

Powertrain de um veículo elétrico – estudo térmico da bateria e projeto mecânico

Diogo Bastos Martins Ledo

Relatório do Projeto Final / Dissertação do MIEM

Orientador: Prof. Armando Luís Sousa Araújo

Co-Orientador: Prof. José Manuel Ferreira Duarte



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Junho de 2014

(Página em branco)

(Página em branco)

Resumo

As preocupações a nível energético, económico e ambiental estendem-se ao mundo inteiro e são cada vez maiores. É imperativa uma maior eficiência no uso de energia e diminuição do uso de combustíveis fósseis. Nesse sentido a aposta e estudo no desenvolvimento de veículos elétricos e toda a tecnologia associada são fulcrais.

Com o intuito de estar na vanguarda tecnológica e de fazer parte da mudança necessária o Centro para a Excelência e Inovação na Indústria Automóvel (CEIIA) lançou o projecto MOBICarPower que consiste no desenvolvimento de raiz de um veículo citadino elétrico.

Um dos pontos-chave para a evolução dos veículos elétricos prende-se com as baterias e a sua evolução de modo a serem competitivas face aos combustíveis fósseis, no que concerne à aceitação desta tecnologia por parte do utilizador. Para isso é necessário continuar o seu desenvolvimento. Dentro deste um dos aspetos importantes associado à segurança e à melhoria de desempenho prende-se com o controlo da temperatura das baterias.

Assim nesta dissertação foi desenvolvido um modelo termoeletrico que estima a geração de calor numa célula de iões de lítio de modo a poder-se otimizar o seu funcionamento através do controlo de temperatura.

A simulação do modelo termoeletrico desenvolvido, com erros médios abaixo dos 5%, permite concluir que este é suficientemente exato para a sua utilização como ponto de partida para o dimensionamento de um sistema de refrigeração de baterias. Ao nível do arrefecimento com um ventilador de computador é possível diminuir quase em 20°C o conjunto de 3 células emparelhadas.

Foi também simulado o ciclo de condução New European Driving Cycle (NEDC) para veículos elétricos de modo a tirar conclusões relativamente ao desempenho dinâmico e energético do veículo.

Da simulação do ciclo de condução NEDC foi obtido um consumo energético bastante aceitável para um veículo citadino, sensivelmente 117 Wh/km e 75 km de autonomia, com o qual se conseguiria uma poupança a nível económico relativamente a um veículo equipado com motor de combustão.

Por último foram projetados vários componentes mecânicos de modo a ser possível a integração do motor elétrico no chassi, através de apoios, bem como a própria ligação deste com a caixa redutora. Os componentes mecânicos projectados foram fabricados e aguardam a montagem no veículo.

Abstract

Nowadays concerns about energy and economic and environmental needs are increasing throughout the world. It is imperative to promote greater efficiency in the use of energy as well as to reduce the use of fossil fuels. So incentives associated to development of electric vehicles and its associated technologies are essential.

Aiming to be at the forefront of these technologies and to be part of the change required, the Centre for Excellence and Innovation in the Automobile Industry (CEIIA) launched the project MOBICarPower. This is a project that intends to develop an electric city vehicle.

One of the key points for the development of electric vehicles concerns the batteries and their evolution in order to be competitive with fossil fuels. This is a key issue in order that the end user can accept this technology. For this it is necessary to continue its development. Within this, one of the important aspects associated with safety and performance improvement concerns battery temperature control.

Consequently, this dissertation developed a thermoelectric model that estimates heat generation, in a lithium ion cell, and predicts temperature at its two faces.

Obtained simulation results when compared to experimental ones, showed average errors well below 5%. So, it is possible to conclude that the model is sufficiently accurate to be used as a starting point for the design of the battery thermal control system. Simulations of a cooling system, for 3 stacked cells, showed that using a computer fan enables a temperature decrease of almost 20°.

Simulation of a driving cycle “New European Driving Cycle (NEDC)” for electric vehicles was also made, in order to draw conclusions regarding the dynamic and energetic performance of the vehicle. Considering a city vehicle, a very acceptable energy consumption level was obtained, when compared with a combustion engine, which enable good savings in economic terms.

Lastly, various mechanical components have been designed so that it is possible to incorporate the electric motor in the chassis by means of support. The link between the motor and the gearbox was also designed. The designed and manufactured mechanical components await the assembly in the vehicle.

Agradecimentos

Ao Centro para a Excelência e Inovação na Indústria Automóvel – CEIIA, por me permitir a participação num projecto como desta importância, com todo o conhecimento que daí retirei e pela experiência de trabalho num centro de investigação como este. Ao Engº Bernardo Ribeiro pela orientação e disponibilidade, ao Engº Pedro Neves, e ao Engº Paulo Machado.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto que me deu as condições necessárias para a realização deste curso.

Ao Professor Doutor Armando Araújo, meu orientador, que muito me ajudou nesta dissertação em temas fora da área da mecânica e sem ele este projeto não estaria terminado.

Ao Professor Doutor José Ferreira Duarte meu co-orientador pela total disponibilidade que sempre demonstrou relativamente a todos os problemas que surgiram durante a tese de toda a ordem, e por todo o acompanhamento mesmo fora do tema dissertação.

Ao Professor José Fonseca pela paciência em corrigir muitas vezes falhas semelhantes.

Ao Sr.º Albino Dias e ao Sr.º José Teixeira pela ajuda na conceção e pelo fabrico das peças necessárias para o veículo em estudo.

Aos meus pais, pois sem eles nada disto seria possível e por esperarem este tempo todo por este momento.

Ao meu irmão que vejo nele um exemplo académico apesar de não seguir muito o que admiro.

Aos Engenheiros e colegas Afonso Lopes, Daniel Magalhães, Agostinho Rocha, Bruno Azevedo e Ricardo Soares, pois a área deles foi muito importante para este trabalho e sempre que precisei algum deles estava lá para me ajudar.

Aos meus amigos que comigo entraram e aos poucos os fui vendo sair, mas com quem passei muitos anos e partilhei muito do que é a faculdade.

Aos meus amigos que neste momento me acompanham na faculdade e que também contribuíram para esta tese com a companhia em muitas horas de trabalho.

Aos meus amigos que nada têm a ver com o meu percurso académico e me ajudam a esquecer os problemas.

(Página em branco)

Índice

Resumo	V
Abstract.....	VII
1. Introdução	1
1.1. Apresentação do Centro de Investigação CEIIA	1
1.2. Apresentação e objetivos do projeto	2
1.3. Estrutura da dissertação	2
2. Estado de Arte	5
2.1. História dos veículos elétricos	5
2.2. Diferentes arquiteturas de powertrain.....	6
2.2.1. Convencional	6
2.2.2. Híbrida	7
2.2.3. Veículo Elétrico a baterias BEV	8
2.3. Sistema de propulsão	9
2.3.1. Motor DC	10
2.3.2. Motor de Indução (IM)	11
2.3.3. Motor síncrono de ímanes permanentes sem escovas (PM)	12
2.3.4. Motor de relutância comutada (SRM)	13
2.3.5. Comparação entre os 4 motores	14
2.4. Sistemas de armazenamento de Energia	15
2.4.1. Baterias.....	16
2.5. Tipos de controlo de temperatura	18
2.5.1. Convecção forçada a ar	19
2.5.2. Contacto direto ou indirecto de Líquido	20
2.5.3. Material de mudança de fase.....	21
3. Powertrain.....	23
3.1. Motor elétrico	23
3.2. Caixa redutora.....	24
3.3. Baterias	25
4. Ciclo de condução	27
4.1. NEDC.....	27
4.1.1. Aplicação do ciclo.....	28
4.1.2. Resultados do ciclo a nível energético	30

5.	Modelo termoelétrico	31
5.1.	Modelação do sistema por diferenças finitas	33
5.2.	Modelo Eléctrico Equivalente.....	34
6.	Validação experimental do modelo	39
6.1.	Resultados da descarga a 1C.....	39
6.2.	Descarga a 2C	41
6.3.	Descarga a 4C	43
6.4.	Descarga pulsada	44
6.5.	Descarga 1,5C - 3 células em paralelo.....	46
7.	Refrigeração das baterias.....	49
7.1.	Exemplo de refrigeração para descarga a 4C.....	49
7.2.	Exemplo de refrigeração para descarga a 1,5C com 3 células emparelhadas.....	51
8.	Modelação de apoios e ligações do motor.....	53
8.1.	Veio de saída do motor (transmissão).....	55
8.2.	Suporte do resolver	58
8.3.	Veio do resolver.....	59
8.4.	Apoio principal do motor.....	60
8.5.	Apoio da caixa	63
8.6.	Elemento de ligação entre apoio da caixa e caixa redutora	64
8.7.	Apoio da longarina.....	65
8.8.	Apoio tubular	66
8.9.	Integração no chassi.....	66
9.	Montagem do conjunto Motor – Baterias para validação do conceito	69
10.	Considerações finais.....	71
10.1.	Conclusões	71
10.2.	Trabalhos Futuros.....	71
11.	Referências	73
12.	Anexos.....	75
12.1.	Anexo A: Catálogo motor PERM	77
12.2.	Anexo B: <i>Datasheet</i> EMRAX228.....	79
12.3.	Anexo C: Catálogo caixa redutora Comex	81
12.4.	Anexo D: <i>Datasheet</i> baterias de lítio.....	83
12.5.	Anexo E: Resultados da simulação do ciclo NEDC	85

12.6.	Anexo F: Descarga 1C	89
12.7.	Anexo G: Descarga 2C.....	93
12.8.	Anexo H: Descarga 4C.....	97
12.9.	Anexo I: Descarga pulsada.....	101
12.10.	Anexo J: Descarga 1,5C 3 células emparelhadas.....	105
12.11.	Anexo L: Simulação veio de saída.....	113
12.12.	Anexo M: Simulação apoio principal	115
12.13.	Anexo N: Desenhos definição.....	117

Lista de figuras

Figura 1– Representação de veículo com Motor de Combustão Interna (Internal Combustion Engine ICE) Adaptado[6].....	6
Figura 2 – Diferentes Arquiteturas de veículos híbridos[6]	8
Figura 3 – Diferentes arquiteturas de veículos elétricos[6]	9
Figura 4 – Representação de quatro tipos de motores elétricos[7].....	10
Figura 5 – Representação esquemática de uma bateria[11]	17
Figura 6 – Refrigeração passiva com ar exterior[12]	19
Figura 7 – Refrigeração/aquecimento passivo com ar interior[12]	19
Figura 8 – Refrigeração/aquecimento ativo com ar interior[12]	19
Figura 9 – Refrigeração passiva[12].....	20
Figura 10 – Refrigeração/aquecimento ativo moderado[12]	20
Figura 11 – Refrigeração/aquecimento ativo[12].....	20
Figura 12 – Controlo de temperatura por PCM [14]	21
Figura 13 – Motor Emrax228[15]	24
Figura 14 – Caixa redutora Comex D695[16].....	24
Figura 15 – Esquema das dimensões da célula de bateria.....	25
Figura 16 – Célula de bateria prismática e sistema de eixos considerado[21]	32
Figura 17 – Diagrama básico do funcionamento do modelo de estimação da temperatura em Psim	35
Figura 18 – Representação em Psim do circuito equivalente do interface exterior parede da célula $x=0$	35
Figura 19 – Representação em Psim do subcircuito equivalente de condução no interior da célula.....	36
Figura 20 – Representação em Psim do modelo da bateria.....	36
Figura 21 – Representação em Psim da estimação da tensão de circuito aberto[23]	36
Figura 22 – Representação em Psim da estimação do SOC [23]	37
Figura 23 – Representação em Psim da estimação do calor gerado	37
Figura 24 – Representação das faces para captura de imagem.....	39
Figura 25 – Temperatura máxima observada na face 1 . Descarga a 1C.	41
Figura 26 – Temperatura máxima observada na face2. Descarga a 1C.	41
Figura 27 - Temperatura máxima observada na face 1 Descarga 2C.....	42
Figura 28 - Temperatura máxima observada na face 2 Descarga 2C.....	42
Figura 29 - Temperatura máxima observada na face 1. Descarga 4C.....	44

Figura 30 - Temperatura máxima observada na face 2 Descarga 4C.....	44
Figura 31 - Temperatura máxima observada na face 1.	46
Figura 32 - Temperatura máxima observada na face 2.	46
Figura 33 – Montagem de 3 células em paralelo para teste.....	46
Figura 34 – Temperatura máxima observada na face 1. Descarga 1,5C.	48
Figura 35 – Temperatura máxima observada na face 1. Descarga 1,5C.	48
Figura 36 – Representação da direcção do escoamento	50
Figura 37 – Modelo 3D do motor com os terminais elétricos e entrada e saída de água	53
Figura 38 – Modelo 3D da face de saída de potência.....	53
Figura 39 – Representação 2D e dimensões do motor Emrax228[15].....	54
Figura 40 – Representação 2D e dimensões da caixa redutora Comex D695.....	54
Figura 41 – Estrutura do chassi com a caixa redutora.....	55
Figura 42 – Veio estriado de ligação do motor com a caixa redutora.....	55
Figura 43 – Fotografia do veio de transmissão fabricado	56
Figura 44 – Zonas de fixação do veio de transmissão.....	56
Figura 45 – Direcção e pontos de aplicação das forças no veio de saída do motor	57
Figura 46 – Simulação dos esforços aplicados.....	57
Figura 47 – Simulação do deslocamento.....	58
Figura 48 – Modelação 3D do suporte do resolver	59
Figura 49 – Fotografia do suporte fabricado	59
Figura 50 – Modelação 3D do veio do resolver	60
Figura 51 – Fotografia do veio do resolver fabricado e roscado no veio de transmissão	60
Figura 52 – Modelação 3D do apoio principal do motor	61
Figura 53 – Fotografia do apoio principal fabricado.....	61
Figura 54 – Zonas e forças de fixação a verde ; Direcção e pontos de aplicação da força aplicada a roxo.....	61
Figura 55 – Simulação dos esforços aplicados.....	62
Figura 56 – Simulação do deslocamento.....	63
Figura 57 – Modelação 3D do apoio da caixa redutora.....	63
Figura 58 – Fotografia do apoio da caixa fabricado.....	64
Figura 59 – Modelação 3D do elemento de ligação entre apoio da caixa e caixa redutora	64
Figura 60 – Fotografia do elemento de ligação fabricado	65
Figura 61 – Modelação 3D do apoio da longarina	65
Figura 62 – Fotografia do apoio da longarina fabricado	66

Figura 63 – Modelação 3D do apoio tubular	66
Figura 64 – Modelação 3D da implementação dos componentes no chassi	67
Figura 65 – Suporte do motor elétrico.....	69
Figura 66 – Ligação à caixa de velocidades	69
Figura 67 – Montagem do controlador	69
Figura 68 – Caixa de suporte dos packs de baterias	70
Figura 69 – Montagem da caixa e packs no veículo.....	70

Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparação de quatro tipos de motores elétricos [8].....	15
Tabela 2 – Comparação de diferentes tipos de baterias [11]	18
Tabela 3 – Dimensões da célula da bateria.....	25
Tabela 4 – Parâmetros gerais do veículo	30
Tabela 5 – Parâmetros adoptados para os testes	39
<i>Tabela 6 – Erros relativos face 1 descarga 1C (%)</i>	40
<i>Tabela 7 – Erros relativos face 2 descarga 2C (%)</i>	40
<i>Tabela 8 – Erros relativos face 1 descarga 2C (%)</i>	41
<i>Tabela 9 – Erros relativos face 2 descarga 2C (%)</i>	42
Tabela 10 – Erros relativos face 1 descarga 4C (%).....	43
Tabela 11 – Erros relativos face 2 descarga 4C (%).....	43
Tabela 12 – Erros relativos (%) face 1 descarga pulsada.	45
Tabela 13 – Erros relativos (%) face 2 descarga pulsada	45
Tabela 14 – Erros relativos (%) face 1 descarga 1,5C.....	47
Tabela 14 – Erros relativos (%) face 1 descarga 1,5C.....	47
Tabela 15 – Características do ventilador.....	49
Tabela 16 – Propriedades físicas do ar	50
Tabela 17 – Resultados das equações 34 a 37	50
Tabela 18 – Temperaturas finas e arrefecimento obtido	50

Lista de gráficos

Gráfico 1 – Curva característica de binário-potência de um motor DC [8]	11
Gráfico 2 – Curva característica de binário-potência de um motor IM [8]	12
Gráfico 3 – Curva característica binário-potência de um motor do tipo PM [8]	13
Gráfico 4 – Curva característica binário-potência de um motor SRM [8]	14
Gráfico 5 – Relação entre potência e energia específica de diferentes tipos de armazenamento de energia [10]	16
Gráfico 6 – Gráfico potência vs binário vs velocidade de rotação[15]	23
Gráfico 7 – Ciclo urbano presente no NEDC repetido quatro vezes [18]	27
Gráfico 8 – Ciclo extra urbano presente no NEDC para veículos de baixa potência Adaptado[18]	28
Gráfico 9 – Ciclo completo NEDC para veículos de baixa potência Adaptado[18]	28
Gráfico 10 – Temperatura real vs temperatura do modelo. Face 1 descarga 1C	40
<i>Gráfico 11 – Temperatura real vs temperatura do modelo. Face 2. Descarga 1C.</i>	<i>40</i>
Gráfico 12 – Temperatura real vs temperatura do modelo face 1. Descarga 2C	41
Gráfico 13 – Temperatura real vs temperatura do modelo na face 2. Descarga 2C	42
Gráfico 14 – Temperatura real vs temperatura do modelo na face 1. Descarga 4C	43
Gráfico 15 – Temperatura real vs temperatura do modelo na face 2. Descarga 4C	43
Gráfico 16 – Variação da corrente vs tempo	44
Gráfico 17 – Temperatura real vs temperatura do modelo na face 1. Descarga pulsada	45
Gráfico 18 – Temperatura real vs temperatura do modelo na face 2. Descarga pulsada	45
Gráfico 19 – Temperatura real vs temperatura do modelo na face 1. Descarga 1,5C	47
Gráfico 20 – Temperatura real vs temperatura do modelo na face 2. Descarga 1,5C	47

Símbolos e Abreviaturas

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

AC	Corrente Alternada
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i> (Veículo elétrico a baterias)
CEIIA	Centro para a Excelência e Inovação na Indústria Automóvel
DC	Corrente Contínua
EV	<i>Electric Vehicle</i> (Veículo elétrico)
EM	<i>Electric Motor</i> (Motor elétrico)
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
GPL	Gás petróleo liquefeito
HEV	<i>Hybrid electric vehicle</i> (Veículo elétrico híbrido)
ICE	<i>Internal combustion engine</i> (Motor de combustão interna)
IM	<i>Induction motor</i> (Motor de indução)
NEDC	<i>New European Driving Cycle</i> (Novo ciclo de condução Europeu)
PCM	<i>Phase Change Material</i> (Material de mudança de fase)
PEV	<i>Plug-in electric vehicle</i> (Veículo elétrico de recarregamento pela rede)
PHEV	<i>Plug-in hybrid electric vehicle</i> (Veículo elétrico híbrido de recarregamento pela rede)
PM	<i>Permanent magnet</i> (ímãs permanentes)
SOC	<i>State of Charge</i> (Estado de carga)

Lista de símbolos

Crr	Coefficiente de atrito de rolamento
Ctre	Coefficiente de transmissão
Rp	Resistência paralelo
Rs	Resistência série

Re	Número de Reynolds
Nu	Número de Nusselt
k	Condutibilidade térmica
α	Difusividade térmica
ρ	Massa volúmica
η	Rendimento
ν	Viscosidade cinemática
h	Coefficiente de convecção

1. Introdução

Nos dias de hoje há cada vez mais a necessidade de aumentar a sustentabilidade ao nível energético, e é neste sentido que a aposta no desenvolvimento de veículos elétricos faz cada vez mais sentido, tornando-nos mais eficientes.

Portugal em particular já mostrou que a sustentabilidade é uma necessidade, com a aposta cada vez maior em energias renováveis, diminuindo a dependência energética do país ao nível dos combustíveis fósseis, e com incentivos fiscais na compra de veículos elétricos e criação de uma rede de carregamento para veículos elétricos.[1, 2]

Com a indústria automóvel a desenvolver cada vez mais a tecnologia híbrida e agora a elétrica o aparecimento de um veículo elétrico totalmente desenvolvido no nosso país irá transportar-nos para a vanguarda da engenharia automóvel e é de salutar.

Uma das questões que mais afasta o consumidor comum desta nova tecnologia ao nível do transporte será o nível de performance comparativamente com os veículos movidos por motor de combustão. Um dos componentes diretamente ligado ao desempenho do automóvel elétrico são as suas baterias e a autonomia disponibilizada. De modo a mudar esta mentalidade e melhorar esta característica nos veículos elétricos é fundamental um melhor conhecimento das mesmas para ser possível otimiza-las. A este nível há um fator bastante importante que necessita ser tratado que é o seu aumento de temperatura devido ao calor gerado quando em funcionamento. Este fenómeno irá afetar não só o seu desempenho como o seu tempo de vida e levantar questões ao nível da segurança dos veículos devido ao risco associado à existência de temperaturas elevadas e fora do intervalo de utilização definido pelo fabricante.

1.1. Apresentação do Centro de Investigação CEIIA

O CEIIA é um centro de engenharia e inovação em que um dos seus objetivos é a melhoria do aspecto da mobilidade, tentando abordá-la através de uma nova perspetiva procurando novas oportunidades, novos produtos e serviços com novas tecnologias.

Com projectos específicos na área automóvel e de mobilidade como os projetos MOBICarPower e MOBI.E, projetos centrados na energia elétrica e virados para um futuro sustentável. Tem também vários projectos ligados à aeronáutica, prototipagem e estudo de novos materiais.

A aposta é grande na diferença e no pensamento inovador e o trabalho é feito com parceiros estratégicos que se estendem por todo o mundo bem como pelas grandes empresas nacionais e Universidades o que demonstra grande competência, estatuto e preocupação em formar novos engenheiros e novos trabalhadores e com eles partilhar a filosofia pela qual de regem.

1.2. Apresentação e objetivos do projeto

No âmbito da unidade curricular de dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica – opção de produção, desenvolvimento e engenharia automóvel – da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), em conjunto com o Centro para a Excelência e Inovação na Indústria Automóvel (CEIIA) esta dissertação surge no contexto do projeto MOBICarPower

O projecto Mobi.Power surge da colaboração do CEIIA com várias entidades, entre elas a FEUP, para o desenvolvimento de raiz de um veículo puramente elétrico. No seguimento dessa colaboração surge este projeto de dissertação com o objetivo de estudar o problema de aquecimento de baterias de iões de lítio em conjunto com a necessidade de integrar o motor elétrico ao chassis do veículo e a sua ligação com a caixa redutora. Por fim uma validação teórica do desempenho e consumo energético ao nível da utilização deste veículo.

De modo a aferir a necessidade de arrefecimento, será necessário o conhecimento da quantidade de calor produzida pela bateria quando em descarga, sendo criado, portanto, um modelo termoelétrico representativo do problema.

Ao nível do projeto de apoios do motor e veio de transmissão será tido em consideração o atravancamento do chassis em conjunto com a caixa de velocidades e serão feitas simulações para a validação de tais componentes.

A análise de performance e de consumo energético será com base num ciclo de condução obrigatório a qualquer veículo comercializado através de uma norma europeia.

1.3. Estrutura da dissertação

Com o intuito de aprofundar todos os aspetos já introduzidos e apresentados anteriormente foi feita uma divisão por capítulos e subcapítulos de modo a ser mais perceptível e mais simples de consultar cada um dos diferentes temas abordados nesta dissertação.

Neste primeiro capítulo foi realizada uma breve introdução com apresentação dos temas em estudo e a finalidade com os quais foram estudados.

No segundo capítulo, é feito um enquadramento histórico e teórico sobre os veículos em geral, mostrando um pouco os três tipos de veículos presentes hoje em dia, veículos com motor térmico, híbrido termo/elétrico e puramente elétrico. Apresentam-se ainda alguns dos seus componentes principais e uma análise ao que já foi estudado e está diretamente relacionado com o tema abordado nesta dissertação.

O terceiro capítulo aborda os três principais componentes do veículo elétrico que mais influenciaram o estudo feito: o motor elétrico e caixa redutora escolhidos para incorporar o veículo bem como as baterias que lhe vão fornecer energia.

No quarto capítulo é feita uma análise com base numa norma europeia ao qual todos os veículos são sujeitos por forma a aferir a sua eficiência energética. Deste modo, simulou-se

um ciclo de condução com o propósito de confirmar a capacidade do veículo o percorrer, através de uma análise dinâmica e energética, e tirar conclusões sobre a sua eficiência.

O quinto capítulo refere-se ao conhecimento do calor gerado por uma célula de bateria de modo a ser possível tirar conclusões sobre a necessidade de arrefecimento das mesmas quando em funcionamento.

A validação do capítulo anterior é feita, experimentalmente, no capítulo seis, por comparação entre os resultados do modelo com resultados obtidos em ensaios laboratoriais.

No capítulo sete é feito um breve estudo relativo ao arrefecimento por convecção forçada, simulando em *PSIM* o arrefecimento conseguido por um caudal de ar fornecido por um ventilador de computador a um emparelhamento de 3 células.

O capítulo oito refere-se à modelação 2D e 3D das peças necessárias à integração do motor elétrico no chassi do carro bem como a sua ligação com a caixa redutora necessária para a transmissão de potência.

No capítulo nove é mostrada a montagem feita no veículo Fiat Uno do motor elétrico e do conjunto de baterias para testes do mesmo e validação do conceito.

Por último, no capítulo dez, são apresentadas as conclusões dos temas abordados bem como a importância e a possibilidade de determinados aspetos da tese poderem ser usados para trabalho futuro.

2. Estado de Arte

Este capítulo irá abordar a história dos veículos elétricos, o seu início e desenvolvimento até hoje, bem como uma breve comparação com os outros tipos de veículos comercializados hoje em dia, equipados apenas com motor térmico ou híbridos elétricos.

Será falado também dos vários componentes que integram o veículo elétrico como o motor elétrico, bateria e os seus problemas de aquecimento e necessidade de refrigeração.

2.1. História dos veículos elétricos

Nos dias de hoje com as cada vez maiores preocupações ambientais a nível mundial, quer ao nível de poluição (emissões de gases nocivos e poluentes pelos veículos automóveis) como ao nível da dependência de combustíveis fósseis (petróleo), os veículos elétricos têm ganho nestes últimos anos uma grande notoriedade, com esta área a sofrer um forte investimento das grandes marcas automóvel com sucessivos lançamentos de veículos tanto híbridos como totalmente elétricos. Praticamente todas as marcas neste momento têm um veículo elétrico disponível para compra ou pelo menos um híbrido elétrico, e as perspectivas passam para um aumento da oferta no que respeita este tipo de veículos bem como a continuação do investimento feito nestas tecnologias.

Contrariamente à ideia que passa para a generalidade das pessoas, os carros elétricos não são uma novidade. Os primeiros veículos elétricos foram desenvolvidos em França e Inglaterra nos finais da primeira década do séc. XIX. Entre 1832 e 1839. O veículo elétrico sofreu a concorrência do motor a combustão desde o início do século XX. Apesar de ter sempre estado, tecnologicamente, bem à frente em termos de eficiência, sofria do problema da autonomia, do tempo de carregamento e do preço das baterias. [3]

A partir do momento em que em 1830 Joseph Henry introduziu o primeiro motor elétrico DC apareceram os primeiros veículos elétricos. Mas este conceito não singrou devido à falta de possibilidade de carregar as baterias. Também conhecidos como veículos zero emissões têm um reduzido nível de ruído operacional e uma manutenção mínima devido à redução de componentes móveis e ao facto de o motor de combustão interna ser mais complexo a nível de funcionamento e manutenção.[4]

O declínio do veículo elétrico deu-se com a melhoria das estradas e acessos que requeriam uma autonomia maior do que a simples e curta deslocação no centro das cidades e com a descoberta do petróleo no Texas que reduziu o preço da gasolina. Charles Kettering, em 1912, inventou a ignição elétrica, eliminando assim a necessidade de “dar à manivela”. Henry Ford iniciou a produção em massa de veículos de motor de combustão interna (Ford Modelo T) com preços bem mais acessíveis.[5]

O ressurgimento do veículo elétrico surge nos finais do século 20 com a crise do petróleo, uma maior consciencialização dos problemas ambientais e consequente necessidade de encontrar alternativas ao uso da gasolina. A evolução até ao presente tem sido em grande parte fomentada pelos tratados, regulamentos e medidas internacionais para a redução das

emissões de gases de efeito estufa e mais recentemente com as políticas de desenvolvimento sustentável.[6]

Os veículos híbridos apareceram também como alternativa imediata, já que reduzem o consumo de gasolina e ao mesmo tempo continuam aos “olhos do público” a ser a mesma coisa, sem grandes necessidades de adaptações ou alterações.[3]

Um veículo puramente elétrico é um veículo cujo modo de propulsão é através de um motor elétrico ao qual é fornecida energia armazenada nas baterias, em vez de um motor de combustão interna com o seu respetivo combustível.

Objectivo de uma qualquer powertrain é ter potência suficiente para ir de encontro com as exigências de utilização, ter energia suficiente para suportar a autonomia necessária e aceitável à sua utilização, demonstrar uma boa eficiência e reduzir a emissão de poluentes. Ao nível dos veículos produzidos em série podemos ter uma ou duas fontes de energia. Com uma fonte pode ser o convencional motor de combustão interna ou bateria associada a um motor elétrico. A conjugação de dois tipos de fontes de energia dá origem ao veículo híbrido que associa o motor de combustão interna a um motor elétrico. Neste caso teremos uma fonte primária e uma secundária, sendo o motor de combustão interna a primeira.

2.2. Diferentes arquiteturas de powertrain

São vários os tipos de veículos automóveis existentes hoje em dia no que toca ao modo de propulsão.

2.2.1. Convencional

Motor de combustão interna que poderá usar gasolina, diesel, GPL entre outros. Pode-se ver na Figura 1 um esquema representativo desta arquitetura.

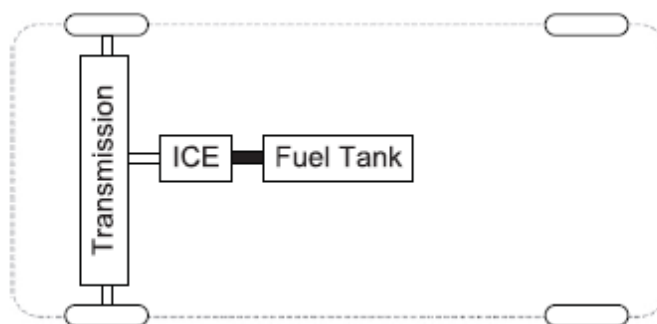


Figura 1– Representação de veículo com Motor de Combustão Interna (Internal Combustion Engine ICE)
Adaptado[6]

A energia necessária para o movimento do veículo provém do combustível, é transformada no motor que mecanicamente o transmite às rodas, permitindo assim o movimento do mesmo.

2.2.2. *Híbrida*

Motor de combustão interna associado a um motor elétrico (diferentes tipos, série, paralelo ou combinação). Ambos os motores podem contribuir para transmitir movimento ao veículo ou não dependendo da arquitetura do sistema. A Figura 2 mostra esquemas representativos deste tipo de *powertrain*.

Micro híbrido - Nos dias de hoje com o sistema *start & stop* temos um pequeno motor elétrico (12V-14V e <5Kw) com a única finalidade de ligar o motor nesta situação.

Mild Hybrid (a) EM (140-150V e 7-12Kw) transmite potência ao veículo em conjunto com o motor de combustão interna, não o podendo fazer sozinho devido ao tipo de arquitetura, em série, ou seja, apenas há um eixo de ligação à transmissão. Com isto é possível reduzir o tamanho do ICE e ter um ganho de até 30% de economia de combustível.

Full Hybrid (b-f) EM (100-330V e 30-130Kw)

Em b) *extended range electric vehicle* ou *full hybrid* série, onde a propulsão fica somente a cargo do motor elétrico como num veículo elétrico a bateria (puro) e o motor térmico servirá apenas para recarregar as baterias quando necessário. Será a tipologia com menor desempenho.

Em c) *full hybrid* paralelo, ambos os motores, elétrico e combustão interna, podem ser responsáveis pela propulsão do veículo estando ligados a um acoplador mecânico de binário ou velocidade (trem planetário). Esta configuração aumenta a eficiência em quase o dobro da em série.

Em d) *full hybrid* série paralelo, tem dois acopladores mecânicos. A grande vantagem é a possibilidade de ambos os motores se complementarem em funcionamento tornando mais agradável a condução quer em circuito urbano como extra urbano. Apesar de combinar as vantagens de um série bem como de um paralelo é relativamente mais complexo e terá um maior custo.

Em e) *Full hybrid* complexo, semelhante ao série paralelo mas com dois conversores aumentando a facilidade de controlo e fiabilidade.

Em f) híbrido *plug in*, é em tudo semelhante a um *full hybrid* com a diferença que a bateria poderá ser carregada diretamente à rede elétrica.[6]

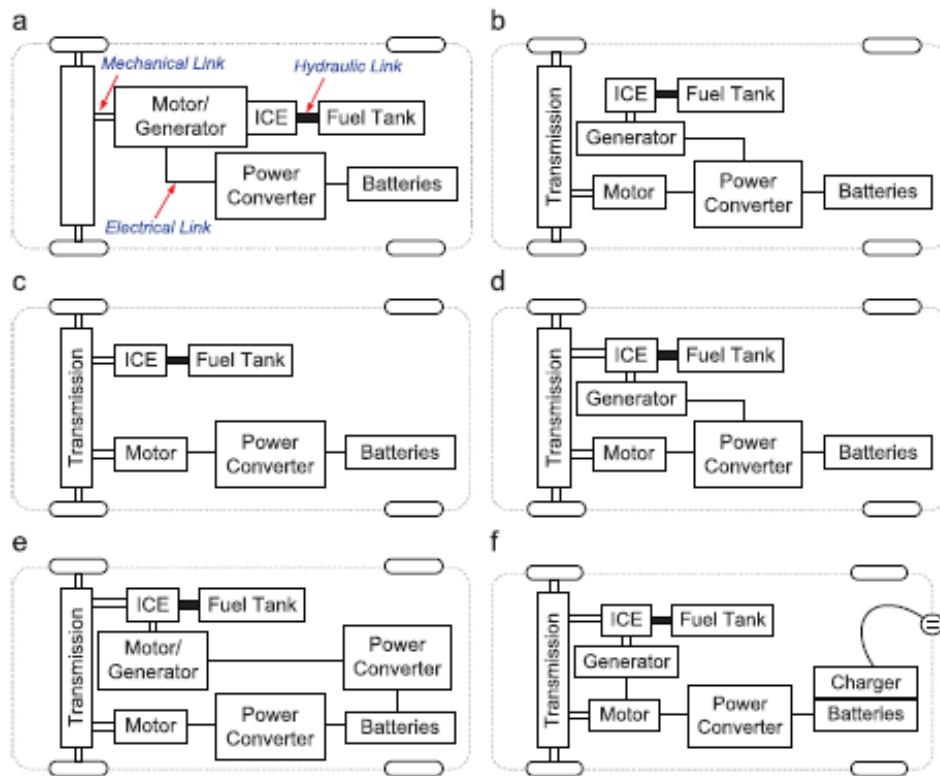


Figura 2 – Diferentes Arquiteturas de veículos híbridos[6]

2.2.3. Veículo Elétrico a baterias BEV

Veículos com propulsão puramente elétrica podendo ser *plug in* ou não. Representações destas arquiteturas podem ser vistas na Figura 3.

