leitura e recuperação de erros. A tabela 4.5 lista os comandos que podem ser executados em *lockdown*.

Comando	Descrição	Sintaxe
G10	Ir para <i>lockdown</i>	G10
G11	Sair de <i>lockdown</i>	G11
G12	Parar motores, sem perder a sua configuração	G12 <mtr#>
G13	Controlar os GPIOs	G13 <opção><gpio#>
G14	Acelerar	G14 <%>
G15	Desacelerar	G15 <%>
G16	Definir marcha	G16 <dir><vel>
G17	Virar	G17 <ang>
G18	Controlo de depuração	G18 <op><val1><val2><val3>
H	Ajuda	H
O	Parar motores, perdendo a sua configuração	O <mtr#>
X	Comandar motor em velocidade (malha aberta)	X <mtr#> <dir><%>

Tabela 4.4: Resumo dos comandos úteis para o **ROVIM**.

Comando	Descrição	Motivo da permissão
G10	Ir para <i>lockdown</i>	Ações que aumentem a proteção do sistema estão sempre disponíveis
G11	Sair de <i>lockdown</i>	Consumar a recuperação
G12	Parar motores, sem perder a sua configuração	Ações que aumentem a proteção do sistema estão sempre disponíveis
G14	Acelerar	Uso pelos mecanismos internos do programa
G15	Desacelerar	Uso pelos mecanismos internos do programa
G16	Definir marcha	Uso pelos mecanismos internos do programa
G18	Controlo de depuração	Facilitar deteção de erros
H	Ajuda	Não interfere com o sistema
O	Para motores, perdendo a sua configuração	Ações que aumentem a proteção do sistema estão sempre disponíveis
X	Comandar motor em velocidade (malha aberta)	Recuperar de erros na direção

Tabela 4.5: Comandos permitidos em *lockdown*.

Se o utilizador tentar usar um comando que não esteja na lista de comandos permitidos, este é abortado e é mostrada uma mensagem de erro no terminal.

Para sair de *lockdown*, o utilizador deve seguir o procedimento descrito em 4.2.5.

Exemplo:

G10 ■ Entra em modo de segurança

G11 – Sair de *Lockdown*

Sintaxe: "G11"

Este comando é usado para sair do estado de *lockdown*.

Ao invocar o comando o ROVIM verifica o estado do sistema, e se não existirem erros informa o utilizador para proceder à destravagem manualmente. Após detetar que o travão está destravado, finaliza o procedimento. O ROVIM fica então pronto a ser utilizado.

Exemplo:

G11 ■ Sai do modo de segurança

Limite de tempo para desbloquear o travão

O procedimento de saída de *lockdown* está equipado com um temporizador de segurança. Após indicar ao utilizador que já pode desbloquear o travão, este tem 20 segundos para o fazer. Caso contrário, o *software* reativa os procedimentos internos de segurança e não vai ser possível sair com sucesso do estado de *lockdown*.

Tempo de espera após a travagem

A travagem e destravagem do travão de emergência não é instantânea. Para assegurar a consistência dos seus estados, o programa espera 6 segundos após começar a travar até prosseguir com a sua execução. Se nesse período o utilizador contrariar esta acção, destravando o travão com recurso ao painel de controlo, vai criar uma inconsistência temporária entre o *software* e o *hardware*. O sistema recupera revertendo para o estado mais seguro, o de *lockdown*. Por isso o utilizador deve fazer este compasso de espera de cada vez que o ROVIM entra em *lockdown* até tentar destravá-lo.

No caso da travagem após a destravagem este problema não se coloca.

G12 – Parar motores

Sintaxe: "G12 D0"

D0 = Motor# (1=Tração, 2=Direção)

Se o argumento não for especificado, este comando pára ambos os motores.

Este comando serve para parar os motores de forma controlada e sem perder a sua configuração, ao contrário do comando O. Este é o comando preferencial de paragem dos motores.

Exemplo:

G12 01■	Pára o motor da tração
G12■	Pára ambos os motores

G13 – Controlar os **GPIO**

Sintaxe: "G13 D0 D1"

D0 = Opção (1=*Set*, 2=*Reset*, 3=*Toggle*, 4=*Get*)

D1 = GPIO#

Este comando permite aceder aos pinos programáveis de entrada e saída do μ C. É usado principalmente pelas funções internas do *software* do **ROVIM**, mas está acessível aos utilizadores.

Não é necessário nem recomendado usar este comando durante a utilização normal do veículo.

Exemplo:

G13 01 0D■	Trava o travão de emergência	1
G13 01 0E■	Erro - não é possível definir valor de pinos de entrada	1
G13 02 09■	Liga a marcha trás em modo autónomo	1
G13 03 0F■	Alterna a ativação do travão de mão	1
G13 04 0E■	Retorna 1 se o interruptor de emergência estiver pressionado, ou 0, se estiver solto	1
G13 04 09■	Retorna 0 se a marcha atrás estiver ligada em modo autónomo, 1 em caso contrário	1

G14 – Acelerar

Sintaxe: "G14 D0"

D0 = % do acelerador (0-100)

Este comando controla o acelerador do motor da tração do **ROVIM**, em modo autónomo de condução, de modo semelhante ao acelerador de punho. É usado internamente pelo *software* do **ROVIM**.

Outros parâmetros necessários para movimentar o veículo são controlados pelo comando G16 pelo que este comando deve ser usado apenas após definir o tipo de marcha. Em condições normais de condução este comando não é necessário, mas pode ser usado sem restrições.

Exemplo:

G14 0■	Coloca o acelerador a 0 %
G14 32■	Coloca o acelerador a 50 %

G15 – Desacelerar

Sintaxe: "G15 D0"

D0 = % do desacelerador (0-100)

Este comando controla a recuperação de energia do motor da tração do **ROVIM**, que funciona como mecanismo de travagem controlada em modo autónomo de condução. É usado internamente pelo *software* do **ROVIM**.

Este comando é usado para diminuir a velocidade do veículo em condições normais de condução. Para manter o veículo imóvel ou travagens de emergência devem ser usados os comandos apropriados, respetivamente G10 e G16.

Exemplo:

G15 0■	Desativa o desacelerador
G15 64■	Liga o desacelerador ao máximo

G16 – Definir marcha

Sintaxe: "G16 D0 D1"

D0 = Direção (0=Marcha frente, 1=Marcha trás, 2=Ponto morto, 3=Imobilização)

D1 = velocidade (5-45)

Este comando define o tipo e a intensidade do movimento da tração. Existem quatro tipos de movimento: imobilização, em que o veículo pára e se mantém parado; ponto morto, em que o motor não atua no seu movimento e este pode rolar livremente; e marcha frente e marcha trás, em que o motor move o veículo na direção selecionada.

Se nenhum argumento for especificado, o veículo imobiliza-se.

O ponto morto pode ser selecionado especificando apenas o tipo de movimento. Para a marcha trás e marcha frente é necessário especificar também a velocidade desejada.

A velocidade é especificada em décimas de km/h, e não pode ser superior a 4,5 Km/h (45 Km/h/10), nem inferior a 0,5 Km/h (5 Km/h/10). O seu controlo é feito em malha aberta, pelo que, consoante as condições do terreno e de carga, pode apresentar um erro considerável. Nesse caso os comandos de aceleração (G14) e desaceleração (G15) podem ser usados para fazer ajustes.

Caso se selecione um tipo de movimento contrário ao atual, o veículo pára a marcha antes de a inverter.

Exemplo:

G16 0 20■	Coloca o veículo a andar para a frente a cerca de 3,2 Km/h
G14 40■	Ajusta o acelerador para 64 %
G16 1 4■	Erro - não é permitida uma velocidade tão baixa
G16 1 10■	Inverte a marcha a 1 Km/h
G16 2■	Coloca o veículo em ponto morto
G16 3 0■	Pára e imobiliza o veículo
G16■	Pára e imobiliza o veículo

G17 – Virar

Sintaxe: "G17 D0"

D0 = Ângulo (0-86)

Este comando permite virar a direção em modo autónomo. Se nenhum argumento for especificado, o motor é desativado e a direção mantém-se na sua posição atual.

O ângulo de viragem é definido em ??, e varia entre 0° (tudo a bombordo) e 86° (tudo a estibordo), sendo 43° o ponto central, em que a direção está alinhada (a moto segue em frente).

Devido à fragilidade do acoplamento mecânico (a correia salta se o binário for muito elevado), o **ROVIM** só aceita comandos de viragem se o veículo estiver em movimento.

Exemplo:

G16 0 A■	Coloca o veículo a andar a cerca de 1 Km/h
G17 2B■	Alinha a direção
G17 56■	Vira tudo a estibordo
G16■	Pára o veículo
G17■	Pára o motor da direção
G17 2B■	Erro - o ROVIM não está em movimento

G18 – Controlo de depuração

Sintaxe: "G18 D0 D1 D2 D3"

D0 = Opção (1-9)

D1 = Param#1

D2 = Param#2

D3 = Param#3

Este comando é usado para manipulação, depuração e monitorização do estado do sistema em tempo real.

Foi desenhado para ajudar ao desenvolvimento do *software*, mas pode também ser usado para tentar resolver problemas que ocorram durante a utilização do **ROVIM**. as funcionalidades deste comando não são necessárias em condições normais de utilização do **ROVIM**.

O número de argumentos varia consoante o comando a usar. A seguir são apresentadas as várias funcionalidades deste comando.

1=Imprimir nível de verbosidade

Apresenta o nível de verbosidade no ecrã. A secção ?? descreve em detalhe os níveis de verbosidade disponíveis.

