

Implementação de um Veículo Eléctrico Puro na ESTV

Sistemas de Condicionamento de Energia e Accionamento Eléctrico



Orientadores:

Prof. Doutor Joaquim Delgado e Eng. Vasco Santos

Alunos:

André Alexandre Macedo Martins – Nº 5976

Rui Pedro Xavier Lourenço – Nº 5477

Engenharia electrotécnica – Ano Lectivo 2006/2007

Agradecimentos

O desenvolvimento do projecto, Implementação de um Veículo Eléctrico Puro na ESTV, não seria possível sem a colaboração e ajuda de muitas pessoas, às quais não podemos deixar de agradecer.

Em primeiro lugar gostaríamos de agradecer aos nossos orientadores, Eng. Vasco Santos e ao Prof. Doutor Joaquim Delgado. Desde o início acompanharam-nos e conduziram-nos através deste trabalho, partilharam connosco os seus conhecimentos, estiveram sempre disponíveis, o que permitiu a concretização do projecto tal como é apresentado.

À ESTV não só pelo apoio financeiro disponibilizado, como também por apostarem no desenvolvimento de um projecto que está agora a dar os primeiros passos a nível nacional. Agradecemos também ao Dr. José Alberto da Costa Ferreira, pelo interesse demonstrado no decorrer do projecto para que este chegasse a bom termo.

As empresas apoiantes por acreditarem que a execução deste trabalho era possível e por patrocinarem o mesmo.

Agradecemos também aos nossos colegas do 5º ano de Engenharia Electrotécnica, da ESTV, pelo apoio e incentivo que nos deram ao longo deste ano lectivo.

Queremos agradecer ainda aos técnicos do Departamento de Engenharia Electrotécnica da ESTV pela disponibilidade demonstrada para nos ajudarem em termos logísticos.

Índice

1. Introdução	7
2. O Veículo eléctrico	9
3. Dimensionamento do Motor.....	11
3.1. Cálculo da potência	11
3.2. Cálculo da rotação do motor	15
4. Selecção de Motor	16
4.1. Comparação entre Motores AC e DC	16
4.2. Vantagens dos motores AC relativamente aos DC.....	17
4.3. Escolha do motor	18
5. Selecção do Inversor	20
6. Componentes auxiliares	22
6.1. Acelerador	22
6.2. Bomba de circulação de água	22
6.3. Bomba de vácuo.....	23
6.4. Sistema de monitorização de consumos	23
7. Conversão	25
7.1. O veículo (físico)	25
7.2. Componentes retirados	27
7.3. Instalação do sistema de propulsão eléctrico	29
7.4. Instalação de outros componentes.....	31
7.4.1 Instalação do potenciómetro (acelerador)	31
7.4.2 Sistema de refrigeração	33
7.4.3 Bomba de Vácuo	35
7.4.4. Instalação dos instrumentos de medida.....	36
7.5. Instalação do Inversor	38
7.6. Esquema eléctrico geral.....	40
8. Conclusão	42
9. Bibliografia e Referencias	43

Anexo 1: Sistema de Condicionamento de Potencia.

Anexo 2: Sistema de Accionamento Eléctrico.

Anexo 3: Especificações técnicas de componentes utilizados.

Índice de figuras

Fig. 1– Teoria de Olduvai de Richard Duncan.	7
Fig. 2 – Modelo geral de um veículo eléctrico puro.....	10
Fig. 3– Diagrama polar.	16
Fig. 4– Curvas de desempenho do motor Siemens 1LH5118 para 120V.....	19
Fig. 5– Potenciómetro do acelerador.	22
Fig. 6– Bomba de circulação de água.	22
Fig. 7– Bomba de vácuo.	23
Fig. 8– O Volvo 460 GLE.....	25
Fig. 9– Volvo antes de removido o MCI.	27
Fig. 10– Volvo depois de removido o MCI.....	28
Fig. 11– Desenho da flange de apoio.	29
Fig. 12 – Eixo acoplador Motor -Caixa de velocidades.	29
Fig. 13 – Sistema de propulsão eléctrico.....	30
Fig. 14– Localização dos apoios do sistema propulsor.....	30
Fig. 15– Localização para o potenciómetro do acelerador.....	31
Fig. 16– Suporte de fixação do potenciómetro à carroçaria.	32
Fig. 17– Aspecto do potenciómetro e suporte de fixação.	32
Fig. 18– Circuito de circulação de água.....	33
Fig. 19– Localização da bomba de circulação de água.....	34
Fig. 20– Servo freio do sistema de travagem.	35
Fig. 21 – Unidade principal do sistema de medida <i>EVision</i> ®.	36
Fig. 22 – Amperímetro do sistema de accionamento eléctrico.....	37
Fig. 23 – Display <i>EVision</i> ®.	37
Fig. 24– Diagrama geral do Simovert.	38
Fig. 25– Esquema eléctrico geral.....	40

Índice de tabelas

Tabela 1 – Potência e rotação do motor para várias velocidades:.....	15
Tabela 2 – Características do motor Siemens 1LH5118	18
Tabela 3– Características do Simovert Long 6SV	20
Tabela 4 – Características do conversor DC-DC	21

1. Introdução

A questão dos recursos petrolíferos e do seu aproveitamento face às necessidades da procura mundial está cada vez mais na ordem do dia. Numa altura em que se discute o impacto ambiental provocado pelas emissões de CO₂ para a atmosfera e o aumento do preço dos combustíveis leva-nos a reflectir sobre o futuro do automóvel, quando sabemos que o consumo do sector dos transportes no seu conjunto é responsável por 60% da produção petrolífera [1].

Relativamente à situação dos combustíveis fósseis, é do conhecimento comum que a exploração de qualquer recurso finito se desenvolve ao longo de três períodos. Um primeiro com início na exploração do recurso a partir do zero, um segundo onde a fluxo de produção aumenta até se atingir um valor máximo ou de pico e um terceiro onde após alcançar esse pico o ritmo de exploração do recurso vai diminuindo até ao seu esgotamento. A opinião dos vários especialistas diverge em relação à previsão temporal do esgotamento do petróleo, sendo a teoria de Olduvai a mais “pessimista” [2].

A teoria de Olduvai aponta a década de 2030 como altura em que os níveis atingidos de consumo por habitante serão idênticos aos de 1930 (Início da revolução industrial). Entretanto o aumento da procura por algumas economias asiáticas emergentes tornará o cenário ainda mais preocupante com o consequente agravamento do preço dos combustíveis [2].

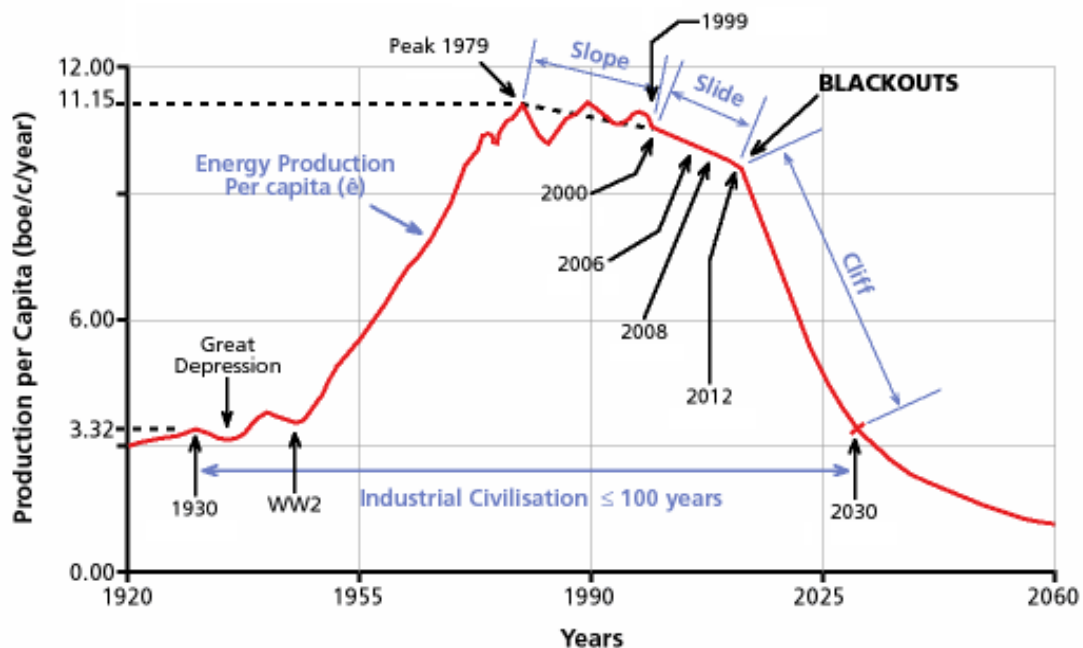


Fig. 1– Teoria de Olduvai de Richard Duncan.