Em a) conversão direta a partir de um veículo convencional de combustão interna, mantendo o conjunto caixa de velocidades e embraiagem.

Em b) temos uma transmissão de redução fixa, uma só velocidade, sem embraiagem, reduzindo assim o peso tamanho e complexidade do conjunto.

Em c) a simplificação do conjunto é continuada com a integração da redução fixa e do diferencial.

Em d) a diferença prende-se só com a duplicação do conjunto anterior, independente em cada roda.

Em e) não há eixo de transmissão e a propulsão é aplicada diretamente à roda através do conjunto motor elétrico e redução fixa.

Em f) há a compactação do mecanismo colocando-o diretamente na roda, necessitando apenas de uma maior disponibilidade de binário para o arranque do veículo.[6]

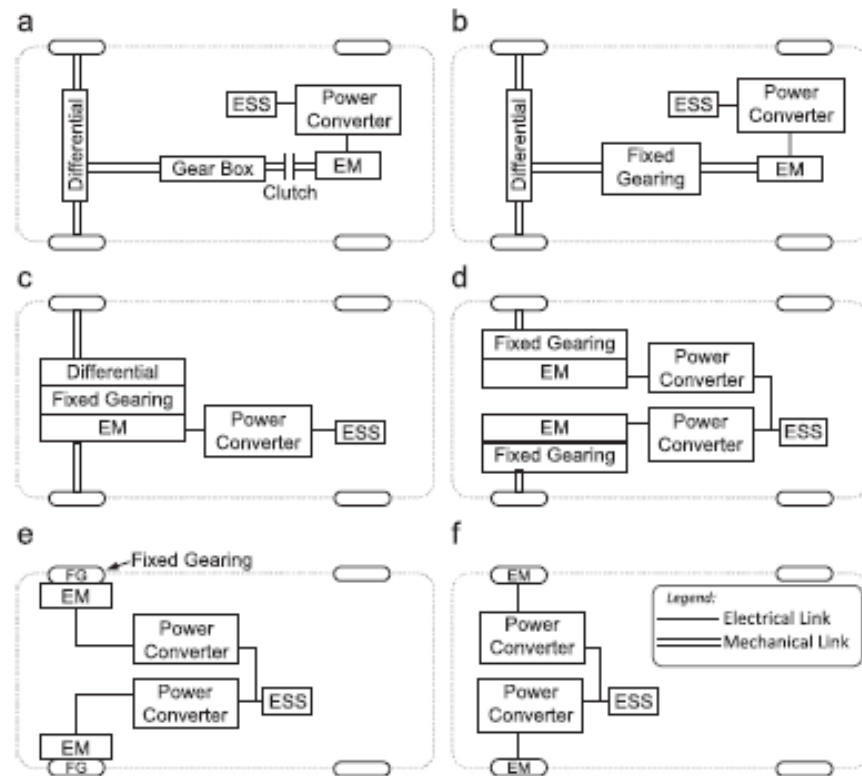


Figura 3 – Diferentes arquiteturas de veículos elétricos[6]

2.3. Sistema de propulsão

Num veículo totalmente elétrico o motor elétrico é o seu único meio de propulsão com as baterias a serem a sua fonte de energia. Estes dois componentes são muito dependentes um do outro pois aquando do dimensionamento deles e após as considerações iniciais de projecto quando se pretende criar um veículo elétrico será necessário ter uma utilização tipo em vista e depois adequar a performance dos componentes à esperada. Factores como o peso, binário e potência, velocidade máxima, travagem regenerativa, e autonomia terão de ser tidos em conta para a escolha do motor e do pack de baterias adequado à exigência.

Os quatro tipos de motores mais utilizados na indústria automóvel são o motor DC (*Direct Current* – Corrente Contínua), o motor de indução IM (*induction motor*), o motor síncrono de ímanes permanentes sem escovas e o motor de relutância comutada, as suas representações podem ser vistas na Figura 4.

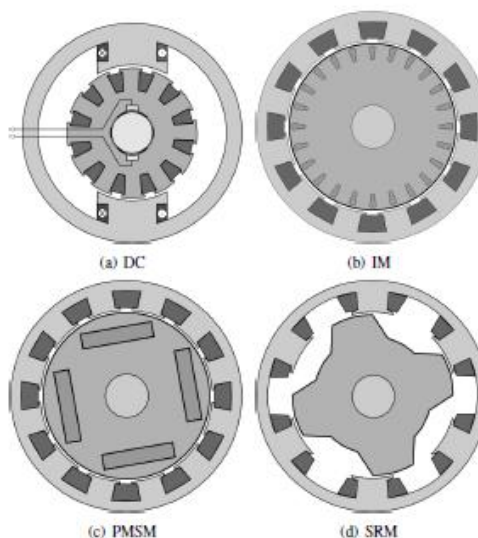


Figura 4 – Representação de quatro tipos de motores elétricos[7]

2.3.1. Motor DC

O motor DC foi desde o início um motor bastante apelativo para a sua utilização na indústria automóvel. Apesar da manutenção e durabilidade serem considerados obstáculos, uma vez que possuem escovas, comutadores mecânicos. Devido à sua facilidade de controlo, possibilidade de ligação directa na bateria, construção compacta, relativo baixo custo de construção e eficiência parecem ser uma boa escolha para a indústria no que toca a motores de baixa potência [4].

Para potências superiores a 20 kW este tipo de motores necessita de comutação de pólos e bobinas de compensação sendo portanto maiores e mais caros [7].

No Gráfico 1 pode ver-se a curva característica de binário-potência de um motor DC.

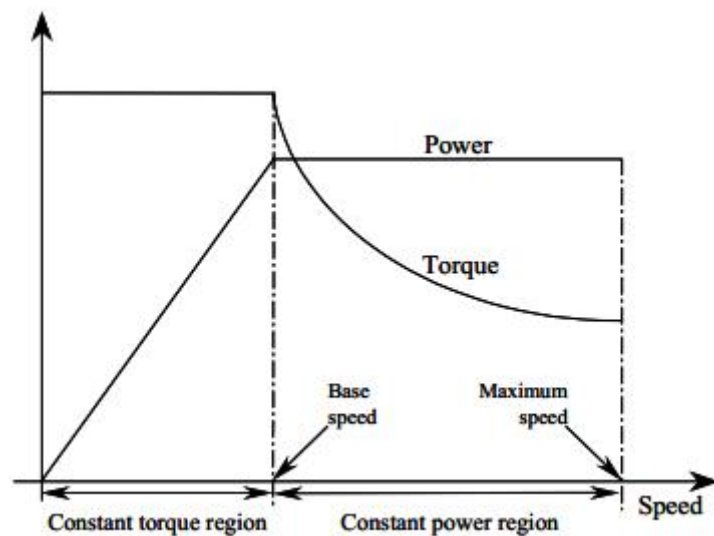


Gráfico 1 – Curva característica de binário-potência de um motor DC [8]

2.3.2. Motor de Indução (IM)

O motor de Indução é um motor muito utilizado em várias indústrias. Características como fiabilidade, robustez, baixa manutenção e capacidade de trabalho em ambientes hostis tornam-no um bom candidato. Apesar de serem o tipo de motor no qual a tecnologia está mais avançada ainda possuem bastantes desvantagens como o baixo factor de potência, a grande perda de binário na zona de binário constante e baixa eficiência. A altas velocidades há um aumento de perdas e a eficiência é ainda reduzida. Estas desvantagens têm tentado ser colmatadas com o uso de inversores duplos de modo a aumentar a zona de potência constante, incorporando dupla alimentação, isto é, tanto o estator como o rotor têm bobine aumentando a performance a baixa velocidade e reduzindo as perdas.[4, 9]

Como desvantagem tem-se o calor no rotor devido às perdas o que obriga a arrefecimento e restrições na capacidade de sobrecarga.[7]

No Gráfico 2 pode observar-se a curva característica de binário-potência um motor IM.

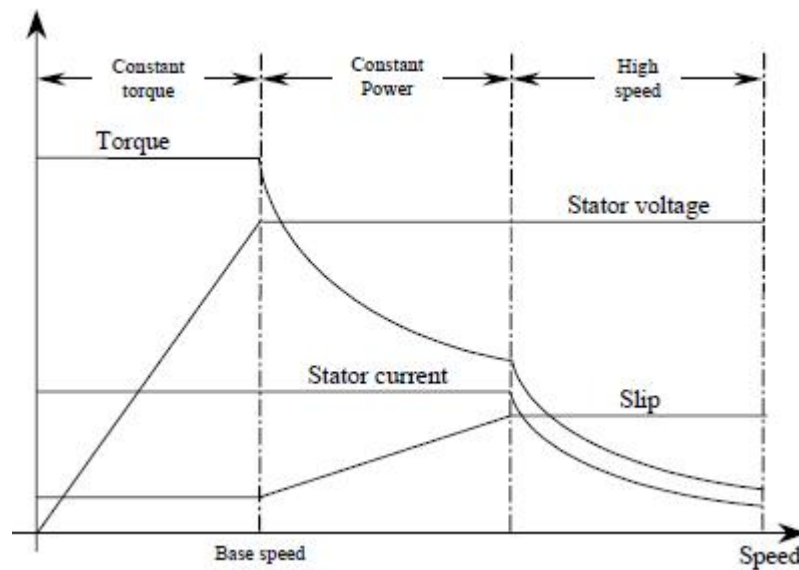


Gráfico 2 – Curva característica de binário-potência de um motor IM [8]

2.3.3. Motor síncrono de ímanes permanentes sem escovas (PM)

Em conjunto com o motor de indução, o motor síncrono de ímanes permanentes sem escovas é um dos mais fortes candidatos em aplicações de tracção. Vantagens como alta densidade de potência, alta eficiência e uma maior capacidade de dissipação de calor fazem com que muitos fabricantes de automóveis já tenham usado este tipo de motor. De modo a aumentar a gama de velocidades e aumentar a sua eficiência o conversor pode ser controlado de modo a aumentar a velocidade três a quatro vezes acima da velocidade base. Uma desvantagem é a possibilidade de desmagnetização devido ao calor ou à reacção da armadura [7-9]. No Gráfico 3 pode visualizar-se curva característica de binário-potência para este motor.

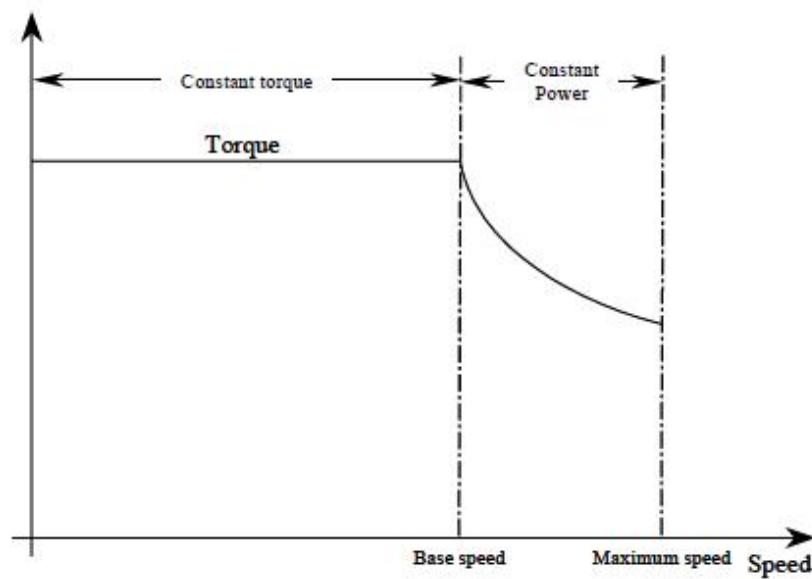


Gráfico 3 – Curva característica binário-potência de um motor do tipo PM [8]

2.3.4. Motor de relutância comutada (SRM)

Este tipo de motores tem vindo a receber grande interesse ultimamente uma vez que apresenta vantagens como uma construção simples e robusta, tolerância a falhas, são de um controlo simples e apresentam uma excelente característica binário vs velocidade como se pode ver no gráfico, que também mostra a possibilidade de trabalhar numa extensa zona de potência constante.[4]

Porém há algumas desvantagens a ter em conta como o ruído de funcionamento, instabilidade de binário a baixas velocidades, uma tipologia de conversor mais complexa e interferência eletromagnética, o que leva a um controlo mais complicado.[7]

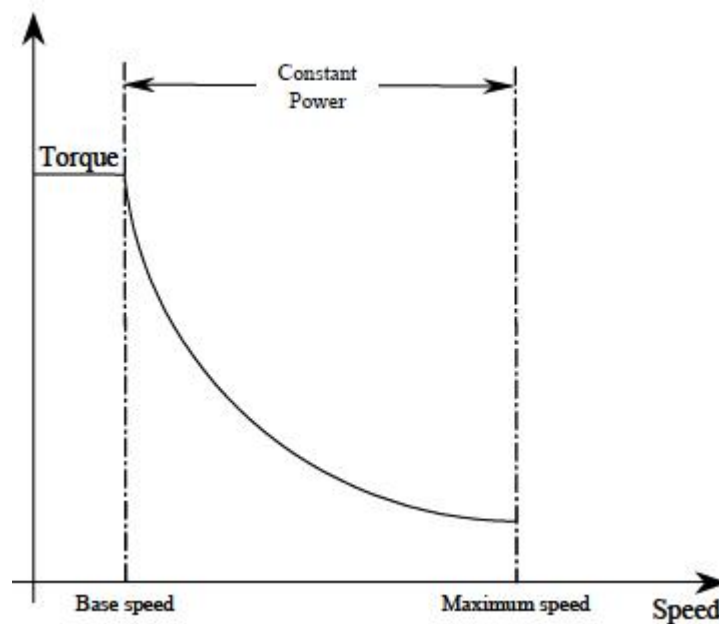


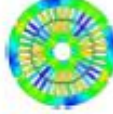
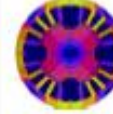
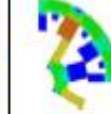
Gráfico 4 – Curva característica binário-potência de um motor SRM [8]

2.3.5. Comparação entre os 4 motores

Como já foi abordado, as características que mais pesam na escolha de um motor elétrico são a velocidade de rotação, o binário, a eficiência. Podemos então aferir que os que apresentam melhores características de um modo geral são os de indução e de imanes permanentes, o que não quer dizer que as outras tipologias não sejam indicadas para determinados projectos.

Neste momento e como é possível observar na Tabela 1, a melhor classificação total é dos motores IM seguido dos PM. Enquanto os PM apresentam uma melhor densidade de potência e eficiência os IM têm vantagens ao nível de custo e fiabilidade. No entanto a dinâmica do veículo e arquitetura do sistema irão influenciar a gama de velocidade do motor e a sua eficiência energética, melhor nos PM, o que fará com que haja efetivamente um aproximar entre estes dois tipos de motor no que toca à melhor escolha tendo também em conta que a maturidade tecnológica terá tendência a equilibrar nos próximos anos.

Tabela 1 – Comparação de quatro tipos de motores elétricos [8]

Propulsion Systems				
Characteristics	DC	IM	PM	SRM
Power Density	2.5	3.5	5	3.5
Efficiency	2.5	3.5	5	3.5
Controllability	5	5	4	3
Reliability	3	5	4	5
Technological maturity	5	5	4	4
Cost	4	5	3	4
Σ Total	 22	 27	 25	 23

2.4. Sistemas de armazenamento de Energia

Para o funcionamento do veículo é necessário que todos os componentes tenham energia para o funcionamento conveniente do mesmo.

No caso dos veículos elétricos esta necessidade é ainda maior. Num veículo convencional, somente com motor térmico, existe apenas uma bateria de chumbo-ácido entre 12-24V para o funcionamento de todos os periféricos mas a grande percentagem de energia necessária é obtida a partir do combustível para o funcionamento do motor.

No caso do veículo híbrido o facto de possuir também um motor térmico diminui a exigência das baterias, pois estas podem ser carregadas diretamente pelo motor, mas no caso do veículo elétrico toda a necessidade energética terá de ser colmatada pelas baterias ou supercondensadores.

Para a escolha do sistema de armazenamento há um determinado número de requisitos que têm de ser tidos em conta na escolha da bateria. Características como energia e potência específica, responsáveis pela autonomia e desempenho respetivamente, eficiência, necessidade de manutenção, gestão, custo e segurança.

No Gráfico 5 podemos observar a relação entre potência e energia específica de diferentes tipos de armazenamento de energia e a relação destas características com a autonomia e a aceleração de um veículo bem como onde se enquadram relativamente aos objectivos de veículos elétricos e híbridos elétricos.

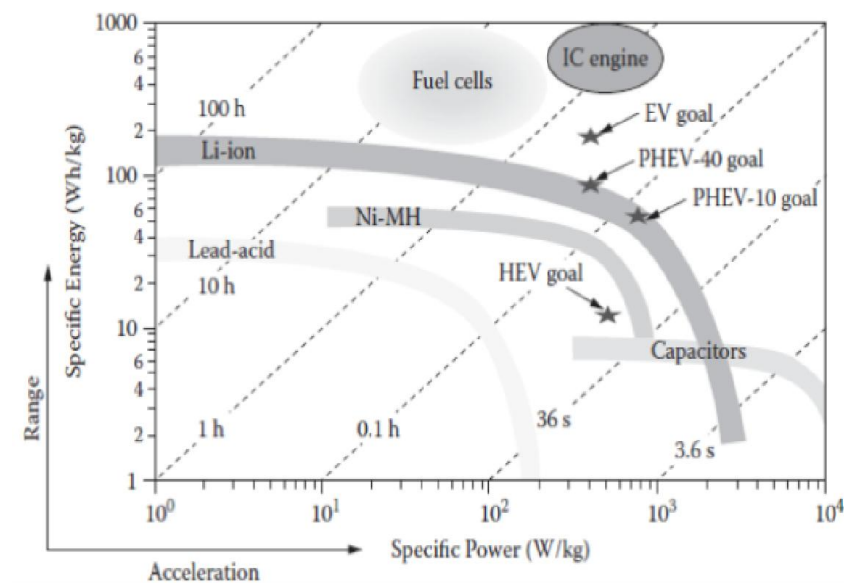


Gráfico 5 – Relação entre potência e energia específica de diferentes tipos de armazenamento de energia [10]

2.4.1. Baterias

Neste caso o sistema de armazenamento de energia são as baterias. Estas armazenam, fornecem ao exterior, descarga e recebem energia do exterior, carregamento.

Estes sistemas de baterias podem ser compostos por uma só bateria ou por conjuntos de células de bateria ligadas entre si formando um módulo, e cada bateria poderá ser composta por mais que um desses módulos formando então a bateria final.

As baterias são dispositivos eletroquímicos, isto é, através de uma reacção química transformam energia química em energia elétrica ou vice versa consoante se está a falar de carregamento ou descarga. Como é possível ver na Figura 5, uma célula de bateria é basicamente composta por dois eléctrodos, um positivo e outro negativo, imersos num eletrólito.

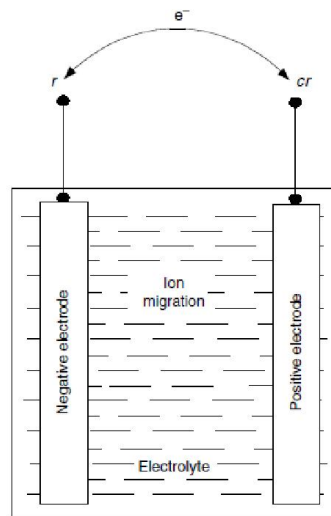


Figura 5 – Representação esquemática de uma bateria[11]

Normalmente a principal especificação da bateria é a sua capacidade, dada em Ampere hora, ou seja, uma bateria que tenha uma capacidade de 10Ah demora uma hora a descarregar, a uma taxa de descarga de 1C (1C=10A). Outro parâmetro importante será a tensão nominal e a tensão máxima da bateria totalmente carregada.

O estado de carga da bateria (SOC) também é um fator bastante importante nas baterias uma vez que nos diz em percentagem a capacidade restante disponível em relação à capacidade da bateria quando totalmente carregada.

Neste momento as baterias mais comuns tanto em veículos totalmente elétricos como em híbridos elétricos são as de íons de lítio (LI-ion) e as de Hidreto Metálico de Níquel (NiMH).[11]

A Tabela 2 ilustra o porquê desta preferência.

Tabela 2 – Comparação de diferentes tipos de baterias [11]

System	Specific Energy (Wh/kg)	Peak Power (W/kg)	Energy Efficiency (%)	Cycle Life	Self-Discharge (% per 48 h)	Cost (US\$/kWh)
<i>Acidic aqueous solution</i>						
Lead/acid	35–50	150–400	>80	500–1000	0.6	120–150
<i>Alkaline aqueous solution</i>						
Nickel/cadmium	50–60	80–150	75	800	1	250–350
Nickel/iron	50–60	80–150	75	1500–2000	3	200–400
Nickel/zinc	55–75	170–260	65	300	1.6	100–300
Nickel/metal hydride	70–95	200–300	70	750–1200+	6	200–350
Aluminum/air	200–300	160	<50	?	?	?
Iron/air	80–120	90	60	500+	?	50
Zinc/air	100–220	30–80	60	600+	?	90–120
<i>Flow</i>						
Zinc/bromine	70–85	90–110	65–70	500–2000	?	200–250
Vanadium redox	20–30	110	75–85	—	—	400–450
<i>Molten salt</i>						
Sodium/sulfur	150–240	230	80	800+	0 ^a	250–450
Sodium/nickel chloride	90–120	130–160	80	1200+	0 ^a	230–345
Lithium/iron sulfide (FeS)	100–130	150–250	80	1000+	?	110
<i>Organic/lithium</i>						
Lithium-ion	80–130	200–300	>95	1000+	0.7	200

Apesar das baterias NiMH serem as mais utilizadas nos veículos híbridos tem-se visto um crescente aumento de utilização das baterias de íons de lítio principalmente com a evolução da tecnologia e a aposta nos veículos puramente elétricos. Estas últimas apresentam uma maior energia específica, eficiência energética, e um menor custo bem como uma menor percentagem de auto descarga.

Uma das maiores desvantagens prende-se com questões de segurança. O solvente usado como eletrólito é inflamável havendo o perigo de incêndio se a célula de bateria for danificada ao ponto da abertura do seu invólucro havendo contacto com o ar, ou devido a falha térmica, por reacção química exotérmica, que se pode dar quando a tensão da bateria baixa dos 3 V (possibilidade de curto circuito interno) e com temperaturas acima dos 60°C. (electric and hybrid malestorm)

2.5. Tipos de controlo de temperatura

As baterias de íons de lítio têm uma temperatura de trabalho definida pelo fabricante, e como falado no subcapítulo anterior, acima de 60°C começa a haver a possibilidade de falha exotérmica com risco de incêndio.

Outro motivo é a influência que a temperatura tem na disponibilidade de potência de descarga, energia e capacidade carregamento durante a travagem regenerativa se esta existir, que irá depois influenciar o desempenho do veículo e economia de energia. O número de ciclos e por consequência a vida da bateria também irá ser afetada com temperaturas superiores a 40°C.

Por todos estes aspectos, segurança, desempenho e tempo de vida as temperaturas de trabalho deverão ser respeitadas.

Por este motivo a necessidade de refrigeração terá de ser considerada e para isso há diferentes tipos de tipologias que poderão ser ativas ou passivas.

2.5.1. Convecção forçada a ar

Este será o sistema mais simples, aproveita o ar exterior ou do interior da cabine do veículo e através de uma ventoinha o ar é forçado e dirigido para o módulo da bateria.

A refrigeração poderá ser passiva ou ativa consoante a existência ou não de alteração da temperatura do ar exterior, sendo que a refrigeração com ar exterior será sempre passiva, Figura 6.

Quando o ar de arrefecimento provém do interior da cabine será o permutador do sistema de ventilação do carro que fará o arrefecimento do ar exterior Figura 7, ou um permutador auxiliar caso o sistema seja passivo Figura 8. Neste caso o aquecimento do ar também é possível se necessário.

A distribuição de ar poderá ser em série ou em paralelo. Em série o total de ar será distribuído pelos módulos ou células enquanto que em paralelo o caudal de ar será dividido igualmente. Dependendo da geometria dos módulos ou células poderá ser estudado o caminho percorrido pelo ar que melhor beneficiará a transferência de calor.[12]

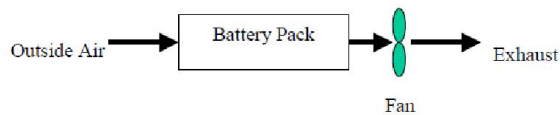


Figura 6 – Refrigeração passiva com ar exterior[12]

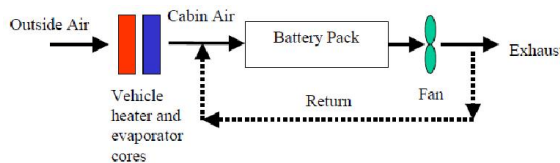


Figura 7 – Refrigeração/aquecimento passivo com ar interior[12]

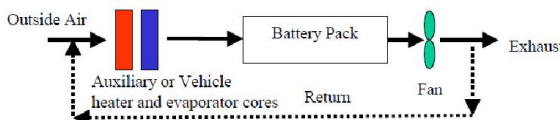


Figura 8 – Refrigeração/aquecimento ativo com ar interior[12]

2.5.2. Contacto directo ou indirecto de Líquido

O controlo de temperatura com uso de líquido consegue melhores resultados que o anterior devido à maior condutibilidade térmica destes fluídos, em relação ao ar, mas também é mais complexo.

Se o contacto for indirecto, este será feito através de tubos em forma de serpentina que rodeiam os módulos, ou entre células, ou através de placas de arrefecimento. Os líquidos mais utilizados são água e etilenoglicol.

Através de contacto directo, os módulos estão imersos no fluído tendo este de ser dielétrico, à base de silicone ou óleo mineral por forma a evitar a possibilidade de curto circuito, mas estes ultimos devido à sua maior viscosidade necessitam de uma potência de bombeamento maior.

Nas figuras Figura 9, Figura 10 e Figura 11 podem-se ver esquemas representativos deste sistema. [12]

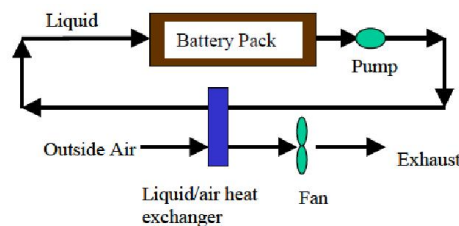


Figura 9 – Refrigeração passiva[12]

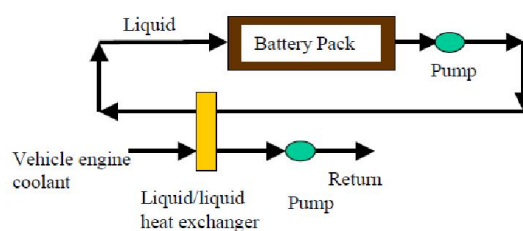


Figura 10 – Refrigeração/aquecimento ativo moderado[12]

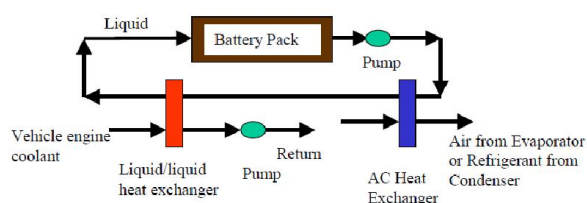


Figura 11 – Refrigeração/aquecimento ativo[12]

2.5.3. *Material de mudança de fase*

Este é um sistema de controlo de temperatura passivo. Consiste na adição de um material com mudança de fase (PCM) ao interior do módulo, normalmente numa matriz de grafite pois esta proporciona uma condutividade térmica mais elevada aumentando a taxa de remoção de calor, que é capaz de remover grandes quantidades de calor devido ao seu elevado calor latente de fusão.

No início, durante a descarga da bateria absorve, o calor gerado. Quando a temperatura do módulo atinge a temperatura de fusão do material este funde e o seu elevado calor latente impedirá o aumento brusco da temperatura da bateria. [13]

Para utilização a temperaturas baixas é também uma vantagem uma vez que o calor o calor latente será transferido para a bateria quando a temperatura for inferior à temperatura de fusão do PCM.[14]

Este método tem também a vantagem de não necessitar de tantos componentes externos como os anteriores que também são muito mais volumosos e complexos.

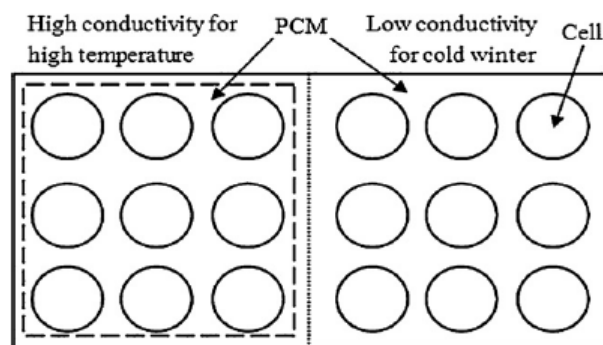


Figura 12 – Controlo de temperatura por PCM [14]

(Página em branco)

3. Powertrain

3.1. Motor elétrico

Após o estudo dos diferentes tipos de motores e assim ser possível perspetivar o mais vantajoso, a escolha recaiu nos motores de ímanes permanentes sem escovas. Numa primeira fase o motor considerado foi o motor síncrono de corrente alternada *PMS150*, da *Perm* do grupo *Heinzmann*, arrefecido a ar, alimentado a 330V corrente contínua, com uma potência máxima de 15 kW, velocidade de rotação máxima de 6000 rpm e disponibilizando um binário máximo de 41,4 Nm com uma eficiência de cerca de 90% e um peso de 22,3 Kg.

Efetivamente, a nível de performance, este motor não seria o mais atrativo, prevendo-se problemas ao nível da dinâmica do veículo que seria esperada. Mais informação consultar o anexo A.

Uma vez que na Faculdade já existia um motor semelhante, o *Emrax228* da *Enstroj*, optou-se por esta solução. Este motor, também ele síncrono de ímanes permanentes e corrente alternada, média tensão e refrigerado a água, é alimentado a 300V corrente contínua e podemos ver na fig. 9 a sua curva potência vs binário vs velocidade de rotação para alta tensão, que será igual ao de média tensão.

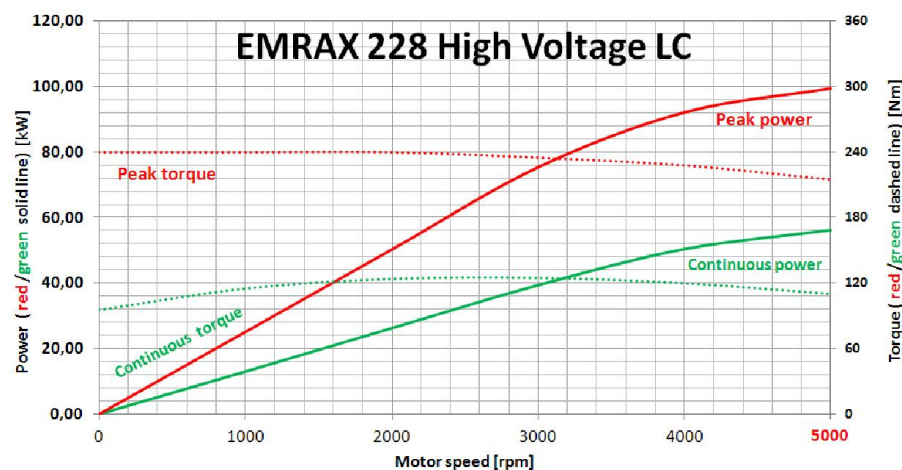


Gráfico 6 – Gráfico potência vs binário vs velocidade de rotação[15]

O *Emrax* tem uma potência nominal entre os 30 e 50 kW, uma rotação máxima de 4000 rpm e um binário nominal de 125 Nm, mas tem uma característica bastante interessante que é a possibilidade de ter dois regimes de funcionamento, o contínuo e o de pico. Neste segundo regime apesar de a velocidade de rotação máxima se manter ele apresenta uma potência de 100 kW e um binário de 240 Nm. A desvantagem é que este regime de pico só poderá ser utilizado durante alguns segundos devido ao sobreaquecimento do motor. Mais informação disponível no anexo B.



Figura 13 – Motor Emrax228[15]

3.2. Caixa redutora

A caixa redutora escolhida vem do fabricante italiano *Comex* e tem a designação de D695. É uma caixa com uma relação única de redução de 8,46 com 96% de eficiência e específica para veículos elétricos. Tem um corpo em alumínio e engrenagens em aço ligado garantindo assim um baixo peso, 11,3 Kg (peso líquido) e alta durabilidade. Para além disso, os dentes das engrenagens sofrem um processo de acabamento *superfinish (power honing)*, maquinagem abrasiva, com o intuito de otimizar a eficiência e reduzir o ruído de funcionamento, uma característica bastante interessante visto que o binário máximo disponibilizado pelo motor elétrico poderá ser logo no arranque causando um forte impacto nos dentes das engrenagens. No anexo C poderá encontrar-se mais informação sobre a caixa.



Figura 14 – Caixa redutora Comex D695[16]

3.3. Baterias

As baterias presentes no veículo são fornecidas pela empresa *General Electronics Battery (GEB)* e são baterias prismáticas de lítio polímero.

Cada célula pesa aproximadamente 201.5 g e terá a estrutura representada na Figura 15 e as dimensões dadas pela Tabela 3. Mais informação consultar a *datasheet* no anexo D.