2=Definir nível de verbosidade

Define o novo nível de verbosidade. O nível de verbosidade a definir é passado no argumento **D1**. A secção ?? descreve em detalhe os níveis de verbosidade disponíveis.

3=Controlar execução da tarefa de monitorização do sistema

Alterna o modo de repetição da tarefa de monitorização do sistema entre automático (situação por defeito) e manual (iniciada pelo utilizador). Esta funcionalidade é útil para depurar o programa.

4=Correr a tarefa de monitorização

Inicia uma repetição da tarefa de monitorização do sistema, se possível (se estiver configurada para correr em modo manual). Esta funcionalidade é útil para depurar o programa.

5=Ligar a depuração da tarefa de geração de *Pulse Width Modulation* (PWM)

Liga o modo de depuração da tarefa de geração do sinal de PWM dos sinais de acelerador e desacelerador de modo autónomo.

O argumento **D1** é obrigatório, e define o número de períodos em que a depuração está ativada. Os argumentos **D2** e **D3** definem o sinal de PWM a gerar e são facultativos. Se este comando for usado para gerar um sinal, este continuará ativo após terminar a depuração.

6=Controlar o *watchdog*

Consoante o argumento **D1**, reinicia o contador do *watchdog*, ou o sistema completo.

7=Bloquear/Desbloquear comandos interditos em *lockdown*

Alterna a limitação à execução dos comandos interditos em *lockdown*. Esta interdição pode também ser manipulada durante o funcionamento normal.

8=Calibrar a conversão da velocidade

Esta funcionalidade não está disponível de momento.

9=Mostrar de novo mensagens de erro

O *software* mostra uma mensagem para cada erro, quando é detetado. A mensagem de erro é mostrada apenas uma vez até este ser resolvido. Esta funcionalidade reinicia o limitador interno do programa para que seja mostrada de novo. É útil para ajudar a determinar as causas de um erro.

Exemplo:

G18 01■	Mostra o nível de verbosidade
G18 02 0F■	Repõe o nível de verbosidade predefinido
G18 03■	Alterna o modo de repetição da tarefa de monitorização do sistema
G18 04■	Corre a tarefa de monitorização
G18 05 05 01 14■	Estabelece o acelerador a 20 % e arranca a depuração da tarefa de geração de PWM durante 5 períodos do sinal
G18 06 01■	Reinicia a sistema
G18 07■	Alterna a limitação à execução dos comandos interditos em <i>lockdown</i>
G18 09■	Mostra informação sobre os erros atuais

H – Ajuda

Sintaxe: "H"

O comando de ajuda apresenta a seguinte mensagem: “To do (13) mensagem de ajuda.”

4.1.3 Interface I²C

A interface I²C é uma interface binária implementada em cima do protocolo I²C e destina-se a comunicar com um dispositivo externo.

O dalf está configurado como escravo. O protocolo de comunicação é definido em [10].

Esta interface não suporta troca assíncrona de informação. Para além disso, o formato binário do protocolo de comunicação dificulta a interpretação da informação por humanos, ao contrário da interface série. Assim, é especialmente útil para interagir com o módulo Sensores e Navegação (SeN), e é esta a sua principal utilidade.

A interface I²C é funcionalmente idêntica à interface série, que está documentada em 4.1.2.

A interface I²C não está ainda preparada para operar o ROVIM.

4.2 funcionalidades

To do (14)

4.2.1 Chave dos fluxogramas

Os símbolos dos fluxogramas deste capítulo são apresentados na figura 4.1, e são os seguintes:

Processo Retângulo que representa uma ação do utilizador;

Entrada/saída Paralelograma que representa uma tarefa executada pelo ROVIM que o utilizador pode ouvir ou observar;

Decisão Losango que representa um pedido ao utilizador, para validar um teste ou escolher entre várias opções;

Início/fim Retângulo de cantos arredondados que indica o início e o fim do processo representado pelo fluxograma;

Sentido de execução Seta, de um símbolo de um fluxograma para outro, que representa a transferência de controlo, e a sequência da leitura.

O nome de cada símbolo indica a sua ação no fluxograma.

4.2.2 Ligar

O fluxograma da figura 4.2 apresenta o procedimento a seguir para ligar o ROVIM.

4.2.2.A Verificações de segurança

Antes de ligar o ROVIM, o utilizador deve passar em revista o estado do veículo, para se assegurar que os sistemas se encontram operacionais e assim evitar acidentes. Os pontos a ter em atenção são:

1. O sistema de travagem. Por ser o subsistema fundamental para a segurança do veículo, é importante verificar que está tudo bem, nomeadamente que os componentes estão apertados;

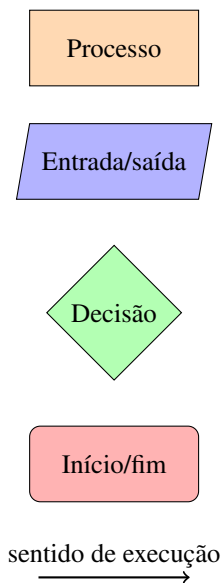


Figura 4.1: Chave dos fluxogramas deste capítulo.

2. Garantir que os pneus estão cheios;
3. Garantir que a correia da direção se encontra bem apertada, caso se pretenda condução autónoma;
4. Garantir que não os componentes não estão molhados;
5. As baterias. Garantir que não estão deslocadas, e que as suas ligações estão desimpedidas.

Em condições normais estas verificações serão sempre passadas com sucesso, mas é importante estar ciente delas, especialmente após longos períodos de inatividade ou após utilização do veículo por outras pessoas.

4.2.2.B Configuração inicial dos seletores

A fim de assegurar que o arranque se processa sem erros, o utilizador deve garantir que o botão de emergência e os seletores do painel de controlo do **ROVIM** se encontram no seguinte estado:

Tração Desl.;

M/A Manual;

F/N/T Neutro;

Ativar tração Bloq.;

Botão de emergência Solto.

4.2.3 Desligar

O fluxograma da figura 4.3 apresenta o procedimento para desligar o **ROVIM**.

4.2.4 Travagem de emergência/Ir para *lockdown*

O **ROVIM** está preparado para entrar automaticamente em *lockdown* quando detetar um erro grave. Mas o utilizador pode também enviá-lo deliberadamente, das seguintes formas:

- Ativando o botão de emergência (HwIn8);

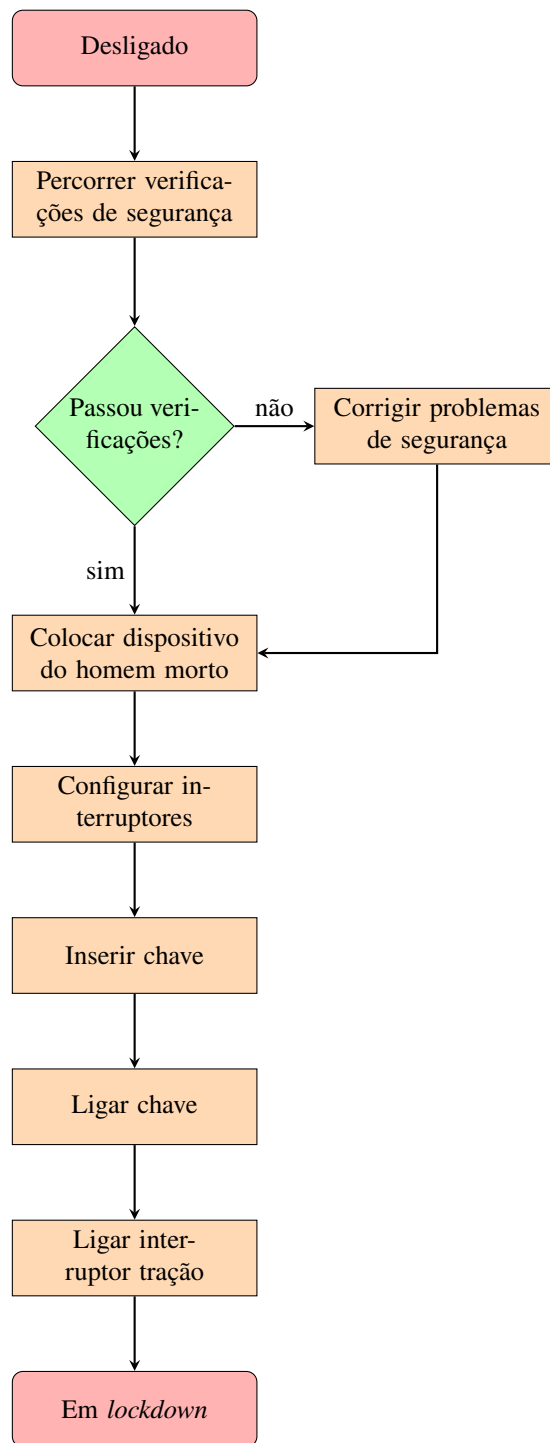


Figura 4.2: Fluxograma do processo de ligar o [ROVIM](#).

- Retirando o dispositivo do homem morto (HwIn8);
- Enviando um comando pela porta série (G10).

O estado de *lockdown* é descrito com mais detalhe em ??.