[Fonte: <http://wolf.readinglitho.co.uk/mainpages/olduvai.html>]

Perante este diagnóstico é urgente intensificar a exploração de novas fontes de energia primárias. Se nos concentrarmos no panorama das fontes alternativas constatamos que essas serão no futuro maioritariamente as fontes renováveis e talvez a longo prazo a fusão nuclear. Constatamos também que as fontes renováveis se caracterizam por uma grande dispersão e que praticamente todas as tecnologias utilizadas na sua captura convertem a energia primária disponível na natureza em electricidade. Devido a esta característica surgirão no futuro cada vez mais tecnologias que possibilitam a captação de energia (electricidade) em locais muito próximos do seu consumo e simultaneamente haverá um grande aumento no tráfego de energia eléctrica [2].

O veículo do futuro é cada vez mais eléctrico

A solução óbvia para muitos destes problemas seria alterar não apenas o combustível mas também o sistema de propulsão. Arrumar de vez com o centenário motor de combustão interna, ineficiente, poluente, ruidoso, e pouco versátil, e avançar definitivamente para veículos com propulsão eléctrica [3].

Se o carro for eléctrico tudo se simplifica; desde o controlo da tracção e da propulsão, à direcção, aos sistemas de segurança, tudo ficaria mais fácil de gerir [3].

2. O Veículo eléctrico

O termo veículo eléctrico encerra uma ampla gama de tipos e subtipos, cujas diferenças respondem por concepções, às vezes, bem diferentes entre si e que se encontram em estágios distintos de desenvolvimento. Desta maneira, costuma-se incluir entre os veículos eléctricos, os chamados híbridos, os eléctricos puros (alimentados exclusivamente por bateria) ou ainda os alimentados a hidrogénio com pilha de combustível (fuel-cell vehicles) [4].

Os Veículos Eléctricos são sistemas de mobilidade que se diferenciam dos usuais pelo facto de utilizarem um sistema de propulsão eléctrica.

Em alternativa à solução comum, em que a propulsão tem por base um depósito de combustível, um motor de combustão interna (que converte a energia armazenada no combustível em energia mecânica) e um sistema de transmissão mecânica às rodas, os Veículos Eléctricos utilizam motores eléctricos, que convertem energia eléctrica na energia mecânica necessária à sua propulsão [5].

Actualmente e em relação ao ambiente e à qualidade de vida das populações urbanas, existe uma consciência clara que um dos principais problemas a resolver está directamente relacionado com o sector dos transportes rodoviários. Enquadrado na necessidade de soluções que contrariem a situação criada, a utilização dos sistemas de mobilidade eléctricos surge como uma alternativa viável para as aplicações de mobilidade e transporte, quando enquadrados numa política concertada e sustentável de transportes [5].

É nesta perspectiva que se insere este projecto, que tem por objectivo principal o estudo das melhores tecnologias de armazenamento de energia, condicionamento e accionamento eléctrico para conversão de um veículo com motor de combustão interna (MCI), num Veículo Eléctrico Puro (VEP).

Um projecto com estas características é inovador no nosso país e serve como ferramenta de pesquisa e desenvolvimento do DEE na ESTV para demonstrar a viabilidade do veículo eléctrico como uma solução de mobilidade sustentável.

O Veículo Eléctrico Puro é constituído essencialmente por 4 grandes módulos:

1. Design exterior e estrutura;
2. Sistema de armazenamento de energia (e de carregamento);
3. Sistemas de condicionamento de potência;
4. Sistema de propulsão.

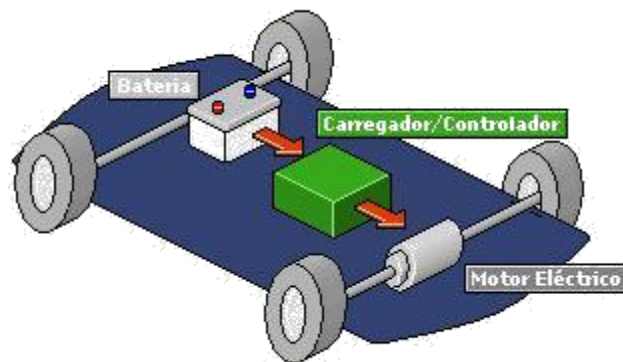


Fig. 2 – Modelo geral de um veículo eléctrico puro.

[Fonte: <http://www.eficiencia-energetica.com/html/ve/veb.htm>]

Neste relatório é apresentado o dimensionamento dos pontos 3 e 4, que são condicionamento de potência e sistema de propulsão eléctrico, ou seja o estudo das soluções disponíveis preferencialmente no mercado europeu, para a elaboração do projecto.

O ponto 2 (Sistema de armazenamento de energia), fica a cargo de um segundo grupo envolvido no mesmo projecto, enquanto que o ponto 1 (design exterior e estrutura) fica apoiado na utilização de um veículo já existente.

3. Dimensionamento do Motor

Para o dimensionamento do motor definiu-se como requisitos do veículo eléctrico, uma velocidade de 70 km/h e pretende-se que essa velocidade seja atingida em 13 segundos.

3.1. Cálculo da potência

A partir das fórmulas relativas à dinâmica pode-se calcular a energia total necessária para mover o veículo.

Existem 3 forças resistentes que influenciam o seu movimento e que são:

- ✓ Atrito de rolamento;
- ✓ Resistência do ar;
- ✓ Força da gravidade em pisos inclinados.

Atrito de rolamento:

A força do atrito dos rolamentos é função do peso do veículo multiplicado pelo coeficiente de atrito de rolamento. É dada pela seguinte expressão:

$$F_{Rol.} = U_{Rol} \times m \times g$$

Com:

$U_{Rol.}$ - Resistência dos rolamentos (valores típicos: 0.010 a 0.015);

m - Massa do veículo (1500kg);

g - Aceleração da gravidade (9.8m/s²).

Fica:

$$F_{rol.} = 0.015 \times 1500 \times 9.8 = \underline{\underline{220.50N}}$$

Resistência com o ar (ou fricção):

A força de resistência do ar é proporcional ao quadrado da velocidade multiplicando pela densidade de ar, pela área frontal do veículo e pelo coeficiente de penetração aerodinâmico (C_x) do veículo:

$$F_{ar} = \frac{1}{2} C_x \times A \times \rho \times v^2$$

Com:

C_x - Coeficiente de penetração aerodinâmica do veículo. Exprime a maior ou menor facilidade com que o veículo rompe o ar à sua frente. Quanto menor o valor, mais fácil esse rompimento e, por consequência, menor o consumo de combustível numa mesma velocidade. ($C_x = 0.34$. Devido à falta de informação para o nosso modelo, o valor exposto refere-se ao modelo 440 que apresenta uma carroçaria idêntica ao 460.

[Fonte: <http://pboursin.club.fr/res/aero.xls>].

A - Área da superfície frontal do veículo – 2.32m^2 (Fonte: Datasheet Volvo 460);

ρ - Densidade do Ar – 1.2Kg/m^3 (Ao nível médio do mar com temperatura normal);

v - Velocidade do veículo (neste dimensionamento pretende-se que alcance 70 km/h (19.4m/s)).

Logo fica:

$$F_{ar} = \frac{1}{2} \times 0.34 \times 2.32 \times 1.2 \times 19.4^2 = \underline{\underline{178.12\text{N}}}$$

Força necessária para subir declive de 2%:

A força necessária para deslocar o veículo num piso inclinado é função do ângulo de subida e da força da gravidade. É dada pela seguinte expressão:

$$F_{Subir} = (\%inclinação) \times m \times g$$

Com:

(%inclinação) – Percentagem de inclinação do pavimento;

m - Massa do veículo (kg);

g - Aceleração da gravidade (9.8m/s^2).

Considerando a inclinação no pavimento de 2% fica:

$$F_{Subir} = 0.02 \times 1500 \times 9.8 = \underline{\underline{294\text{N}}}$$

Potência necessária para manter movimento ($P_{mov.}$):

A potência necessária para manter o veículo a velocidade constante numa subida de 2%, resulta do somatório das 3 forças anteriores multiplicado pela velocidade desejada:

$$P = (F_{rol.} + F_{ar} + F_{subir}) \times v \quad \Leftrightarrow P = (221 + 178 + 294) \times 19.4 = 13.44 kW$$

Considerando ainda o rendimento da parte mecânica (conjunto formado por motor, caixa redutora e diferencial) como sendo 90%, a potência necessária para manter a velocidade fica:

$$P_{mov.} = 13.44 / 0.90 = \underline{\underline{14.93 kW}}$$

$$\text{Como: } 1CV = 735W$$

$$\text{Fica: } P_{mov.} = \underline{\underline{20CV}}$$

Potência necessária para aceleração (P_a):

Para calcular a potência necessária para acelerar o veículo até determinada velocidade, determina-se inicialmente a energia cinética (E_C) que o veículo possui à velocidade pretendida.

$$E_C = \frac{1}{2} m \times v^2$$

Com:

m - Massa do veículo (kg);

v - Velocidade pretendida (m/s).