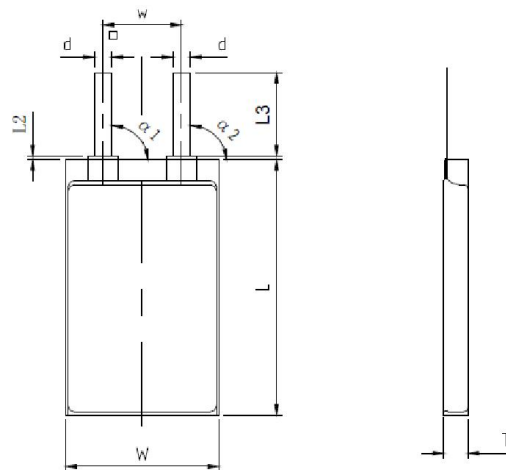


Figura 15 – Esquema das dimensões da célula de bateria

Tabela 3 – Dimensões da célula da bateria

Item	Parameter
T	Max 10.0mm
W	59.0±0.5mm
L	158.0±0.5mm
L2	0.5—1.0mm
L3	15.0±1.0 mm
w	30.0±2.0mm
d	10.0±0.1mm
$\alpha 1$	90±5°
$\alpha 2$	90±5°

Estas baterias têm uma tensão nominal de 3,7V (quando completamente carregadas será de 4,2V) e uma tensão mínima de 3,0V (por questões de segurança uma vez que abaixo desta tensão corre-se o risco de incêndio provocado por reacções exotérmicas).

As baterias têm uma capacidade nominal de 10 Ah e permitem descargas máximas de 5C a uma temperatura de trabalho entre os -20°C e os 60°C.

De modo a conseguir assegurar as exigências do veículo estas células serão ligadas entre si formando *packs* ou módulos de baterias, e esses módulos ligados entre si formam então a bateria final.

O arranjo destas células, por módulo, será feito com 24 grupos de células ligadas entre si em série. Cada parte da série possui 3 células ligadas entre si em paralelo. Assim, cada módulo contém um total de 72 células. Da equação 1 obtemos 30 Ah de capacidade, uma corrente total de 150 A, dada pela equação 2, e uma tensão de aproximadamente 100 V, dada pela equação 3. Note-se que no total são necessários 3 packs para assegurar os 300 V necessários para o funcionamento do motor. No total, considerando os 3 módulos teremos, 4,45 kW de potência e, pela equação 5, aproximadamente 8,8 kWh de energia.

$$Capacidade_{total} (Ah) = Capacidade_{nominal} (Ah) \times n^{\circ} baterias_{paralelo} \quad 1$$

$$Corrente (A) = Capacidade_{total} (Ah) \times Taxa de descarga (C) \quad 2$$

$$Tensão = n^{\circ} baterias_{série} \times Tensão_{máxima} \quad 3$$

$$Potência (W) = Corrente (A) \times Tensão (V) \quad 4$$

$$E(kWh) = \frac{Tensão(V) \times Capacidade_{nominal}(Ah) \times n^{\circ} de packs}{1000} \quad 5$$

4. Ciclo de condução

4.1. NEDC

O New European Driving Cycle (NEDC) é um ciclo de condução estandardizado para o cálculo de consumo e emissões gasosas, traduzindo-se em consumo energético e autonomia para veículos completamente elétricos, elaborado pela União Europeia.

O teste é composto por um ciclo urbano representado no Gráfico 7, de aproximadamente 195 segundos e 1017 metros, repetido quatro vezes e um ciclo extra-urbano representado no Gráfico 8, de aproximadamente 400 segundos e 6956 metros, resultando num teste com teoricamente um a duração total e uma distância percorrida de 1180 segundos e 11000 metros, Gráfico 9.

Após o teste é calculado o consumo de energia total com base na distância percorrida através da equação 6. [17]

$$c = \frac{E}{D_{teste}} \quad 6$$

c em Wh/Km, E em Wh e Dteste é a distância percorrida em Km

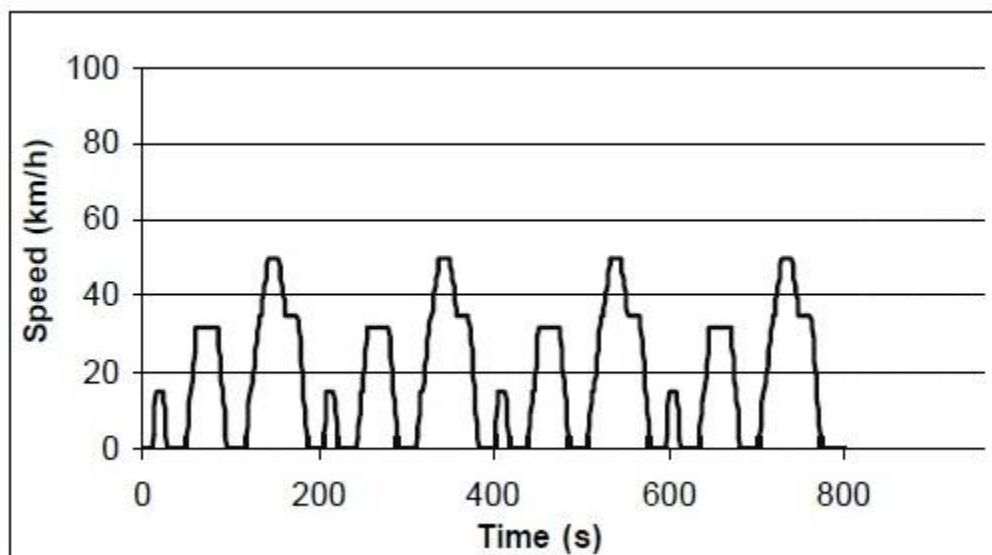


Gráfico 7 – Ciclo urbano presente no NEDC repetido quatro vezes [18]

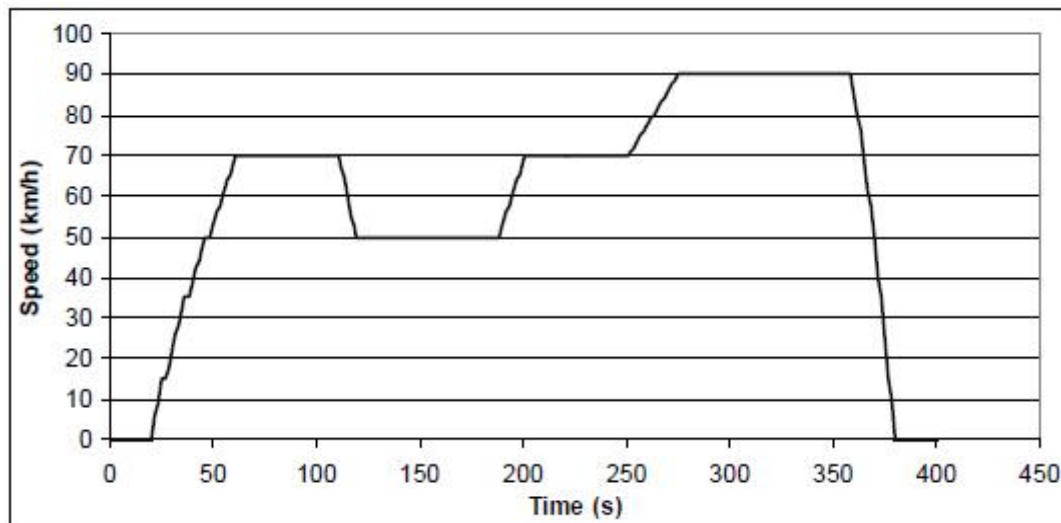


Gráfico 8 – Ciclo extra urbano presente no NEDC para veículos de baixa potência Adaptado[18]

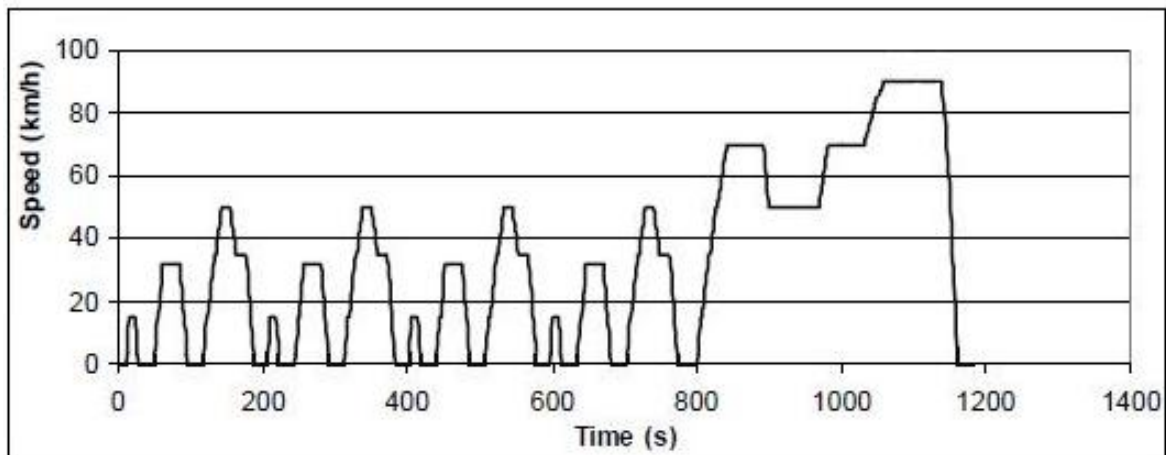


Gráfico 9 – Ciclo completo NEDC para veículos de baixa potência Adaptado[18]

Neste sentido foi realizado, no programa *Excel* uma simulação do ciclo tendo em conta o veículo em questão.

4.1.1. Aplicação do ciclo

Como já foi visto, o ciclo é especificado a partir de uma norma europeia onde os critérios impostos são uma determinada velocidade durante um certo intervalo de tempo, com patamares perfeitamente definidos e sem variação de cota. A partir destes valores pela fórmula 7 é possível saber a aceleração necessária em cada patamar para cumprir o ciclo.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

7

Por 8 e tendo em conta a massa do veículo e a aceleração exigida pelo ciclo de condução, teremos a força necessária para o deslocamento do mesmo. Combinando com a equação 9 [19] onde são contabilizadas variáveis como força de arrasto provocada pelo deslocamento de ar e a resistência de rolamento teremos o binário necessário ao movimento pretendido.

Como se está a analisar teoricamente uma situação de utilização real importa verificar se tal será possível, portanto este binário calculado deverá ser referente ao binário no motor, logo o coeficiente de transmissão e a relação de redução terão de ser considerados, bem como o raio do conjunto jante pneu.

Pela equação 10 é possível saber a velocidade de rotação do motor e com este último dado calcular por fim a potência exigida no motor para cumprir a exigência do ciclo através da equação 11. Nesta equação se o patamar for de aceleração a velocidade de rotação considerada é uma média entre a rotação do ponto inicial e final, se o patamar for de velocidade constante é considerada a velocidade de rotação à velocidade linear em questão.

Da equação 12 [20] retira-se o valor do coeficiente de atrito de rolamento em função da velocidade. Todos estes valores do motor são passíveis de serem calculados para cada intervalo de tempo e exigência do ciclo.

$$F = m \times a \quad 8$$

$$T = \left(F + C_{rr} \times m \times g + \frac{C_d \times A \times \rho \times v^2}{2} \right) \times \frac{r}{G \times C_{tre}} \quad 9$$

$$n = \frac{v \times G \times 60}{r \times 2 \times \pi} \quad 10$$

$$P = \frac{T \times n \times 2 \times \pi \times \eta_{motor} \times \eta_{controlador}}{60 \times 1000} \quad 11$$

$$C_{rr} = 0,01 \times \left[\frac{(1 + v) \times 0,621}{100} \right] \quad 12$$

Na Tabela 4 encontram-se os valores de constantes necessárias para a resolução das fórmulas.

Tabela 4 – Parâmetros gerais do veículo

Coeficiente de transmissão (C _{tre})	0,96
Coeficiente de arrasto (C _d)	0,38
Área frontal (A)	2,40 m ²
Massa volúmica (ρ)	1,20 kg/m ³
Massa total com condutor (m)	975,00 kg
Aceleração gravítica (g)	9,81 m/s ²
Relação de redução (G)	8,46
Raio da roda (r)	0,39 m
Rendimento do motor (η _{motor})	0,94
Rendimento do controlador (η _{controlador})	0,95

É também necessário fazer o balanço das energias envolvidas no decorrer do ciclo de modo a garantir que a nível energético o veículo é capaz de cumprir o ciclo, ou seja, as baterias são capazes de fornecer a energia necessária. Neste caso não é considerada travagem regenerativa e é admitida que toda a exigência de travagem é feita em completo pelo sistema mecânico de travagem. A nível energético sabe-se que a energia total das baterias calculada no subcapítulo 3.3 é de aproximadamente 8,8 kWh e através da equação 13 pode-se calcular a energia requisitada às baterias pelo motor para cumprir o ciclo quando a velocidade é constante. Pela equação 14 é feita a atualização da energia disponível na bateria.

$$E_{dispendida} = \int_{t_1}^{t_2} P dt \quad 13$$

$$E_{bateria\ i+1} = E_{bateria\ i} - E_{dispendida\ i \rightarrow i+1} \quad 14$$

Os resultados podem ser consultados no Anexo E.

4.1.2. Resultados do ciclo a nível energético

Após uma distância percorrida de aproximadamente 10,67 km em 19 minutos e 40 segundos foi obtido um consumo de energia, dado pela equação 6, apresentada no início deste capítulo, de 110,20 Wh/km, ou seja, uma autonomia de sensivelmente 80 km num percurso deste nível de exigência.

5. Modelo termoeletrico

De modo a tratar a necessidade de refrigeração de uma bateria será necessário primeiro entender o processo de aquecimento da mesma e o calor gerado consoante a exigência requerida à bateria em termos de corrente.

Para isso há modelos fundamentais que analisam a questão do aquecimento com base nas reacções químicas e no movimento das partículas, fenómeno de difusão. Estes modelos são, à partida, mais corretos, mas não tão apropriados para implementação em tempo real devido à complexidade na descrição deste comportamento. [21]

Será necessário então conseguir um compromisso entre complexidade e precisão. Isso será conseguindo adotando um modelo físico representando relações de *input/output*. Este modelo termoeletrico será considerado isotérmico, ou seja, os parâmetros da bateria são considerados a temperatura constante, e este pressuposto será compensado com a entrada do SOC no modelo do circuito.

Como em qualquer questão complexa de transferência de calor terão de ser feitos uma série de pressupostos de modo a tornar possível a resolução do problema e neste caso também foram tidos em conta alguns. Os materiais da célula de bateria foram considerados homogéneos e sem transferência de massa, e a célula isotrópica de modo que as suas propriedades não dependam da direcção. A condutividade térmica e outras propriedades termofísicas foram consideradas constantes, e uma distribuição homogénea do calor gerado na célula pelo seu volume. [21]

A equação geral da condução, equação 15, pode ser simplificada para a equação 16, uma vez que a condutividade térmica é considerada constante. [22]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad 15$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad 16$$

$$\text{Onde } \alpha = \frac{K}{\rho c_p}$$

Assim teremos uma equação de transferência de calor associada tridimensional. Devido às dimensões deste tipo de baterias, considerando a representação e o sistema de eixos da figura 16, onde a dimensão $x \ll y$ e $x \ll z$ e $k_y = k_z \sim 100k_x$ o gradiente de temperatura irá ser maior na direcção x . [21] Assim é possível aproximar o problema a uma só dimensão obtendo a equação 17 que será a equação fundamental do processo de transferência de calor.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad 17$$

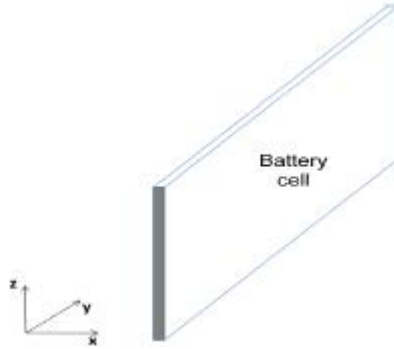


Figura 16 – Célula de bateria prismática e sistema de eixos considerado[21]

O calor gerado por unidade de volume será obtido através da equação 18 onde a função dependente do estado de carga da célula vem da equação 19.

$$\dot{q} = \frac{I}{V_{célula}} \times (E_{ca} - E) + f(SOC) \quad 18$$

$$f(SOC) = 10 \times e^{-0,063 \times |I| - SOC} \quad 19$$

De modo a resolver a equação fundamental é necessário impor uma condição inicial e duas condições fronteira, conjunto de equações 20, devido à interação da parede da célula com o ar exterior.[21, 22]

$$\left\{ \begin{array}{ll} T = T_{\infty} & \text{para } t = 0 ; 0 \leq x \leq 2L \\ K \frac{\partial T}{\partial x} = -h(T - T_{\infty}) & \text{para } t > 0 ; x = 0 \\ K \frac{\partial T}{\partial x} = -h(T - T_{\infty}) & \text{para } t > 0 ; x = 2L \end{array} \right. \quad 20$$

Para o estudo da refrigeração por convecção forçada, será necessário calcular um coeficiente de convecção adequado a esse estado.

5.1. Modelação do sistema por diferenças finitas

Depois de tratado todo o processo de formulação do problema a equação geral da condução foi adimensionalizada em ordem a x obtendo-se a equação 21.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^{*2}} + \frac{L^2}{k} \dot{q} = \frac{L^2}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}, \quad x^* = \frac{x}{2L} \quad 21$$

A derivada de 2º grau foi resolvida com recurso ao método das diferenças finitas centradas, equação 22.

$$\frac{\partial^2 T_i}{\partial x_i^{*2}} = \frac{T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}}{a^2} \quad 22$$

Sendo $a = \frac{1}{n-1}$ e o número de nodos escolhido ($n = 11$)

No primeiro e no último nó, as equações referentes às condições de fronteira são incorporadas de modo a retirar os nodos fictícios que resultam da equação 22.

Assim, para $x = 0$, a resolução da equação do nodo é a equação 23

$$\left[\frac{T_2 - 2T_1 + T_0}{a^2} \right] + \frac{L^2}{k} \dot{q} = \frac{L^2}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad 23$$

Resolvendo a equação fronteira para $x = 0$ têm-se que,

$$(T_2 - T_0) = \frac{2ahL}{k} (T_1 - T_\infty) \quad 24$$

Incorporando a equação 24 na equação 23 resulta que,

$$\left[\frac{2ahL}{a^2 k} (T_1 - T_\infty) + \frac{2T_2 - 2T_1}{a^2} \right] + \frac{L^2}{k} \dot{q} = \frac{L^2}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad 25$$

Para os nodos interiores, $i \in [2; 10]$, a solução é,

$$\left[\frac{(T_{i+1} - T_i)}{a^2} - \frac{(T_i - T_{i-1})}{a^2} \right] + \frac{L^2}{k} \dot{q} = \frac{L^2}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad 26$$

Para $x = 2L$ a resolução da equação do nodo é,

$$\left[\frac{T_{12} - 2T_{11} + T_{10}}{a^2} \right] + \frac{L^2}{k} \dot{q} = \frac{L^2}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad 27$$

$$\frac{1}{a^2} [(T_{12} - T_{10}) + (-2T_{11} + 2T_{10})] + \frac{L^2}{k} \dot{q} = \frac{L^2}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad 28$$

Resolvendo a equação fronteira para $x = 2L$ têm-se que,

$$(T_{12} - T_{10}) = \frac{2ahL}{k} (T_{11} - T_{\infty}) \quad 29$$

Incorporando a equação 29 na equação 23 resulta que,

$$\left[\frac{2ahL}{a^2 k} (T_{11} - T_{\infty}) + \frac{-2T_{11} - 2T_{10}}{a^2} \right] + \frac{L^2}{k} \dot{q} = \frac{L^2}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad 30$$

$$\left[\frac{hL}{ak} (T_{11} - T_{\infty}) + \frac{-T_{11} + T_{10}}{a^2} \right] + \frac{L^2}{2k} \dot{q} = \frac{L^2}{2\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad 31$$

5.2. Modelo Eléctrico Equivalente

A resolução do problema apresentado foi realizada com o programa de simulação de circuitos eléctricos *PSIM*. Este método é possível uma vez que as equações 25, 26 e 31 podem ser resolvidas por intermédio de circuitos eléctricos análogos aos circuitos térmicos. As grandezas térmicas são representadas através de componentes como fontes de tensão e corrente, resistências e condensadores. A temperatura é dada pela tensão dos nodos e os termos das equações representam a corrente.

Na Figura 17 podemos ver um diagrama do funcionamento do modelo criado e a respetiva influência dos parâmetros. Desta pode-se concluir que apenas o bom funcionamento de todos os elementos poderá levar a um bom funcionamento do modelo final.

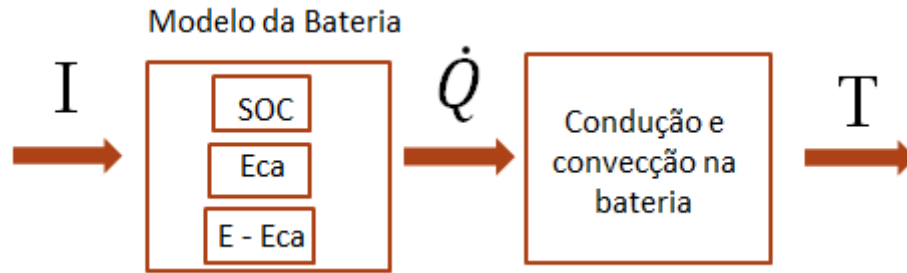


Figura 17 – Diagrama básico do funcionamento do modelo de estimação da temperatura em Psim

Analisando a equação 26 no seu domínio de aplicabilidade e a equação 31 em $x = 2L$ sendo semelhante para $x = 0$ as equações análogas elétricas serão respetivamente a equação 32 e a equação 33.

$$\left[\frac{(T_{i+1} - T_i) - (T_i - T_{i-1}))}{R_s} \right] + I_i = C_i \frac{\partial T}{\partial t} \quad 32$$

Com,

$$R_s = a^2, I_i = \frac{L^2}{k} \dot{q}, C_i = \frac{L^2}{\alpha}$$

$$\left[\left(\frac{1}{R_p} \right) (V_{11} - V_{\infty}) + \frac{-V_{11} + V_{10}}{R_s} \right] + I_{11} = C_{11} \frac{\partial T}{\partial t} \quad 33$$

Com,

$$R_p = \frac{ak}{hL}, R_s = a^2, I_{11} = \frac{L^2}{2k} \dot{q}, C_{11} = \frac{L^2}{2\alpha}$$

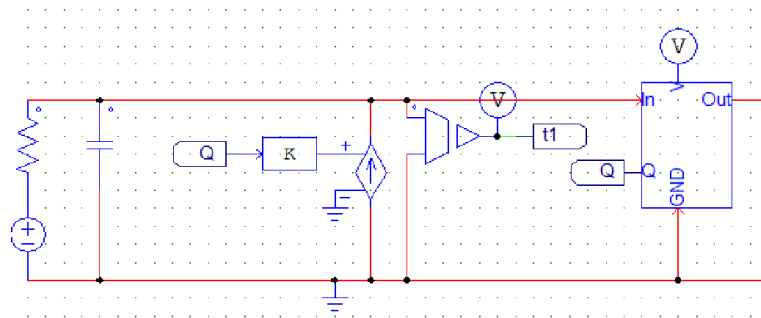


Figura 18 – Representação em Psim do circuito equivalente do interface exterior parede da célula $x=0$

Na Figura 18 pode-se observar a condição fronteira do exterior com a parede da célula sendo a convecção o método de transferência de calor presente. É visível também o bloco que representa o subcircuito que se pode observar em pormenor na Figura 19 representando a condução no interior da célula.

Para os nodos interiores este subcircuito é repetido consoante o número de nodos considerado e como já foi dito representa a condução do calor entre nodos adjacentes.

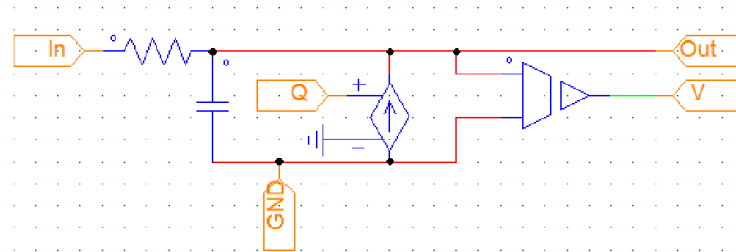


Figura 19 – Representação em Psim do subcircuito equivalente de condução no interior da célula

Será a partir destes dois circuitos que a temperatura vai ser obtida.

Na Figura 20 é representado o modelo equivalente da bateria. Este faz variar a tensão com a corrente fornecida. O mesmo calcula ainda a tensão terminal pela diferença entre a tensão de circuito aberto, estimada no circuito da Figura 21, e a queda na resistência interna.

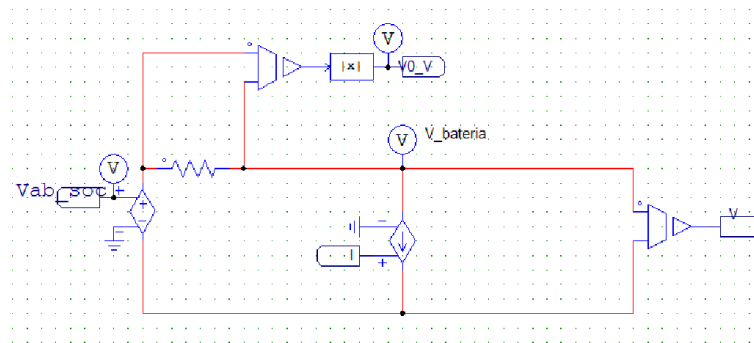


Figura 20 – Representação em Psim do modelo da bateria

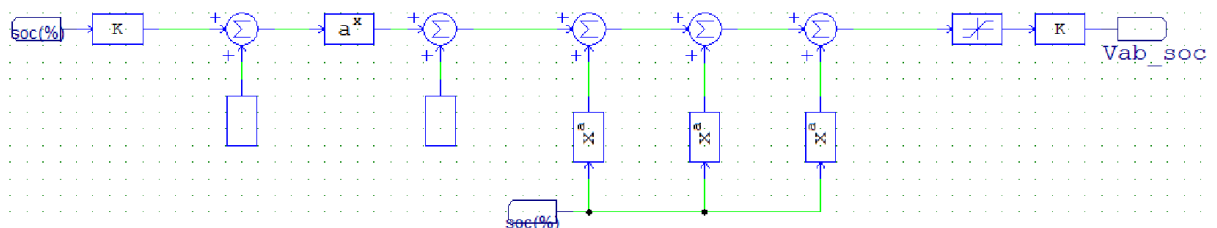


Figura 21 – Representação em Psim da estimação da tensão de circuito aberto[23]

A estimação do estado de carga é feita no circuito da Figura 22, o qual também será o ponto de entrada para a corrente de descarga da bateria.

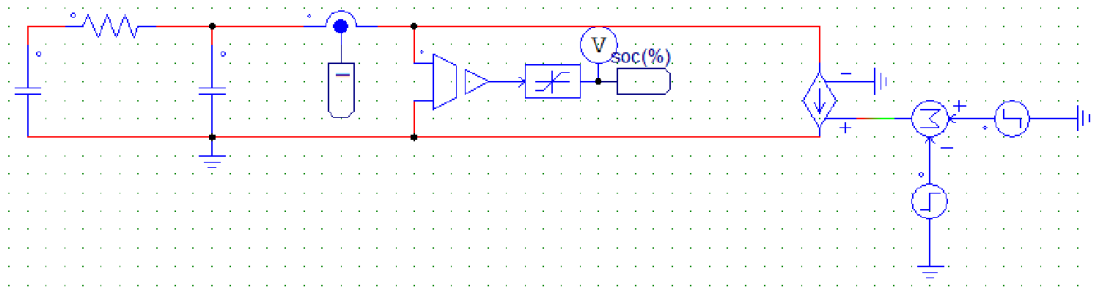


Figura 22 – Representação em Psim da estimação do SOC [23]

O cálculo do calor gerado utiliza, direta ou indiretamente, todos os modelos apresentados anteriormente. A Figura 23 ilustra o exposto.

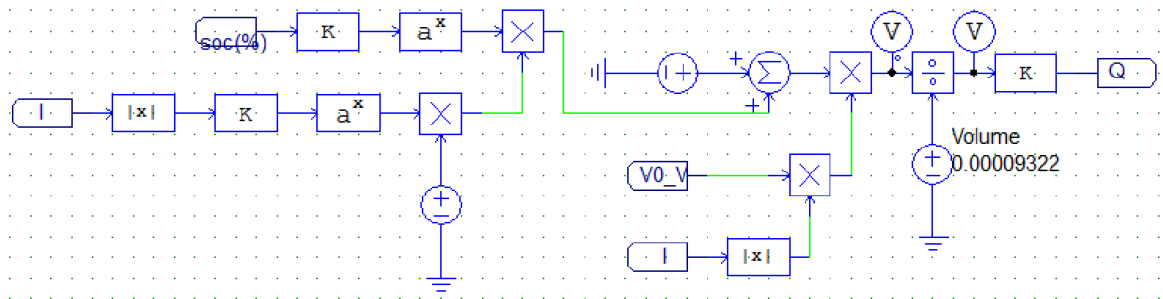


Figura 23 – Representação em Psim da estimação do calor gerado

(Página em branco)

6. Validação experimental do modelo

A validação deste modelo foi feita experimentalmente ligando uma célula de bateria a uma fonte de corrente, da *BK Precision* programada com o *software* pv8500. Os testes usaram correntes de descarga constantes a taxas de 1C, 3C e 4C, até à descarga total da célula. Para a recolha das temperaturas à superfície da célula foi usada uma câmara termográfica da *FLIR* com as imagens a serem recolhidas nas faces representadas na Figura 24.

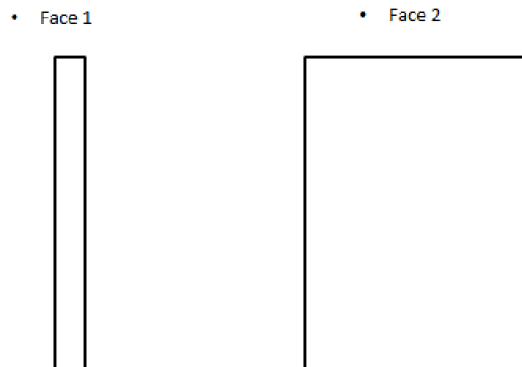


Figura 24 – Representação das faces para captura de imagem.

Sendo que em utilização diária a exigência às baterias não será tão elevada, ou seja, apesar das taxas de descarga serem as mesmas, não vão ser constantes até à descarga total.

Assume-se assim um teste mais exigente funcionando quase como a utilização de um factor de segurança.

A Tabela 5 apresenta os valores considerados para a parametrização dos modelos.

Tabela 5 – Parâmetros adoptados para os testes

Condutividade térmica k [W/m*K]	0,66
Calor específico c_p [J/Kg*K]	795
Massa volúmica ρ [Kg/m ³]	2100
Coeficiente de convecção h [W/m ² K]	10
Difusividade térmica α [m ² /s]	3,95E-07
Temperatura ambiente T [°C]	23
Metade da espessura da bateria L [mm]	5
Volume [mm ³]	93220

6.1. Resultados da descarga a 1C

Os gráficos seguintes apresentam os resultados para uma descarga da célula a 1C. Tanto na face 1, Gráfico 10, como na face 2, Gráfico 11, foi possível obter uma evolução semelhante da temperatura do modelo, relativamente à temperatura real. Como se pode observar, pela consulta da Tabela 6 e da Tabela 7, o erro relativo é ligeiramente inferior para a face 1.

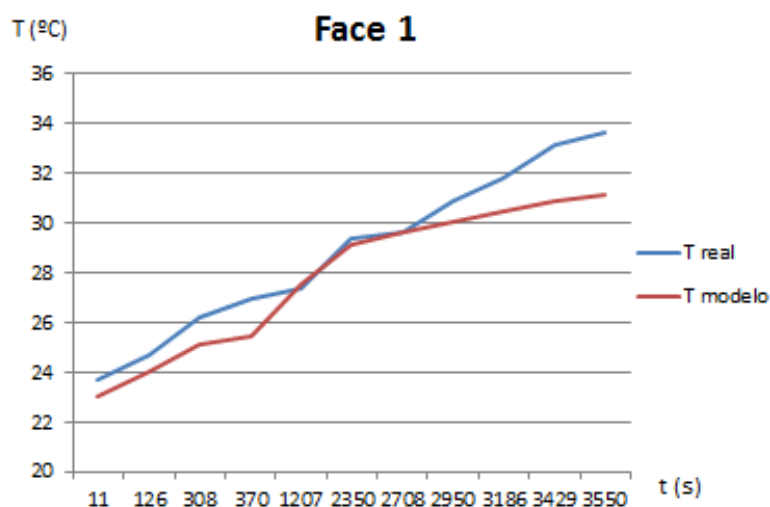


Tabela 6 – Erros relativos face 1 descarga 1C (%).

Erro mínimo	0,54
Erro máximo	7,38
Erro médio	3,44
Desvio padrão	2,44

Gráfico 10 – Temperatura real vs temperatura do modelo. Face 1 descarga 1C.

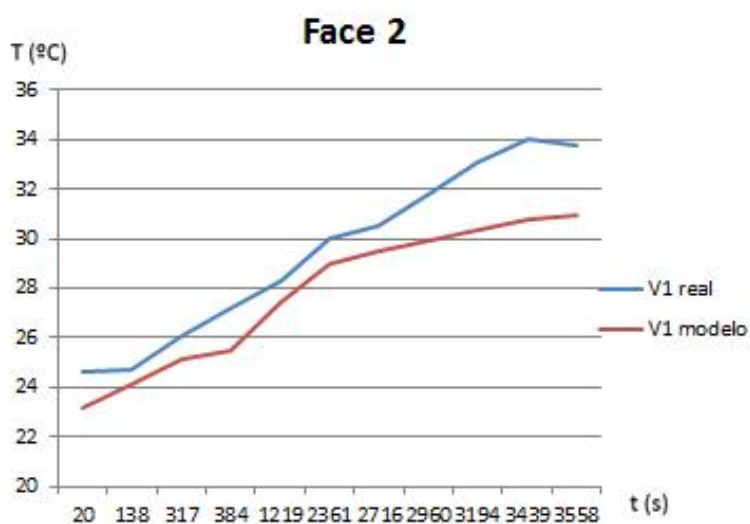


Tabela 7 – Erros relativos face 2 descarga 2C (%).

Erro mínimo	2,46
Erro máximo	9,55
Erro médio	5,46
Desvio padrão	2,52

Gráfico 11 – Temperatura real vs temperatura do modelo. Face 2. Descarga 1C.

Pode-se observar na Figura 25 a temperatura máxima no fim do teste para a face 1 e, na Figura 26, a temperatura máxima para a face 2, ambas captadas através da câmara termográfica.