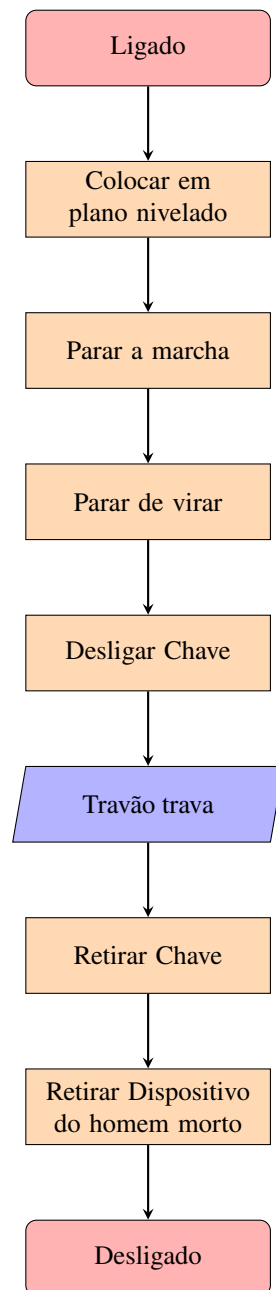


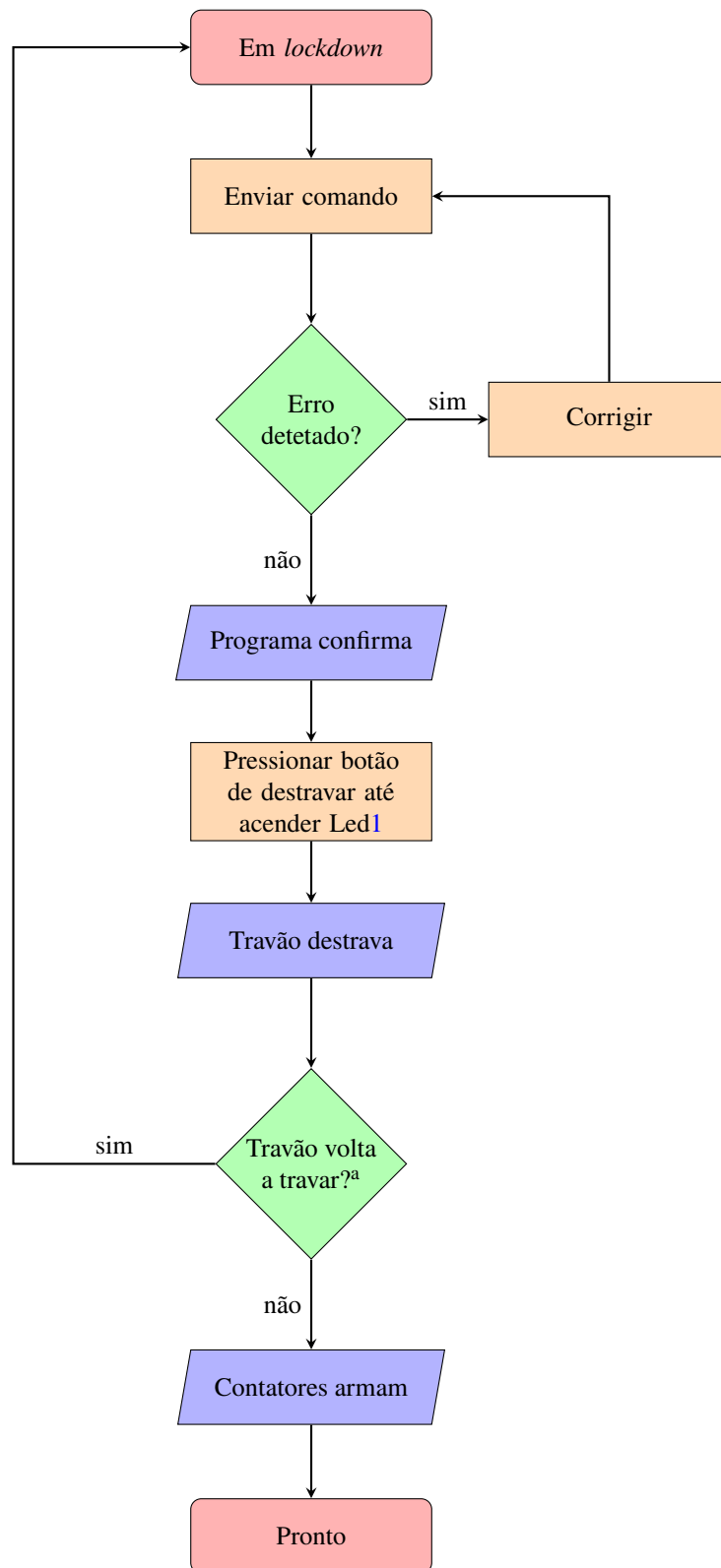
Figura 4.3: Fluxograma do processo de desligar o ROVIM.

4.2.5 Sair de *lockdown*

O ROVIM arranca e termina sempre no estado de *lockdown* apesar de não ter ocorrido nenhum erro, por razões de segurança.

O fluxograma da figura 4.4 apresenta o procedimento para sair deste modo.

Nas situações em que aconteça um erro e o programa entre neste modo de segurança, é necessário primeiramente recuperar do erro. Só quando não o programa não detetar erros é que sai com sucesso deste estado.



^aO travão volta a travar após soltar o botão de destravagem se tiver passado o limite de 20s para a destravagem, ou se ocorrer outro erro durante a destravagem

Figura 4.4: Fluxograma do processo de sair do estado de *lockdown* no ROVIM.

4.2.6 Alternar modos de condução

Para poder comutar entre modos de condução é necessário que a moto esteja ligada e pronta. O fluxograma da figura 4.5 apresenta o procedimento para comutar entre modo manual e autónomo. O fluxograma da figura 4.6 apresenta o procedimento para comutar entre modo autónomo e manual.

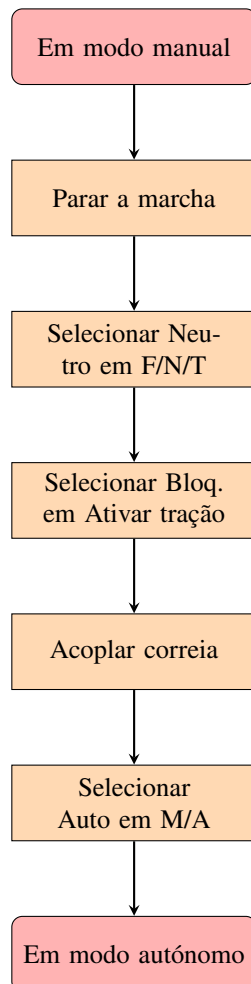


Figura 4.5: Fluxograma do processo de comutação para modo autónomo de condução do [ROVIM](#).

Alternar o modo de condução implica alterar o modo de controlo do motor da tração e o modo de acionamento da direção.

O modo de controlo da tração pode ser escolhido através de um seletor no painel de controlo. Já para alterar o modo de acionamento da direção é preciso acoplar ou desacoplar a correia do sistema, consoante se queira, respetivamente, transitar do modo manual para o autónomo ou vice-versa.

Na figura ?? estão identificados os componentes do atuador da direção. Para desacoplar a correia é necessário desacoplar o seu esticador, com recurso a duas chaves de bocas. Depois disso a correia fica larga e cai livremente, deixando de haver transmissão de binário entre o redutor e a coluna da direção. Acoplar a correia consiste no processo inverso: colocar a correia no sitio e aconchegar o esticar, e depois apertar bem.

É importante que a correia esteja o mais esticada possível e que o esticador esteja bem apertado. A correia é o ponto mais frágil do acoplamento e, quanto mais solta estiver, mais salta e impede a transmissão de binário.

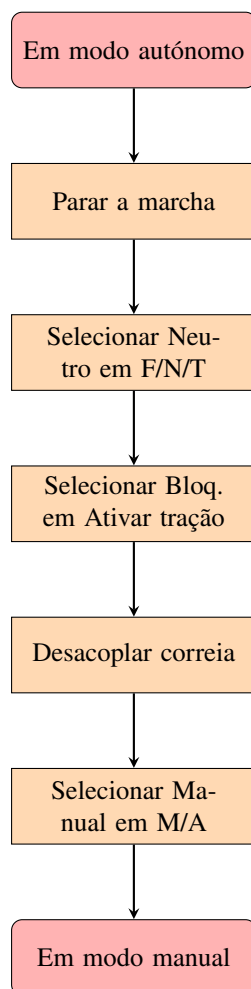


Figura 4.6: Fluxograma do processo de comutação para modo manual de condução do [ROVIM](#).

Arranque em modo manual

Para evitar erros no *software* é necessário ligar a moto sempre como o seletor M/A em modo Manual. Tal não implica que se mude o modo de condução e que se desacople a correia da direção – trata-se apenas de uma limitação do sistema. Portanto, para prosseguir no modo de condução autónomo após reiniciar o veículo, basta omitir o passo de acoplar a correia ao procedimento da figura 4.5.

4.2.7 Selecionar marcha

Só após selecionar a marcha do veículo é possível controlar o motor da tração para gerar movimento. Existem dois tipos de marcha: marcha frente e marcha trás.

O seletor F/N/T seleciona, quando em modo manual, nas posições Frente e Trás as marchas para a frente e para trás, respetivamente. Depois de selecionada a marcha, a velocidade do veículo é controlada com recurso ao acelerador.

Em modo autónomo o comando G16 permite selecionar o tipo de marcha e a velocidade desejada, permitindo efetivamente mover o veículo. Não é possível selecionar a marcha sem colocar o veículo em movimento em modo autónomo.

4.2.8 Acelerar

O acelerador funciona de modo diferente para os dois modos de condução. Em modo manual é um tradicional acelerador analógico de punho. Em modo autónomo este é controlado pelo comando G14.