Substituindo pelos valores fica:

$$E_C = \frac{1}{2} \times 1500 \times 19.4^2 = 282.27 kJ$$

Uma vez que o sistema não é ideal, temos que considerar de novo o rendimento 90% da parte mecânica:

$$E = 282.27 kJ / 0.90 = 313.63 kJ$$

Para calcular a potência de aceleração divide-se a energia necessária pelo tempo que demora a acelerar o veículo:

$$P_a = \frac{E}{t}$$

Com: E - Energia necessária calculada anteriormente;

t - Tempo necessário para que o veículo atinja a velocidade de 70 km/h (19.4m/s).

Neste projecto como já foi referido pretende-se que a velocidade de **70km/h** seja alcançada em **13 segundos**, logo, a potência para a aceleração fica:

$$P_a = \frac{313.63kJ}{13} = \underline{\underline{24.13kW}}$$

Como: $1CV = 735W$

Fica: $P_a = \underline{\underline{33CV}}$

Potencia Total Necessária (P_{total}):

Resulta da soma da potência necessária para manter movimento com a potência necessária para aceleração:

$$P_{total} = P_{mov.} + P_a \Leftrightarrow P_{total} = 14.93 + 24.13 \Leftrightarrow P_{total} = \underline{\underline{39.06kW}}$$

Conclusão: Para o veículo poder acelerar desde o repouso até aos 70Km/h em 13 segundos, é necessário um motor com potência de 39.06kW.

3.2.Cálculo da rotação do motor

Nesta secção calcula-se a velocidade de rotação do motor de acordo com a desmultiplicação da 2ª velocidade da caixa redutora do veículo.

Uma vez que a velocidade pretendida do veículo é de 70 km/h (19.4 m/s) e, como o raio r da roda é 30cm, logo a velocidade de rotação reduzida à roda fica:

$$V_{roda} = \frac{V_{veículo}}{2 \times \pi \times r} \Leftrightarrow \frac{19.4}{2 \times \pi \times 0.3} = 10.3 \text{ rps} \Leftrightarrow V_{roda} = 617 \text{ rpm}$$

Sabendo ainda que a 2ª velocidade da caixa redutora tem desmultiplicação de 2,05:1 e o conjunto da engrenagem diferencial tem redução de 3,73:1, a velocidade reduzida ao veio do motor será:

$$V_{motor} = V_{roda} \times \text{Redução Caixa} \times \text{Redução Final}$$

Substituindo fica:

$$V_{motor} = 617 \times 2.05 \times 3.73 \Leftrightarrow V_{motor} = \underline{\underline{4718 \text{ rpm}}}$$

Conclusão: Para que o veículo circule a 70km/h é necessário que o motor eléctrico gire a 4718 rpm (quando engrenada a 2ª Velocidade da caixa).

A seguir é apresentada uma tabela onde são expostos vários valores de potência e rotação do motor a seleccionar para diversas velocidades que o veículo poderá atingir:

Tabela 1 – Potência e rotação do motor para várias velocidades

Velocidade (km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Velocidade (m/s)	2,8	5,6	8,3	11,1	13,9	16,7	19,4	22,2	25,0	27,8
Força Resist. Ar (N)	3,7	14,6	32,9	58,4	91,3	131,5	178,1	233,7	295,8	365,2
Força Piso Inclinado (N)	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294
Força Resist. Rolamento (N)	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221
Total (N)	518	529	548	573	606	646	683	748	811	880
Potencia P/manter Velocidade (W)	1600	3267	5070	7076	9352	11967	14930	18480	22515	27158
Potencia P/manter Velocidade (cv)	2,2	4,4	6,9	9,6	12,7	16,3	20,0	25,1	30,6	36,9
Tempo Aceleração Até Velocidade (s)	2	3	4	5	7	8	13	14	15	19
Energia Aceleração Até Velocidade (J)	6430	25720	57870	102881	160751	231481	282270	411523	520833	643004
Potencia Aceleração (W)	3215	8573	14468	20576	22964	28935	24130	29394	34722	33842
Potencia Aceleração (cv)	4	12	20	28	31	39	33	40	47	46
Potência Total Necessária (W)	4815	11841	19538	27652	32317	40902	39060	47875	57237	61000
Rotação do Motor em 2ª Vel. (RPM)	676	1352	2028	2704	3380	4057	4718	5409	6085	6761

4. Selecção de Motor

4.1. Comparação entre Motores AC e DC

A partir da oferta comercialmente disponível, foi realizado um estudo comparativo entre as tecnologias de accionamento em DC e AC, para podermos optar pela que mais se adequa ao nosso projecto.

Desta forma foi elaborado um gráfico polar em que são comparados motores da tecnologia AC e DC, segundo as características técnicas e preço como se observa na seguinte figura:

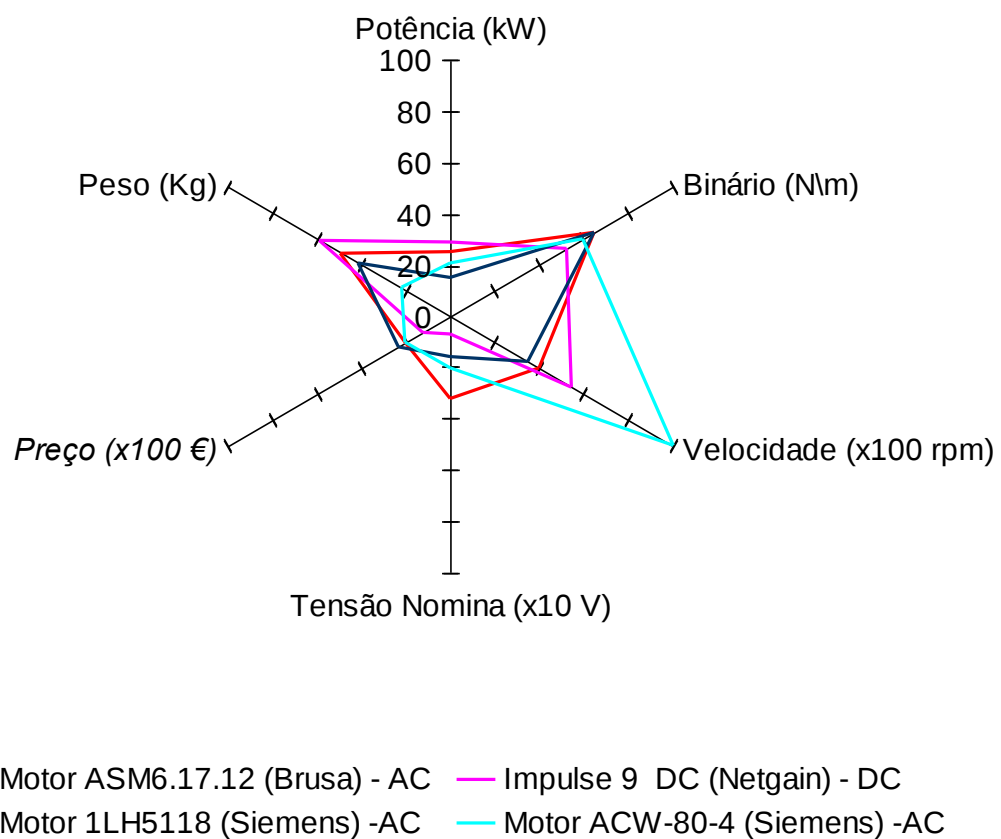


Fig. 3– Diagrama polar.

Através da comparação dos motores seleccionados, pode-se verificar pela análise do digrama polar (Fig. 3), que os motores AC tem uma melhor relação binário-velocidade e também uma melhor relação potência-peso. Verifica-se também que os motores DC são mais pesados e têm uma melhor relação preço-potência.

4.2. Vantagens dos motores AC relativamente aos DC

Em relação a travagem regenerativa é mais fácil de implementar em motores AC com magnetos permanentes, pois não são precisos componentes adicionais, como acontece nos da tecnologia DC.

Os motores sem escovas (maquina de indução) têm uma duração de vida superior aos motores com escovas pois não tem o efeito destrutivo do arco eléctrico, que se verifica no colector a altas rotações.

Em termos de programação, os controladores para motores AC são caracterizados por ser possível ajustar por software uma ampla gama de parâmetros (rampa de aceleração, Binário, Tensão, etc), que permitem a optimização da gestão de consumos de energia e estilos de condução. Segundo a informação a que tivemos acesso a maioria dos controladores DC não são programáveis.

O conjunto motor AC e inversor permite uma sobrevelocidade (*overdrive*) de até 20%, com a manutenção do binário necessário para accionar o motor através da programação do inversor. Nas máquinas DC devido ao problema do arco eléctrico por causa da comutação das escovas, não é possível implementar esta função.

No que diz respeito á segurança, como se sabe, caso um andar de potência de um controlador DC falhe toda a tensão das baterias é aplicada directamente ao motor, para este facto é necessário investir num sistema de protecção com tempo rápido de actuação. Em contra partida, nos conversores AC para o mesmo tipo de falha, acontece que o motor simplesmente perde potência porque o objectivo dos conversores AC é regular e não gerar a potência.