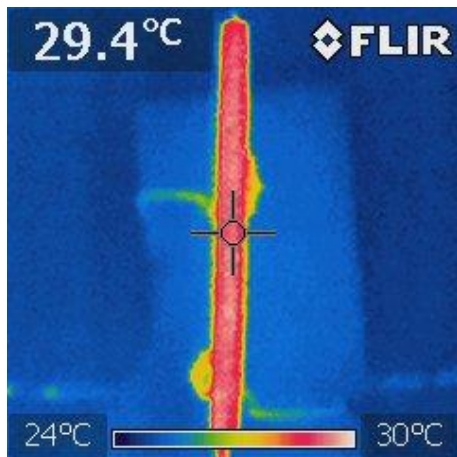


Figura 25 – Temperatura máxima observada na face 1 .
Descarga a 1C.

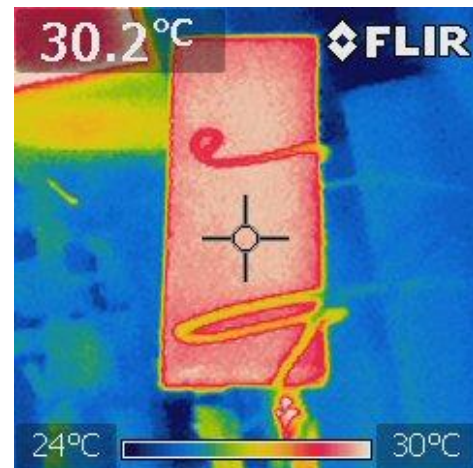


Figura 26 – Temperatura máxima observada na face2.
Descarga a 1C.

Os resultados, a nível de tensão e corrente, dados pela carga electrónica, bem como os dados pelo modelo, para a descarga a 1C, podem ser consultados no Anexo F.

6.2. Descarga a 2C

Apresentam-se de seguida os resultados obtidos para a descarga a 2C. Da análise dos mesmos pode observar-se que na face 1, Gráfico 12 e na face 2, Gráfico 13 a temperatura do modelo é, na maior parte do tempo, superior à real. No entanto as evoluções apresentam um comportamento semelhante. A Tabela 8 e a Tabela 9 ilustram os erros relativos das temperaturas na face 1 e na face 2.

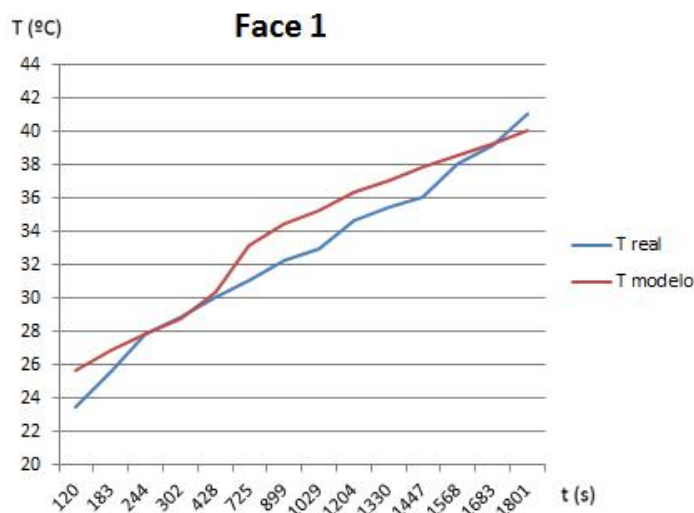


Tabela 8 – Erros relativos face 1
descarga 2C (%)

Erro mínimo	0,07
Erro máximo	9,32
Erro médio	3,91
Desvio padrão	2,99

Gráfico 12 – Temperatura real vs temperatura do modelo face 1. Descarga 2C

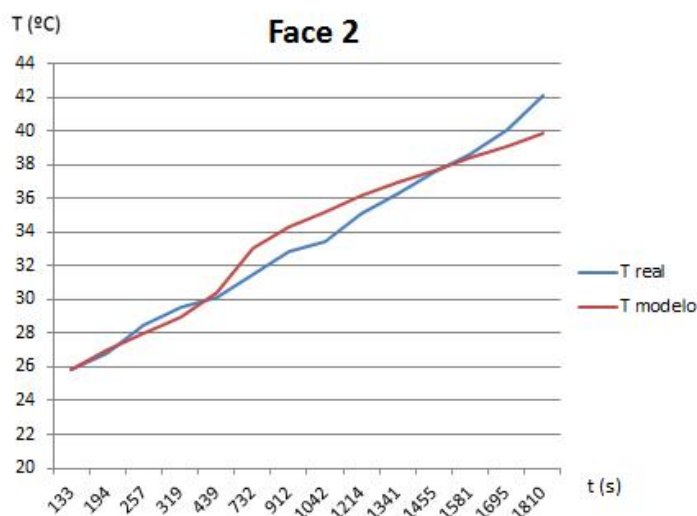


Tabela 9 – Erros relativos face 2 descarga 2C (%).

Erro mínimo	0,30
Erro máximo	5,34
Erro médio	2,42
Desvio padrão	1,88

Gráfico 13 – Temperatura real vs temperatura do modelo na face 2. Descarga 2C

Na Figura 27 pode-se ver a temperatura máxima registrada na face 1 e na Figura 28 a temperatura máxima registrada na face 2 através da câmara termográfica.

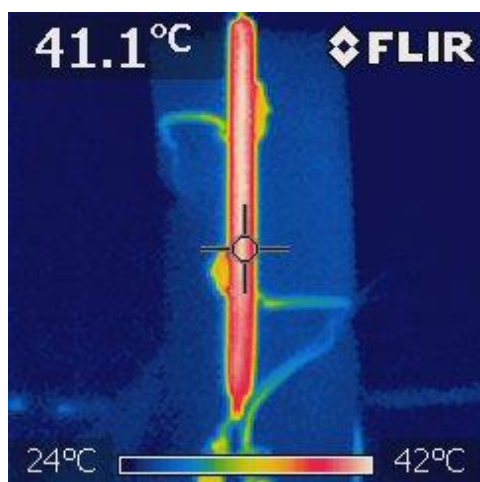


Figura 27 - Temperatura máxima observada na face 1 Descarga 2C.

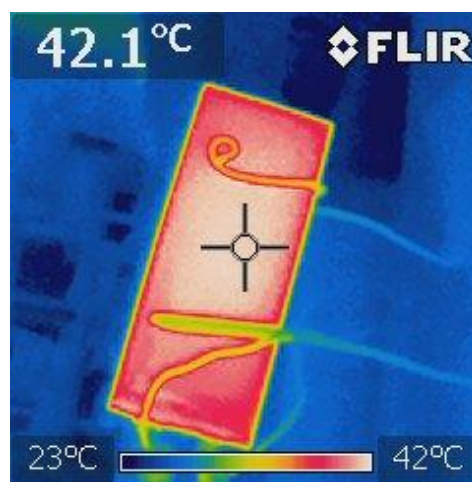


Figura 28 - Temperatura máxima observada na face 2 Descarga 2C

Os resultados a nível de tensão e corrente tanto da fonte como do modelo para a descarga de 2C podem ser consultados no Anexo G.

6.3. Descarga a 4C

Apresentam-se de seguida os resultados obtidos para a descarga a 2C. Da sua análise pode-se observar que com uma descarga a 4C as evoluções sofrem um desvio uma da outra apenas no final como se pode observar no Gráfico 14 para a face 1 e no Gráfico 15 para a face 2. Os erros continuam baixos tanto para a face 1, Tabela 10, como para a face 2, Tabela 11.

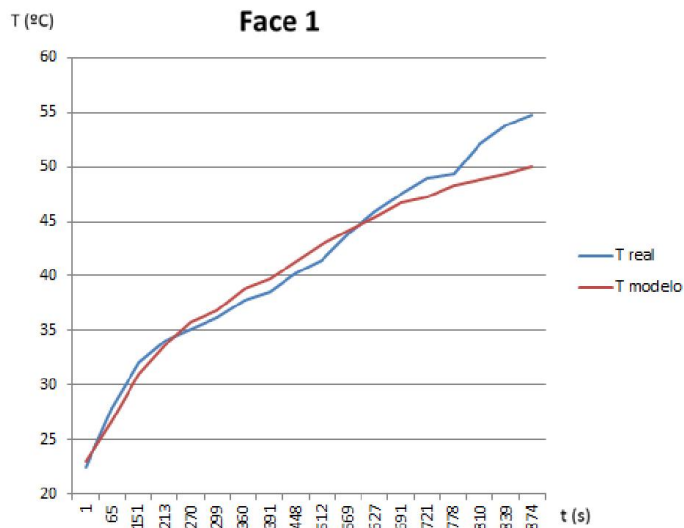


Tabela 10 – Erros relativos face 1
descarga 4C (%)

Erro mínimo	0,43
Erro máximo	8,76
Erro médio	3,26
Desvio padrão	2,32

Gráfico 14 – Temperatura real vs temperatura do modelo na face 1. Descarga 4C

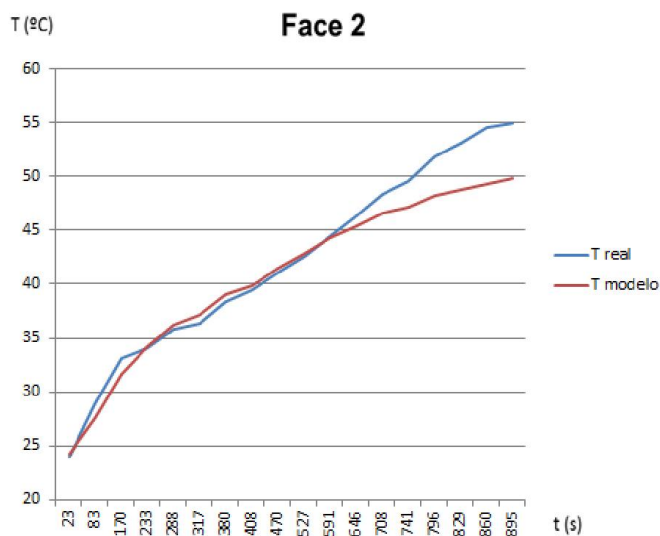


Tabela 11 – Erros relativos face 2
descarga 4C (%)

Erro mínimo	0,27
Erro máximo	9,79
Erro médio	3,49
Desvio padrão	3,18

Gráfico 15 – Temperatura real vs temperatura do modelo na face 2. Descarga 4C

Com as temperaturas máximas a poderem ser observadas na Figura 29 para a face 1 e na Figura 30 para a face 2.

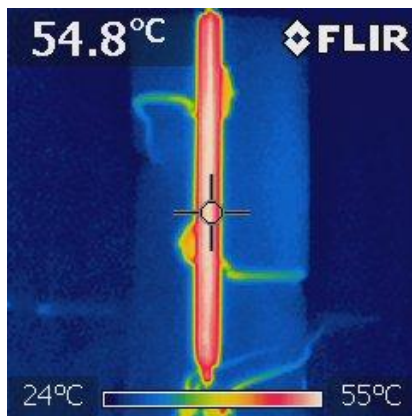


Figura 29 - Temperatura máxima observada na face 1.
Descarga 4C.

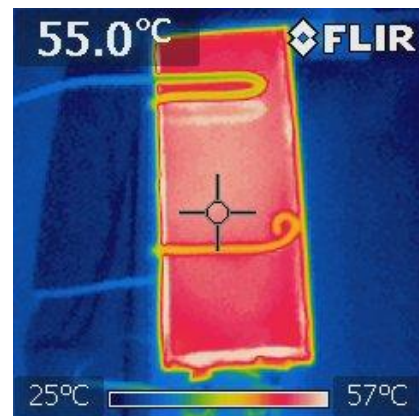


Figura 30 - Temperatura máxima observada na face 2
Descarga 4C.

Os resultados a nível de tensão e corrente tanto da fonte como do modelo para a descarga de 4C podem ser consultados no Anexo H.

6.4. Descarga pulsada

Com vista a consolidar a validação do modelo realizaram-se testes com uma carga pulsada, normalizada para a norma NEDC e representada no Gráfico 16.

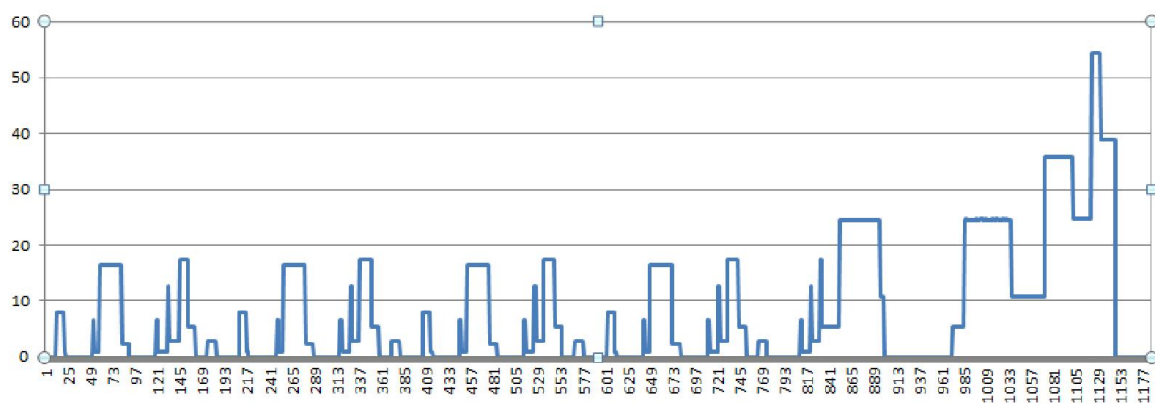


Gráfico 16 – Variação da corrente vs tempo

Pode-se observar no Gráfico 17 e Gráfico 18 os resultados comparados da temperatura estimada pelo modelo e da obtida através da câmara termográfica. Excepto na zona inicial, observa-se uma evolução semelhante em ambas as faces, o que poderá mostrar uma fraca

avaliação das condições iniciais ao nível da temperatura ambiente, uma vez que este teste não foi efetuado em atmosfera controlada de modo a minimizar os erros que daí poderão surgir.

Fatores como a reflexão de outras fontes de calor presentes na sala poderão ter afetado estes resultados resultando em erros um pouco mais elevados. Na Tabela 12 e Tabela 13 podem ser consultados os erros associados a este teste bem como o seu desvio padrão.

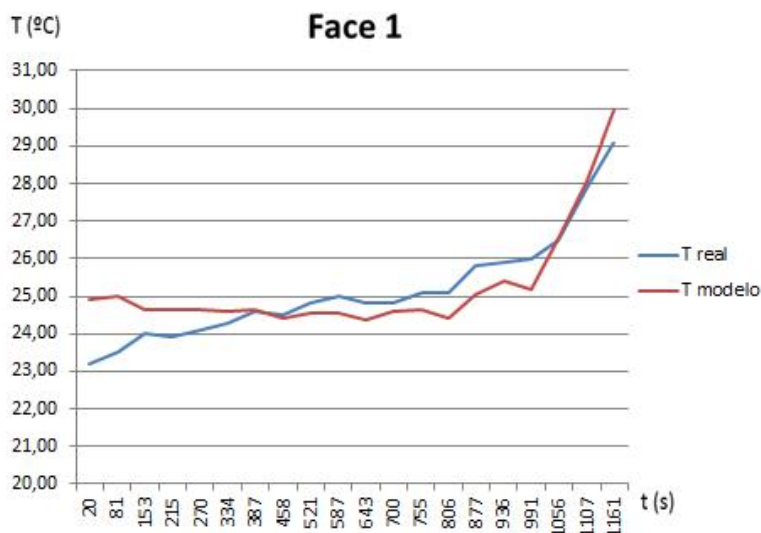


Tabela 12 – Erros relativos (%)
face 1 descarga pulsada.

Erro mínimo	0,22
Erro máximo	7,47
Erro médio	2,27
Desvio padrão	1,89

Gráfico 17 – Temperatura real vs temperatura do modelo na face 1. Descarga pulsada

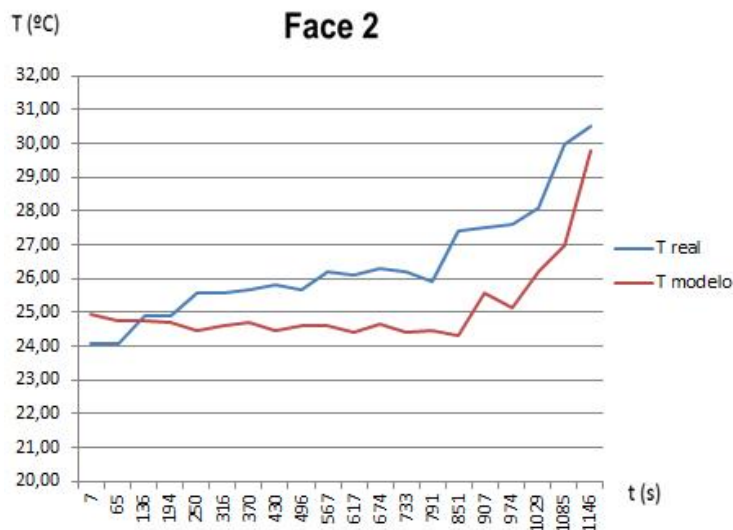


Tabela 13 – Erros relativos (%)
face 2 descarga pulsada

Erro mínimo	0,56
Erro máximo	12,62
Erro médio	5,68
Desvio padrão	3,17

Gráfico 18 – Temperatura real vs temperatura do modelo na face 2. Descarga pulsada

As temperaturas máximas para a face 1 podem ser vistas na Figura 31 e para a face 2 na Figura 32.

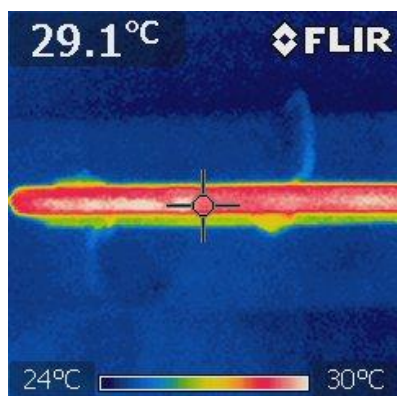


Figura 31 - Temperatura máxima observada na face 1.

Descarga pulsada

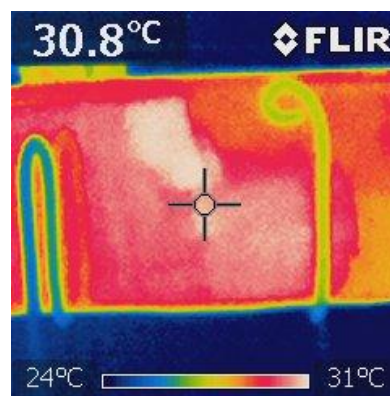


Figura 32 - Temperatura máxima observada na face 2.

Descarga pulsada

Os resultados a nível de tensão e corrente tanto da fonte como do modelo para a descarga pulsada podem ser consultados no Anexo F.

6.5. Descarga 1,5C - 3 células em paralelo

De modo a realizar um teste ainda mais aproximado às condições reais a nível de posicionamento no pack de baterias e validação do modelo para estas condições foi efetuado um teste com 3 células emparelhadas e ligadas em paralelo como se pode observar na Figura 33.

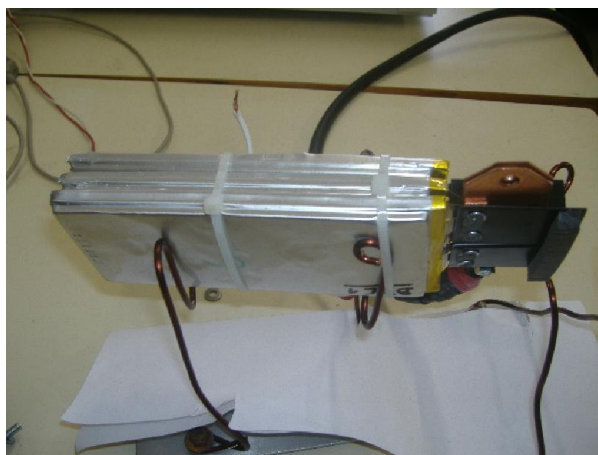


Figura 33 – Montagem de 3 células em paralelo para teste

Como se pode observar pelo Gráfico 19 e Gráfico 20 os resultados comparados da temperatura estimada pelo modelo e obtida pela câmara termográfica resultam em evoluções de temperatura muito semelhantes.

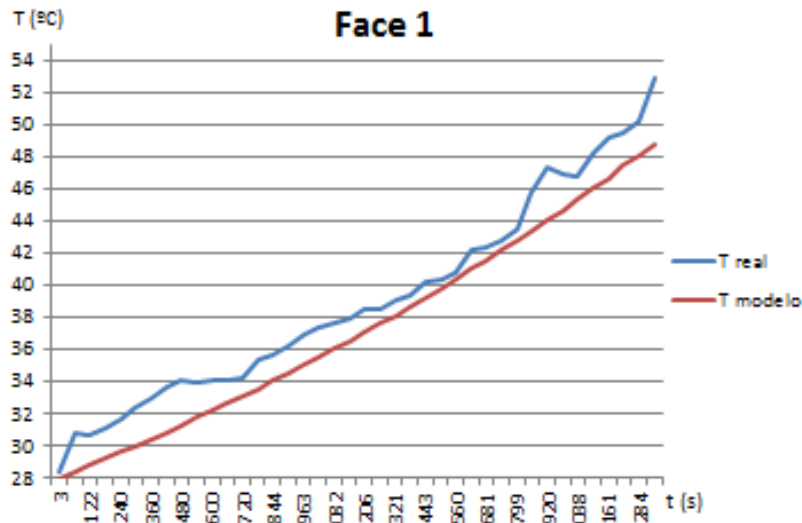


Tabela 14 – Erros relativos (%) face 1 descarga 1,5C

Erro mínimo	0,85
Erro máximo	8,47
Erro médio	4,47
Desvio padrão	2,12

Gráfico 19 – Temperatura real vs temperatura do modelo na face 1. Descarga 1,5C

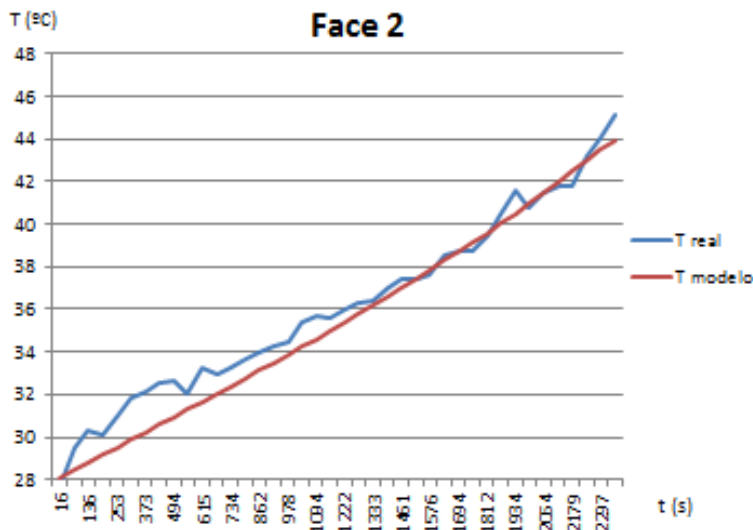


Tabela 15 – Erros relativos (%) face 1 descarga 1,5C

Erro mínimo	0,85
Erro máximo	8,47
Erro médio	4,47
Desvio padrão	2,12

Gráfico 20 – Temperatura real vs temperatura do modelo na face 2. Descarga 1,5C

As temperaturas máximas obtidas para as faces 1 e 2 podem ser observadas na Figura 34 e Figura 35 respetivamente.

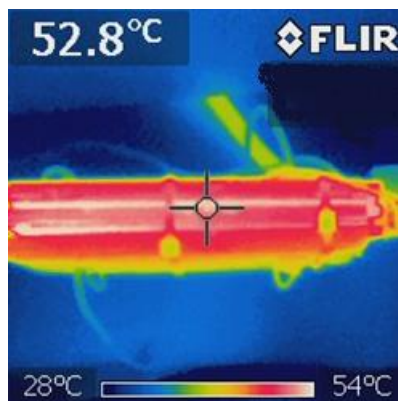


*Figura 34 – Temperatura máxima observada na face 1.
Descarga 1,5C.*

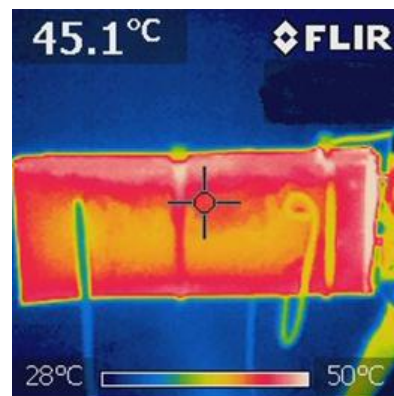


*Figura 35 – Temperatura máxima observada
na face 1. Descarga 1,5C.*

Os resultados a nível de tensão e corrente tanto da fonte como do modelo para a descarga de 1,5C podem ser consultados no Anexo J.

7. Refrigeração das baterias

Uma temperatura excessiva ao nível da célula de bateria irá diminuir o seu número de ciclos e, portanto, o seu tempo de vida. Assim, as baterias de íões de lítio têm uma temperatura de trabalho definida pelo fabricante.

O intervalo de temperatura destas células é de -20 °C a 60°C na descarga.

A passagem de convecção natural, considerada no capítulo anterior, para forçada, resulta em alterações ao nível do coeficiente de convecção considerado.

$$T_{filme} = \frac{T_p + T_{\infty}}{2} \quad 34$$

$$Re = \frac{vL}{\nu} \quad 35$$

$$Nu = 0.906 \times Re^{0.5} \times Pr^{\frac{1}{3}} \quad 36$$

$$h = \frac{Nu \times k}{L} \quad 37$$

7.1. Exemplo de refrigeração para descarga a 4C

Considerando o caso mais exigente, que será a descarga a 4C, foi estimada a temperatura final da parede da célula, considerando apenas convecção natural. De seguida esta simulação foi repetida, mas com os parâmetros necessários considerando convecção forçada, e para duas hipótese de escoamento representadas na Figura 36.

Para o ventilador, foram considerados valores típicos de ventiladores para computador existentes no mercado. Os valores utilizados podem ser consultados na Tabela 16.

Na Tabela 17 podem-se ver as propriedades do ar à temperatura do filme e na Tabela 18 os resultados obtidos com base nas equações apresentadas no subcapítulo anterior.

Tabela 16 – Características do ventilador

Caudal (m^3/s)	0,006
Diâmetro (m)	0,12
Área (m^2)	0,011
Velocidade (m/s)	0,53

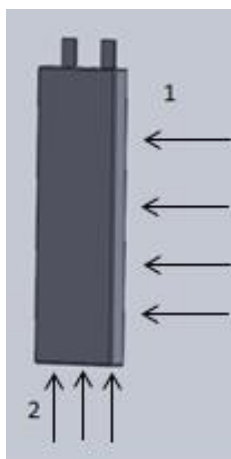


Figura 36 – Representação da direcção do escoamento

Tabela 17 – Propriedades físicas do ar

T (°C)	ρ (kg/m ³)	cp (Kj/KgK)	λ (w/mK)	ν (m ² /s)	Pr
50	1,0931	1,005	0,02780	0,00001794	0,71

Tabela 18 – Resultados das equações 34 a 37

Tp (°C)	64
T ∞ (°C)	36
Tfilme (°C)	50
Re 1	4988,3
Re 2	13359
Nu 1	57,085
Nu 2	93,417
h 1	26,559
h 2	43,463

Os resultados obtidos podem ser consultados na Tabela 19. Da mesma também se pode concluir que a orientação do escoamento em 2 é mais vantajosa.

Tabela 19 – Temperaturas finais e arrefecimento obtido

	Sem ar forçado	Escoamento 1	Escoamento 2
Tfinal	63	47	43
ΔT	—	16	20

7.2. Exemplo de refrigeração para descarga a 1,5C com 3 células emparelhadas

Considerando a montagem real das células no *pack* e o grupo que contém 3 células ligadas em paralelo, Figura 37, foi repetido o processo descrito no subcapítulo anterior, estimando primeiro a temperatura da parede da célula considerando apenas convecção natural para de seguida a simulação ser repetida considerando a convecção forçada.

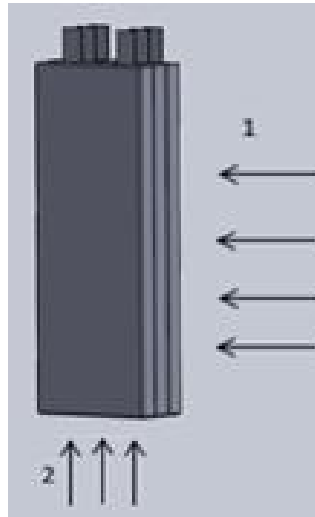


Figura 37 – Representação dos dois escoamentos considerados

Para o ventilador foram novamente considerados valores típicos de um ventilador de computador e os seus valores podem ser consultados na Tabela 20.

Tabela 20 – Características do ventilador

Caudal (m^3/s)	0,02
Diâmetro (m)	0,12
Área (m^2)	0,011
Velocidade (m/s)	1,77

Na Tabela 21 podem ser consultadas as propriedades físicas do ar à temperatura de filme e na Tabela 22 os resultados das equações presentes no início do capítulo relativas à convecção forçada.

Tabela 21 – Propriedades físicas do ar

T (°C)	ρ (kg/m^3)	c_p (Kj/KgK)	λ (w/mK)	ν (m^2/s)	Pr
45	1,1099	1,005	0,02745	0,000017455	0,7105

Tabela 22 – Resultados das equações 34 a 37

T_p (°C)	53
T_{∞} (°C)	36
T_{filme} (°C)	45
Re 1	5977,4
Re 2	16007
Nu 1	62,50
Nu 2	102,28
h 1	29,08
h 2	47,59

Os resultados obtidos podem ser consultados na Tabela 23, continuando a orientação 2 para o escoamento a ser a mais vantajosa.

Tabela 23 – Temperaturas finais e arrefecimento obtido

	Sem ar forçado	Escoamento 1	Escoamento 2
T_{final}	53	47	44
ΔT	—	6	9

8. Modelação de apoios e ligações do motor

De modo a integrar o motor elétrico no veículo foi necessário projetar uma série de peças, com base em desenhos 3D, Figura 38 e Figura 39, e 2D, Figura 40, das dimensões do motor e da caixa redutora, Figura 41, e da estrutura do veículo e posicionamento da caixa redutora Figura 42.

No anexo N podem ser consultados os desenhos definição dos componentes.

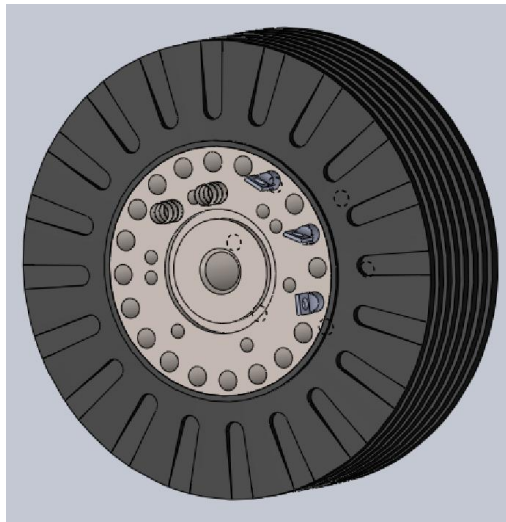


Figura 38 – Modelo 3D do motor com os terminais elétricos e entrada e saída de água



Figura 39 – Modelo 3D da face de saída de potência

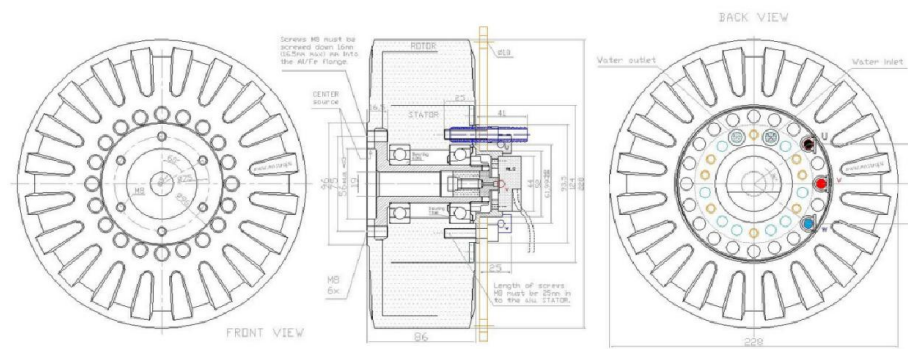


Figura 40 – Representação 2D e dimensões do motor Emrax228[15]

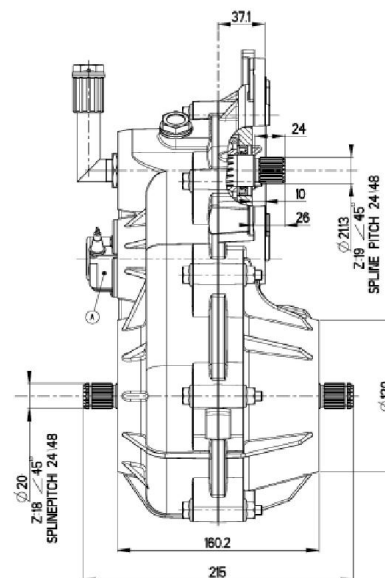


Figura 41 – Representação 2D e dimensões da caixa redutora Comex D695

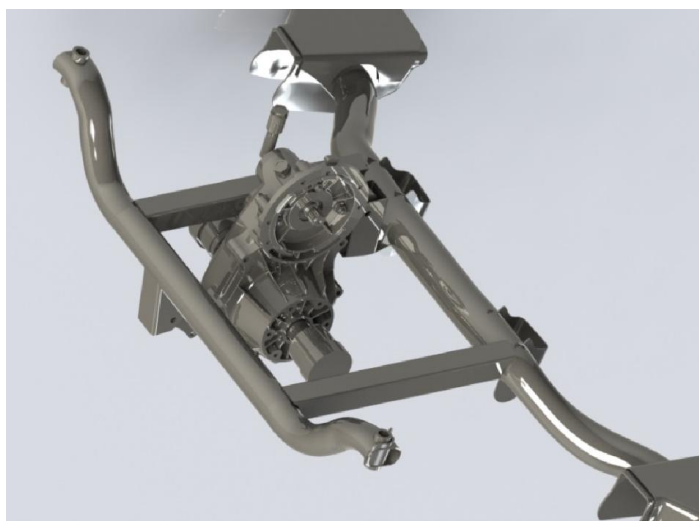


Figura 42 – Estrutura do chassi com a caixa redutora

8.1. Veio de saída do motor (transmissão)

A primeira peça e talvez mais importante, seria o acoplamento do motor com a caixa de redução, para isso foi projetado um veio de saída, Figura 43, com estriado interior para a ligação na caixa, tendo em conta a profundidade necessária deste estriado para o correto engrenamento e depois o comprimento total para não haver interferência entre motor e caixa. A ligação no motor é feita por parafusos no local definido pelo fabricante do motor para o mesmo, tendo em conta as cotas do desenho 2D. Na Figura 44 tem-se o veio após o seu fabrico.