O controlo do acelerador só tem efeito após selecionar a marcha, como explicado em [4.2.7](#).

4.2.9 Desacelerar

Desacelerar o **ROVIM** consiste em reduzir deliberadamente a sua velocidade, sem recorrer ao travão elétrico. A forma de o fazer apresenta bastantes diferenças entre os dois modos de condução.

Em modo de condução manual é o travão das rodas da frente, controlado pela *manete* no guiador, que cumpre essa função.

Em modo de condução autónomo é acionada a travagem regenerativa do controlador da tração, controlada pelo comando G15.

4.2.10 Virar

Em modo de condução manual a direção é controlada no guiador, como em qualquer moto quatro. Em modo autónomo o ângulo de viragem é especificado através do comando G17. Devido às limitações do atuador, o veículo tem que estar em movimento para se poder virar em modo autónomo. Ao alternar entre modos de condução é necessário ajustar a correia, como indicado em [4.2.6](#).

4.2.11 Colocar em ponto morto

Em ponto morto, o veículo move-se livremente, sem a interferência do motor. Em modo manual, o modo Neutro do seletor F/N/T corresponde à funcionalidade do ponto morto. Em modo autónomo, esta é ativada com recurso ao comando G16.

4.2.12 Imobilizar

É possível imobilizar o veículo sem atuar o travão de emergência e entrar em *lockdown*. O veículo não está efetivamente travado – apenas é ligada a travagem regenerativa, que resiste ao movimento. Esta capacidade é suficiente para manter o veículo imóvel em terrenos ligeiramente inclinados. Caso esta funcionalidade seja ativada com o veículo em movimento, este será desacelerado com recurso à travagem regenerativa até parar, mantendo-se depois imóvel.

Em modo manual esta funcionalidade é ativada em ponto morto, ao bloquear a tração com recurso ao seletor Ativar tração.

Em modo autónomo, o comando G16 permite selecionar esta funcionalidade.

4.3 Exemplo típico de utilização

Uma situação típica de utilização da **T2D** consiste em três fases principais: arrancar, conduzir e desligar.

O arranque consiste em ligar a moto (ver [4.2.2](#)), sair de *lockdown* (ver [4.2.5](#)), selecionar o modo de condução (ver [4.2.6](#)) e selecionar a marcha (ver [4.2.7](#)). O **ROVIM** está então pronto a ser conduzido.

A condução consiste em acelerar (ver 4.2.8), desacelerar (ver 4.2.8), virar (ver 4.2.8) e alterar a tipo de movimento (ver 4.2.7, 4.2.11, 4.2.12). Estas operações permitem ao utilizador seguir uma determinada trajetória, por si definida.

Ocasionalmente, o sistema pode detetar um erro e entrar em *lockdown*. Nesse caso é necessário identificá-lo e resolvê-lo (ver 4.4). Só depois é possível sair de *lockdown* e retomar a condução normal.

Quando terminar o turno de condução, é necessário desligar o ROVIM (ver 4.2.3) e acondicioná-lo num local seguro até à próxima utilização.

4.4 Resolução de problemas

O utilizador está sujeito a gerar erros durante a utilização do ROVIM. Quando acontecem, é necessário detetá-los e corrigi-los. As maneiras de detetar erros no ROVIM, por ordem de utilidade, são:

- Inspeção ao *hardware*. A inspeção visual permite detetar muitas situações de erro. Casos como botões ou seletores de controlo mal configurados, indicações visuais dos LEDs, interruptores de fim de curso ativados são comuns e podem ser detetados através da inspeção visual;
- Mensagens de erro do *software*. O *software* imprime uma mensagem quando deteta um erro. Esta mensagem contém informação útil para a sua correção;
- Códigos de erro do controlador da tração. O controlador da tração tem a capacidade de detetar erros. Em caso de erro, este faz piscar os led3 e led4 com um padrão que varia consoante o seu código. Os códigos dos erros do controlador, e as suas causas e soluções podem ser consultadas no manual técnico, [8];
- Controlo de depuração da interface série. As funcionalidades do comando G18 da interface série permitem ajudar a identificar erros desconhecidos. Em condições normais de condução não é necessário recorrer a este comando;
- Programador do controlador da tração. O programador do controlador permite obter informação adicional de estado e diagnóstico relacionada com o controlador da tração. Em condições normais de condução não é necessário recorrer a este comando;
- Consulta dos autores do projeto. Se todas as restantes técnicas falharem, os autores do projeto podem ajudar a identificar e resolver erros.

4.4.1 Problemas conhecidos

Os problemas conhecidos da T2D são:

1. A velocidades baixas (menos de 1 Km/h) o sensor de velocidade não tem exatidão;
2. É possível o motor da direção continuar ligado após a paragem do veículo.

5

Conclusão

Objetivo Resumo da tese para quem a leu.

Temas de escrita • especificações da plataforma

- Limitações da plataforma
- Comparar as especificações com os objetivos iniciais

Notas a escrever O objetivo principal, de produzir um protótipo funcional foi atingido, ainda que com algumas limitações, aceitáveis para esta fase do processo de prototipagem e produção.

Limitações de ordem logística e de equipamento (ferramenta disponível, experiência, material disponível para compra) tiveram impacto considerável no desenvolvimento do projeto. Conclui-se daqui que num projeto prático deste tipo as considerações tecnológicas representam apenas parte dos constrangimentos. Para as baterias não sei como evitar que se mexam.

Para a zona morta, soldar a coluna da direção em vez de aparafusar.

Para o salto da correia, usar uma corrente (talvez de bicicleta), com alguma folga, e uma "chave" do estilo da usada para prender a engrenagem ao veio do motor, facilmente removível, para resolver o problema do salto.

O hardware parece bastante precário, especialmente ao nível das placas eletrônicas, mas também das baterias, mas pode ser usado com confiança por utilizadores conhecedores da plataforma. Para isso foi produzido um manual do utilizador.

5.1 Trabalhos futuros

Refinação do protótipo. Dois caminhos de melhoramento: refinação do hardware atual, e construção de um novo protótipo com as lições aprendidas.

Refinação do hw atual:

passo seguinte, por este veículo ainda ter um potencial de refinamento muito grande.

Testes: desenhar um programa de testes de aceitação abrangente, que permita aumentar o grau de confiança no veículo e caracterizar melhor as propriedades do veículo. Usar estes testes para identificar áreas de melhoria na construção de um novo veículo.

Integrar os módulos superiores. Novo protótipo:

corrigir erros.

Integrar requisitos de elevada fiabilidade, autonomia, custo baixo, e reprodutibilidade (standardização de peças, definição de medidas).

Poupar dinheiro, redimensionando componentes (motores, controlador de tração). Ponderar o estado de novas tecnologias de baterias para aumentar a capacidade.

Bibliografia

- [1] C. C. Chan, “The state of the art of electric and hybrid vehicles [prolog],” *Proceedings of the IEEE*, vol. 90, no. 2, pp. 245–246, Feb 2002.
- [2] “Introduction to gears,” guia, KOHARA GEAR INDUSTRY CO., LTD., 2006.
- [3] J. de Santiago, H. Bernhoff, B. Ekergård, S. Eriksson, S. Ferhatovic, R. Waters, and M. Leijon, “Electrical motor drivelines in commercial all-electric vehicles: A review,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 61, no. 2, pp. 475–484, Feb 2012.
- [4] S. M. A. Sharkh and M. T. N. Mohammad, “Axial field permanent magnet dc motor with powder iron armature,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, no. 3, pp. 608–613, Sept 2007.
- [5] N. Hashemnia and B. Asaei, “Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles,” in *Electrical Machines, 2008. ICEM 2008. 18th International Conference on*, Sept 2008, pp. 1–5.
- [6] (2016) página web. Saietta Group. [Online]. Available: <http://www.saiettaengineering.com/motors/>
- [7] K. Yiu, “Battery technologies for electric vehicles and other green industrial projects,” in *Power Electronics Systems and Applications (PESA), 2011 4th International Conference on*, June 2011, pp. 1–2.
- [8] *Sigmadrive PM Traction Technical Manual*, PG Drives Technology, 2008.
- [9] *DALF-1; Rev F Motor Control Board*, Owner’s Manual, Embedded Electronics, LLC., Aug. 2008.
- [10] *DALF-1; Rev F Motor Control Board*, I2C2 Interface, Embedded Electronics, LLC., Jun. 2007.
- [11] B. Shamah, M. D. Wagner, S. Moorehead, J. Teza, D. Wettergreen, and W. R. L. Whittaker, “Steering and control of a passively articulated robot,” in *SPIE, Sensor Fusion and Decentralized Control in Robotic Systems IV*, vol. 4571, October 2001.
- [12] “Modelação e simulação,” 2008.
- [13] “Controlo,” 2007.
- [14] K. Rajashekara, “History of electric vehicles in general motors,” in *Industry Applications Society Annual Meeting, 1993., Conference Record of the 1993 IEEE*, Oct 1993, pp. 447–454 vol.1.
- [15] *Saietta Motors Workshop Manual*, Saietta Group, 2015. [Online]. Available: http://www.saiettaengineering.com/se_website/wp-content/uploads/2015/11/Saietta-Motors-Workshop-Manual_Nov-2015.pdf

- [16] *Agni Motor Thermistor Information*, nota técnica, EV Power.
 - [17] *16-Bit I/O Expander with Serial Interface*, manual técnico - modelos MCP23017/MCP23S17, Microchip-Technology Inc., Feb. 2007.
 - [18] *PIC18F8722 Family Data Sheet*, MicrochipTechnology Inc., 2004.
 - [19] “Genesis NP range overview,” brochura, EnerSys Inc., Feb. 2005.
 - [20] *Genesis NP55-12/NP55-12FR*, manual técnico, EnerSys Inc., May 2003.
 - [21] “Standard metric keys and keyways for metric bores with one key • couplings,” tabelas com as dimensões da norma ISO/R773, The Falk Corporation, Jul. 1996.
 - [22] Catálogo de engrenagens, Eurocorreias, Lda., 2012.
 - [23] “Bearings specification tables,” catálogo, JTEKT Corporation, 2009.
 - [24] *RS DC Servomotors*, manual técnico, PARVEX SAS, 2003.
- To do (15)



Apêndice A - código do programa

O código fonte usado na programação da placa de controlo do T2D é aqui listado. Uma cópia exata destes ficheiros, assim como outros ficheiros usados no projeto está acessível em: <https://github.com/ROVIM-T2D/ROVIM-T2D-Brain/tree/v1.0>.