Os motores AC trifásicos em relação aos DC, trabalham com tensões mais elevadas e correntes mais reduzidas para o mesmo nível de potência ($P=U.I$), deste modo a secção dos condutores é mais baixa. Isto facilita eventuais soldaduras e sobretudo a instalação. Devido a corrente ser menor as perdas de Joule também serão menores ($P=R.I^2$).

Para o caso de os motores AC serem refrigerados a água consegue-se suprimir o ventilador fazendo com que haja menor ruído, tornando-se simultaneamente mais pequeno e com um consumo mais baixo.

O motor AC normalmente tem tamanho menor do que o motor equivalente de corrente contínua [6],[7].

4.3. Escolha do motor

Tendo em consideração que grandes fabricantes de veículos eléctricos como a GM (EV1), a Ford (Ranger EV), a Toyota (RAV4-EV), a Mitsubishi (Mitsubishi Colt EV) e a Tesla (Tesla roadster), utilizam sistemas de propulsão AC, e também todas as razões descritas anteriormente, constata-se que a melhor solução a utilizar na conversão do veículo será a implementação com motor AC.

Escolhido o tipo de motor a usar (maquina AC), depara-se com duas tecnologias, são elas o motor assíncrono (de indução) e o síncrono (Anexo 2, secção 1.2). Optou-se pelo motor assíncrono devido a este possuir um alto binário de arranque e custos de operação e manutenção reduzidos em relação ao motor síncrono.

A partir da análise dos motores de indução disponíveis comercialmente para este nicho de aplicação, a escolha recaiu sobre o motor da Siemens 1LH5118 (Anexo 2, secção 1.4.2), pois é um motor compacto (19,6x19,6x36 cm), leve (41.5 kg), especialmente desenvolvido para tracção de veículos eléctricos. Dispõem dos requisitos técnicos necessários para a elaboração do veículo com a performance apresentada na secção 3).

Tabela 2 – Características do motor Siemens 1LH5118.

Potência nominal	15 kW
Potencia máxima	49.3 kW
Binário	65 N.m
Binário máximo	123 N.m
Velocidade	3500 – 10000 r.p.m.
Corrente de entrada	282 A
Tensão nominal	160V
Tensão máxima	380V
Refrigeração	Água (8l/min)
Eficiência	94%
Peso	41.5kg
Dimensões (LxAxP)	19.6x19.6x36 Cm

[Fonte: <http://www.metricmind.com/index1.htm>]

Na seguinte figura é exibida a curva característica da resposta do binário e potência em função da velocidade de rotação do motor:

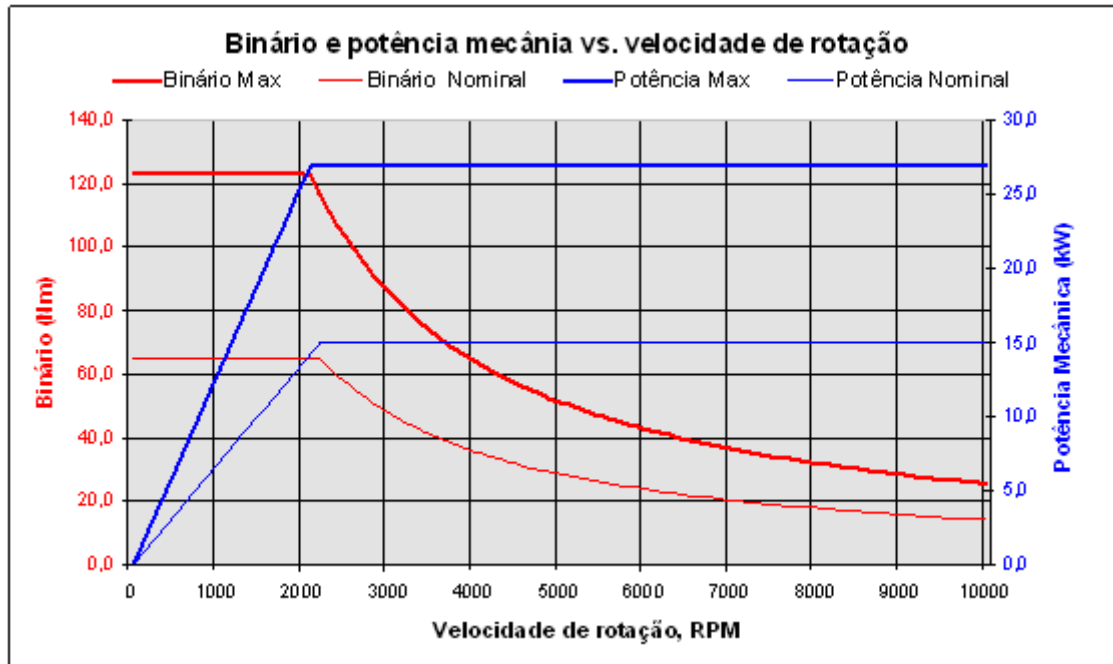


Fig. 4– Curvas de desempenho do motor Siemens 1LH5118 para 120V.

[Fonte: <http://www.metricmind.com/index1.htm>]

5. Selecção do Inversor

A escolha do inversor apoia-se no estudo de algumas características tal como a seguir se expõe:

- ✓ Tipo de motor (AC ou DC);
- ✓ Potência do motor;
- ✓ Tensão de alimentação do motor;
- ✓ Tensão do grupo de baterias.

Uma vez que o motor escolhido é um motor trifásico de 15 kW, e como a tensão de alimentação do grupo das baterias é 120V, o inversor que se adequa a estas características é o Simovert 6SV.

O inversor Simovert 6SV é fabricado pela Siemens e tem principais características:

Tabela 3 – Características do Simovert Long 6SV.

Potência Máxima	100 kW
Max tensão de Entrada	380 +/- 2%
Gama de tensão de entrada	65 – 155 VDC
Corrente de entrada	282 A
Frequência de modulação PWM	6KHz
Corrente Max. De saída (RMS/pico)	282/400 A
Eficiência	92%
Protecção	IP-54
Peso	27kg

[Fonte: <http://www.evisol.com>]

Este inversor foi concebido especialmente para aplicação em veículos eléctricos. É dotado de saída para indicação de redução de potência, saída de potência para ventilador do circuito de refrigeração actuado por sensor de temperatura e configurável por software, funções de diagnóstico (indicação de falha na conversão de potência), entre outros [8].

Neste inversor, o andar de potência encontra-se isolado do módulo de controlo, com uma tensão de isolamento de 1,5 kV. Por este motivo os terminais das baterias e os dispositivos associados estão isolados da massa do veículo [8].

Para além disso permite as seguintes funcionalidades:

- ✓ Modo de poupança de energia (não consome energia quando o acelerador não é actuado);

- ✓ Limitador da corrente de saída;
- ✓ Rampa de aceleração programável por software;
- ✓ Permite dois modos de travagem regenerativa;
- ✓ Selecção do sentido de marcha (Avanço e recuo);
- ✓ Definição da prioridade dos pedais (para o caso de accionamento simultâneo do travão e do acelerador);
- ✓ Refrigeração por água (caudal de 8l/min);
- ✓ Protecção contra salpicos de água e poeiras;
- ✓ Conversor DC-DC integrado.

O conversor DC-DC tem as seguintes características:

Tabela 4 – Características do conversor DC-DC.

Tensão de entrada	65 – 155 VDC
Tensão de saída	13.8V +/- 0.4%
Corrente de saída	60 A nominal
Corrente máxima de saída	90 A (Max. 3min)
Tensão de isolamento	30V

[Fonte: www.metricmind.com]

6. Componentes auxiliares

Para além do motor e do inversor, o sistema de propulsão é constituído pelos seguintes componentes adicionais:

6.1. Acelerador

O acelerador é constituído por um potenciómetro que fornece informação ao módulo de controlo do inversor sobre a posição do pedal. Funciona como divisor de tensão. Este equipamento é estanque, resistente a poeiras e salpicos de água e substitui o tradicional acelerador constituído por um sistema mecânico que ordena o injeção de mais ou menos quantidade de combustível e ar na câmara de combustão do MCI.



Fig. 5– Potenciómetro do acelerador.

6.2. Bomba de circulação de água

Como o motor eléctrico e o inversor usados nesta conversão são refrigerados a água, é necessária a instalação de uma bomba para fazer circular a água entre os componentes e o radiador com o objectivo de se retirar o máximo de calor das partes (o calor excessivo reduz o desempenho e a vida útil dos componentes).



Fig. 6– Bomba de circulação de água.

6.3. Bomba de vácuo

Devido á remoção do MCI é necessário instalar uma bomba de vácuo para accionamento do sistema de travagem com o servo-freio existente no veículo original, desta forma o pedal do travão torna-se mais leve, proporcionando um conforto superior ao condutor.

Ao accionar o pedal do travão num veículo, é aplicada pressão no êmbolo do óleo que faz com que as maxilas comprimam o disco, imobilizando o veículo.

Esta bomba é dotada de um pressostato de baixa pressão que faz com que a bomba se desligue quando for atingida descompressão ideal.



Fig. 7– Bomba de vácuo.