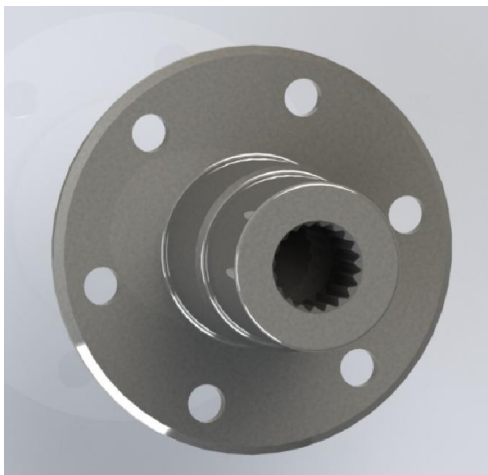


Figura 43 – Veio estriado de ligação do motor com a caixa redutora



Figura 44 – Fotografia do veio de transmissão fabricado

O dimensionamento deste veio foi feito em conjunto com uma análise em elementos finitos através do *software Solidworks*, também utilizado para o desenho 3D da peça. O veio estará sujeito à torsão devido ao binário imposto pelo motor. Para a simulação será necessário a introdução de uma série de variáveis como o material, aço AISI 1015, com uma tensão de cedência de 530 Mpa, pontos e tipo (simples, duplo, encastramento) de fixação e pontos e direção das cargas aplicadas.

Como se pode observar na Figura 45 os pontos de fixação do veio serão na zona dos furos, considerando-se assim uma fixação por encastramento.

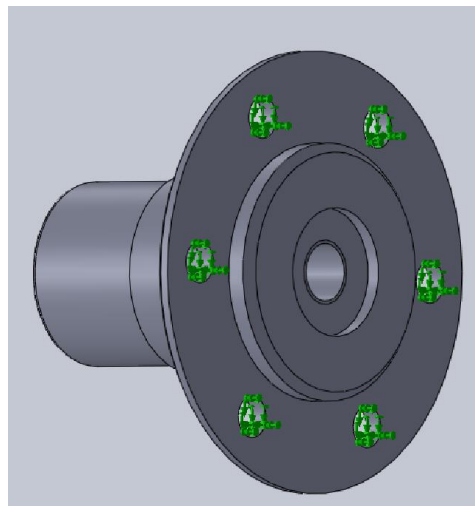


Figura 45 – Zonas de fixação do veio de transmissão

Na impossibilidade por parte do *software* da aplicação de forças de torsão foi necessário calcular uma força equivalente aplicada perpendicularmente em cada dente, na zona de engrenamento, Figura 46, conseguindo assim também ter resultados sobre se o dente aguentará a solicitação.

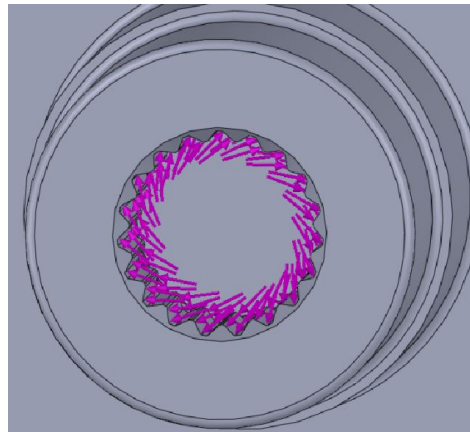


Figura 46 – Direcção e pontos de aplicação das forças no veio de saída do motor

Através da equação 38 foi possível obter uma força de 1285 N aplicada a cada dente, considerando o binário máximo disponibilizado pelo motor de 240 Nm, o raio de dentado de 9,83 mm como sendo a distância do eixo do veio à cabeça do dentado e os 19 dentes existentes.

$$F_{dente} = \frac{\frac{M_{motor}}{r_{dentado}}}{n^{\circ} \text{ de dentes}} \quad 38$$

Na Figura 47 pode-se observar que os locais de tensão máxima a que a peça está sujeita, cerca de 82 MPa, serão o pé do dentado e as zonas de mudança de secção. Na Figura 48 observa-se o local do máximo deslocamento que foi de aproximadamente 8×10^{-3} mm.

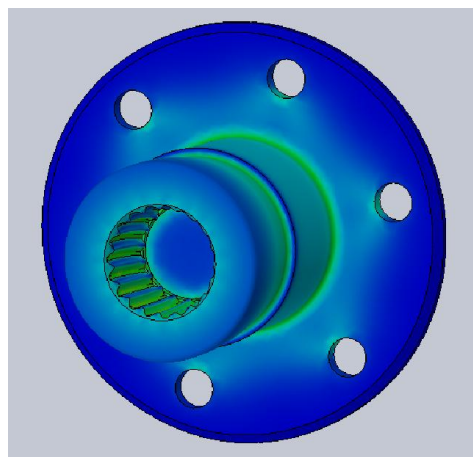


Figura 47 – Simulação dos esforços aplicados

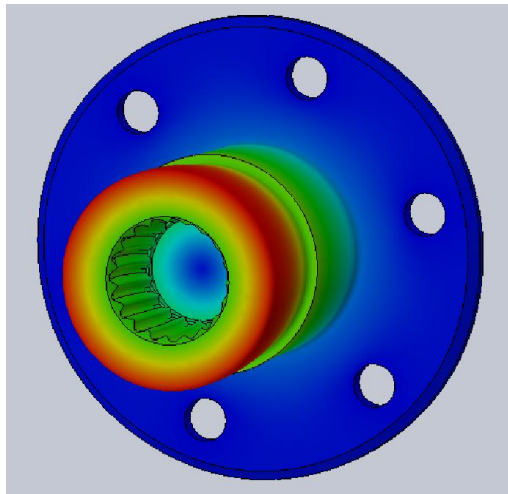


Figura 48 – Simulação do deslocamento

Obteve-se uma peça que pesará cerca de 0,9 Kg, com um volume de aproximadamente $1.11 \times 10^{-4} m^3$ e com um fator de segurança de 6,49. Resultados com maior detalhe podem se consultados no Anexo L.

8.2. Suporte do resolver

Do lado oposto, também acoplado diretamente ao motor por dois parafusos estará o suporte do resolver Figura 49. O resolver é um transdutor de velocidade angular, sensor de posição relativa que vai ler a velocidade de rotação do motor e também o posicionamento do mesmo.

A centragem do resolver será feita por três furos existentes no suporte. O rasgo no topo de menor diâmetro servirá para a passagem de fios elétricos e o do topo oposto para as ligações de entrada e saída de água devido à refrigeração do motor. Este suporte fixa diretamente no motor através de dois parafusos de cabeça de embeber.

Acoplado ao suporte iremos ter um rolamento da SKF 6202-2Z/C3 com diâmetros interior e exterior de 17 e 40 mm respectivamente, de modo a que seja este a absorver qualquer vibração que haja e não o próprio resolver precavendo assim algum dano no mesmo.

Na Figura 50 pode-se observar o resultado do fabrico desta peça.

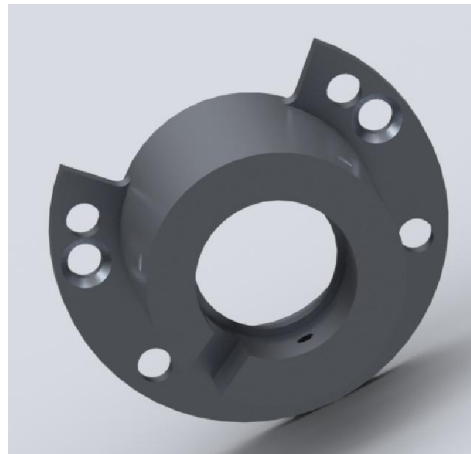


Figura 49 – Modelação 3D do suporte do resolver



Figura 50 – Fotografia do suporte fabricado

8.3. Veio do resolver

Para o funcionamento do resolver é necessário outra peça, o veio do resolver Figura 51, também em aço, AISI 1015, uma vez que o resolver faz a leitura a partir do magnetismo da peça que o atravessa, ou seja, será este veio que estará roscado no veio de transmissão que dará a informação ao resolver. Este veio tem um furo roscado na extremidade de menor diâmetro para fixação do próprio resolver impedindo o seu deslocamento longitudinal. Na Figura 52 pode-se ver já a montagem do veio do resolver no veio de transmissão.



Figura 51 – Modelação 3D do veio do resolver



Figura 52 – Fotografia do veio do resolver fabricado e roscado no veio de transmissão

8.4. Apoio principal do motor

Ao suporte do resolver irá fixar o apoio principal representado na Figura 53 que irá complementar a fixação ao motor. Este apoio foi feito em alumínio da serie 7075-T6 com uma tensão de cedência de 505 MPa.

Uma vez que este apoio também ligará diretamente ao motor terá necessariamente um rasgo semelhante ao do suporte do resolver devido às ligações de água. Esta peça fará também a ligação de mais três apoios que irão ser abordados nos subcapítulos 8.5, 8.7 e 8.8, daí os dois furos de caixa, os dois furos passantes, e o furo roscado. Na Figura 54 pode-se ver a peça final após o seu fabrico.



Figura 53 – Modelação 3D do apoio principal do motor



Figura 54 – Fotografia do apoio principal fabricado

De modo a validar a peça modelada foi efetuada uma simulação por elementos finitos no *software Solidworks* semelhante à realizada para o veio de saída. Na Figura 55 podem-se ver as forças de fixação, a verde, e a roxo as forças aplicadas.

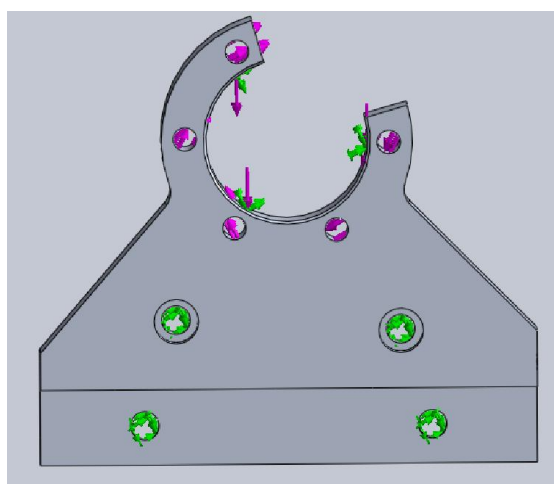


Figura 55 – Zonas e forças de fixação a verde ; Direcção e pontos de aplicação da força aplicada a roxo

Também neste caso foi necessário transformar o esforço de torsão em forças aplicadas tangencialmente na zona de furação de fixação ao motor através da equação 39, considerando o raio do furo central do apoio ao centro dos furos de fixação, que resulta numa força de 1285 N. Nesta peça será necessário contabilizar o peso do motor que é de 123 N, que dividindo por 2, uma vez que o motor estará apoiado nas duas extremidades será de 61,5 N.

$$F_{parafuso} = \frac{\frac{M_{motor}}{r}}{n^{\circ} \text{ de furos}} \quad 39$$

Na Figura 56 pode-se observar o resultado da simulação ao nível da tensão máxima que foi de 6,6 MPa e o local da peça onde esta ocorre.

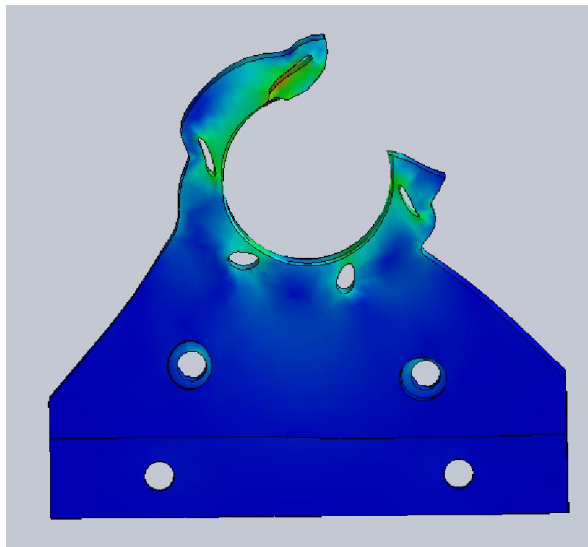


Figura 56 – Simulação dos esforços aplicados

Na Figura 57 pode-se observar o resultado da simulação ao nível do deslocamento, que teve um máximo de $1,35 \times 10^{-3}$ mm, e o local onde este ocorre.

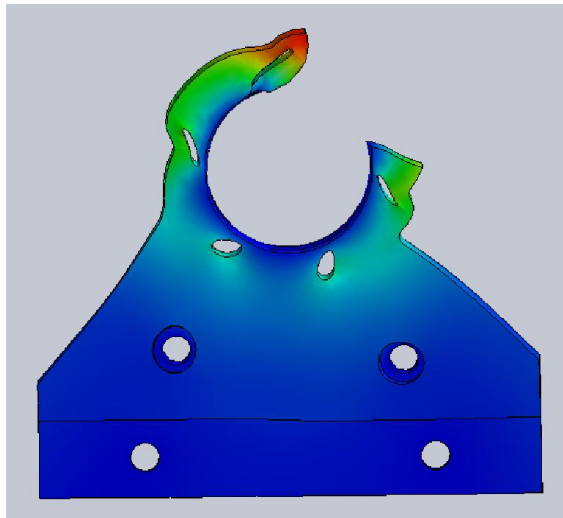


Figura 57 – Simulação do deslocamento

Obteve-se então uma peça com cerca de 1.17 Kg com um volume de aproximadamente $4,16 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ e com um fator de segurança de 76,67. Resultados com maior detalhe podem se consultados no Anexo M.

8.5. Apoio da caixa

Um dos pontos de fixação dos apoios à estrutura do carro foi a caixa redutora, até porque ela servirá diretamente de apoio ao próprio motor através do veio de transmissão, mas seria de todo benéfico não deixar a caixa, na zona de engrenamento como único suporte do motor de um dos lados. Para isso foi modelada uma peça, Figura 58, em alumínio série 7075-T6, que fizesse a ligação entre a caixa e o apoio principal, tendo em consideração a geometria do corpo da caixa, a junta homocinética, e o próprio motor, de modo a garantir que não haverá interferência com nenhum componente.

O apoio da caixa tem dois furos roscados numa das extremidades e irá fazer a ligação através dos furos passantes inferiores do apoio principal. Na outra extremidade para a ligação com a caixa redutora essa ligação foi dividida em duas partes por uma questão de simplificação da peça poupando assim no material e em custos de maquinagem. Portanto, a ligação entre o apoio da caixa e a caixa redutora é feito através de um elemento de ligação, que será abordado no subcapítulo 8.6. Na Figura 59 pode-se ver a peça após o seu fabrico.

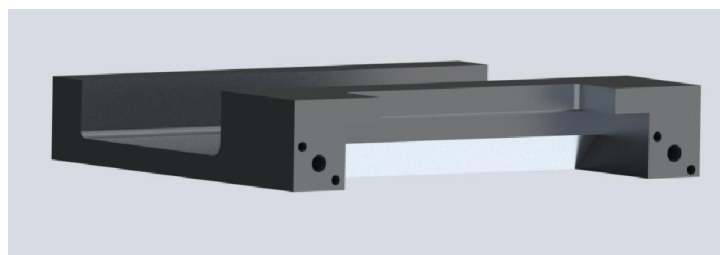


Figura 58 – Modelação 3D do apoio da caixa redutora

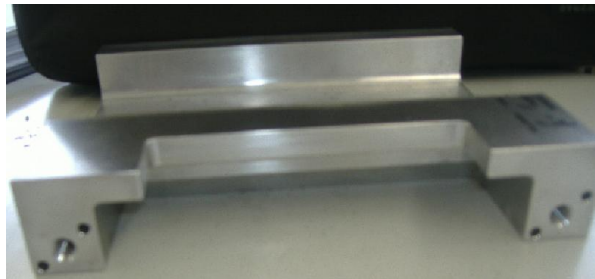


Figura 59 – Fotografia do apoio da caixa fabricado

8.6. Elemento de ligação entre apoio da caixa e caixa redutora

Como já foi referido este elemento de ligação Figura 60 em alumínio da série 7075-T6, foi pensado com o propósito de redução de custos do fabrico do apoio da caixa.

A ligação será feita ao apoio através do furo passante de caixa e dois pinos paralelos em aço para a centragem. O furo passante na parte superior da face da peça fará a ligação com a caixa.

Na Figura 61 pode-se ver a peça já fabricada.



Figura 60 – Modelação 3D do elemento de ligação entre apoio da caixa e caixa redutora



Figura 61 – Fotografia do elemento de ligação fabricado

8.7. Apoio da longarina

O outro ponto de fixação à estrutura do carro será a longarina do lado oposto à caixa. Foi então necessário modelar uma peça, apoio da longarina Figura 62, em alumínio da série 7075-T6, que fizesse esta ligação com o apoio principal através dos furos passantes de caixa que este possui e os furos roscados deste novo apoio. Para a ligação com a longarina foi necessário ter em consideração a sua inclinação, daí os furos passantes do apoio principal não serem paralelos à base da peça. Na Figura 63 pode-se ver a peça fabricada.

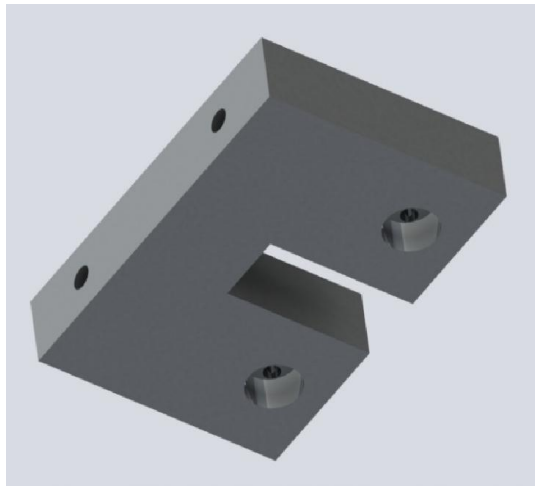


Figura 62 – Modelação 3D do apoio da longarina

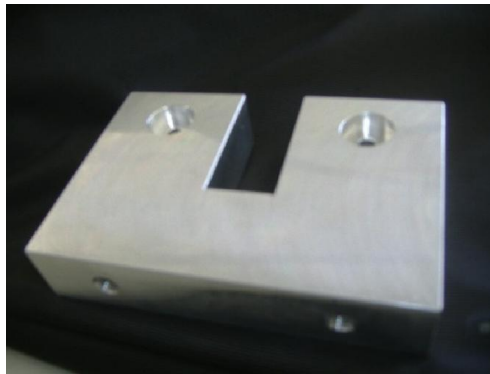


Figura 63 – Fotografia do apoio da longarina fabricado

Esta peça irá apoiar na longarina através de apoios antivibração colocados nos rasgos circulares na parte de baixo da peça, visto que a caixa redutora também liga ao chassi por apoios semelhantes, logo será melhor para o conjunto não haver nenhuma ligação rígida ao veículo. Os apoios serão da fibroflex num elastômero tubular série 246.

8.8. Apoio tubular

De modo a tornar mais rígida a ligação entre o motor e a caixa e garantir que ao haver movimento devido aos apoios anti-vibratórios este será em conjunto foi introduzido um último apoio Figura 64 que ligará a caixa redutora ao apoio principal. As suas extremidades serão amassadas e as extremidades serão ligadas ao furo roscado lateral do apoio principal e à própria caixa redutora.



Figura 64 – Modelação 3D do apoio tubular

8.9. Integração no chassi

Como se pode ver na Figura 65 a integração de todos estes componentes no veículo ficará assim completa, garantindo que não haverá nenhuma interferência após a montagem.

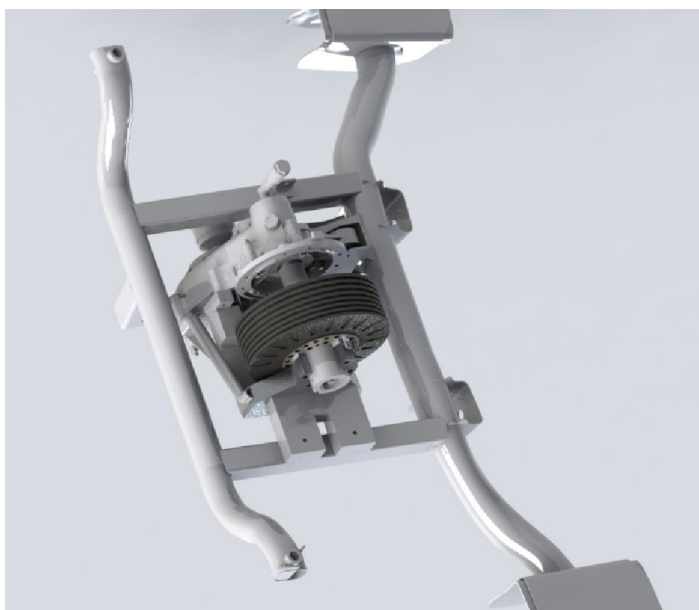


Figura 65 – Modelação 3D da implementação dos componentes no chassi

(Página em branco)

9. Montagem do conjunto Motor – Baterias para validação do conceito

Com o propósito de validar o conceito motor elétrico e conjunto de baterias foi feita a montagem destes componentes num veículo Fiat Uno já existente na Faculdade sendo que este já tinha sido convertido a elétrico anteriormente, portanto este trabalho passou pelo fabrico de elementos de suporte do motor que podem ser vistos na Figura 66 e sua ligação à caixa de velocidades que pode ser vista na Figura 67, fixação do controlador mostrado na Figura 68.



Figura 66 – Suporte do motor elétrico



Figura 67 – Ligação à caixa de velocidades



Figura 68 – Montagem do controlador

Foi também construída uma caixa de suporte para os *packs* de baterias composta por perfis bosch e policarbonato com um ventilador Figura 69 e a sua montagem na mala do veículo pode ser vista na Figura 70.



Figura 69 – Caixa de suporte dos packs de baterias



Figura 70 – Montagem da caixa e packs no veículo

10.Considerações finais

10.1. Conclusões

Do trabalho realizado foi possível retirar as seguintes conclusões:

- com base na análise do ciclo New European Driving Cycle NEDC, neste caso adaptado para veículos elétricos, um motor síncrono de ímanes permanentes com as características de potência, 40 kW e binário, 240 Nm, disponibilizado para o trabalho e selecionada para o projeto Mobicarpower, garante uma perfeita funcionalidade do veículo para o ciclo definido;

- com base nas simulações do NEDC foi possível definir o consumo do veículo citadino, em projeto, sendo este um consumo de aproximadamente 110 Wh/km. Considerando o conjunto de baterias especificadas para o veículo em causa teremos uma autonomia estimada em cerca de 80 km.

- relativamente ao estudo do aquecimento interno o modelo desenvolvido nesta dissertação, no *software PSIM*, validado pelos testes de descarga efetuados às baterias nos quais se recorreu a uma câmara termográfica para o registo da temperatura da parede da célula, demonstrou que as baterias suportarão termicamente os ciclos de carga e descarga impostos na simulação do NEDC.

10.2. Trabalhos Futuros

Não há trabalho que não possa ser melhorado e ao nível da investigação ainda mais. É sempre possível aprofundar e otimizar e será esse sentido que este projeto deverá seguir. Testes que procurem minimizar o erro exterior de modo a ter efetivamente uma melhor noção da precisão do modelo bem como um modelo semelhante considerando a interface entre células e o aquecimento do ar de refrigeração para melhor estudo do *pack* de baterias completo.

A introdução de travagem regenerativa também seria um estudo bastante interessante de modo a prever a quantidade de energia passível de ser reaproveitada num ciclo tipo como este e os ganhos em autonomia que seriam gerados.

Relativamente às peças modeladas e fabricadas de modo a conferir a correta interligação entre estas e o próprio chassis e caixa redutora a montagem será também um trabalho que deverá ser realizado bem como o teste em funcionamento do veículo de modo a analisar o comportamento dinâmico de todo o conjunto.

(Página em branco)

11. Referências

1. <http://www.mobie.pt/>. [cited 2014 01/07].
2. <http://www.veiculoselectricospt.com/incentivos/>. [cited 2014 1/7].
3. <http://www.veiculoselectricospt.com/historia-dos-veiculos-electricos/>. [cited 2014 17/05].
4. Bansal, R.C., *Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives*. 2005.
5. Husain, I., *ELECTRIC and HYBRID VEHICLES Design Fundamentals*. 2005.
6. Tie, S.F. and C.W. Tan, *A review of energy sources and energy management system in electric vehicles*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. **20**(0): p. 82-102.
7. Finken, T.F., M. ; Hameyer, K., *Comparison and design of different electrical machine types regarding their applicability in hybrid electrical vehicles*, in *2008 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL MACHINES*. 2008.
8. Diallo, M.Z.M.E.H.B.D., *Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: A Comparative Study*. 2005.
9. Asaei, N.H.a.B., *Comparative Study of Using Different Electric Motors in the Electric Vehicles*. 2008.
10. Ashish Arora, N.K.M., Thomas Livernois and Jan Swar, *Electric and Hybrid Vehicles*. 2010.
11. Mehrdad Ehsani, Y.G., Sebastien E. Gay, Ali Emadi, *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles Fundamentals, Theory, and Design*. 2005.
12. Pesaran, A.A., *Battery Thermal Management in EV and HEVs: Issues and Solutions*. Battery Man, 2001. **43**(5): p. 34-49.
13. Al-Hallaj, S. and J.R. Selman, *Thermal modeling of secondary lithium batteries for electric vehicle/hybrid electric vehicle applications*. Journal of Power Sources, 2002. **110**(2): p. 341-348.
14. Rao, Z. and S. Wang, *A review of power battery thermal energy management*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011. **15**(9): p. 4554-4571.
15. <http://www.enstroj.si/Electric-products/emrax-228-motorsgen.html>. 2014 16/06.

16. <http://www.comexspa.com/index.php/en/products/item/38-differential-gearboxes&catid=/38-differential-gearboxes&catid=>. [cited 2014 28/06].
17. Union, E., *E/ECE/324*
E/ECE/TRANS/505 Rev.2/Add.100/Rev.2. 2005.
18. T J Barlow, S.L., I S McCrae and P G Boulter, *A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions*. 2009.
19. Ribeiro, B.R.d.S., *Thermodynamic optimisation of spark ignition engines under part load conditions*. 2006.
20. Gillespie, T.D., *Fundamentals of Vehicle Dynamics*.
21. Muratori, M., *THERMAL CHARACTERIZATION OF LITHIUM-ION BATTERY CELL*. 2009, POLITECNICO DI MILANO.
22. Incropera, D., Bergman, Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. sixth ed. 2007.
23. Magalhães, D.F.P., *Modelo de Baterias com aplicação em sistemas de gestão de baterias (BMS) de Veículos Elétricos (EVs)*. 2013.

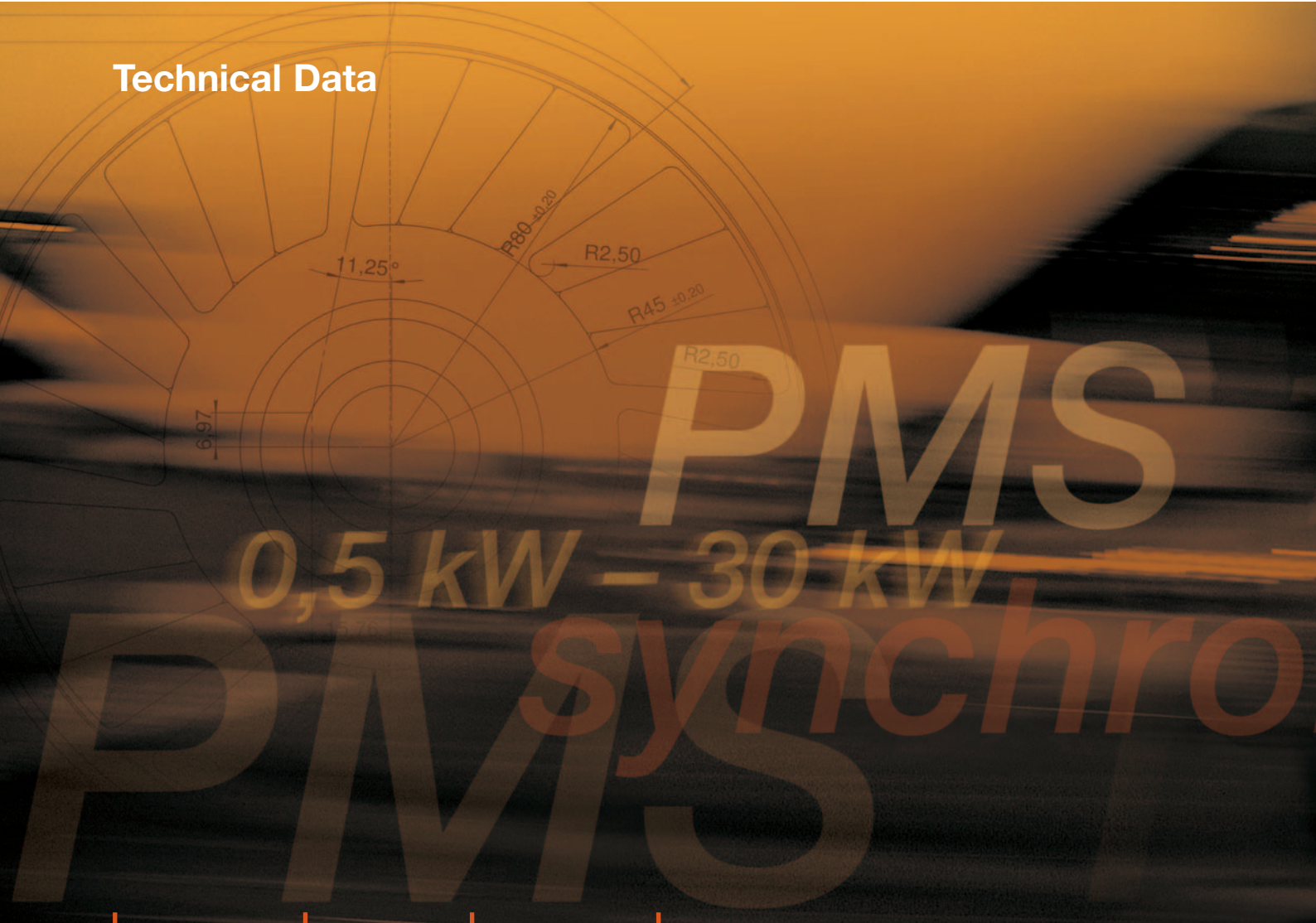
12. Anexos

(Página em branco)

12.1. Anexo A: Catálogo motor PERM

(Página em branco)

Technical Data



Mobility

Energy

Consumer

Industry

MOTORS

High efficient, brushless AC-Synchronous Disc-Motors with
Patented Rotor Technology

PERM MOTOR
Member of the HEINZMANN Group

High efficient, brushless AC-Synchronous Disc-Motors with Patented Rotor Technology

Our motors are used in all applications, where low weight, compact construction, high efficiency and high dynamic features are requested. For example in electric Vehicles, NEV's, turf applications, commuters, floorcare machinery, boats, and in a wide range of industrial applications. The motors are available in a sensorless version, and several other sensor system solutions.