Os ficheiros `main.c` e `dalf.h` são alterações aos ficheiros originais fornecidos com a placa Dalf para esta aplicação, e são licenciados pela *Embedded Electronics, LLC*.

A biblioteca `dalf.lib` é também necessária para gerar o programa, mas não é listada aqui por não ter sido alterada da versão original, por estar em formato binário, e por regras de licenciamento restritas. A licença destes ficheiros pode ser consultada no site do fornecedor, em: <http://www.embeddedelectronics.net/documents/Ver160/EULA.pdf>.

To do (16)

Fix (17)

```
1 /
2
3
4
5         rovim_config_v0.1.h - Configuration of the ROVIM
6             system for the version 0.1 of the ROVIM
7             T2D software.
8
9     This file holds the non-runtime software configuration profile of
10    the ROVIM system for the defined software version. It may be used
11    for other versions too, as long as it is unchanged.
12
13    This code was designed originally for the Dalf-IF motor control
14    board, the brain of the T2D module.
15    Original Dalf-IF firmware revision was 1.73.
16    See Dalf-IF owner's manual and the ROVIM T2D documentation for more
17    details.
18
19        The ROVIM Project
20
21
22
23 #ifndef __ROVIM_CONFIG_V0_1_H
24 #define __ROVIM_CONFIG_V0_1_H
25
26 //use maximum verbosity
27 #define INIT_VERBOSITY_LEVEL 0x0F    //disable call info verbosity for now, due to the issue
28         with the #line directive
29 #endif /
```


B

Apêndice B - Esquemas elétricos e *layout* das placas eletrônicas



Apêndice C - Lista de componentes

Id. ¹	Qt. ²	Componente	Descrição	Subsistema ³
C1	1	Chassis	Chassis, rodas, eixo traseiro com carreto de transmissão e sistemas de travagem e viragem de moto-quatro	Chassis
C2	Indef. ⁴	Ferro sortido	Ferro usado nas estruturas de fixação de componentes ⁵ e outras adaptações soldadas ao Chassis	Chassis
C3	Indef.	Material de fixação	Porcas, parafusos, anilhas, anilhas de mola, cavilhas e outros materiais não discriminados de diversas medidas, usados na fixação rígida dos componentes, entre si, ou ao chassis	
C4	1	Plataforma inferior	Plataforma de madeira <i>Medium-Density Fibreboard</i> (MDF) cortada, furada e escareada, à medida para a estrutura inferior	Chassis
C5	1	Mini-plataforma inferior	Plataforma de madeira MDF cortada, furada e escareada, entre a estrutura inferior e a coluna da direção	Chassis
C6	2	Tábuas de madeira	Tábuas de madeira, cortadas à medida, fixadas verticalmente à parte frontal da estrutura de suporte das plataformas, para contenção das baterias	Chassis
C7	1	Plataforma superior bombordo	Plataforma de madeira MDF cortada, furada e escareada, à medida para o lado de bombordo da estrutura superior	Chassis
C8	1	Plataforma superior estibordo	Plataforma de madeira MDF cortada, furada e escareada, à medida para o lado de estibordo da estrutura superior	Chassis
C9	7	Cantoneiras de madeira	Cantoneiras de madeira, de tamanhos diversos, coladas à plataforma inferior, para contenção das baterias ao nível da base	chassis
C10	6	Baterias NP55-12R	Baterias recarregáveis seladas de ácido-chumbo, de 12 V	Baterias
C11	4	Elásticos de retenção de cargas	Elásticos, de tamanhos diversos, com ganchos de ferro nas pontas, para abraçar e conter as baterias ao nível do topo	
C12	1	Carregador de baterias 12 V	Carregador de baterias de ácido-chumbo de 12 V	
C13	1	Carregador de baterias 72 V	Carregador de baterias de ácido-chumbo de 72 V	
C14	1	Agni B-95R	Motor DC com escovas	
C15	1	Carreto de 11 dentes	Carreto compatível com o carreto instalado no veio traseiro	Redutor da tração
C16	2	Engrenagens dentes	42 Engrenagens cilíndricas, de módulo 2, ângulo de pressão de 20°, material C 43 UNI 7847, de acordo com o catálogo eurocorreias 2012 [22]	Redutor da tração
C17	1	Engrenagem dentes	21 Engrenagens cilíndricas, de módulo 2, ângulo de pressão de 20°, material C 43 UNI 7847, de acordo com o catálogo eurocorreias 2012 [22]	Redutor da tração
C18	1	Engrenagem dentes	14 Engrenagens cilíndricas, de módulo 2, ângulo de pressão de 20°, material C 43 UNI 7847, de acordo com o catálogo eurocorreias 2012 [22]	Redutor da tração
C19	2	Rolamentos Koyo 6001	Rolamentos ranhurados de esferas, como especificação do catálogo Koyo [23]	Redutor da tração

¹Identificação

²Quantidade

³Peça a que o componente pertence, se aplicável

⁴Quantidade indefinida

⁵Que são: 1) Estrutura central de fixação das plataformas; 2) estrutura de suporte do redutor de direção; 3) estrutura de fixação do motor de tração; 4) estrutura de fixação do sensor de velocidade

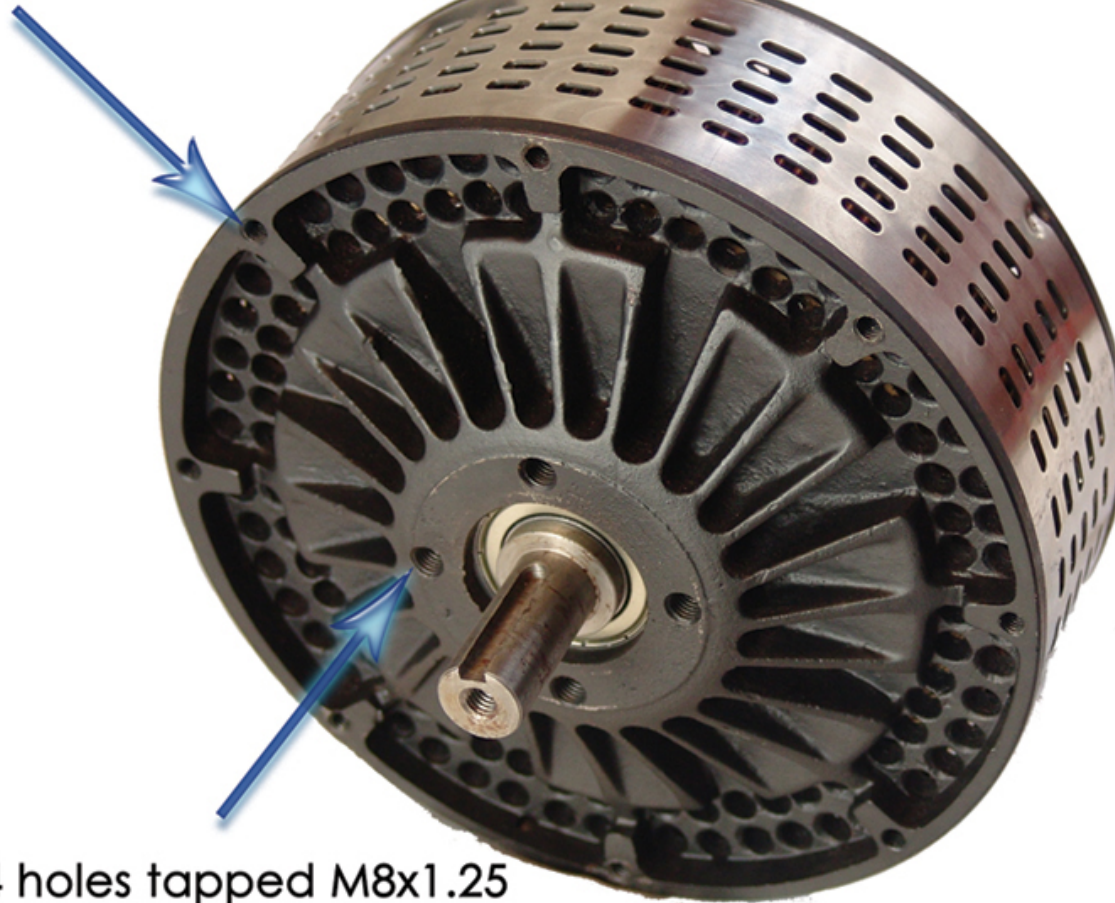
C20	2	Rolamentos Koyo 6003	Rolamentos ranhurados de esferas, como especificação do catalogo Koyo [23]	Redutor da tração
C21	1	Chave de veio	Chave para fixação de engrenagem ao veio do motor de tração, de acordo com a norma ISO/R773 [21]	Redutor da tração
C22	1	Espaçador para veio	Espaçador para segurar engrenagem no veio do motor	Redutor da tração
C23	1	Fixador para carreto	Bolacha com furo para fixar carreto acoplado ao redutor no veio	Redutor da tração
C24	1	Chapa motor	Chapa estrutural de fixação dos componentes do redutor do motor, de acordo com o desenho "chapa motor" do apêndice D	Redutor da tração
C25	1	Chapa corrente	Chapa estrutural de fixação dos componentes do redutor do motor, de acordo com o desenho "chapa corrente" do apêndice D	Redutor da tração
C26	1	Veio 16 mm	Veio de fixação de engrenagens do redutor do motor, de acordo com o desenho "veio 16.12" do apêndice D	Redutor da tração
C27	1	Veio 17 mm	Veio de fixação de engrenagens do redutor do motor, de acordo com o desenho "20.23" do apêndice D	Redutor da tração
C28	Indef.	Material de fixação do redutor	Freio, parafusos, anilhas e anilhas de mola de diversas medidas usadas na fixação dos componentes do redutor do motor de tração	Redutor da tração
C29	1	Corrente	Corrente original da moto-quatro	
C30	1	Sigmadrive PMT835M	Controlador de motor DC de ímanes permanentes	To do (18)