6.4. Sistema de monitorização de consumos

Para que o condutor do veículo tenha conhecimento dos consumos, é integrado no painel de instrumentos do veículo um kit de medição (*EVision*®) que permite a exibição de vários parâmetros.

EVision® é um sofisticado instrumento de medida que permite monitorizar, medir e registar determinados parâmetros relacionados com o desempenho do veículo eléctrico. É dotado de um menu flexível que permite configurar os diversos parâmetros. Este dispositivo não é apenas um medidor de “combustível” para o carro eléctrico, mas sim um completo sistema de gestão que através da conexão com PC é possível ajustar cerca de 15 parâmetros diferentes (potencia, tensão, autonomia, rotação, temperatura, ente outros). Podem ser apresentados até 3 parâmetros simultaneamente.

Parâmetros medidos:

Sistema principal de baterias:

- Tensão instantânea (V);
- Corrente instantânea de entrada/ saída (A);
- Potencia instantânea (kW);
- Capacidade (Ah);
- Energia (kWh);
- Estado de carga (SOC- State Of Charge) (%);
- Temperatura (necessários sensores adicionais) (°C);
- Indicação da direcção da corrente da bateria (a sair = *Drive*; a entrar = carga/ travagem regenerativa);
- Registo dos ciclos completos de carga;
- Calibração e diagnóstico de baterias.

Sistema auxiliar de bateria (12V):

- Tensão instantânea (V);

Veículo:

- Velocidade instantânea do veículo (km/h ou mph);
- Consumo de energia do sistema de accionamento eléctrico (wh/km ou km/kwh);
- Autonomia estimada (DTE- Distance To Empty);
- Tempo para a conclusão da carga (TTF – Time To Full);

Funções adicionais (Requerem sensores extras):

- Medida da pressão dos 4 pneus (PSI);
- *Cruise Control*;
- Controlo da direcção assistida;
- Gestão e controlo da carga das baterias via I/O *Expansion Module*.

7. Conversão

7.1. O veículo (físico)

A escolha do veículo incidiu no Volvo 460 GLE (de 1992), com apenas 50000km, devido aos seguintes fundamentos:

Trata-se de um carro espaçoso. O espaço é importante uma vez que é necessário algum para a disposição das baterias.

O compartimento do motor é amplo, porque embora o motor eléctrico seja mais pequeno é necessário colocar neste compartimento o respectivo inversor de potência, colocação de baterias para equilíbrio de peso e ainda circuitos de refrigeração e bomba de vácuo.

Foi tido em consideração a idade do carro e a facilidade de encontrar peças de substituição (nos carros mais antigos torna-se difícil encontrar algumas peças sobressalentes).

Além disso, é um carro seguro e aerodinâmico, pois previne o dispêndio de energia gasto na luta contra a resistência do vento.

Optou-se pela cor branca porque permite realçar os patrocínios publicitários a colocar sobre a sua superfície.

(Características técnicas no anexo 3)



Fig. 8– O Volvo 460 GLE.

7.2. Componentes retirados

Inicialmente começou-se por desligar o sistema eléctrico do veículo e seguidamente passou-se a retirar os componentes circundantes ao motor, como filtro do ar, bateria, depósitos de água e irradiadores, para se conseguir retirar o motor pela parte superior.



Fig. 9– Volvo antes de removido o MCI.

Os principais componentes retirados, não reaproveitados foram:

- ✓ Motor de combustão;
- ✓ Tubo de exaustão (incluindo panela e silenciador);
- ✓ Depósito de combustível e tubagem associada;
- ✓ Compressor, condensador e depósito do ar condicionado;
- ✓ Bomba e vaso de óleo de direcção assistida;
- ✓ Circuito de circulação de água de refrigeração do motor (Tubagem);
- ✓ Bobine de AT do sistema de ignição.

Os seguintes componentes serão reinstalados no veículo eléctrico:

- ✓ Caixa de velocidades;
- ✓ Irradiador, vaso e ventilador de refrigeração;
- ✓ Bateria auxiliar de 12V.



Fig. 10– Volvo depois de removido o MCI.

7.3 Instalação do sistema de propulsão eléctrico

A transmissão é feita acoplando o motor eléctrico à caixa de velocidades por meio de uma flange de acoplamento construída a partir de uma placa de alumínio. Este componente teve que ser concebido de forma a suportar a força mecânica exercida pelo motor eléctrico, e considerando a distância entre o eixo do motor eléctrico e eixo da caixa de velocidades de modo a encaixarem perfeitamente.

O design da flange de apoio tem que combinar com os formatos da caixa e do motor:

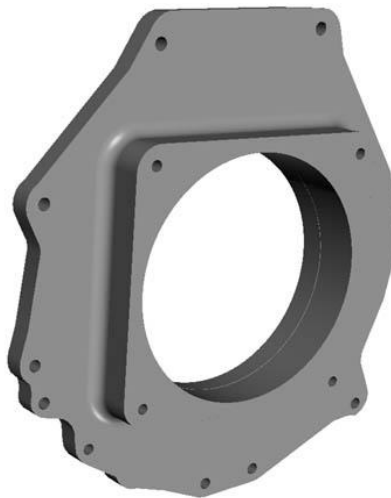


Fig. 11– Desenho da flange de apoio.

O primeiro passo da montagem é fixar ao motor à flange referida na figura anterior por meio de quatro parafusos.

Seguidamente, através do auxílio de um eixo adaptador desenhado de acordo com os perfis do rotor do motor eléctrico e da caixa, é possível fazer a ligação mecânica com o veio de entrada da caixa de velocidade, como na seguinte figura:



Fig. 12 – Eixo acoplador Motor -Caixa de velocidades.

Uma vez feita a ligação mecânica entre o motor e a caixa de velocidades, o próximo passo é instalar o conjunto no veículo.



Fig. 13 – Sistema de propulsão eléctrico.

Para a sua fixação utilizamos os apoios já existentes do motor de combustão, assinalados na figura 14:

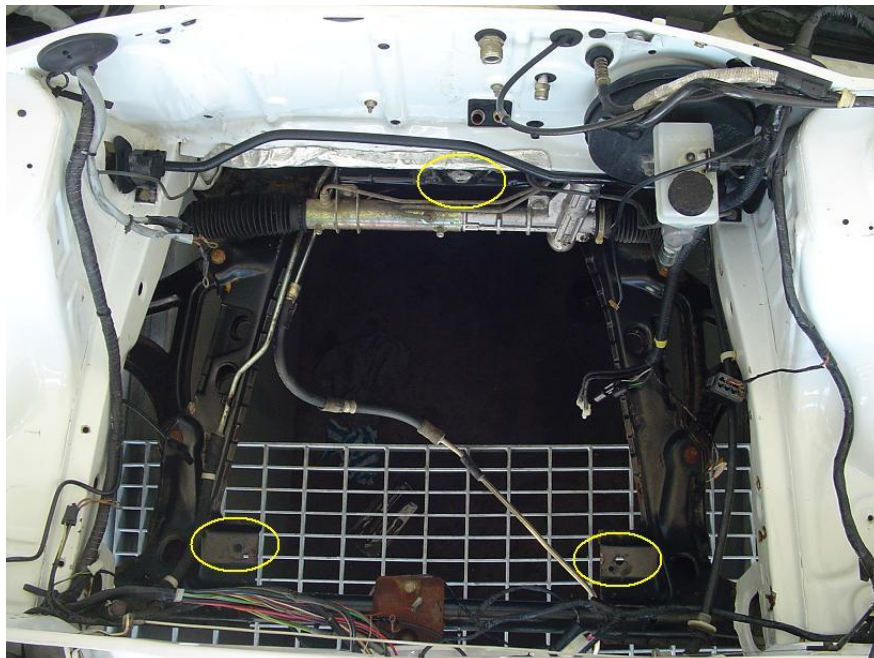


Fig. 14– Localização dos apoios do sistema propulsor.

Foi necessário construir um apoio no motor eléctrico (lado esquerdo da figura), visto que o apoio do motor de combustão não era compatível com o novo motor instalado. Os outros dois apoios eram os de fixação à caixa de velocidades e por isso não foi necessário fazer alterações.

7.4 Instalação de outros componentes

7.4.1 Instalação do potenciómetro (acelerador)

A maioria dos inversores necessita de um potenciómetro à entrada para controlar a aceleração. Alguns têm a possibilidade de se usar um sensor tipo óptico ou indutivo. No nosso inversor usou-se um potenciómetro com valores compreendidos entre $1k\Omega$ e $10k\Omega$, actuando como divisor de tensão.

Os sinais são interpretados pela placa de interface do inversor e calcula a corrente adequada aplicar ao motor.