- Power-range from 0.5 kW up to 30 kW
air- or watercooled
- For battery Voltage 24 V – 96 V
or line powered 110 V – 400 V
- Complete drive trains with gear boxes
and brakes are available on request
- Controllers on request

Advantages:

- High power-density due to double-stators
- High efficiency
- Low inertia due to special plastic rotor
- Integrated solutions as a built in motor possible
- Flat construction
- Completely closed, system of protection IP 54

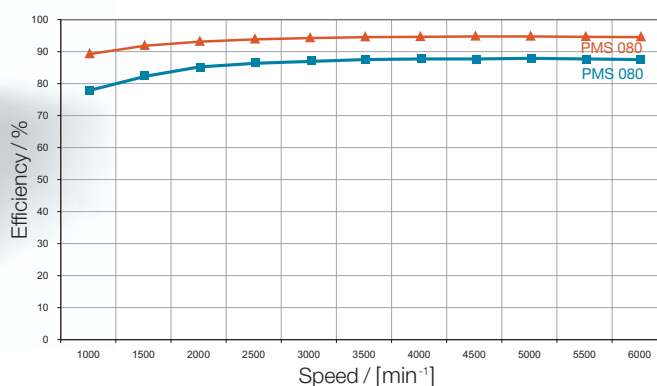


PMS-Motor air-cooled



PMS-Motor water-cooled

Typical efficiency as a function of the speed for the PMS Motor Series



Technical data

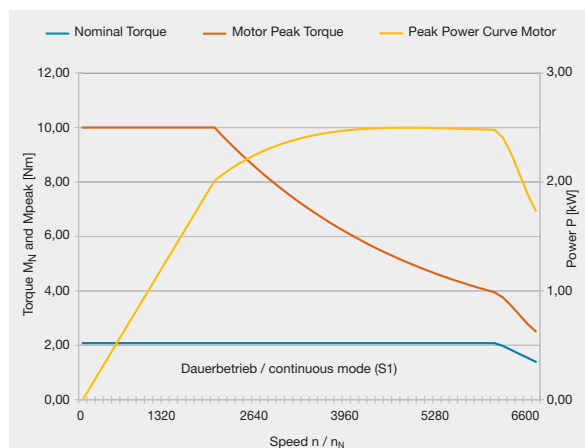
Type series 080

Rated Power: 0.4 - 1.4 kW / Depending on rpm

Motor Peak Torque	10 Nm	Permitted peak torque during pulsed operation up to ~ 30 % of rated rpm
Pulsed-operation	ca. 13 Nm	Permitted pulsed-operation for 0.5 sec. with speed < 50 rpm
Moment of Inertia	3.8 kgcm ²	Based on standard shaft-Version
Weight	ca. 3.2 kg	With sin/cos Encoder, without brake

PMS 080

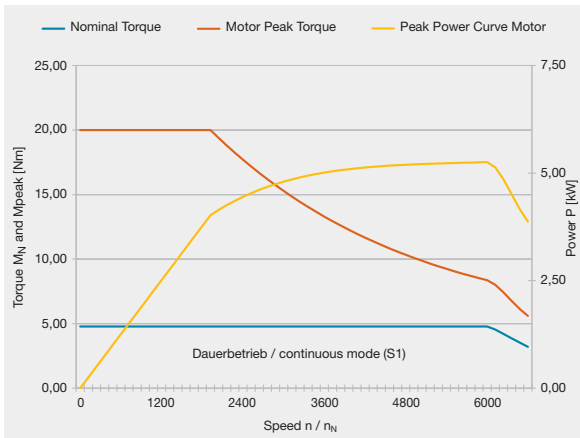
	24 V DC		48 V DC		72 V DC		from 320 V DC	
Speed [min ⁻¹]	Torque [Nm]	Power [kW]	Torque [Nm]	Power [kW]	Torque [Nm]	Power [kW]	Torque [Nm]	Power [kW]
1500	2.7	0.4	2.9	0.5	–	–	–	–
3000	3.2	1.0	3.2	1.0	3.2	1.1	3.2	1.0
4500	2.3	1.1	2.8	1.3	2.8	1.3	2.8	1.3
6000	1.9	1.2	2.2	1.3	2.2	1.4	2.2	1.3



080
Type series 080

Type series 100			Rated Power: 1.2 - 3.0 kW / Depending on rpm
Motor Peak Torque	20 Nm	Permitted peak torque during pulsed operation up to ~ 30 % of rated rpm	
Pulsed-operation	ca. 24 Nm	Permitted pulsed-operation for 0.5 sec. with speed < 50 rpm	
Moment of Inertia	9.6 kgcm ²	Based on standard shaft-Version	
Weight	ca. 5.8 kg	With sin/cos Encoder, without brake	

PMS 100								
	24 V DC		48 V DC		72 V DC		from 320 V DC	
Speed [min ⁻¹]	Torque [Nm]	Power [kW]	Torque [Nm]	Power [kW]	Torque [Nm]	Power [kW]	Torque [Nm]	Power [kW]
1500	7.6	1.2	7.0	1.1	7.6	1.2	7.0	1.1
3000	4.8	1.5	7.6	2.4	7.6	2.4	7.6	2.4
4500	–	–	5.3	2.5	5.3	2.5	5.3	2.5
6000	–	–	4.3	2.7	4.3	2.7	4.3	2.7

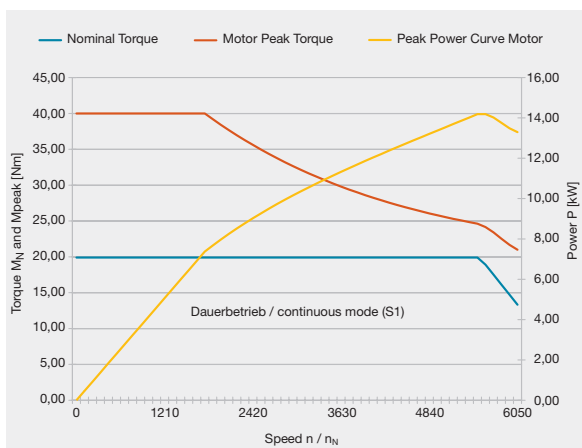


100
Type series 100

Type series 120			Rated Power: 3.2 - 7.0 kW / Depending on rpm
Motor Peak Torque	40 Nm	Permitted peak torque during pulsed operation up to ~ 30 % of rated rpm	
Pulsed-operation	ca. 50 Nm	Permitted pulsed-operation for 0.5 sec. with speed < 50 rpm	
Moment of Inertia	26.3 kgcm ²	Based on standard shaft-Version	
Weight	ca. 12.3 kg – 15.1 kg	With sin/cos Encoder, without brake	

PMS 120 L / air-cooled								
	48 V DC		72 V DC		96 V DC		from 320 V DC	
Speed [min ⁻¹]	Torque [Nm]	Power [kW]	Torque [Nm]	Power [kW]	Torque [Nm]	Power [kW]	Torque [Nm]	Power [kW]
1500	20.4	3.2	20.4	3.2	20.4	3.2	20.4	3.2
3000	18.5	5.8	19.1	6.0	19.1	6.0	19.1	6.0
4500	13.8	6.5	13.8	6.5	13.8	6.5	13.8	6.5
6000	10.4	6.5	11.1	7.0	11.1	7.0	11.1	7.0

PMS 120 W / water-cooled								
	48 V DC		72 V DC		96 V DC		from 320 V DC	
Speed [min ⁻¹]	Torque [Nm]	Power [kW]	Torque [Nm]	Power [kW]	Torque [Nm]	Power [kW]	Torque [Nm]	Power [kW]
1500	20.4	3.2	24.2	3.8	24.2	3.8	24.2	3.8
3000	19.1	6.0	23.9	7.5	23.9	7.5	23.9	7.5
4500	–	–	21.2	10.0	23.3	11.0	23.3	11.0
6000	–	–	–	–	19.9	12.5	19.9	12.5



120
Type series 120

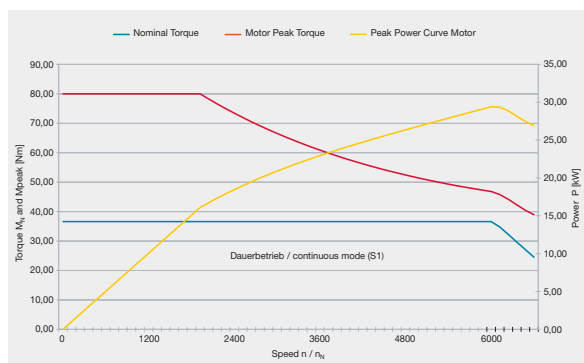
Type series 150/156		Rated Power: 6.5 - 30 kW / Depending on rpm
Motor Peak Torque	80 Nm	Permitted peak torque during pulsed operation up to ~ 30 % of rated rpm
Pulsed-operation	ca. 95 Nm	Permitted pulsed-operation for 0.5 sec. with speed < 50 rpm
Moment of Inertia	58.6 kg cm²	Based on standard shaft-Version
Weight	ca. 22.3 kg – 29.8 kg	With sin/cos Encoder, without brake

PMS 150 L / air-cooled								
	48 V DC		72 V DC		96 V DC		from 320 V DC	
Speed [min ⁻¹]	Torque [Nm]	Power [kW]	Torque [Nm]	Power [kW]	Torque [Nm]	Power [kW]	Torque [Nm]	Power [kW]
1500	41.4	6.5	41.4	6.5	41.4	6.5	41.4	6.5
3000	27.4	8.6	36.6	11.5	36.6	11.5	36.6	11.5
4500	–	–	27.6	13.0	27.6	13.0	28.6	13.5
6000	–	–	21.5	13.5	21.5	13.5	23.8	15.0

PMS 150 W / water-cooled								
1500	47.7	7.5	50.1	8.0	50.1	8.0	50.1	8.0
3000	27.4	8.6	39.8	12.5	44.5	14.0	47.8	15.0
4500	–	–	28.7	13.5	33.9	16.0	38.2	18.0
6000	–	–	21.5	13.5	27.1	17.0	31.8	20.0

PMS 156 L / air-cooled								
1500	47.7	7.5	47.7	7.5	47.7	7.5	47.8	7.5
3000	35.0	11.0	44.5	14.0	44.5	14.0	38.2	12.0
4500	–	–	29.7	14.0	29.7	14.0	29.7	14.0
6000	–	–	–	–	27.1	17.0	27.1	17.0

PMS 156 W / water-cooled								
1500	–	–	–	–	–	–	63.6	11.0
3000	–	–	41.3	13.0	54.1	17.0	57.3	18.0
4500	–	–	34.0	16.0	42.5	20	48.8	23.0
6000	–	–	25.5	16.0	36.6	23.0	48.7	30.0



Other speed versions for your special application, on request.

150/156
Type series 150/156

General technical specs for the PMS Motor series

Motortype:	Permanentmagnet AC-Synchronous Disc-Motor	Electrical strength:	Related to DIN EN 60034
Cooling:	- Aircooling with a min airstream of 5 m/s - Watercooling with max. 60 °C Max. operating pressure 3.0 bar Coolant quantity min. 6 l / min	Type of construction:	Flange type according IM B14
Operation mode:	S1 (continuous)	Electrical connections:	Standard version with wire length ~ 1m (connector version as an option, mating connector not included)
Polpairs:	4	Protection class:	IP 54
Magnet material:	Neodymium-Iron-Bor	Environmental temperature:	-10 °C to + 40 °C
Insulation Class:	Class F according VDE 0530	Demagnetization temperature:	KTY84 - 130 or PTC (NAT = 120° C)
		Shaft:	Standard shaft with key groove, other design on request

Perm Motor GmbH
Brand 24/1
79677 Schönau · Germany
Telefon +49 (0)7673/82087-00
Telefax +49 (0)7673/82087-99
info@perm-motor.de
www.perm-motor.de

PERM MOTOR
Member of the HEINZMANN Group

12.2. Anexo B: *Datasheet* EMRAX228

(Página em branco)

Technical data	Type	EMRAX 228 High Voltage		EMRAX 228 Medium Voltage		EMRAX 228 Low Voltage	
Cooling (AC – Air Cooled; LC – Liquid Cooled)		LC	AC	LC	AC	LC	AC
Cooling medium spec.		water flow speed 0,2 l/s; 20 °C	air flow speed 25 m/s; 20 °C	water flow speed 0,2 l/s; 20 °C	air flow speed 25 m/s; 20 °C	water flow speed 0,2 l/s; 20 °C	air flow speed 25 m/s; 20 °C
Weight [kg]		12,3	12,0	12,3	12,0	12,3	12,0
Diameter ø / width [mm]		228 / 86					
Battery voltage range [Vdc]		50 – 400 (*600)		50 – 350 (*450)		24 – 100 (*140)	
Peak motor power (few min at cold start / few seconds at hot start) [kW]		100					
Continuous motor power (depends on the motor RPM) [kW]		30 - 50	25 - 40	30 - 50	25 - 40	30 - 50	25 – 40
Maximal rotation speed [RPM]		4000 (*5000) (**6000)					
Maximal motor current (for 2 min if cooled as described in Manual for EMRAX) [Arms]		240		320		900	
Continuous motor current [Arms]		115		160		450	
Maximal motor torque (for a few seconds) [Nm]		240					
Continuous motor torque [Nm]		125					
Torque / motor current [Nm/1Aph rms]		1,1		0,75		0,27	
Maximal temperature of the copper windings in the stator and also max. temp. of the magnets [°C]		120					
Nominal motor efficiency [%]		93 - 96					
Internal phase resistance at 25 °C [mΩ]		18		8,0		1,12	
Input phase wire cross-section [mm²]		10,2		15,2		38	
Induction in d/q axis [μH]		Ld=175 Lq=180		Ld=75 Lq=80		Ld=10,6 Lq=11,2	
Controller / motor signal		sine wave					
Specific idle speed (no load RPM) [RPM/1Vdc]		9,8		14		40	
Specific load speed (depends on the controller settings) [RPM/1Vdc]		8 – 9,8		11 – 14		34 – 40	
Magnetic field weakening (for higher RPM at low torque) [%]		up to 20					
Magnetic flux – axial [Vs]		0,0542		0,0355		0,0131	
Temperature sensor in the motor		kty 81/210					
Number of pole pairs		10					
Rotor inertia (mass dia=175mm, m=5,5kg) [kg*cm²]		421					
Bearings SKF _ FAG		R/R 6206/6206 or R/AR 6206/7206 or AR/AR 7206/7206 (»O« orientation)					
Ingress protection		IP21 / IP54***	IP21	IP21 / IP54***	IP21	IP21 / IP54***	IP21

*Tested in Enstroj for a few minutes.

**Tested in Enstroj for a few seconds.

*** We can also make IP54, but load time is shorter and continuous power is approximately 20 to 30% lower compared to IP21. Peak power is the same.

These data are valid for the motors, which were sold after January 2014.

12.3. Anexo C: Catálogo caixa redutora Comex

(Página em branco)



- **RIDUTTORI DIFFERENZIALI**
DIFFERENTIAL GEARBOXES





Descrizione

Riduttore differenziale a doppio stadio ad assi paralleli progettato appositamente da COMEX per essere applicato su veicoli leggeri, minivetture e piccoli veicoli da lavoro, dotati di alimentazione elettrica.

L'utilizzo di carter in lega di alluminio ed ingranaggi in acciaio legato induriti superficialmente garantisce il minor peso e la più elevata durata nel tempo.

Gli ingranaggi inoltre hanno la particolare superfinitura dei denti (power Honing), unico prodotto in commercio ad avere questa tipologia di lavorazione, per ottimizzare il rendimento e ridurre la rumorosità durante il funzionamento sotto carico.

Description

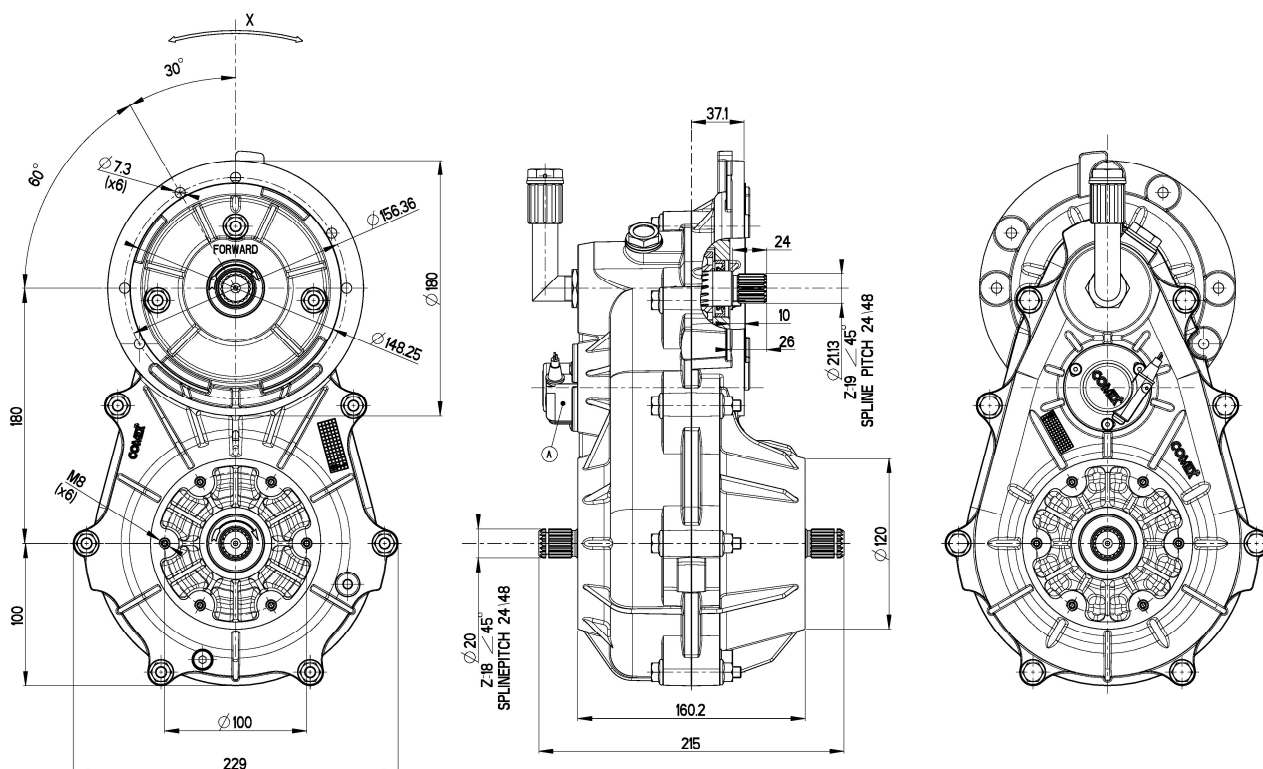
Differential gearbox with two-stage of reduction and parallel axes expressly designed by COMEX to be applied on light vehicles, as micro-cars and small working vehicles, with electrical power supply.

The use of external carters in aluminium alloy and gears in alloyed steel with surface hardening ensures the lower weight and the highest durability.

Moreover the teeth of the gears are super-finished (power Honing), the only one product on the market with this kind of mechanical operation, to optimize efficiency and reduce the noise during the functioning under load.

Applicazioni / Applications





Caratteristiche tecniche

- Tipologia di riduttore: 2 stadi ad assi paralleli
- Rapporti di riduzione: da 5,9:1 a 15,7:1
- Coppia max uscita: 1000 Nm
- RPM max motore elettrico: 7000 RPM
- N° marce: monomarcia
- Rendimento: 96%
- Inclinazione di installazione (X): da 0° a 180°
- Rinvio per contaKm elettronico (A): opzionale
- Tipo olio consigliato: Olio da cambio SAE 80W90
- Quantità olio consigliata (litri): 0,8
- Peso a secco: 11,3 Kg
- Finitura ingranaggi: superfinitura (Power Honing)

Technical characteristics

- Gearbox typology: two-stage with parallel axes
- Reduction ratios: from 5,9:1 to 15,7:1
- Max output torque: 1000 Nm
- Max electric engine RPM: 7000 RPM
- Speed no.: single speed
- Efficiency: 96%
- Installation tilt (X): from 0° to 180°
- Connection for electronic odometer (A): optional
- Suggested oil type: Gear box oil SAE 80W90
- Suggested oil quantity (liters): 0,8
- Dry weight: 11,3 Kg
- Gears finishing: super-finishing (Power Honing)

* Alcune caratteristiche sono personalizzabili sulle esigenze del Cliente.
 ** Tutte le caratteristiche sono soggette a modifiche senza preavviso.

* Some characteristics are customizable according to Customer needs.
 ** All features and specifications subject to change without notice.



Descrizione

Riduttore differenziale a doppio stadio ad assi paralleli progettato appositamente da COMEX per essere applicato su veicoli leggeri, minivetture e piccoli veicoli da lavoro, dotati di alimentazione endotermica. L'utilizzo di carter in lega di alluminio ed ingranaggi in acciaio legato induriti superficialmente garantisce il minor peso e la più elevata durata nel tempo. Gli ingranaggi inoltre hanno la particolare superfinitura dei denti (power Honing), unico prodotto in commercio ad avere questa tipologia di lavorazione, per ottimizzare il rendimento e ridurre la rumorosità durante il funzionamento sotto carico.

Description

Differential gearbox with two-stage of reduction and parallel axes expressly designed by COMEX to be applied on light vehicles, as micro-cars and small working vehicles, with endothermic power supply. The use of external carter in aluminium alloy and gears in alloyed steel with surface hardening ensures the lower weight and the highest durability. Moreover the teeth of the gears are super-finished (power Honing), the only one product on the market with this kind of mechanical operation, to optimize efficiency and reduce the noise during the functioning under load.

Applicazioni / Applications





12.4. Anexo D: Datasheet baterias de lítio

(Página em branco)

Customer:

Specification No. GEB020110927

**General Electronics Battery Co., Ltd.
(GEB)**

SPECIFICATIONS of GEB LITHIUM BATTERIES

MODEL NO.: GEB10059156 3.7V 11Ah



General Electronics Battery Co., Ltd. (GEB)

*Address: Xin'er Hong Xiang Industrial Road No. 42, Shajing Town,
Baoan District, Shenzhen 518125, P.R. China*

Website: www.gebattery.com.cn

Email: sales@gebattery.com.cn

Tel: 86-755-8176 2725/26/27 ext 628

Fax: 86-755-8176 2723

1. Scope:

This specification just suitable for the lithium polymer battery from GEB. All the test methods will be accordance with the specification stated.

2. Products and model:

2.1 Products: Lithium polymer battery cell

2.2 Model No: 10059156SH5

3. Specification

Item		Nominal Value	Remark
3.1 Capacity	Typical	11000mAh	Standard charging, 1.0C discharge, cut-off discharge voltage 3.0V
	Minimum	10500mAh	
3.2 Rated Voltage		3.7V	1.0C discharge average voltage
3.3 Standard charging condition		1C(11000mA), 4.2V(CC-CV), 50mA	Total charging time will be shorter than 2.5H
3.4 Max charging current		1C(11000mA)	
3.5 Max charging voltage		4.20V	
3.6 Max discharge current		5C(50.0A)	Continuous discharge model
3.7 Cut-off discharge voltage		3.0V	
3.8 Transport Voltage		3.7~3.9V	
3.9 Weight		About 201.5g	
3.10 Working Temperature	Charging	0~45°C	Max 90% relative humidity
	Discharge	-20~60°C	Max 90% relative humidity
3.11 Keeping temperature	1 month	-20~45°C	During transportation, the keeping temperature will be lower than 20°C
	3 months	-20~35°C	
	1 year	-20~20°C	

4. Overall Dimension and appearance

4.1 Overall Dimension

Thickness : Max. 10.0mm (The pressure of the measure device acting on the battery will be 300gf during the measure, the temperature will be $23 \pm 2^\circ\text{C}$)

Width : $59.0 \pm 0.5\text{mm}$ (The pressure of the measure device acting on the battery will be 300gf during the measure, the temperature will be $23 \pm 2^\circ\text{C}$)

Length : $158.0 \pm 0.5\text{mm}$ (Pole ear not included)

Remark: Battery will expand when keeping and using in the high temperature condition .

4.2 Appearance

The appearance of the battery will not have the obvious scratch, fracture, flaw, stain, leakage, transformation, these will be effected the commercial value.

5. Performance

5.1 Standard testing condition:

Battery testing must within 1month after leaving the factory. And the battery will not more than 5 charge and discharge cycling. Excepting other special requirements, the test condition as the specification stated: Temperature $23\pm 2^{\circ}\text{C}$, relative humidity $65\pm 20\%$.

5.2 Testing equipment:

5.2.1 Dimension testing equipment

The precision of the dimension testing equipment will be $\geq 0.01\text{mm}$.

5.2.2 Multi-meter

The degree of accuracy of using multimeter to test the voltage and the current will not lower than 0.5grade. the internal resistance when testing voltage will not be lower than $10\text{k}\Omega/\text{V}$.

5.2.3 Internal resistance tester

Measuring principle of the internal resistance tester will be A C impedance (1kHz LCR).

5.2.4 Battery testing system

The precision of current in battery test system will be higher than $\pm 0.1\%$, constant voltage precision $\pm 0.5\%$, the time keeping precision will not be lower than $\pm 0.1\%$

5.3 Standard charging definition

1.0C=11000mA

1.0C constant-current charge to 4.2V, shift to constant-voltage charge, cut-off current will be 50mA, total charging time will be lower than 2.5h.

5.4 Lay-up time

No other special requirements, charge-discharge interval time will be 10min

5.5 Standard discharge definition

1.0C(11000mA) constant-current discharge to 3.0V.

5.6 Initial performance test

Item	Test method	Standard
5.6.1 Open-circuit voltage	Standard charging within the $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperature environment, measuring the battery's Open-circuit voltage	$\geq 4.15\text{V}$
5.6.2 AC internal resistance	Standard charging within the $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperature environment, using the exchange method to test the battery's internal resistance (1kHz LCR meter)	$\leq 7.0\text{m}\Omega$
5.6.3 Initial Capacity	Standard charging within the $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperature environment, 1.0C(11000mA) discharge to 3.0V, testing the battery's capacity.	$\geq 11000\text{mAh}$

5.7 Electrical performance

5.7.1 Discharge rate character

Standard charging within the $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperature environment, then discharge according to the following form's discharge current, requirements as following:

Discharge current	1.0C(11000mA)	5C(55.0A)
Discharge capacity	98%	90%

5.7.2 Discharge temperature characteristic

Standard charging within the $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperature environment, then cooling and heating to testing temperature within 30min. Before discharging, please keeping the battery 1H in this temperature. Discharge current as following form, cut-off discharge voltage 3.0V. After a temperature test, discharge after placing the battery 2H in the $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperature, requirements as following:

Discharge temperature	-10°C	0°C	25°C	45°C
Discharge rate	0.2C	0.2C	1.0C	1.0C
Discharge Capacity	60%	85%	100%	95%

6. Quality guarantee period

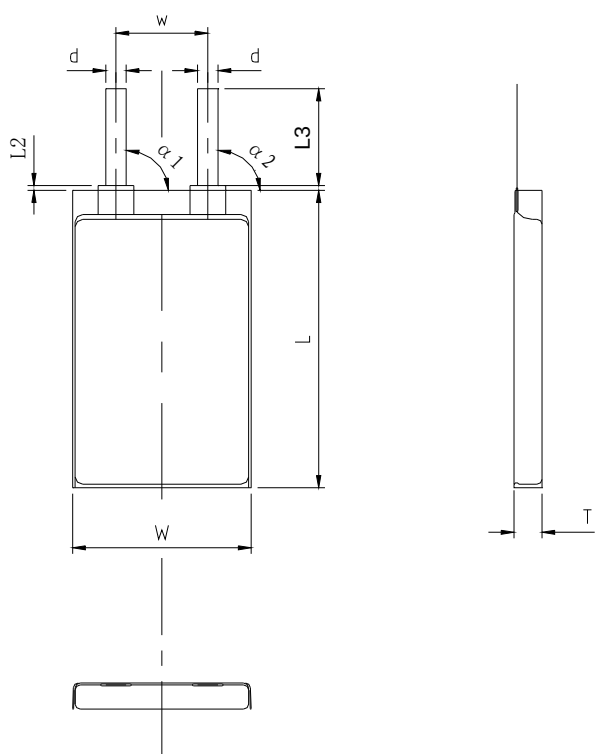
Quality guarantee period will be 6 months after the battery leaving the factory.

7. Transportation:

Transporting the battery under the condition of 50% charged.

8. Other

Picture1 Outline dimension drawing



Item	Parameter
T	Max 10.0mm
W	$59.0 \pm 0.5 \text{mm}$
L	$158.0 \pm 0.5 \text{mm}$
L2	$0.5 - 1.0 \text{mm}$
L3	$15.0 \pm 1.0 \text{mm}$
w	$30.0 \pm 2.0 \text{mm}$
d	$10.0 \pm 0.1 \text{mm}$
α_1	$90 \pm 5^\circ$
α_2	$90 \pm 5^\circ$

12.5. Anexo E: Resultados da simulação do ciclo NEDC

(Página em branco)

Powertrain de um veículo elétrico – estudo térmico da bateria e projeto mecânico

Tempo (s)	Velocidade (km/h)	V (m/s)	Aceleração (m/s ²)	Crr	Distancia (m)	n (rpm)	F (N)	T (Nm)	P (kW)	Ebaterias Wh	Edispandida (Wh)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8791,20	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8791,20	0
15	15	4,17	1,04	0,0105	8,33	862,00	1015,63	54,10	2,73	8788,16	3,04
23	15	4,17	0	0,0109	33,33	862,00	0	5,48	0,55	8786,93	1,23
28	0	0,00	-0,83	0,0105	10,42	0	-812,50	0	0	8786,93	0
49	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	8786,93	0
55	15	4,17	0,69	0,0105	12,50	862,00	677,08	38	1,91	8783,74	3,19
61	32	8,89	0,79	0,0115	39,17	1838,94	767,36	44,24	7,01	8772,06	11,68
85	32	8,89	0,00	0,0120	213,33	1838,94	0	7,59	1,64	8761,15	10,91
96	0	0,00	-0,81	0,0110	48,89	0	-787,88	0	0	8761,15	0
117	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	8761,15	0
123	15	4,17	0,69	0,0105	12,50	862,00	677,08	37,83	1,91	8757,96	3,19
134	35	9,72	0,51	0,0116	76,39	2011,34	492,42	31,48	5,30	8741,76	16,20
143	50	13,89	0,46	0,0126	106,25	2873,35	451,39	32,59	9,33	8718,42	23,34
155	50	13,89	0	0,0131	166,67	2873,35	0	11,10	3,74	8705,95	12,47
163	35	9,72	-0,52	0,0126	94,44	2011,34	-507,81	0	0	8705,95	0
178	35	9,72	0	0,0122	145,83	2011,34	0	8,09	1,91	8698,00	7,95
188	0	0	-0,97	0,0111	48,61	0	-947,92	0	0	8698,00	0
195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8698,00	0

Tempo (s)	Velocidade (km/h)	V (m/s)	Aceleração (m/s ²)	Crr	Distancia (m)	N (rpm)	F (N)	T (Nm)	P (kW)	Ebaterias (Wh)	Edispandida (Wh)
0	0	0	0	0,	0	0	0	0	0	8463,47	0,00
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8463,47	0,00
26	15	4,17	0,69	0,0104	12,50	862,00	677,08	37,83	1,91	8460,29	3,19
37	35	9,72	0,51	0,0115	76,39	2011,34	492,42	31,48	5,30	8444,08	16,20
47	50	13,89	0,42	0,0126	118,06	2873,35	406,25	30,42	8,71	8419,88	24,20
61	70	19,44	0,40	0,0137	233,33	4022,69	386,90	34,86	14,10	8365,05	54,82
111	70	19,44	0	0,0143	972,22	4022,69	0	16,55	7,81	8256,64	108,41
119	50	13,89	-0,69	0,0137	133,33	2873,35	-677,08	0	0	8256,64	0,00
188	50	13,89	0	0,0131	958,33	2873,35	0	11,10	3,74	8184,93	71,71
201	70	19,44	0,43	0,0137	216,67	4022,69	416,67	36,29	14,68	8145,45	39,49
251	70	19,44	0	0,0143	972,22	4022,69	0	16,55	7,81	8037,03	108,41
275	90	25,00	0,23	0,0149	533,33	5172,03	225,69	34,18	18,43	7914,18	122,85
358	90	25,00	0	0,0155	2075,00	5172,03	0	23,61	14,32	7583,96	330,22
370	50	13,89	-0,93	0,0143	233,33	2873,35	-902,78	0	0	7583,96	0,00
380	0	0	-1,39	0	69,44	0	-1354,17	0	0	7583,96	0,00
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7583,96	0,00

(Página em branco)

12.6. Anexo F: Descarga 1C

(Página em branco)

Powertrain de um veículo elétrico – estudo térmico da bateria e projeto mecânico

Time	Voltage	Current	CurrentAh	T real face 1
11	4,147	10,99	0,0371	23,7
126	4,092	10,99	0,3875	24,7
308	4,041	10,99	0,9418	26,2
370	4,024	10,99	1,1313	27
1207	3,827	10,99	3,6822	27,4
2350	3,685	10,99	7,1686	29,4
2708	3,661	10,99	8,259	29,6
2950	3,642	10,99	8,9971	30,9
3186	3,616	10,99	9,7156	31,8
3429	3,537	10,99	10,4564	33,1
3550	3,356	10,99	10,8251	33,6

Time	I	V	SOC	T modelo face 1
11	10,99	4,158	99,546	23,1
126	10,99	4,115	96,354	24,0
308	10,99	4,053	91,303	25,1
370	10,99	4,034	89,582	25,4
1207	10,99	3,839	66,354	27,5
2350	10,99	3,705	34,632	29,1
2708	10,99	3,674	24,697	29,7
2950	10,99	3,652	17,981	30,0
3186	10,99	3,626	11,431	30,4
3429	10,99	3,547	4,687	30,9
3550	10,99	3,276	1,329	31,1

Time	Voltage	Current	CurrentAh	T real face 2
20	4,138	10,99	0,0647	24,6
138	4,088	10,99	0,4237	24,7
317	4,037	10,99	0,9695	26,1
384	4,021	10,99	1,1732	27,2
1219	3,824	10,99	3,7183	28,3
2361	3,683	10,99	7,2019	30
2716	3,659	10,99	8,2836	30,5
2960	3,642	10,99	9,0275	31,8
3194	3,616	10,99	9,7403	33,1
3439	3,528	10,98	10,487	34
3558	3,333	10,99	10,8498	33,8

Time	I	V	SOC	T modelo face 2
20	10,99	4,155	99,296	23,2
138	10,99	4,111	96,021	24,1
317	10,99	4,050	91,053	25,1
384	10,99	4,030	89,194	25,4
1219	10,99	3,837	66,021	27,5
2361	10,99	3,704	34,327	29,0
2716	10,99	3,673	24,475	29,5
2960	10,99	3,651	17,703	29,9
3194	10,99	3,625	11,209	30,3
3439	10,99	3,538	4,410	30,8
3558	10,99	3,236	1,107	31,0

12.7. Anexo G: Descarga 2C

(Página em branco)

Time	Voltage	Current	CurrentAh	Treal face 1
120	4,004	21,99	0,7633	23,5
183	3,974	21,99	1,1482	25,6
244	3,949	21,99	1,5196	27,9
302	3,924	21,99	1,874	28,9
428	3,853	21,99	2,6425	30,1
725	3,746	21,99	4,453	31,1
899	3,696	21,99	5,5145	32,3
1029	3,667	21,99	6,3077	33
1204	3,637	21,99	7,3749	34,7
1330	3,621	21,99	8,1435	35,5
1447	3,606	21,99	8,8564	36,1
1568	3,581	21,99	9,5937	38,1
1683	3,538	21,99	10,295	39,2
1801	3,342	21,99	11,0154	41,1

Time	I	V	SOC	Tmodelo face 1
120	21,98	3,862	98,22	25,7
183	21,98	3,817	94,72	26,9
244	21,98	3,776	91,34	27,9
302	21,98	3,740	88,12	28,8
428	21,98	3,672	81,12	30,4
725	21,98	3,551	64,64	33,2
899	21,98	3,502	54,98	34,5
1029	21,98	3,472	47,76	35,3
1204	21,98	3,438	38,05	36,4
1330	21,98	3,416	31,06	37,1
1447	21,98	3,395	24,56	37,9
1568	21,98	3,373	17,85	38,6
1683	21,98	3,349	11,46	39,3
1801	21,98	3,277	4,91	40,1

Time	Voltage	Current	CurrentAh	Treal face 2
133	3,998	21,99	0,8432	25,8
194	3,969	21,99	1,2148	26,8
257	3,941	21,99	1,5997	28,5
319	3,919	21,99	1,9768	29,5
439	3,848	21,99	2,7092	30,1
732	3,743	21,99	4,4968	31,5
912	3,693	21,99	5,5945	32,9
1042	3,664	21,99	6,3859	33,4
1214	3,635	21,99	7,436	35,1
1341	3,619	21,99	8,2102	36,3
1455	3,603	21,99	8,9058	37,5
1581	3,579	21,99	9,6739	38,6
1695	3,532	21,99	10,3693	40,1
1810	3,304	21,99	11,0706	42,1

Time	Voltage	Current	CurrentAh	Tmodelo face 2
133	21,98	3,853	97,50	25,9
194	21,98	3,809	94,11	27,0
257	21,98	3,768	90,61	28,0
319	21,98	3,730	87,17	28,9
439	21,98	3,666	80,51	30,4
732	21,98	3,549	64,25	33,1
912	21,98	3,499	54,26	34,3
1042	21,98	3,469	47,04	35,2
1214	21,98	3,436	37,50	36,2
1341	21,98	3,414	30,45	36,9
1455	21,98	3,394	24,12	37,6
1581	21,98	3,371	17,13	38,4
1695	21,98	3,345	10,80	39,1
1810	21,98	3,261	4,41	39,9

12.8. Anexo H: Descarga 4C

(Página em branco)