Apêndice D - desenhos técnicos das peças do redutor do motor de tração

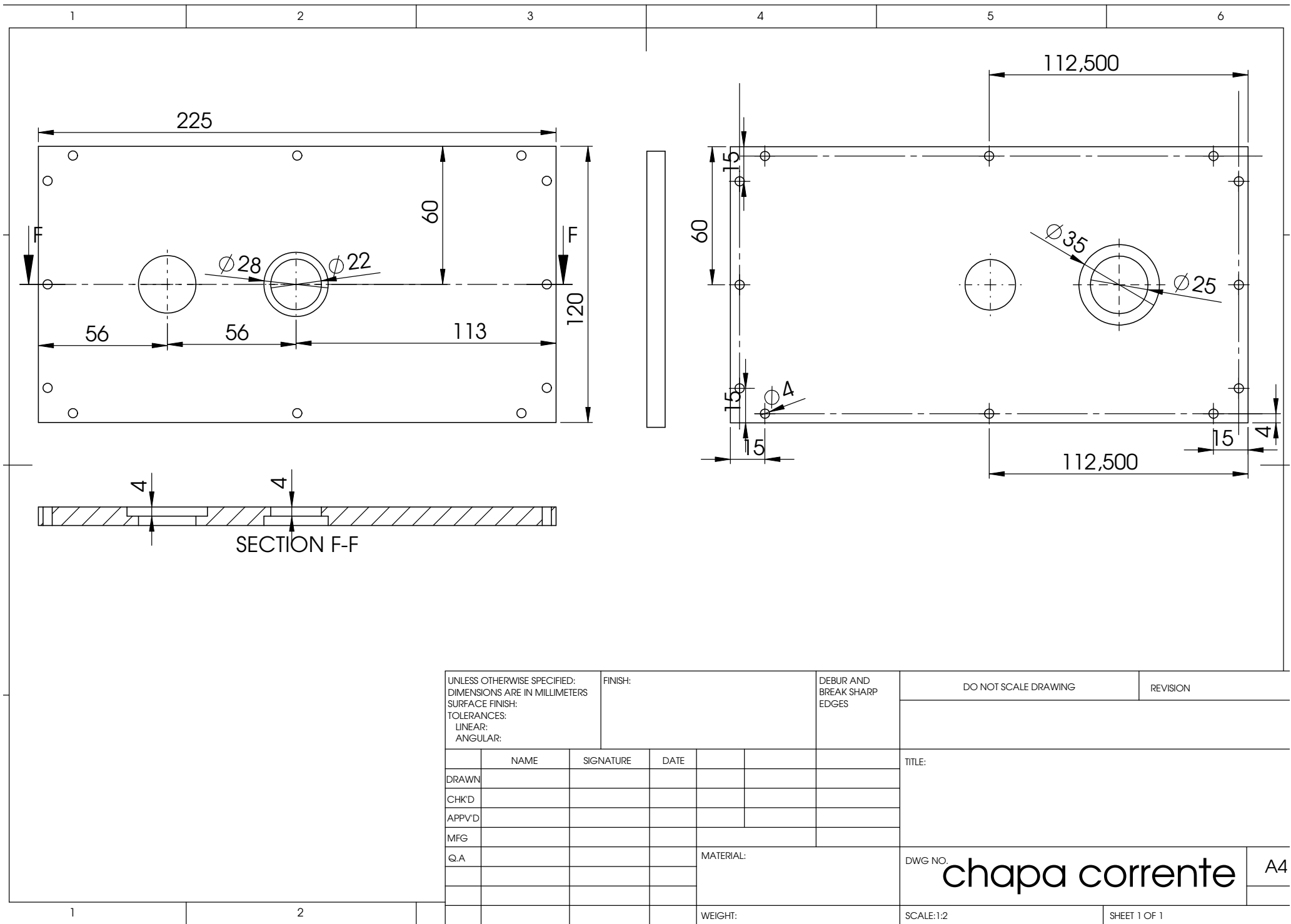
INSTALLATION DIMENSIONS

8 holes tapped M6x1.0
on 194mm PCD

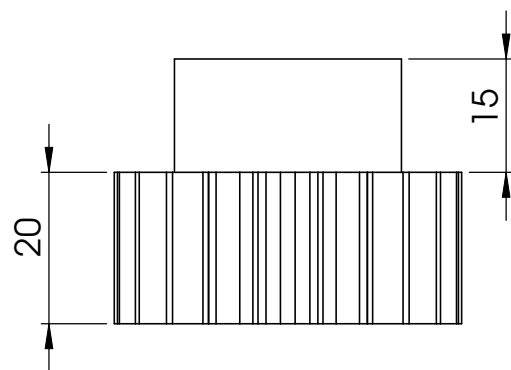
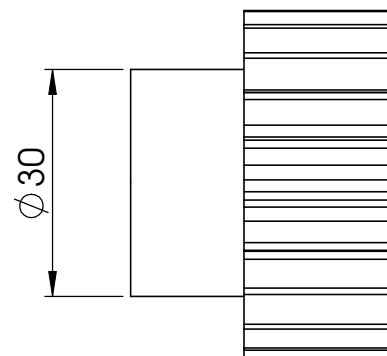


4 holes tapped M8x1.25
on 60mm PCD

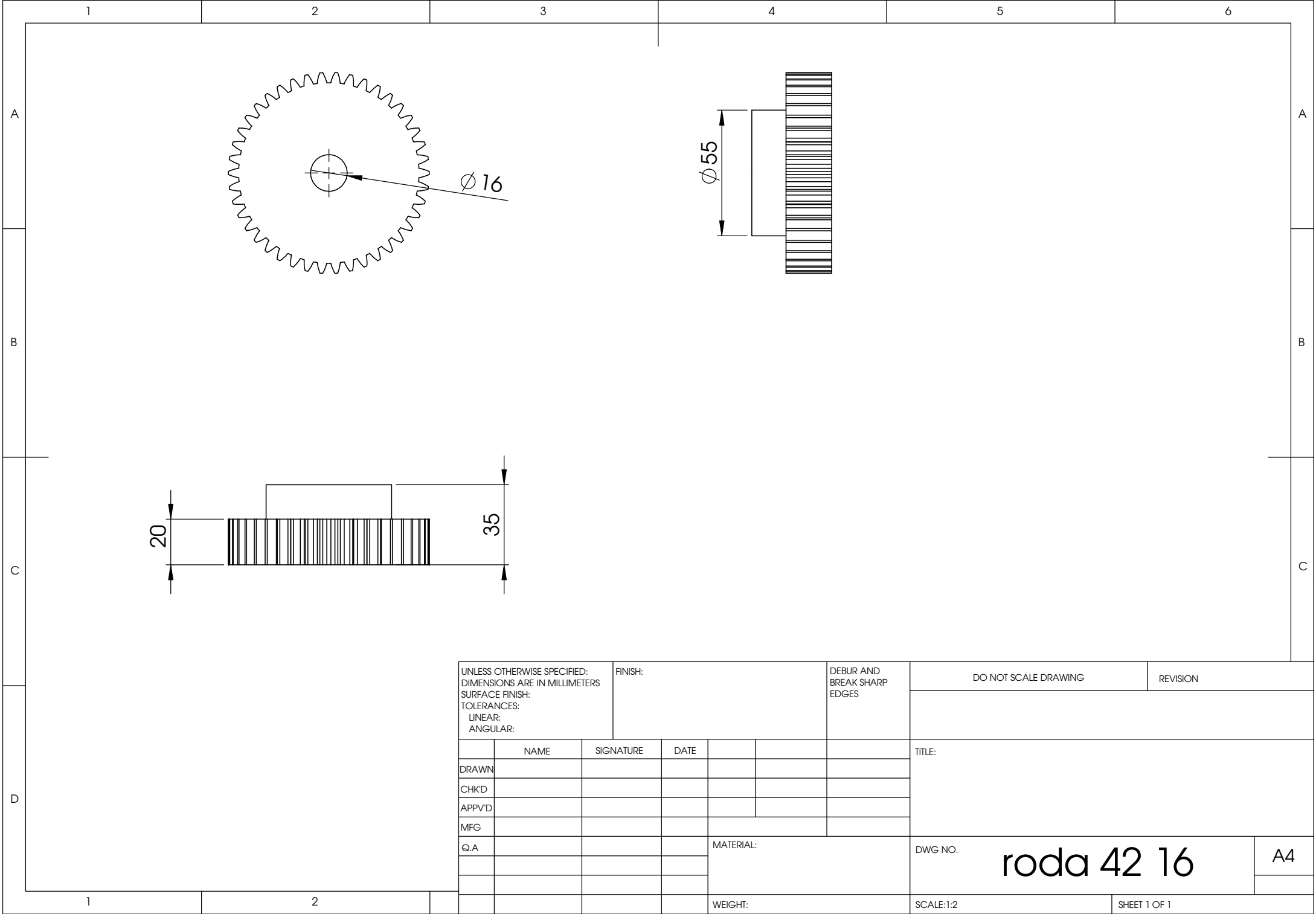
Shaft - 19mm diameter x 40mm long
with ISO keyway & centre
hole tapped M8x1.25