O potenciómetro accionado pela bicha do acelerador do MCI será instalado na parte intermédia do carro, por baixo do pára-brisas, como exemplifica a figura seguinte:

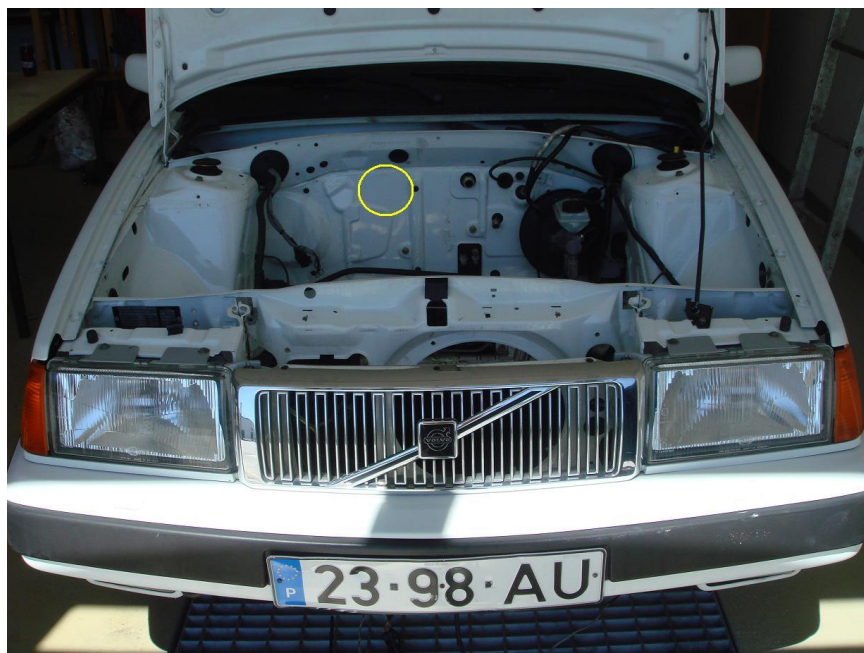


Fig. 15– Localização para o potenciómetro do acelerador.

Para a fixação do potenciômetro à carroçaria do veículo foi necessário construir um suporte com o seguinte formato:



Fig. 16– Suporte de fixação do potenciômetro à carroçaria.

O potenciômetro é actuado pelo cabo de aço original do acelerador que anteriormente estava ligado ao carburador. O comprimento do cabo de aço teve de ser afinado de modo a que quando o pedal de aceleração não está a ser actuado o potenciômetro se encontre na posição mínima e quando o acelerador estiver no fundo (Full-Throttle) o potenciômetro esteja na posição máxima de aceleração.



Fig. 17– Aspecto do potenciômetro e suporte de fixação.

7.4.2 Sistema de refrigeração

O Motor e o inversor são arrefecidos a água. Para tal foi criado um circuito de refrigeração constituído por uma bomba de circulação de água e por uma tubagem que faz com que o fluido circule pelo inversor, seguidamente pelo motor e depois é arrefecido no irradiador.

É recomendável que a água que circula no inversor não ultrapasse os 55 °C, por isso, a água entra primeiro no inversor e só depois segue pelo motor com a finalidade de prolongar ao máximo a vida útil do inversor.

O Inversor pode fornecer até 100kW como já foi referido, e, uma vez que o motor eléctrico utilizado absorve uma potência máxima de 49.3kW, significa que o inversor está a funcionar com uma grande margem de segurança evitando assim o aquecimento excessivo. Para além disso, para que a temperatura da água não ultrapasse 55 °C, o ventilador do radiador está configurado (por software) para ligar assim que forem atingidos 40 °C de temperatura.

O sensor de temperatura está instalado internamente na serpentina do inversor.

O circuito de refrigeração tem a seguinte configuração:

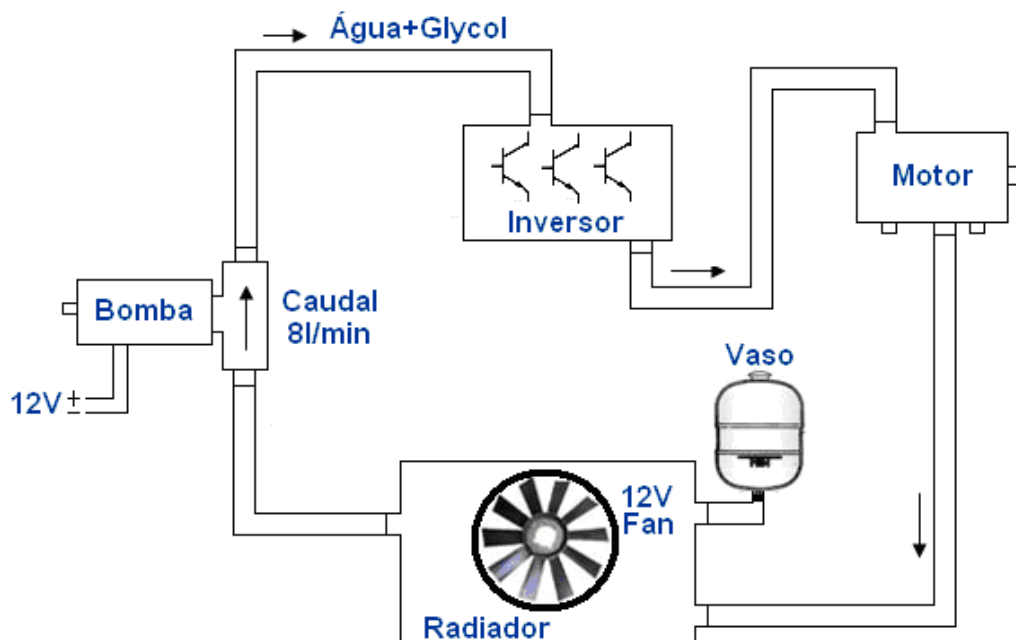


Fig. 18– Circuito de circulação de água.

O Vaso tem por objectivo absorver as variações de volume da água dos circuitos, provocadas pelas variações de temperatura.

A bomba de circulação está localizada entre o inversor e o radiador como exemplificado na figura seguinte:

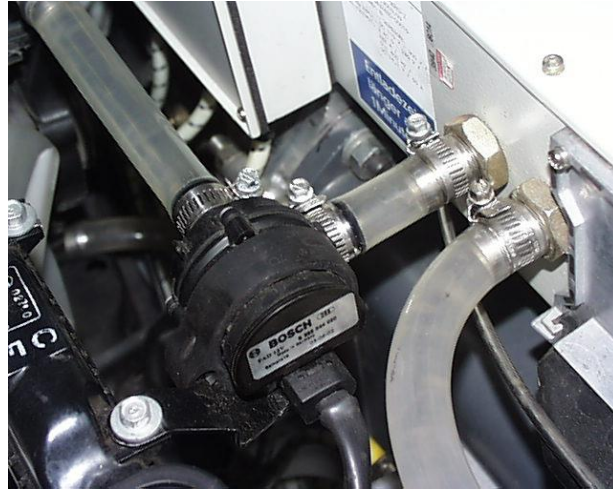


Fig. 19– Localização da bomba de circulação de água.

Esta bomba entra em funcionamento sempre que a chave se encontrar na posição intermédia.

7.4.3 Bomba de Vácuo

A maioria dos carros modernos tem o sistema de travões assistido por vácuo. O Volvo 460 não é excepção.

O servo mecanismo montado no sistema de travões reduz o esforço físico exigido ao motorista para carregar no pedal do travão. Consiste num servo cilindro onde se encontra um pistão ou diafragma. Quando o ar é extraído de uma das extremidades do cilindro e a pressão atmosférica é admitida na outra, a diferença entre as pressões do dois lados do pistão (ou do diafragma) pode ser utilizada para facilitar a aplicação dos travões, como complemento da força física exercida pelo motorista sobre o pedal de travão.

Todos os sistemas servo assistidos são accionados pelo motor. O tipo mais comum destes sistemas utiliza o vácuo parcial criado no colector de admissão (como no Volvo 460), outros utilizam uma bomba de vácuo independente.

Num sistema simples, o motor aspira ar de ambos os lados de um diafragma (ou do pistão principal), o qual é mantido em estado de equilíbrio até ser aplicado o pedal de freio. Em consequência, a pressão atmosférica é admitida de um dos lados, enquanto no outro permanece um vácuo parcial, pelo que o diafragma se move exercendo pressão sobre um pistão servo. Essa pressão reforça a força aplicada pelo motorista [9].

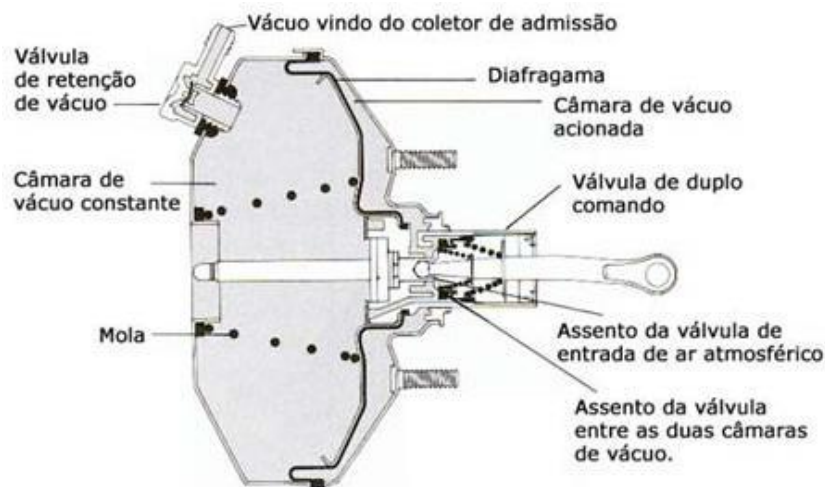


Fig. 20– Servo freio do sistema de travagem.