Powertrain de um veículo elétrico – estudo térmico da bateria e projeto mecânico

CurrentTime	Voltage	Currente	CurrentAh	T real face 1
1	4,052	43,99	0,0107	22,5
65	3,871	43,99	0,7923	27,9
151	3,804	43,98	1,8408	32,1
213	3,755	43,98	2,599	34
270	3,712	43,99	3,2928	35,1
299	3,691	43,99	3,6471	36,2
360	3,654	43,99	4,3906	37,7
391	3,637	43,98	4,7678	38,6
448	3,608	43,99	5,4653	40,3
512	3,582	43,99	6,2469	41,5
569	3,562	43,99	6,9407	44
627	3,542	43,99	7,6478	46
691	3,522	43,99	8,4288	47,5
721	3,509	43,99	8,7946	49
778	3,481	43,99	9,4884	49,4
810	3,453	43,99	9,8809	52,2
839	3,411	43,98	10,2351	53,8
874	3,288	43,99	10,662	54,8

Time	I	V	SOC	T modelo face 1
3	43,96	4,173	104,46	23,02
66	43,96	4,071	97,43	26,70
152	43,96	3,956	87,88	30,98
214	43,96	3,889	81,00	33,63
271	43,96	3,837	74,67	35,79
300	43,96	3,813	71,45	36,81
361	43,96	3,770	64,68	38,77
392	43,96	3,751	61,24	39,69
449	43,96	3,720	54,91	41,27
513	43,96	3,690	47,81	42,88
570	43,96	3,668	41,48	44,19
628	43,96	3,646	35,04	45,43
692	43,96	3,624	27,94	46,70
722	43,96	3,614	24,61	47,28
779	43,96	3,593	18,28	48,32
811	43,96	3,580	14,73	48,89
840	43,96	3,567	11,51	49,40
875	43,96	3,542	7,62	50,00

Powertrain de um veículo elétrico – estudo térmico da bateria e projeto mecânico

Time	Voltage	Currente	CurrentAh	T real face 2
12	3,979	43,98	0,1479	24,5
74	3,861	43,99	0,9029	28,9
159	3,797	43,99	1,9395	33,8
224	3,747	43,98	2,7323	34,6
277	3,707	43,98	3,3805	35,6
308	3,686	43,99	3,7577	36,3
372	3,649	43,98	4,5391	38,1
399	3,632	43,98	4,867	39,6
459	3,603	43,98	5,5987	41,2
520	3,579	43,99	6,342	42,8
579	3,559	43,99	7,0627	44,3
635	3,541	43,99	7,7467	46,5
700	3,518	43,99	8,5393	48,3
729	3,505	43,99	8,8937	49,4
787	3,474	43,99	9,5987	51,9
821	3,439	43,99	10,0141	53,3
848	3,387	43,99	10,3418	54,9
887	3,194	43,99	10,8182	56,1

Time	I	V	SOC	T modelo face 2
13	43,96	4,154	103,31	23,63
75	43,96	4,057	96,43	27,10
160	43,96	3,947	87,00	31,17
225	43,96	3,878	79,78	33,85
278	43,96	3,831	73,90	35,79
309	43,96	3,806	70,46	36,84
373	43,96	3,762	63,35	38,83
400	43,96	3,746	60,35	39,60
460	43,96	3,714	53,69	41,20
521	43,96	3,687	46,92	42,69
580	43,96	3,664	40,37	44,00
636	43,96	3,644	34,15	45,16
701	43,96	3,621	26,94	46,43
730	43,96	3,611	23,72	46,96
788	43,96	3,590	17,28	48,00
822	43,96	3,576	13,51	48,59
849	43,96	3,562	10,51	49,05
888	43,96	3,524	6,18	49,71

12.9. Anexo I: Descarga pulsada

time	current	tensão	soc	Treal face 2
7	0,0	4,20	100	24,10
65	16,4	4,11	99,49	24,10
136	2,8	4,16	98,58	24,90
194	0,0	4,17	97,84	24,90
250	6,6	4,14	97,64	25,60
316	0,0	4,16	96,58	25,60
370	0,0	4,14	95,76	25,70
430	0,0	4,15	95,53	25,80
496	0,0	4,13	94,43	25,70
567	0,0	4,12	93,61	26,20
617	0,0	4,12	93,38	26,10
674	2,4	4,07	92,33	26,30
733	17,4	4,03	92,02	26,20
791	0,0	4,10	91,41	25,90
851	5,34	4,069	90,97	27,40
907	0	4,032	87,75	27,50
974	5,34	4,05	87,72	27,60
1029	24,59	3,896	84,86	28,10
1085	35,69	3,816	82,22	30,00
1146	38,94	3,728	76,68	30,50

Time	I	V	SOC	Tmodelo face 2
7	0	4,20	100,00	24,94
65	16,4	4,11	99,35	24,74
136	2,8	4,12	98,50	24,76
194	0	4,17	97,97	24,70
250	6,6	4,17	97,80	24,48
316	0	4,16	96,72	24,62
370	0	4,14	95,87	24,69
430	0	4,14	95,64	24,46
496	0	4,13	94,55	24,63
567	0	4,12	93,74	24,61
617	0	4,12	93,49	24,44
674	2,4	4,02	92,22	24,64
733	17,4	4,09	92,19	24,43
791	0	4,09	91,54	24,45
851	5,3	4,06	90,97	24,33
907	0	4,06	88,18	25,57
974	5,3	4,06	88,18	25,12
1029	24,6	3,91	85,03	26,20
1085	35,7	3,83	82,32	27,01
1146	38,9	3,77	76,75	29,80

time	current	tensão	soc	Treal face 2
20	8,1	4,15	99,83	23,20
81	16,4	4,08	98,83	23,50
153	17,4	4,07	98,02	24,00
215	8,1	4,13	97,71	23,90

270	16,4	4,07	96,99	24,10
334	2,8	4,14	96,42	24,30
387	0,0	4,14	95,70	24,60
458	16,4	4,06	95,21	24,50
521	0,8	4,13	94,38	24,80
587	0,0	4,12	93,55	25,00
643	6,6	4,10	93,35	24,80
700	0,0	4,11	92,29	24,80
755	0,0	4,09	91,47	25,10
806	0,0	4,11	91,41	25,10
877	24,59	3,929	88,98	25,80
936	0	4,06	87,75	25,90
991	24,59	3,95	87,22	26,00
1056	10,74	3,954	83,91	26,50
1107	24,67	3,826	80,40	27,90
1161	0	3,907	76,62	29,10

Time	I	V	SOC	Tmodelo face 2
20	8	4,16	99,76	24,93
81	16,4	4,10	98,68	25,01
153	17,4	4,09	98,02	24,66
215	8	4,13	97,76	24,66
270	16,4	4,08	96,98	24,65
334	2,8	4,14	96,51	24,61
387	0	4,14	95,80	24,66
458	16,4	4,06	95,21	24,43
521	0,8	4,12	94,49	24,56
587	4	4,12	93,67	24,56
643	6,6	4,12	93,50	24,36
700	0	4,10	92,41	24,58
755	0	4,09	91,57	24,66
806	0	4,09	91,54	24,42
877	24,6	3,95	89,17	25,03
936	0	4,06	88,18	25,42
991	24,6	3,93	87,43	25,20
1056	10,7	3,97	84,23	26,56
1107	24,7	3,87	80,59	28,05
1161	0	3,96	77,03	29,97

12.10. Anexo J: Descarga 1,5C 3 células emparelhadas

(Página em branco)

Powertrain de um veículo elétrico – estudo térmico da bateria e projeto mecânico

Time	Voltage	Current	CurrentAh	Treal face 1
3	4,134	49,48	0,054	28,3
61	4,069	49,49	0,847	30,8
122	4,036	49,49	1,684	30,6
180	4,013	49,48	2,481	31,1
240	3,988	49,49	3,305	31,7
300	3,967	49,48	4,128	32,3
360	3,954	49,48	4,951	32,9
420	3,928	49,49	5,775	33,7
480	3,894	49,486	6,599	34
540	3,867	49,49	7,421	33,9
600	3,854	9,498	8,245	34,1
660	3,835	49,48	9,068	34,1
720	3,821	49,49	9,892	34,2
780	3,802	49,49	10,715	35,3
844	3,787	49,48	11,595	35,7
898	3,775	49,49	12,336	36,2
963	3,764	9,491	13,226	36,9
1020	3,748	49,49	14,011	37,3
1082	3,734	49,49	14,860	37,6
1140	3,724	49,49	15,658	37,9
1206	3,713	49,49	16,563	38,5
1260	3,702	49,49	17,305	38,5
1321	3,694	49,49	18,141	39
1380	3,686	49,49	18,947	39,4
1443	3,677	49,49	19,814	40,2
1499	3,674	9,492	20,581	40,3
1560	3,665	49,49	21,422	40,7
1625	3,659	49,49	22,310	42,2
1681	3,651	49,49	23,082	42,3
1740	3,647	49,49	23,888	42,8
1799	3,644	9,492	24,698	43,5
1862	3,633	49,49	25,565	45,8
1920	3,626	49,49	26,362	47,3
1981	3,619	49,49	27,199	46,9
2038	3,611	49,49	27,979	46,8
2103	3,598	49,49	28,871	48,1
2161	3,581	49,48	29,669	49,2
2229	3,544	9,483	30,600	49,4
2284	3,467	49,49	31,354	50,2
2337	3,315	49,48	32,084	52,8

Time	V	I	SOC	Tmodelo face 1
3	4,14	16,50	99,73	28,00
61	4,10	16,50	97,23	28,38
122	4,07	16,50	94,69	28,79
180	4,04	16,50	92,28	29,18
240	4,01	16,50	89,78	29,58
300	3,98	16,50	87,28	30,00
360	3,96	16,50	84,78	30,42
420	3,93	16,50	82,28	30,85
480	3,91	16,50	79,78	31,28
540	3,89	16,50	77,28	31,72
600	3,87	16,50	74,78	32,17
660	3,85	16,50	72,28	32,62
720	3,83	16,50	69,78	33,09
780	3,82	16,50	67,28	33,55
844	3,80	16,50	64,61	34,06
898	3,79	16,50	62,36	34,50
963	3,78	16,50	59,65	35,03
1020	3,76	16,50	57,28	35,50
1082	3,75	16,50	54,69	36,02
1140	3,74	16,50	52,28	36,52
1206	3,73	16,50	49,53	37,10
1260	3,72	16,50	47,28	37,57
1321	3,71	16,50	44,73	38,12
1380	3,70	16,50	42,28	38,66
1443	3,69	16,50	39,65	39,24
1499	3,69	16,50	37,32	39,77
1560	3,68	16,50	34,78	40,36
1625	3,67	16,50	32,07	40,99
1681	3,66	16,50	29,73	41,54
1740	3,66	16,50	27,28	42,14
1799	3,65	16,50	24,82	42,74
1862	3,64	16,50	22,19	43,39
1920	3,63	16,50	19,78	44,01
1981	3,62	16,50	17,23	44,66
2038	3,61	16,50	14,86	45,28
2103	3,60	16,50	12,15	46,01
2161	3,59	16,50	9,73	46,66
2229	3,57	16,50	6,90	47,44
2284	3,52	16,50	4,61	48,09
2337	3,39	16,50	2,40	48,72

Time	Voltage	Current	CurrentAh	Treal face 2
16	4,11	49,49	0,23	27,7
76	4,06	49,49	0,05	29,5
136	4,03	49,48	1,88	30,3
195	4,01	49,48	2,69	30,1
253	3,98	49,48	3,48	31
312	3,97	49,48	4,29	31,8
373	3,95	49,49	5,13	32,1
437	3,92	49,48	6,01	32,5
494	3,88	49,49	6,79	32,6
557	3,86	49,49	7,65	32
615	3,85	49,49	8,45	33,3
677	3,83	49,49	9,30	32,9
734	3,82	49,49	10,08	33,3
795	3,80	49,49	10,92	33,7
862	3,78	49,48	11,84	34
912	3,77	49,48	12,52	34,3
978	3,76	49,49	13,43	34,5
1035	3,75	49,49	14,22	35,4
1094	3,73	49,49	15,02	35,7
1156	3,72	49,49	15,88	35,6
1222	3,71	49,49	16,78	36
1278	3,70	49,49	17,55	36,3
1333	3,69	49,49	18,30	36,4
1397	3,69	49,48	19,18	37
1461	3,67	49,49	20,06	37,4
1514	3,67	49,49	20,79	37,4
1576	3,66	49,48	21,64	37,6
1643	3,66	49,49	22,56	38,5
1694	3,65	49,49	23,26	38,7
1753	3,65	49,48	24,07	38,7
1812	3,64	49,49	24,88	39,4
1876	3,63	49,49	25,76	40,5
1934	3,63	49,49	26,55	41,6
1994	3,62	49,49	27,37	40,8
2054	3,61	49,49	28,20	41,5
2118	3,60	49,49	29,08	41,8
2179	3,57	49,49	29,91	41,8
2244	3,53	49,49	30,81	43,2
2297	3,44	49,49	31,53	44

2350	3,25	49,53	32,26	45,1
------	------	-------	-------	------

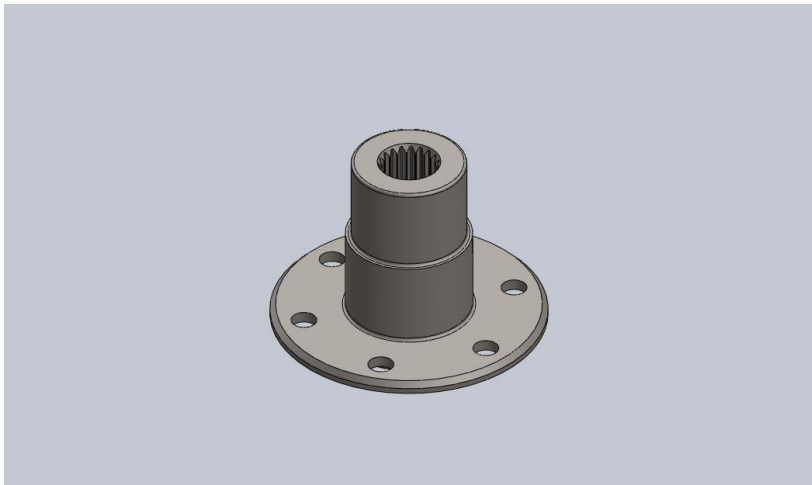
Time	V	I	SOC	Tmodelo face 2
16	4,13	16,50	99,11	28,09
76	4,09	16,50	96,61	28,46
136	4,06	16,50	94,11	28,82
195	4,03	16,50	91,65	29,17
253	4,00	16,50	89,23	29,51
312	3,98	16,50	86,78	29,85
373	3,95	16,50	84,23	30,21
437	3,93	16,50	81,57	30,59
494	3,91	16,50	79,19	30,93
557	3,88	16,50	76,57	31,30
615	3,87	16,50	74,15	31,64
677	3,85	16,50	71,57	32,02
734	3,83	16,50	69,19	32,36
795	3,81	16,50	66,65	32,73
862	3,80	16,50	63,86	33,14
912	3,79	16,50	61,78	33,45
978	3,77	16,50	59,03	33,87
1035	3,76	16,50	56,65	34,23
1094	3,75	16,50	54,19	34,60
1156	3,74	16,50	51,61	35,00
1222	3,73	16,50	48,86	35,43
1278	3,72	16,50	46,53	35,80
1333	3,71	16,50	44,23	36,17
1397	3,70	16,50	41,57	36,61
1461	3,69	16,50	38,90	37,05
1514	3,68	16,50	36,69	37,42
1576	3,68	16,50	34,11	37,85
1643	3,67	16,50	31,32	38,33
1694	3,66	16,50	29,19	38,70
1753	3,65	16,50	26,73	39,14
1812	3,65	16,50	24,28	39,58
1876	3,64	16,50	21,61	40,07
1934	3,63	16,50	19,19	40,51
1994	3,62	16,50	16,69	40,98
2054	3,61	16,50	14,19	41,46
2118	3,60	16,50	11,53	41,98
2179	3,59	16,50	8,98	42,48

2244	3,56	16,50	6,28	43,03
2297	3,50	16,50	4,07	43,48
2350	3,33	16,50	1,86	43,94

(Página em branco)

12.11. Anexo L: Simulação veio de saída

(Página em branco)



Description
No Data

Simulation of estriado interior peça unica

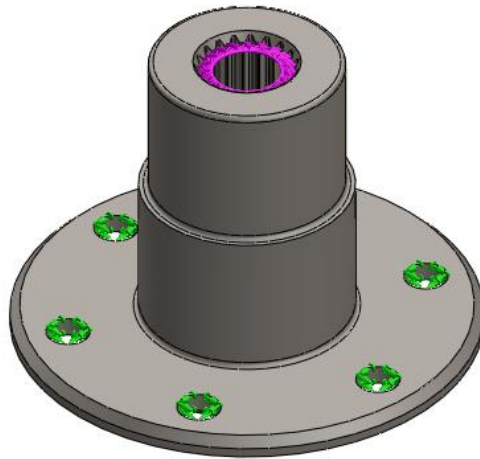
Date: sábado, 28 de Junho de 2014
Designer: Solidworks
Study name: SimulationXpress Study
Analysis type: Static

Table of Contents

Description.....	1
Assumptions	2
Model Information	2
Material Properties	3
Loads and Fixtures.....	3
Mesh Information	4
Study Results	6
Conclusion	9

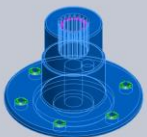
Assumptions

Model Information

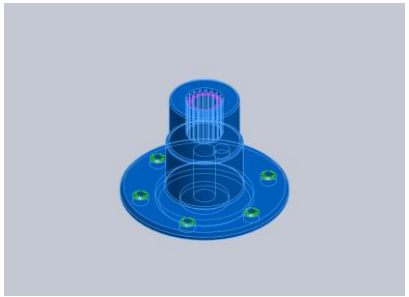


Model name: estriado interior peça unica
Current Configuration: Default

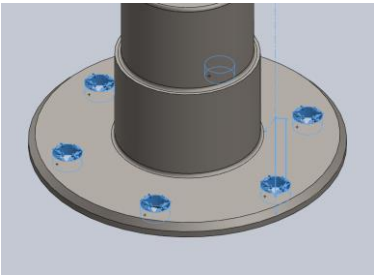
Solid Bodies

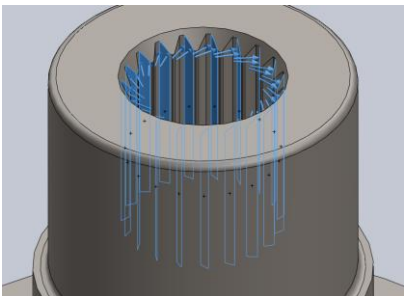
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Cut-Extrude5 	Solid Body	Mass:0.871951 kg Volume:0.000111077 m ³ Density:7850 kg/m ³ Weight:8.54512 N	C:\Users\DiogoL\Desktop\completo\ligação motor caixa\estriado interior peça unica.SLDPRT Apr 23 10:35:11 2014

Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	Name: AISI 1045 Steel, cold drawn Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Unknown Yield strength: 5.3e+008 N/m² Tensile strength: 6.25e+008 N/m²	SolidBody 1(Cut-Extrude5)(estriado interior peça unica)

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details
Fixed-1		Entities: 6 face(s) Type: Fixed Geometry

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 19 face(s) Type: Apply normal force Value: 1285 N



Mesh Information

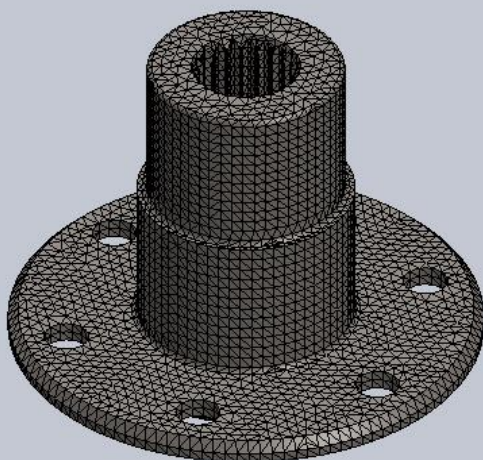
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	2.40403 mm
Tolerance	0.120202 mm
Mesh Quality	High

Mesh Information - Details

Total Nodes	103298
Total Elements	68571
Maximum Aspect Ratio	43.513
% of elements with Aspect Ratio < 3	95.5
% of elements with Aspect Ratio > 10	0.726
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:14
Computer name:	DIOGOL-PC



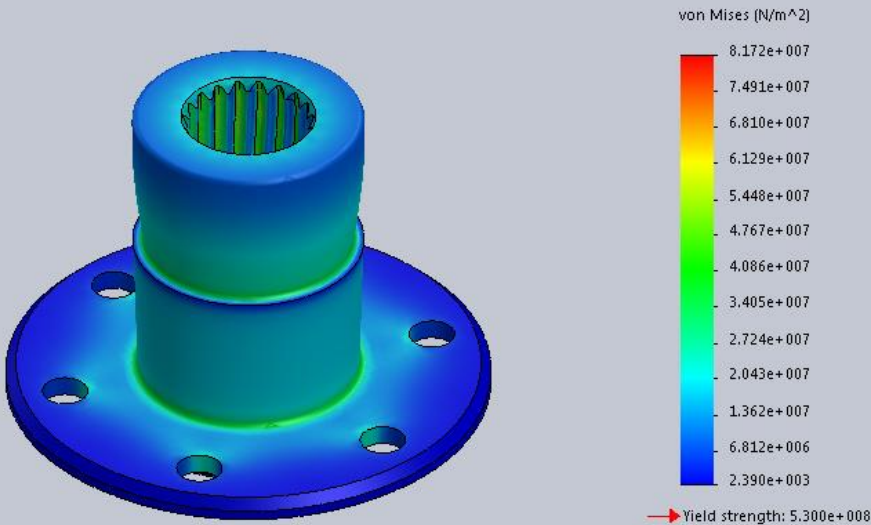
Model name: estriado interior peça unica
Study name: SimulationXpress Study(-Default-)
Mesh type: Solid mesh



Study Results

Name	Type	Min	Max
Stress	VON: von Mises Stress	2390.33 N/m^2 Node: 95088	8.17224e+007 N/m^2 Node: 102186

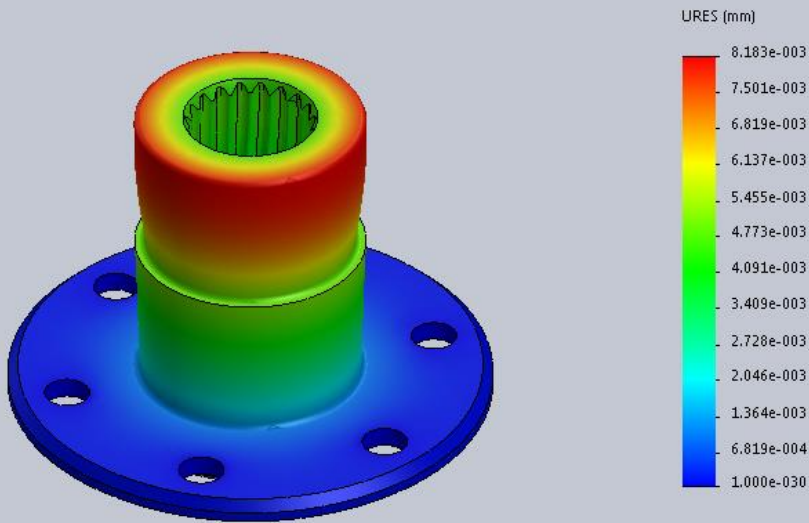
Model name: estriado interior peça unica
Study name: SimulationXpress Study(-Default-)
Plot type: Static nodal stress Stress
Deformation scale: 1174.09



estriado interior peça unica-SimulationXpress Study-Stress-Stress

Name	Type	Min	Max
Displacement	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 215	0.00818272 mm Node: 1718

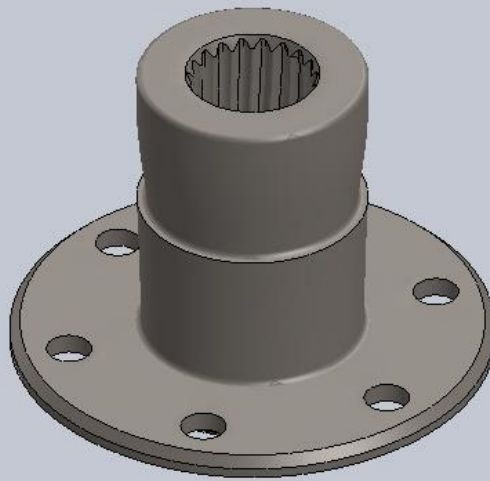
Model name: estriado interior peça unica
Study name: SimulationXpress Study(-Default-)
Plot type: Static displacement Displacement
Deformation scale: 1174.09



estriado interior peça unica-SimulationXpress Study-Displacement-Displacement

Name	Type
Deformation	Deformed Shape

Model name: estriado interior peça unica
 Study name: SimulationXpress Study(-Default-)
 Plot type: Deformed Shape Deformation
 Deformation scale: 1174.09

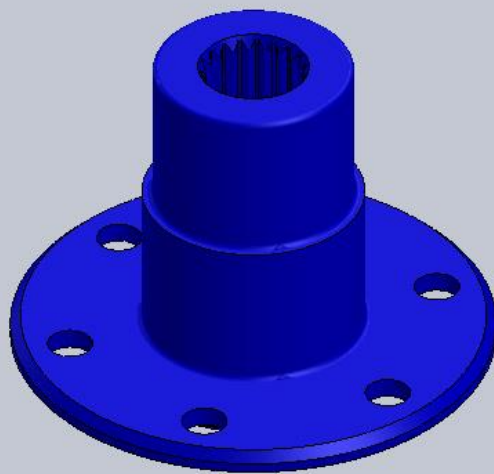


estriado interior peça unica-SimulationXpress Study-Displacement-Deformation

Name	Type	Min	Max
Factor of Safety	Max von Mises Stress	6.48537 Node: 102186	221727 Node: 95088



Model name: estriado interior peça unica
Study name: SimulationXpress Study(-Default-)
Plot type: Factor of Safety Factor of Safety
Criterion : Max von Mises Stress
Red < FOS = 1 < Blue



estriado interior peça unica-SimulationXpress Study-Factor of Safety-Factor of Safety

Conclusion

12.12. Anexo M: Simulação apoio principal

(Página em branco)

Simulation of apoio principal

Date: quarta-feira, 2 de Julho de 2014
Designer: Solidworks
Study name: SimulationXpress Study
Analysis type: Static

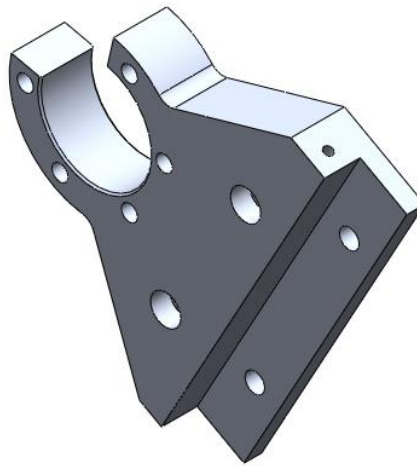
Table of Contents

Description.....	1
Assumptions	2
Model Information	2
Material Properties	3
Loads and Fixtures.....	4
Mesh Information	6
Study Results	7
Conclusion	10

Description
No Data

Assumptions

Model Information



Model name: apoio principal
Current Configuration: Default

Solid Bodies

Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Fillet2 	Solid Body	Mass:1.16868 kg Volume:0.0004159 m ³ Density:2810 kg/m ³ Weight:11.4531 N	C:\Users\DiogoL\Desktop\ peças ceia\apoio principal.SLDPRT Jun 30 01:05:10 2014

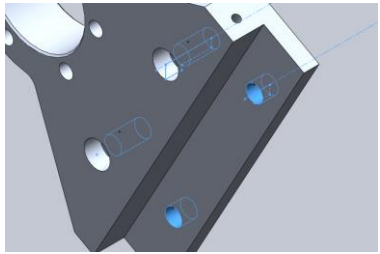
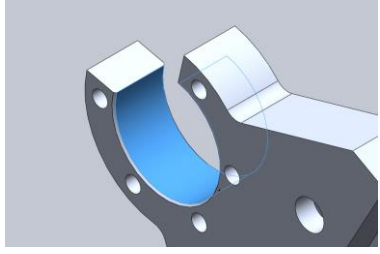


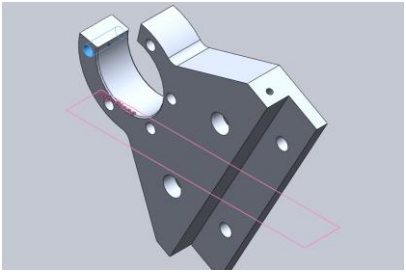
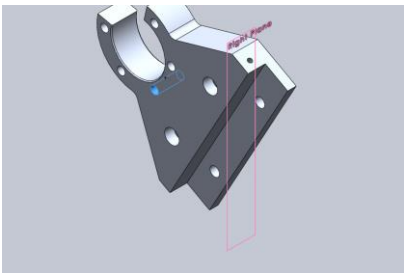
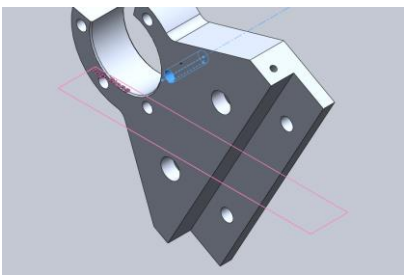
Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	Name: 7075-T6 (SN) Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength: 5.05e+008 N/m² Tensile strength: 5.7e+008 N/m²	SolidBody 1(Fillet2)(apoio principal)

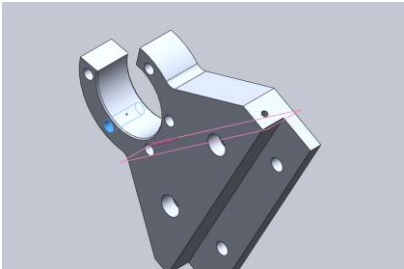
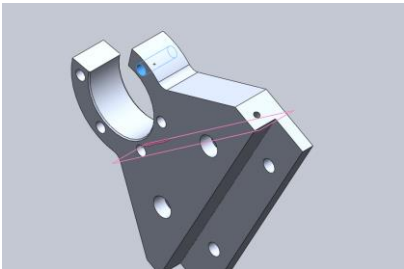


Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details
Fixed-2		Entities: 4 face(s) Type: Fixed Geometry
Fixed-3		Entities: 1 face(s) Type: Fixed Geometry

Load name	Load Image	Load Details
Force-7		Entities: 1 face(s), 1 plane(s) Reference: Top Plane Type: Apply force Values: ---, ---, 1231 N
Force-9		Entities: 1 face(s), 1 plane(s) Reference: Right Plane Type: Apply force Values: ---, ---, -1231 N
Force-10		Entities: 1 face(s), 1 plane(s) Reference: Top Plane Type: Apply force Values: ---, ---, -1231 N



Force-14		Entities: 1 face(s), 1 plane(s) Reference: Plane2 Type: Apply force Values: ---, ---, 1231 N
Force-15		Entities: 1 face(s), 1 plane(s) Reference: Plane2 Type: Apply force Values: ---, ---, -1231 N
Force-16		Entities: 1 face(s), 1 plane(s) Reference: Plane3 Type: Apply force Values: ---, ---, 61.5 N

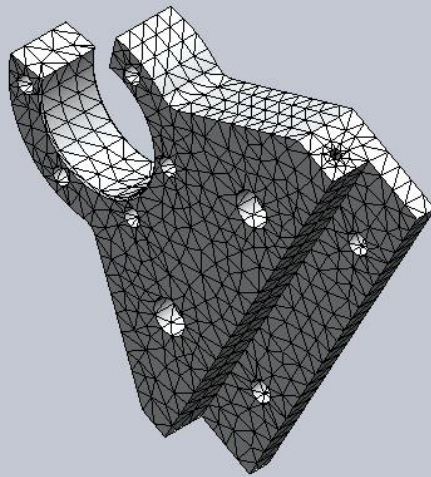
Mesh Information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	0 mm
Minimum element size	0 mm
Mesh Quality	High

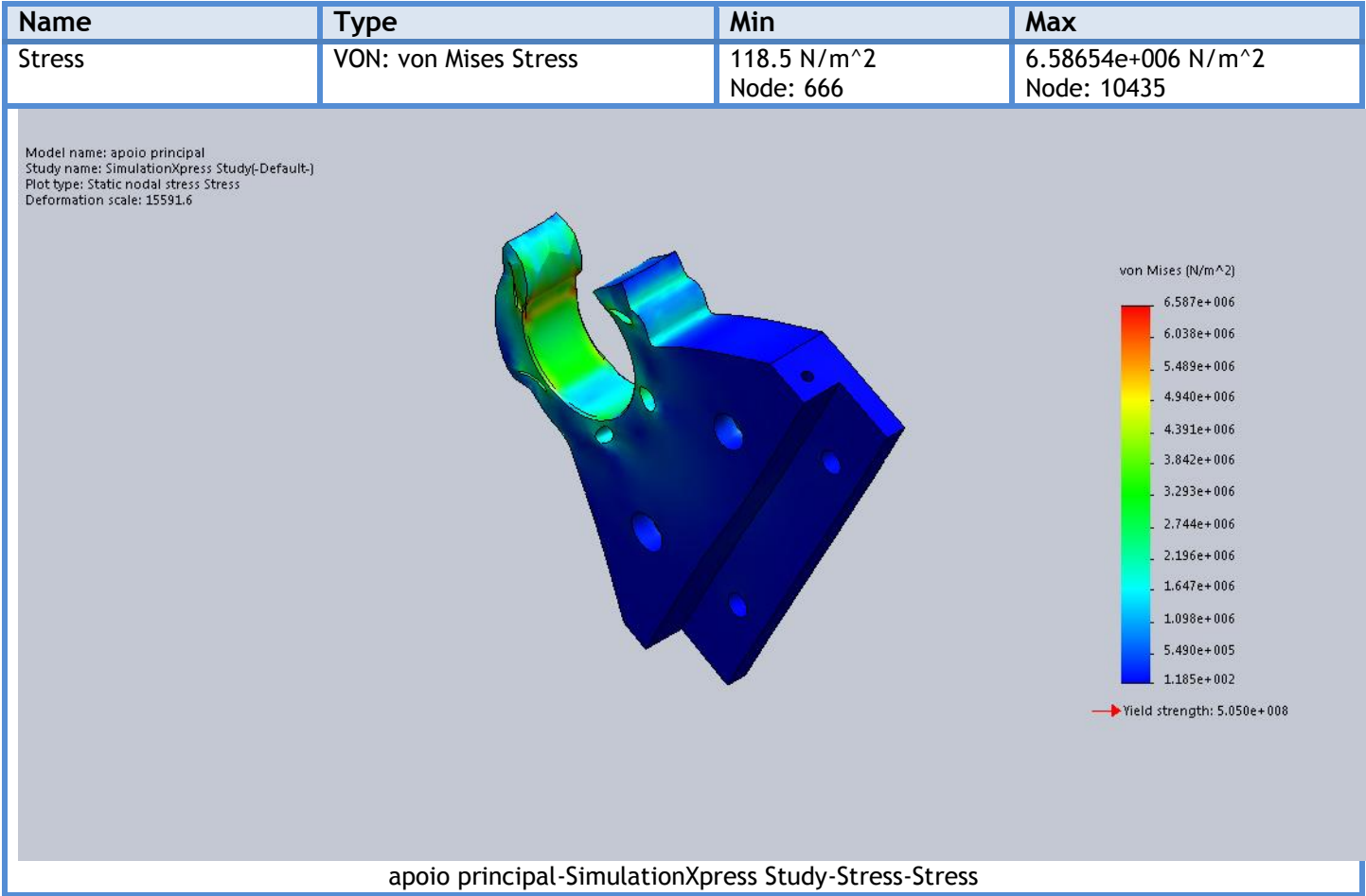
Mesh Information - Details

Total Nodes	13124
Total Elements	7911
Maximum Aspect Ratio	9.6195
% of elements with Aspect Ratio < 3	95.6
% of elements with Aspect Ratio > 10	0
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:02
Computer name:	DIOGOL-PC