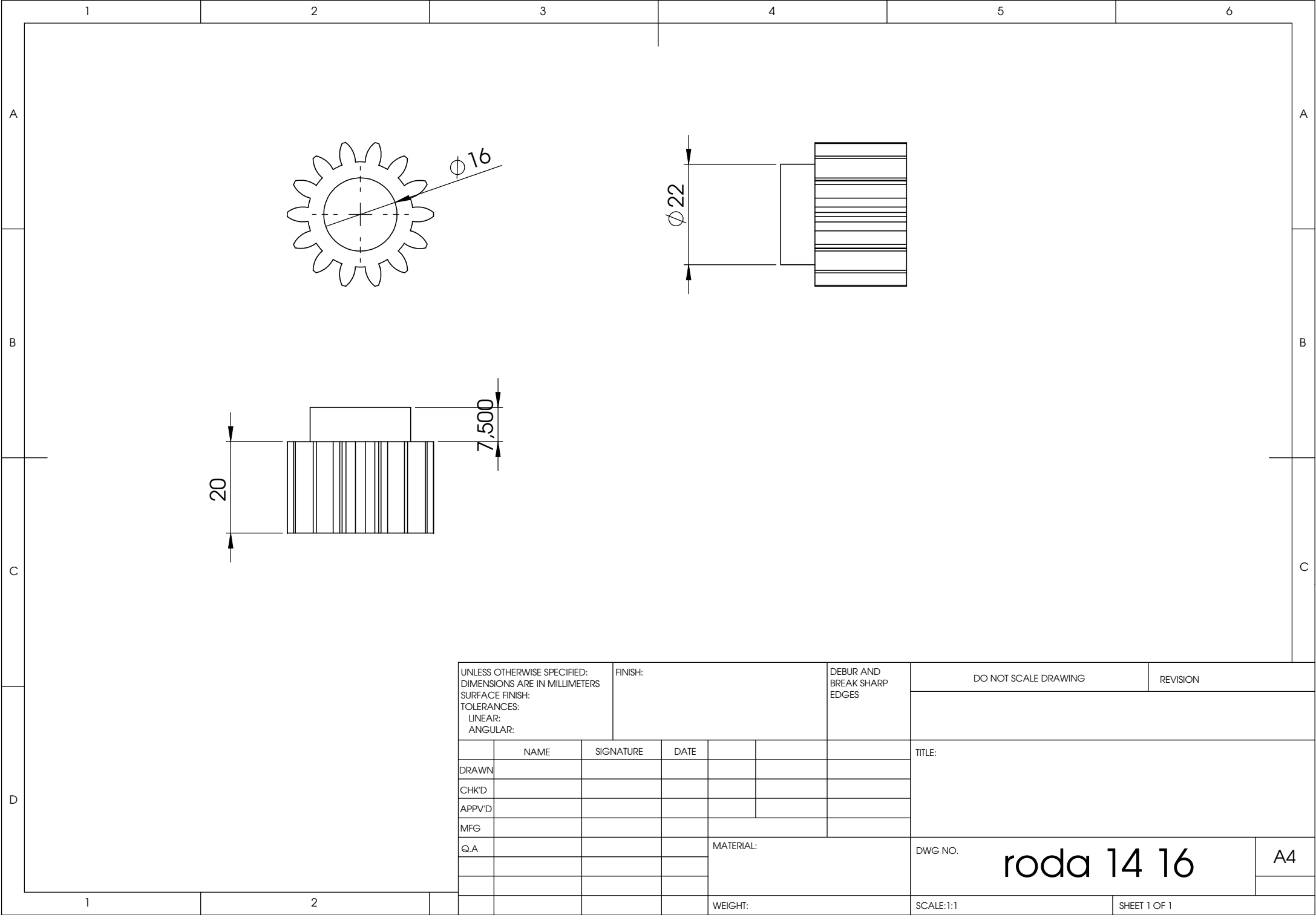
[illegible]



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:						FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
	NAME		SIGNATURE		DATE				TITLE:					
DRAWN														
CHK'D														
APPV'D														
MFG														
Q.A														
							MATERIAL:		DWG NO. roda 21				A4	
							WEIGHT:		SCALE:1:1				SHEET 1 OF 1	