[Fonte: www.oficinaecia.com.br/bibliadocarro/biblia.asp?status=visualizar&cod=109]

Uma vez que foi retirado o motor de combustão, o vácuo parcial deixou de ser criado no colector de admissão, logo foi necessário colocar de uma bomba de vácuo (adicional) para auxiliar o sistema de travagem. Esta bomba entra em funcionamento nas mesmas condições da bomba de circulação de água.

7.4.4. Instalação dos instrumentos de medida

O Kit de medição *EVision*® é um equipamento avançado que monitoriza os valores de determinados parâmetros relacionados com a performance do veículo eléctrico (ex. potencia instantânea consumida, autonomia estimada, estado de carga as baterias).

O kit consiste num conjunto de 4 sub-blocos que são os seguintes:

- Unidade principal de controlo;
- Controlo remoto do utilizador;
- Pinça amperimétrica PCB (*Printed Circuit Board*);
- Unidade de display de resultados.

Na seguinte figura é exibido o bloco lógico da unidade principal de controlo do kit *EVision*®:

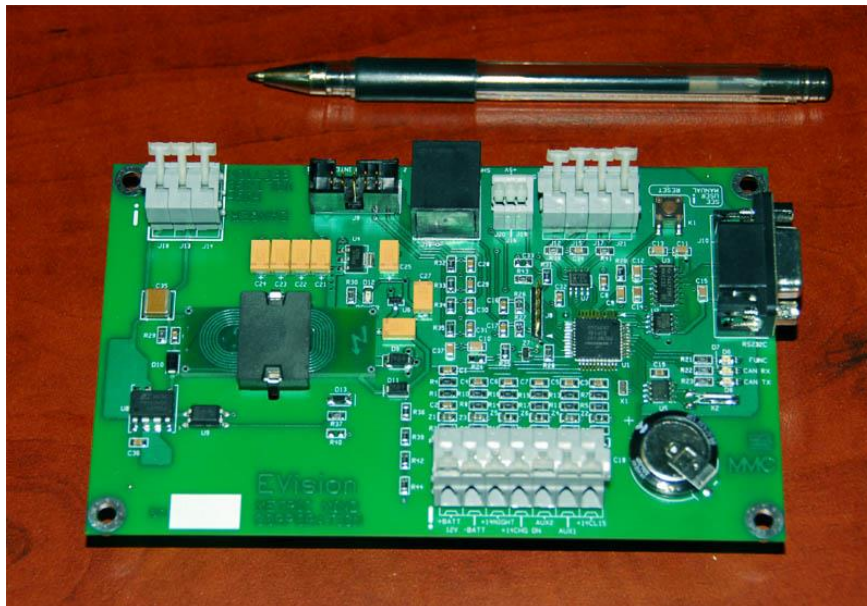


Fig. 21 – Unidade principal do sistema de medida *EVision*®.

Para determinadas funções como por exemplo a apresentação da velocidade é necessário aplicação de um sensor adicional que liga nesta placa.

A amostragem da corrente do sistema propulsor para este kit de medição é estabelecida graças à PCB seguinte:

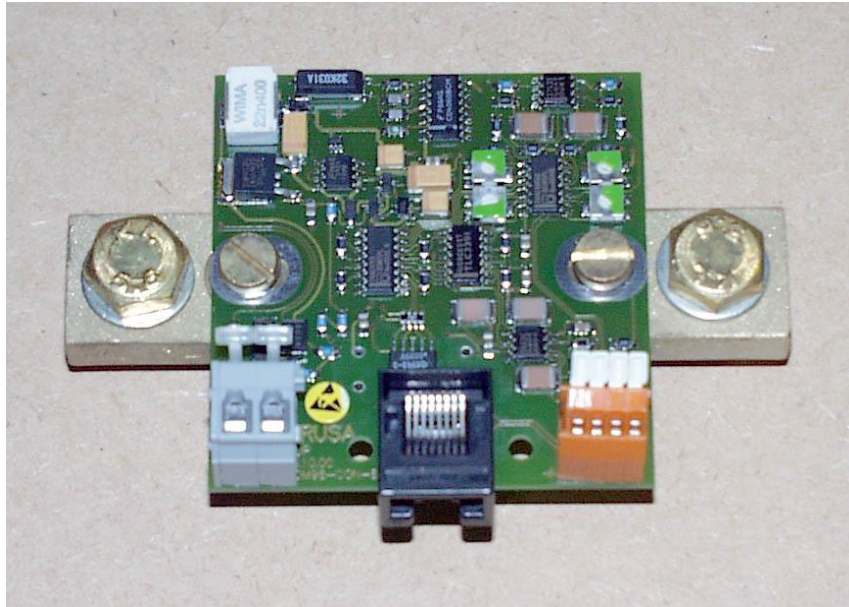


Fig. 22 – Amperímetro do sistema de accionamento eléctrico.

A comunicação entre os sub-blocos é estabelecida via CAN Bus.

Para a visualização dos valores medidos, existe o *display* multifunções que tem o seguinte aspecto:



Fig. 23 – Display *EVision*®.

O Kit de monitorização fica instalado no *tablier* do veículo, junto ao painel de instrumentos.

7.5 Instalação do Inversor

O inversor é o componente principal do sistema eléctrico do carro. Tem como função essencial converter a tensão DC fornecida pelas baterias em tensão AC necessária ao funcionamento do motor eléctrico. É com este componente que interagem todos os elementos integrados na conversão do veículo como ilustra a seguinte figura:

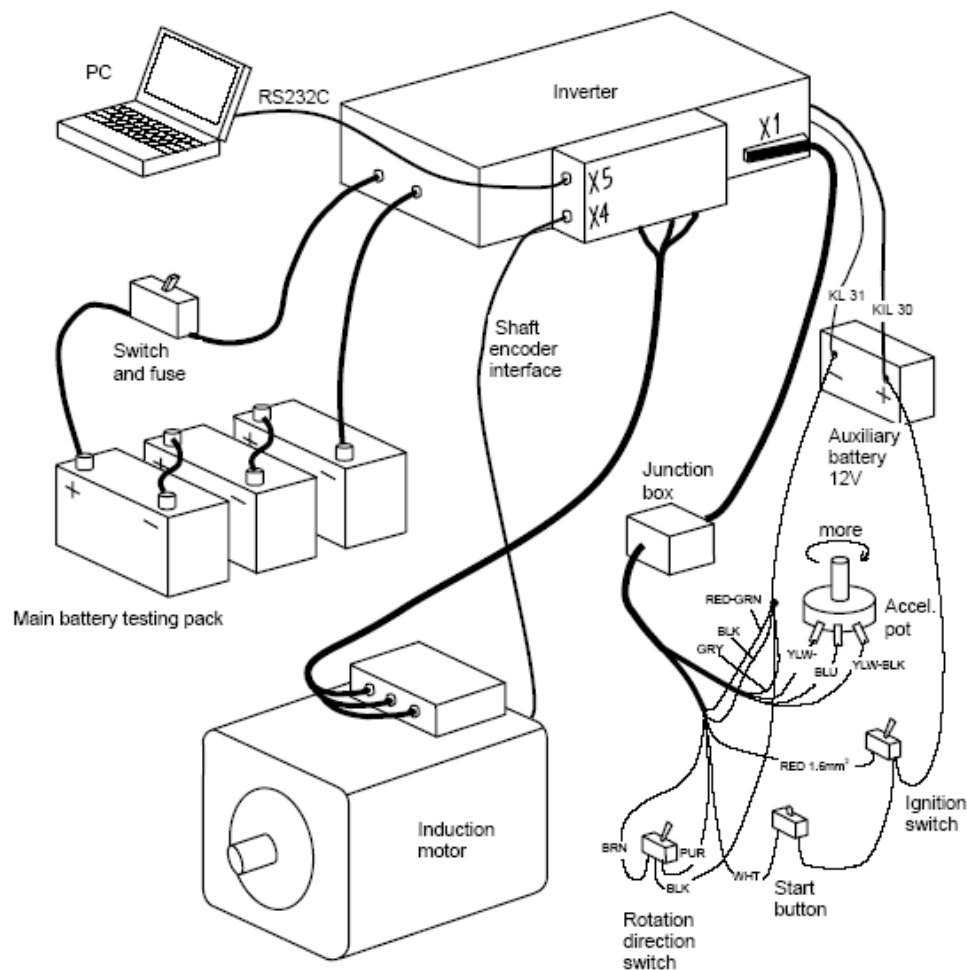


Fig. 24– Diagrama geral do Simover.