Model name: apoio principal
Study name: SimulationXpress Study(-Default-)
Mesh type: Solid mesh

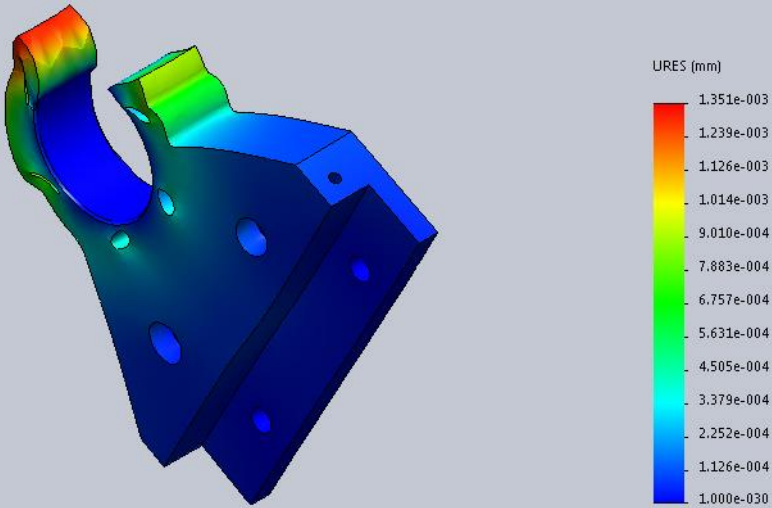


Study Results



Name	Type	Min	Max
Displacement	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 42	0.00135144 mm Node: 401

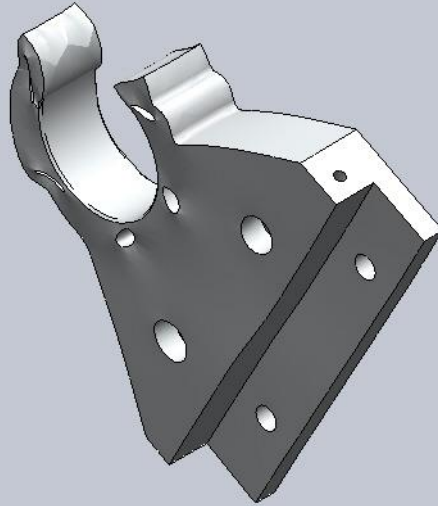
Model name: apoio principal
Study name: SimulationXpress Study(-Default-)
Plot type: Static displacement Displacement
Deformation scale: 15591.6



apoio principal-SimulationXpress Study-Displacement-Displacement

Name	Type
Deformation	Deformed Shape

Model name: apoio principal
Study name: SimulationXpress Study(-Default-)
Plot type: Deformed Shape Deformation
Deformation scale: 15591.6

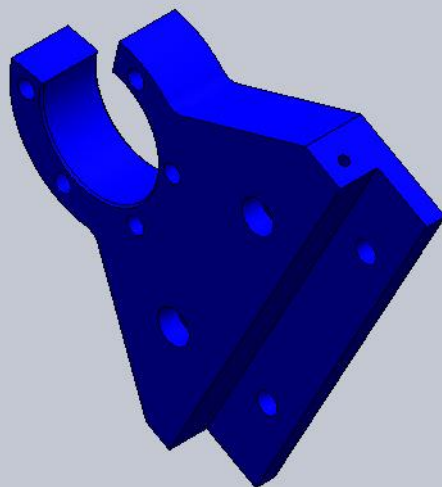


apoio principal-SimulationXpress Study-Displacement-Deformation

Name	Type	Min	Max
Factor of Safety	Max von Mises Stress	76.6715 Node: 10435	4.26159e+006 Node: 666



Model name: apoio principal
Study name: SimulationXpress Study(-Default-)
Plot type: Factor of Safety Factor of Safety
Criterion : Max von Mises Stress
Red < FOS = 1 < Blue



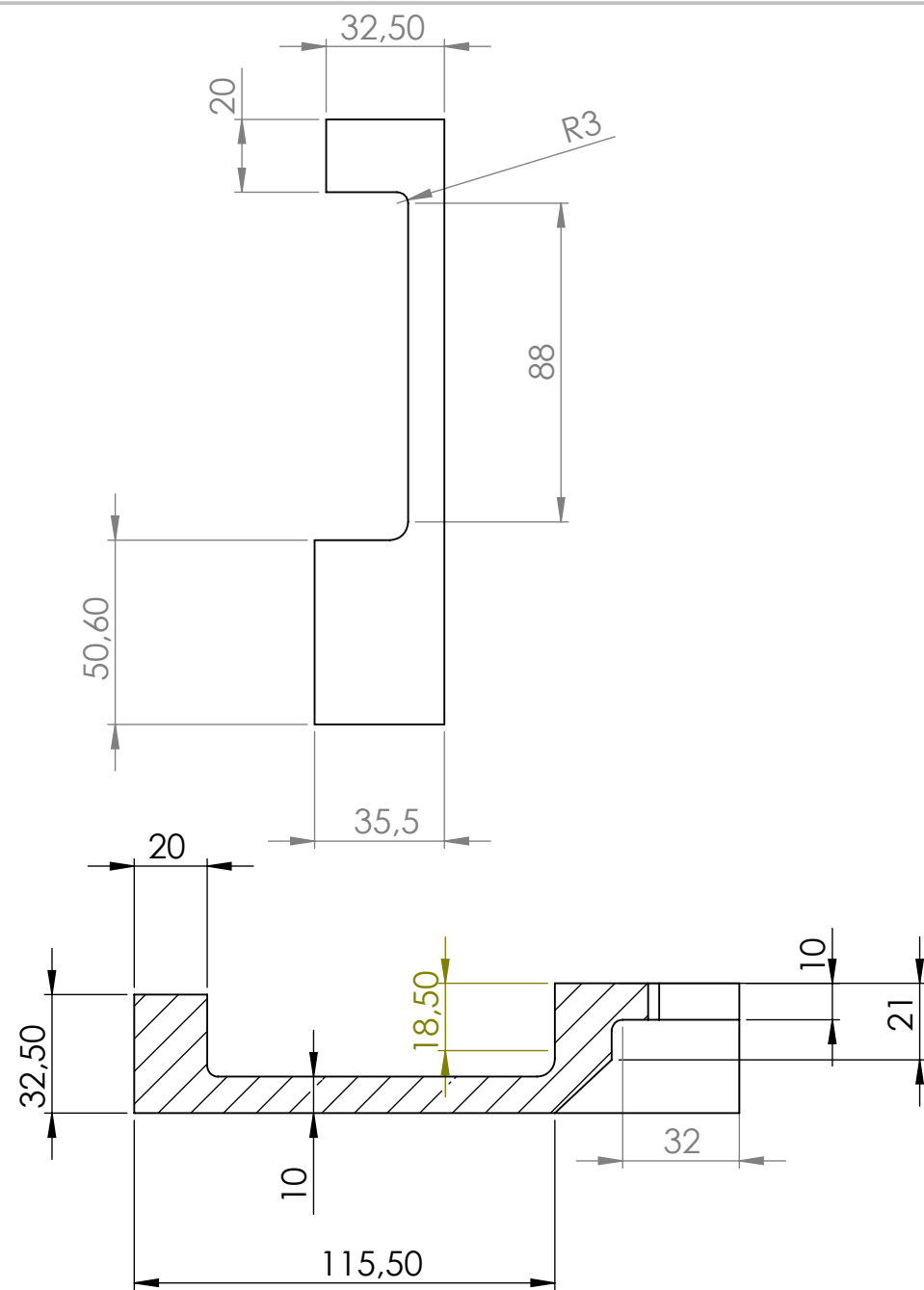
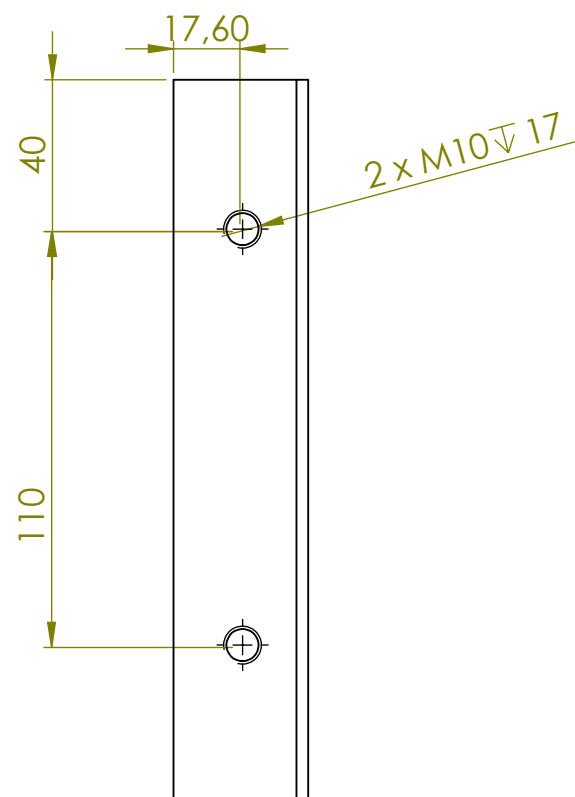
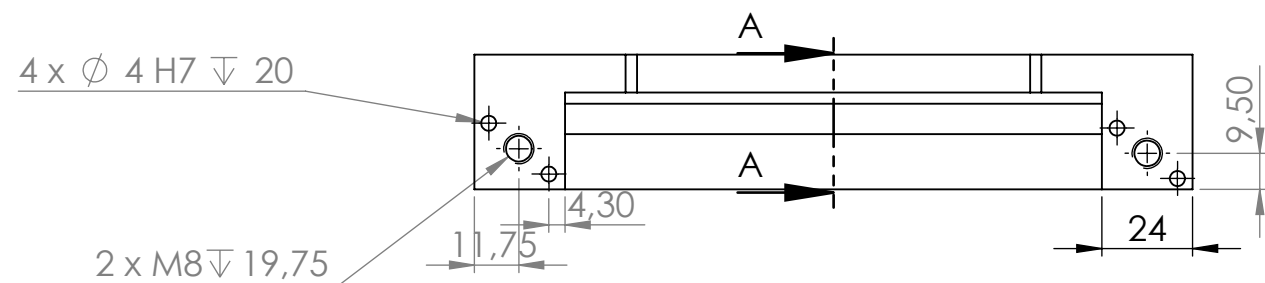
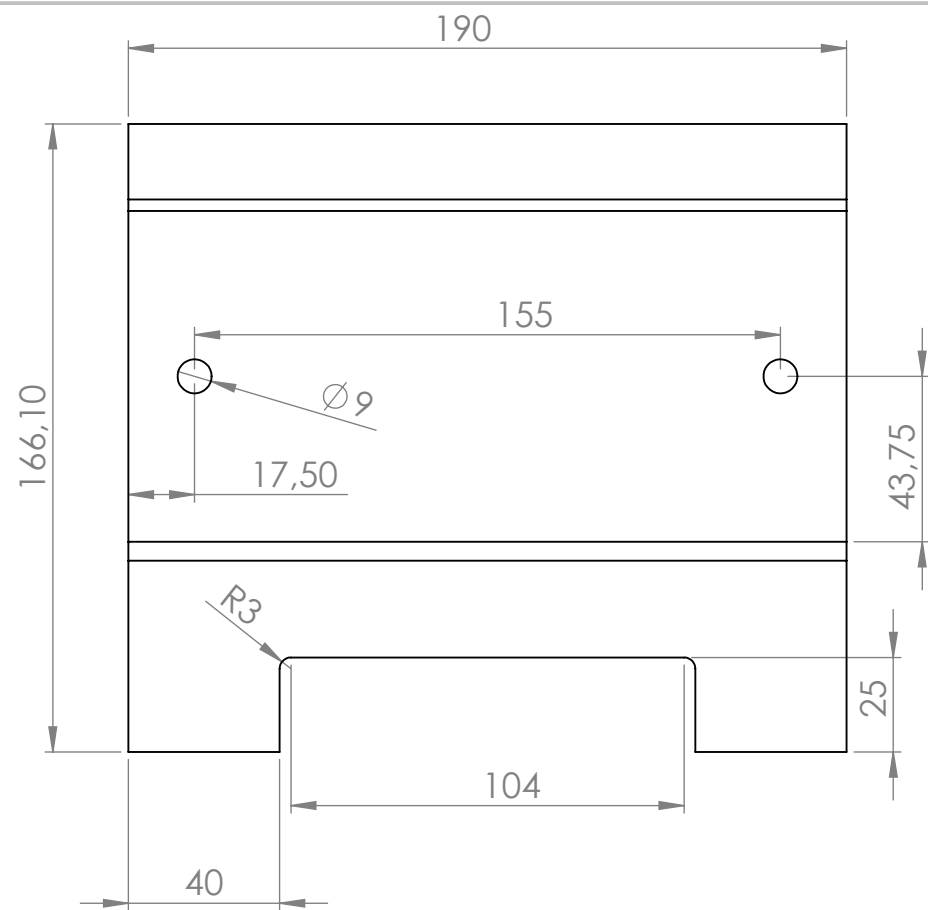
apoio principal-SimulationXpress Study-Factor of Safety-Factor of Safety

Conclusion

12.13. Anexo N: Desenhos definição

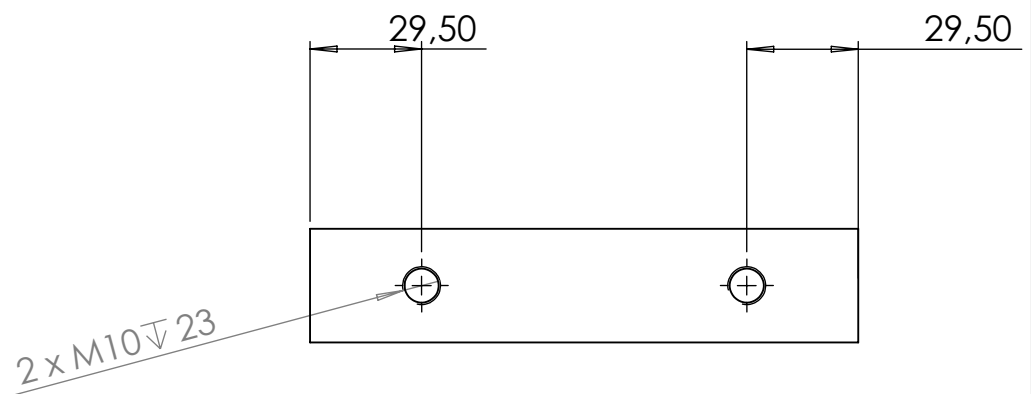
(Página em branco)

(Página em branco)

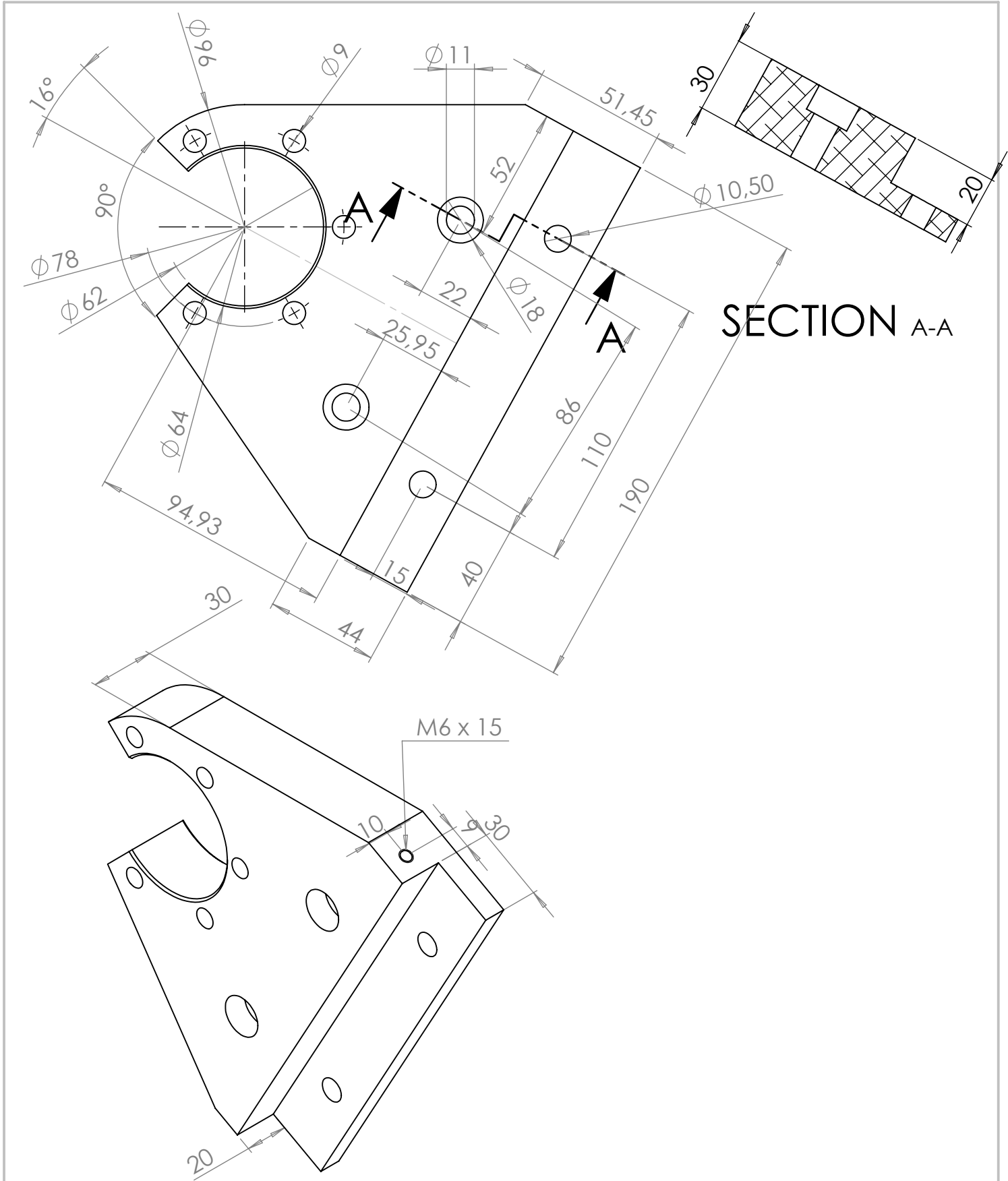


SECTION A-A
SCALE 1 : 2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:					FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE						TITLE: apoio caixa final2 A3	
CHK'D										
APPV'D										
MFG										
Q.A							MATERIAL:		DWG NO.	
							WEIGHT:		SCALE:1:5	SHEET 1 OF 1

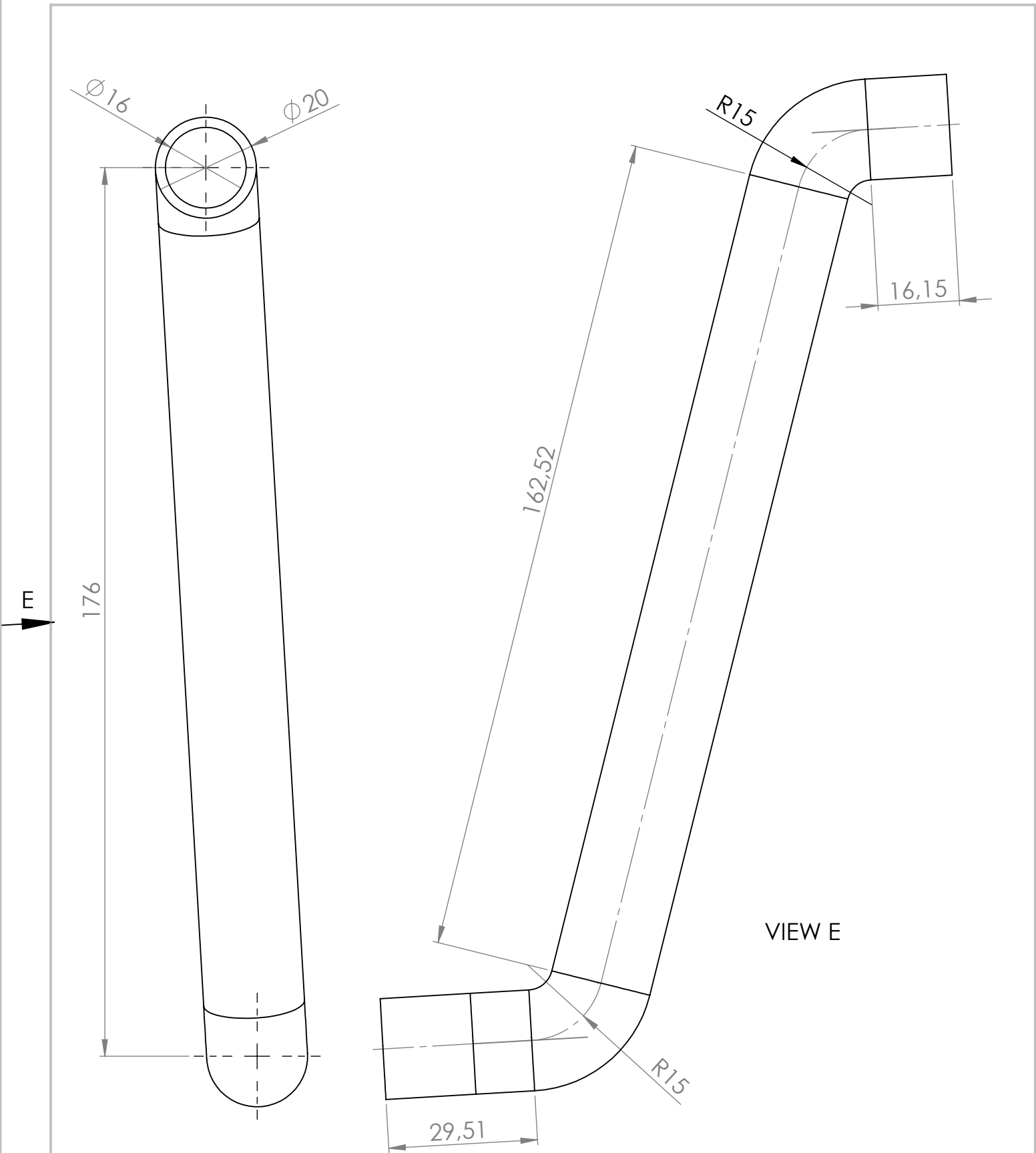


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION						
	NAME		SIGNATURE		DATE				TITLE:							
DRAWN																
CHK'D																
APPV'D																
MFG																
Q.A																
							MATERIAL:		DWG NO.		apoio longarina		A4			
							WEIGHT:		SCALE:1:2				SHEET 1 OF 1			



SECTION A-A

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.		apoio principal	
						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			
DRAWN						
CHK'D						
APPV'D						
MFG						
Q.A						

MATERIAL:

WEIGHT:

TITLE:

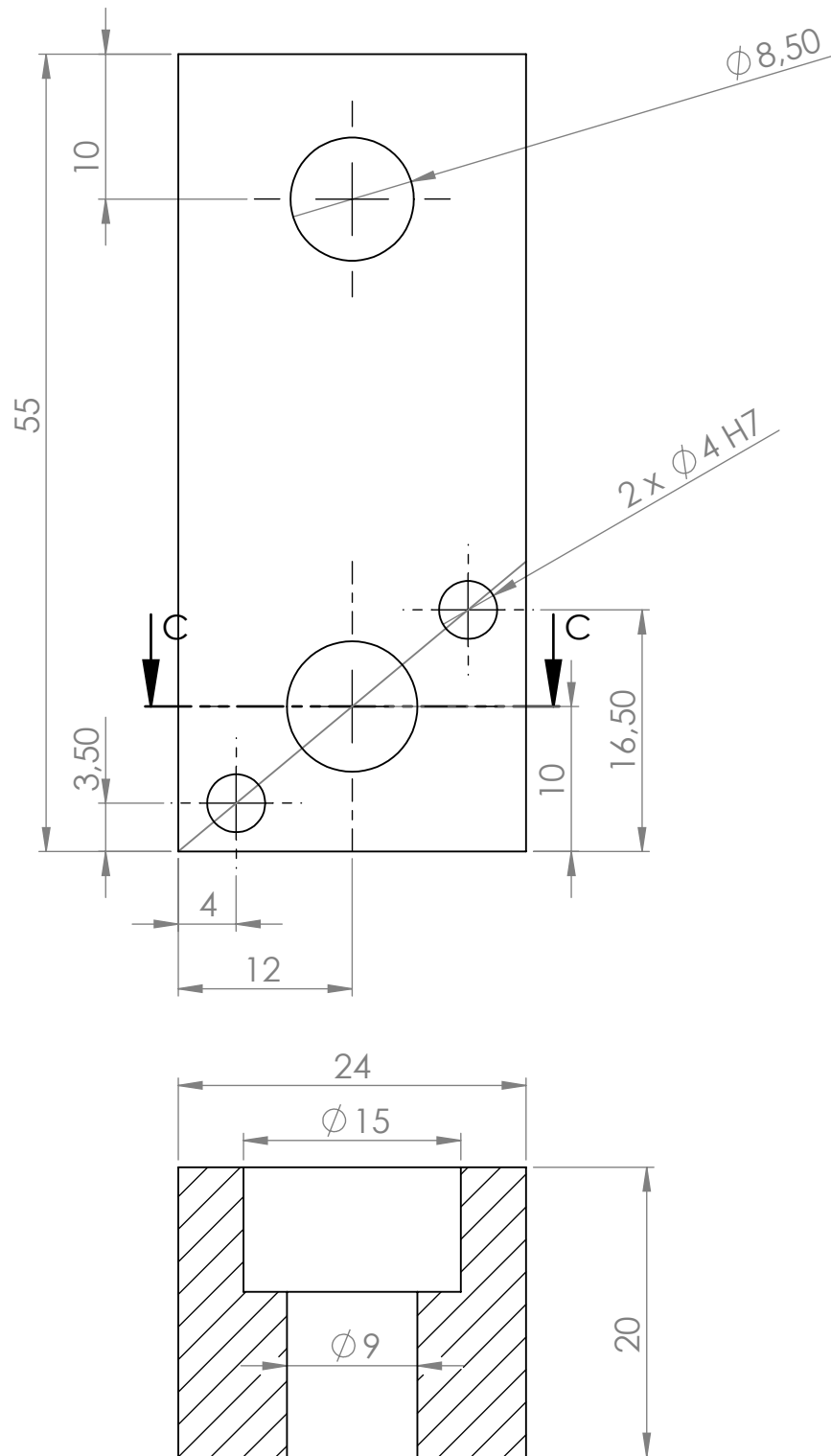
DWG NO.

SCALE:1:1

ApoioAssemb final A4

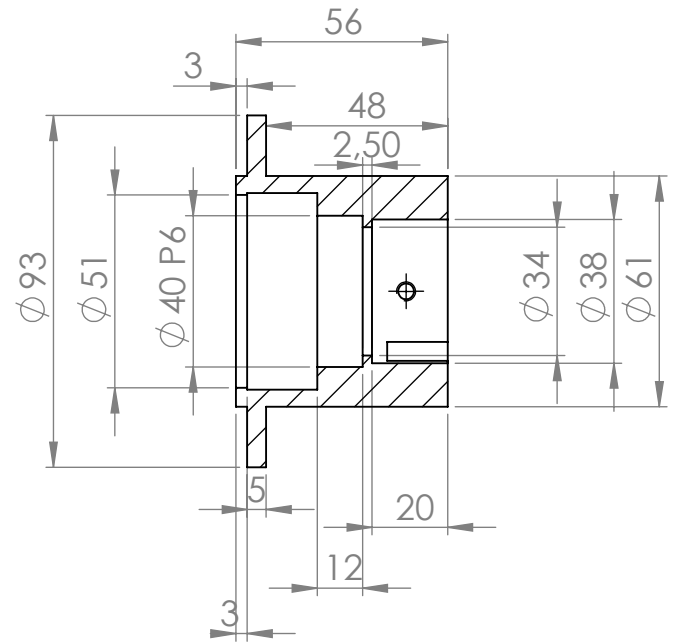
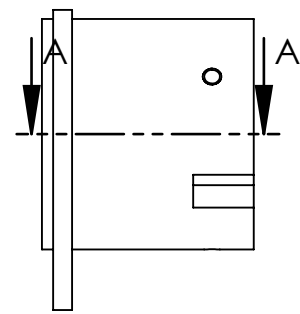
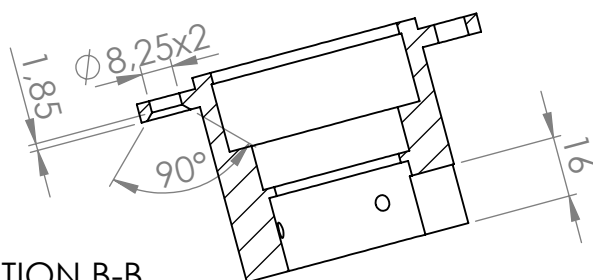
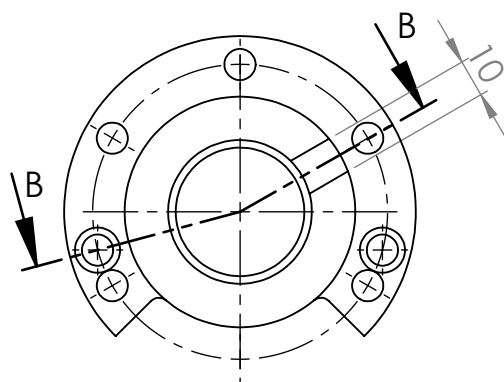
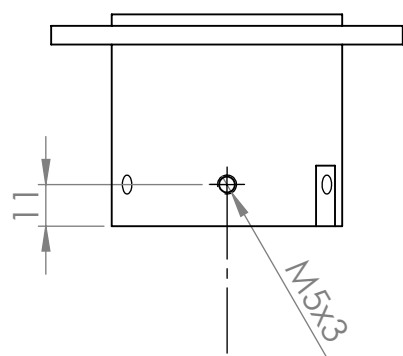
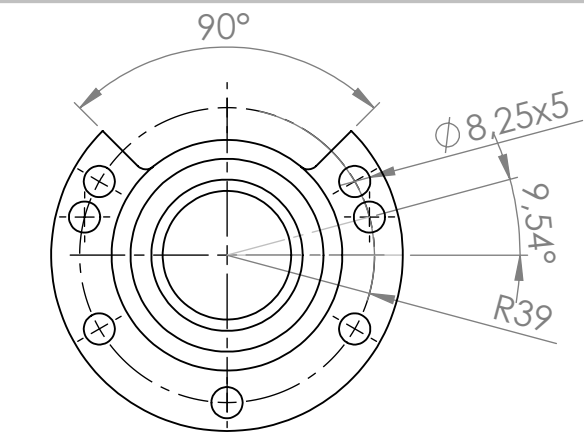
SHEET 1 OF 1





SECTION C-C

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:		
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A					MATERIAL:		DWG NO.		44
							ligacao apoio caixa		
							SCALE:2:1		SHEET 1 OF 1
					WEIGHT:				



SECTION A-A

SECTION B-B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

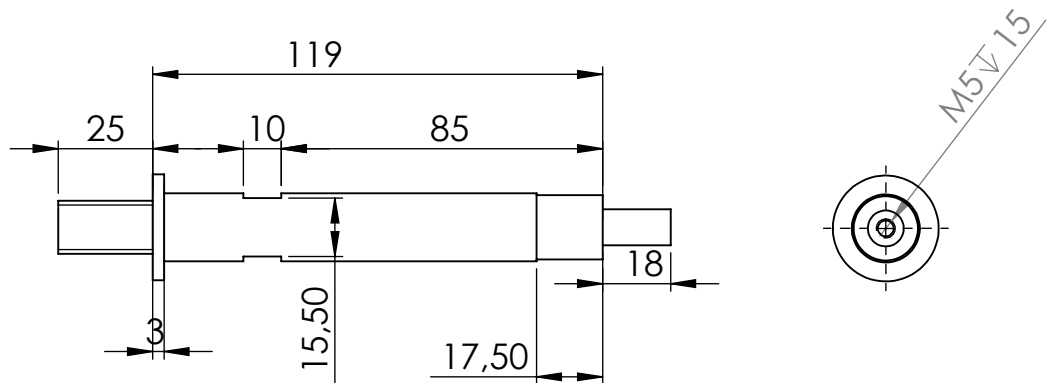
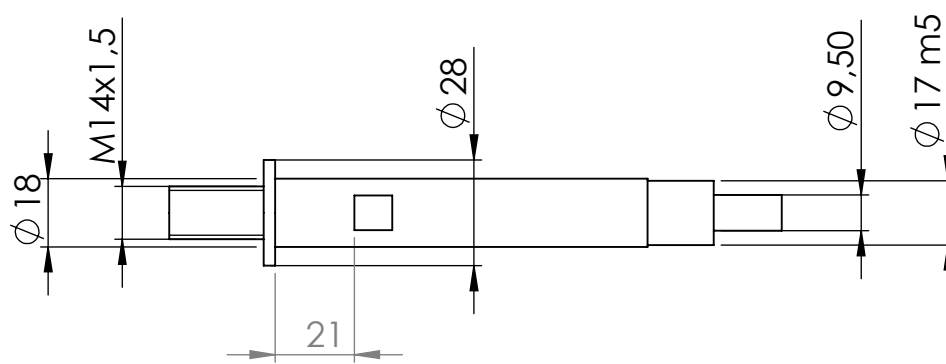
DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL:		
			WEIGHT:		

TITLE:		DWG NO.		Resolver	
SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1		A4	



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.		A4	
						WEIGHT:		SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1	

Veio