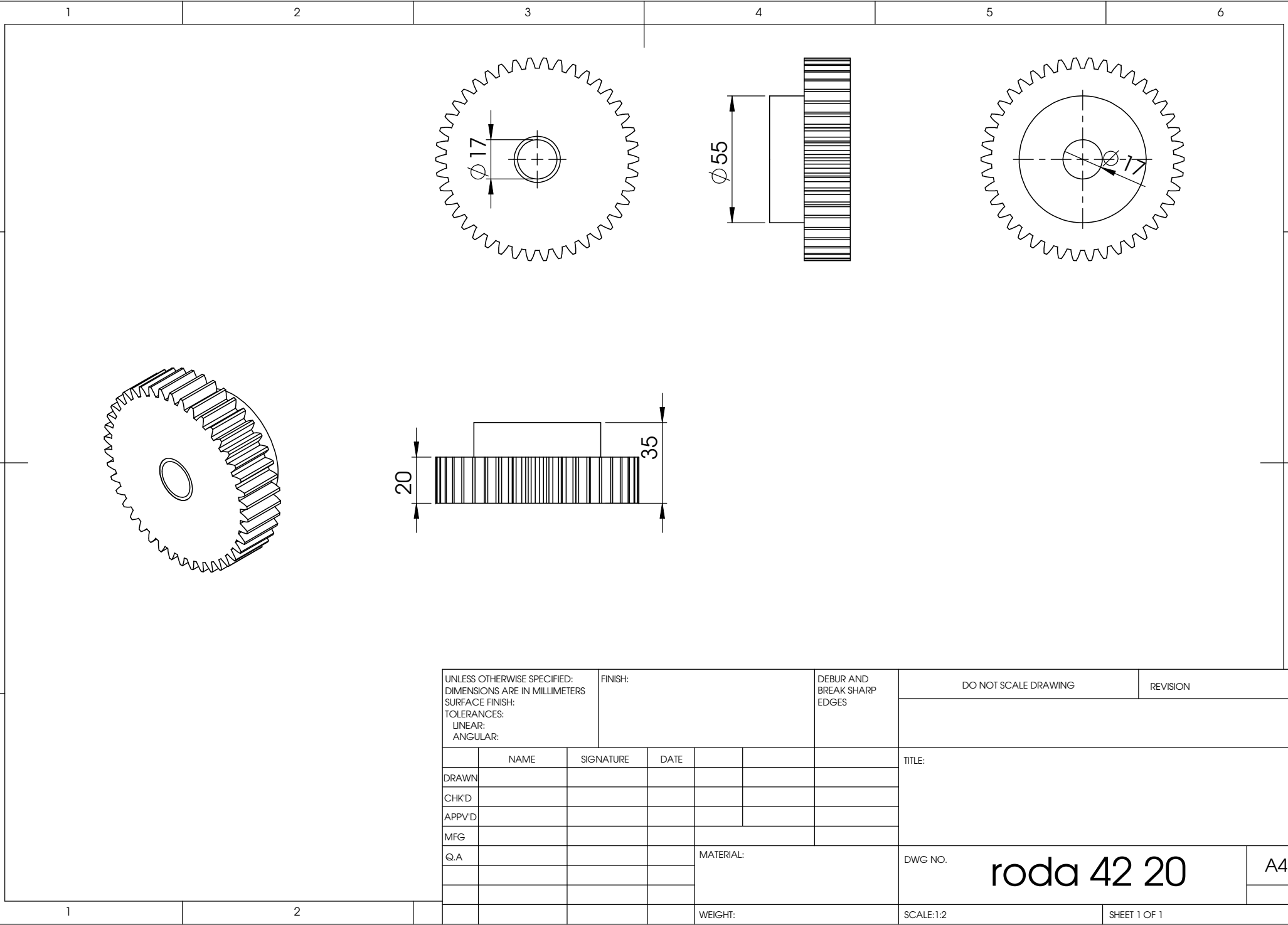


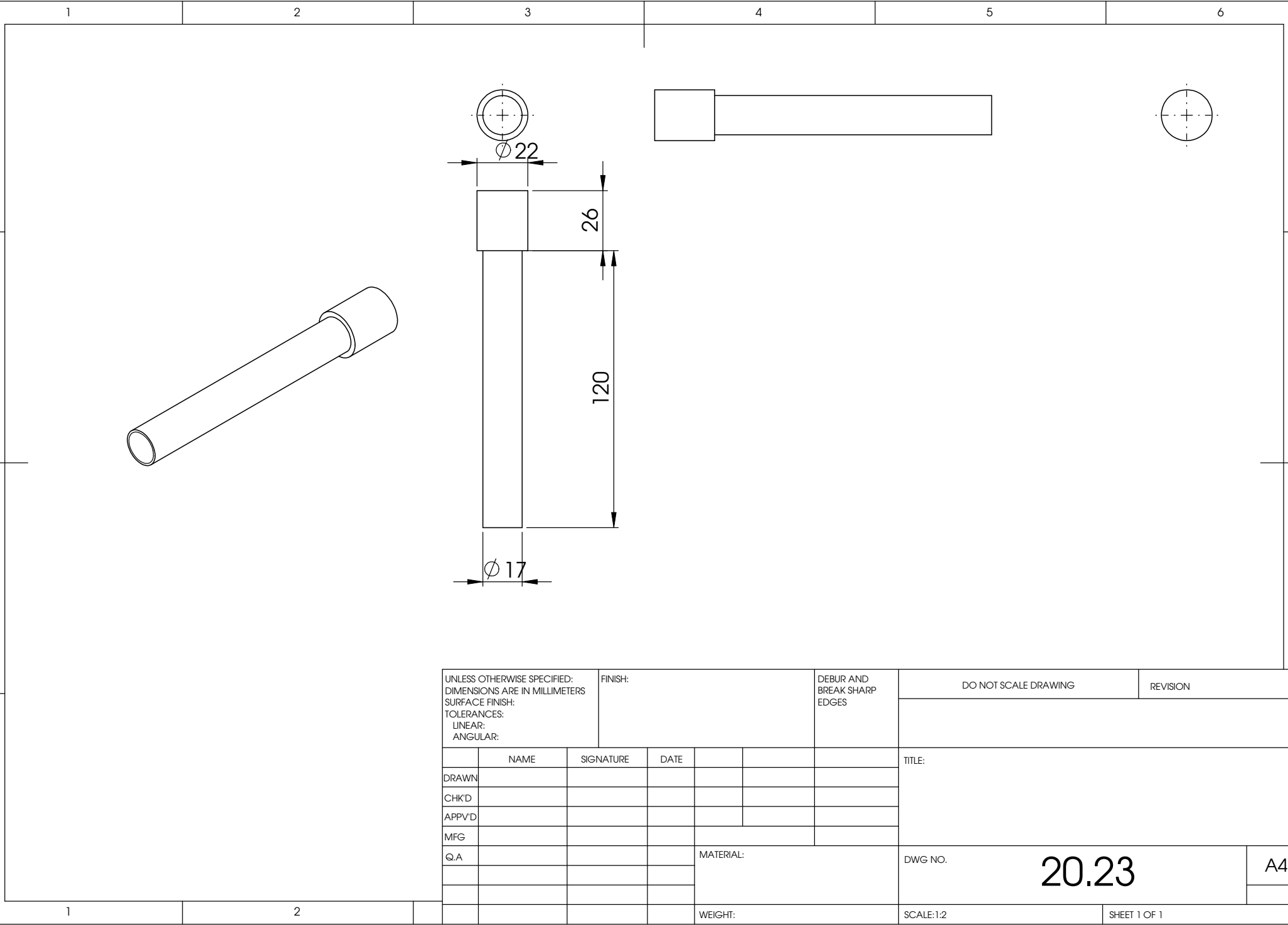
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
	NAME	SIGNATURE	DATE						TITLE:	
DRAWN										
CHK'D										
APPV'D										
MFG										
Q.A				MATERIAL:				DWG NO.		roda 42 16
				WEIGHT:				SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1

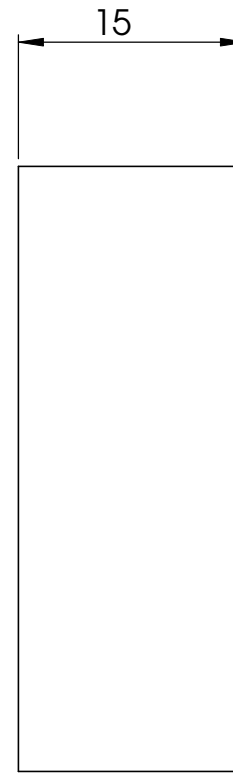


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION						
	NAME		SIGNATURE		DATE					TITLE:						
DRAWN																
CHK'D																
APPV'D																
MFG																
Q.A					MATERIAL:				DWG NO.		roda 14 16		A4			
					WEIGHT:				SCALE:1:1			SHEET 1 OF 1				

roda 14 16







UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
	NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE:				
DRAWN											
CHK'D											
APP'VD											
MFG											
Q.A				MATERIAL:							
				WEIGHT:			SCALE:2:1		SHEET 1 OF 1		

Os desenhos deste anexo são uma especificação aproximada do redutor *à priori*, com as limitações inerentes à falta de experiência do projetista. Não contemplam alguns pormenores técnicos avançados, como tolerâncias nos encaixes, materiais a usar, e mecanismos de fixação. Não substituem o parecer de técnicos especializados. Como tal, o fabricante fez algumas modificações, discutidas na errata

Informações sobre o fabricante

Vitor Ferreira & Filhos, Lda

Rua Particular à Rua Arco do Carvalhão, Letras J.F.C, 1070 Lisboa

Telefone: 213884764

www.mestredosmotores.com

Errata

Errata referente aos desenhos das peças do redutor do motor de tração

talking point (19) To do (20)

Desenho	Onde se lê/vê	Deve lêr-se/vêr-se
espaçador chapa	85	87
roda 21	R10	R9.5
roda 21	12.800	12.300
roda 21		Chave (paralelepípedo quadrangular com 6 mm de lado, cantos arredondados e 35 mm de comprimento) para prender engrenagem de 21 dentes ao veio do motor, de acordo com a norma ISO/R773 [21].
20.23	Face do veio $\varnothing 22$ liso	Face do veio $\varnothing 22$ liso até 11mm após o $\varnothing 17$. Daí até ao topo, veio maquinado para encaixe no buraco da bolacha do desenho "bolacha", talking point (21)
20.23	Topo do veio $\varnothing 22$ liso	Topo do veio $\varnothing 22$ com rosca M8 concêntrica.
20.23	120	115, medidos a partir do veio $\varnothing 22$. Ranhura para freio após a medida. To do (22)
bolacha		Um dos topos do cilindro tapado, com um furo M8 concêntrico.
chapa corrente	12 furos de 4 mm	4 furos M10 próximos dos cantos da placa.
chapa motor	12 furos de 4 mm	4 furos M10 próximos dos cantos da placa, à mesma distância dos da errata do desenho "chapa corrente".
montagem	Veio do motor	Espaçador cilíndrico com furo concêntrico de 19 mm e cerca de 3 mm de largura, montado no veio, antes da engrenagem.

To do...

- ☐ 1 (p. A): devo pôr a foto da academia militar? As regras do ist não preveem isso
- ☐ 2 (p. A): foto com baterias e sem carro
- ☐ 3 (p. A): devi pôr Dr. também?
- ☐ 4 (p. xv): Como escrever o acronimo ROVIM
- ☐ 5 (p. 3): **rever** devo dizer os critérios de seleção tecnológica antes de descrever e avaliar as tecnologias? Isso já está +- feito na secção acima, mas o chan refere quais os desafios que a tecnologia tem que responder.
- ☒ 6 (p. 5): É dada especial relevância à escolha de um propulsor usado em veículos comerciais desta dimensão (desde que cumpra os requisitos desta aplicação). Isto aumenta o grau de confiança na validade da configuração usada e faz com que haja mais documentação acerca da sua implementação prática em projetos anteriores.
- ☐ 7 (p. 8): **rever** o que dizer aqui? Apresentar o ziegler nichols? Mas ele só foi usado depois de ter falhado a modulação e identificação...
- ☐ 8 (p. 8): **rever** como enquadrar esta secção no capítulo: isto não é propriamente uma revisão da literatura, é mais uma análise de alto nível do problema
- ☐ 9 (p. 8): referir aqui os motores e acopladores a usar e controladores? e o sensor?
- ☐ 10 (p. 8): referir que não espero grande impacto na autonomia deste módulo?
- ☐ 11 (p. 8): o que dizer aqui mais? Incorporar as irregularidades do terreno?
- ☐ 12 (p. 13): Indicar as figuras onde aparecem os inputs e outputs de hw
- ☐ 13 (p. 24): mensagem de ajuda
- ☐ 14 (p. 24): confirmar a sequência dos flowcharts
- ☐ 15 (p. 36): colocar bibliografia em portugues
- ☐ 16 (p. A-2): mostrar restantes ficheiros de código
- ☐ 17 (p. A-2): **Fix** a listagem do código ocupa atualmente 70 páginas
- ☐ 18 (p. C-3): lista de componentes do sensor de velocidade
- ☐ 19 (p. D-14): **talking point** Pq não alterei os desenhos em vez de fazer uma errata? Pq alguns parâmetros foram mudados pelo torneiro durante a manufatura (após o desenho da caixa), e documentá-los implicaria desmontar parcialmente ou na totalidade a caixa...
- ☐ 20 (p. D-14): fazer as correções na errata e alterar o nome dos desenhos
- ☐ 21 (p. D-14): **talking point** com a largura do carreto, a bolacha não entra totalmente no veio.
- ☐ 22 (p. D-14): confirmar