O inversor é programável e a ligação é estabelecida via RS232.

Permite a configuração de uma larga variedade de parâmetros entre os quais se incluem programação da rampa de aceleração, configuração dos limites de temperatura de funcionamento do ventilador do radiador, limite da velocidade máxima, entre outros.

Este inversor necessita de uma bateria de 12V auxiliar. Tem o objectivo de manter o módulo de controlo em funcionamento para o caso de ser necessário isolar o circuito de potência devido a qualquer tipo de anomalia (tipo curto-circuito ou sobreaquecimento).

É nesta bateria que ligam todos os circuitos habituais presentes no veículo, como por exemplo luzes, piscas, vidros eléctricos, fecho central, bombas de vácuo e circulação de água. A carga desta bateria é feita controladamente por meio do conversor DC-DC integrado no próprio inversor e que substitui o tradicional alternador presente no motor de combustão. Este conversor fornece até 60A contínuos. Para a carga da bateria auxiliar, a energia é proveniente do grupo baterias de 120V da parte da potência.

7.6 Esquema eléctrico geral

Nesta secção é destacado o esquema eléctrico geral do veículo:

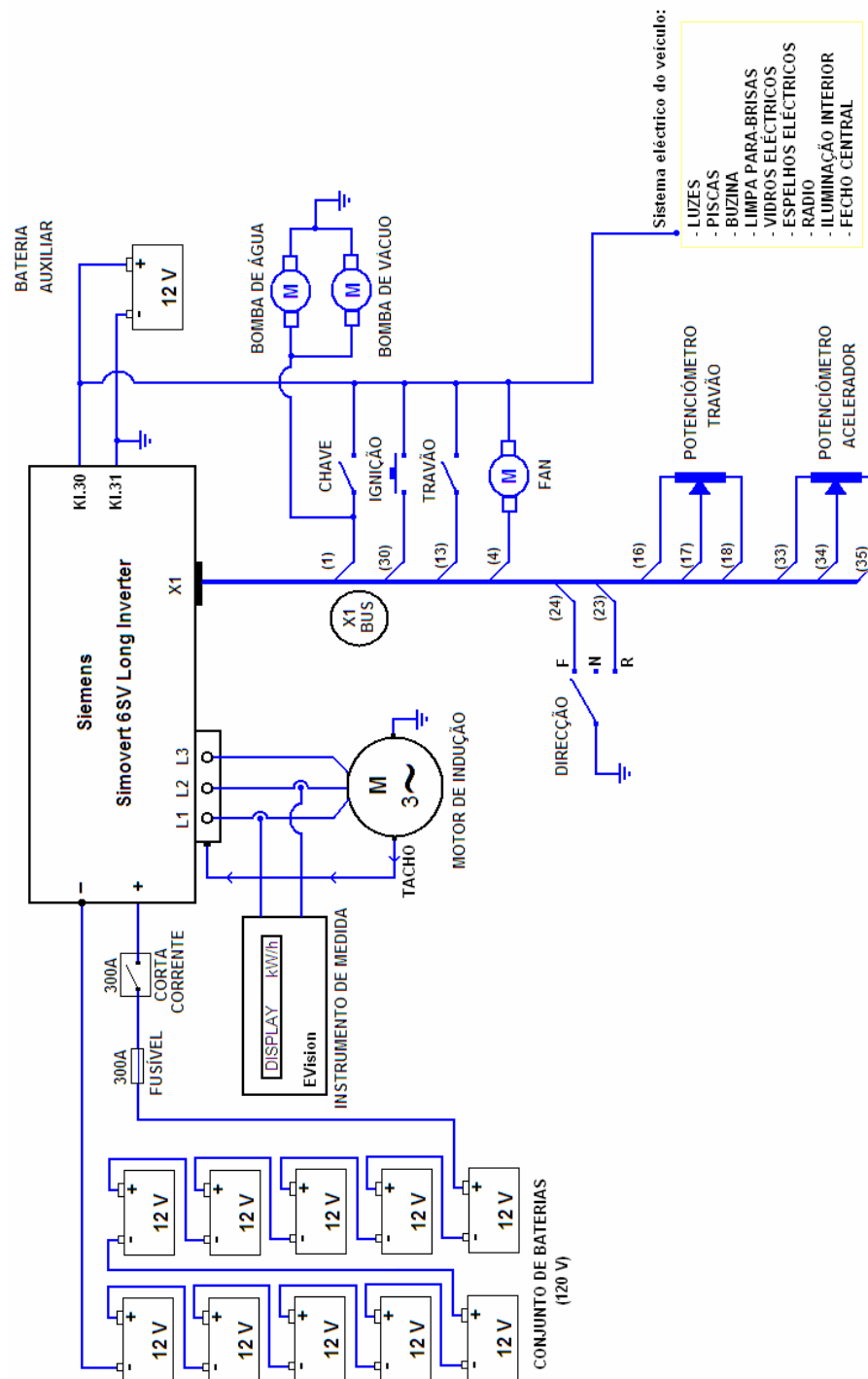


Fig. 25– Esquema eléctrico geral.

O inversor possui um barramento lógico denominado X_1 , serve de interface entre os diversos componentes e o controlador do inversor. Neste ligam os potenciômetros de aceleração e travagem, liga também o ventilador de refrigeração do radiador que é acitvado por um sensor de temperatura, o *SWITCH* de selecção de sentido de marcha (frente e ré) e ainda o contacto que indica ao controlador quando o pedal do travão é pressionado.

O pino 1 do barramento X_1 recebe a informação de quando a chave esta na posição intermédia, permitido assim a utilização de alguns recursos do carro (como rádio, vidros eléctricos, entre outros). A activação do pino 30 (ou ignição) corresponde à última posição da chave (ou START) de um carro tradicional, após esta condição basta acelerar para o veículo entrar em movimento, como nos veículos habituais.

O dispositivo denominado no esquema por "TACHO" (tacogerador) é um sensor de velocidade acoplado directamente ao eixo do motor. Tem função de comunicar ao inversor a velocidade de rotação em cada instante (ou seja, função de *feedback*) para que o algoritmo calcule as correntes ideais a injectar na máquina para controlo óptimo. Assim sendo, é fechado o anel estabelecendo desta forma um controlo em malha fechada (*closed loop*) como descrito no anexo 1, secção 1.2.

Em termos de secções dos cabos, o grupo de baterias para o sistema de accionamento de potência (120 V) encontra-se ligado ao inversor com uma secção de 50 mm², já o cabo para a bateria auxiliar é de apenas 16 mm² porque os circuitos que de lá derivam não obrigam a circulação de correntes elevadas. Os circuitos de comando (*switchs*, potenciômetros, etc) tem secção de 1.5mm², porque transportam apenas sinais.

Para o motor foram aplicados cabos com secção de 6mm².

No diagrama da página anterior, aos terminais do conjunto de baterias 120 V não foi referido o correspondente carregador, uma vez que é um elemento do sistema de armazenamento de energia e está a cargo de outro grupo envolvido neste mesmo projecto.

8. Conclusão

O trabalho desenvolvido no âmbito da disciplina de projecto do 5º ano, pretendeu conceber um Veículo Eléctrico Puro (VEP) alimentado exclusivamente a baterias, para tal utilizou-se uma carroçaria de um veículo de combustão existente como base do nosso projecto.

Durante o processo de conversão do veículo de combustão, deparámo-nos com diversas etapas de dificuldade variada. Começando com a escolha dos componentes devido à falta de fornecedores nacionais deste tipo de material. Desta forma foi necessário fazer encomenda a fornecedores fora do espaço nacional, em que os tempos de entrega eram mais alargados.

Um dos pontos mais críticos de toda a conversão foi o acoplamento do motor à caixa de velocidades, pois foi necessário criar peças de adaptação, recorrendo a torneiros mecânicos especializados na área.

A elaboração deste projecto permitiu-nos aquisição de alguns conhecimentos profundos de propulsão eléctrica, variadores electrónicos de velocidade, sistemas de armazenamento de energia, mecânica, electrónica e todas as áreas que lhe estão associadas.

A execução deste trabalho permite disponibilizar uma ferramenta de estudo à viabilidade dos veículos eléctricos para futuros desenvolvimentos.

Concluiu-se que este evento pela sua dimensão e pelos objectivos propostos tem todas as possibilidades de continuar a ser uma referência para os alunos do DEE da ESTV.

É de salientar que a maior parte dos objectivos inicialmente propostos foram atingidos, tendo mesmo alguns sido superados muito pela positiva. E também graças ao facto de este evento ter tido um considerável número de participantes, é possível afirmar o sucesso desta iniciativa do nosso departamento.

9. Bibliografia e Referencias

- [1] – António, Marco; "Quando o Petróleo acabar?"; <http://turboonline.clix.pt/default.asp?CpContentId=327101>; acedido em 31/10/2006.
- [2] – Delgado, Joaquim; "Mobilidade automóvel no século XXI – O hidrogénio não constitui a melhor alternativa"; <http://turboonline.clix.pt/default.asp?CpContentId=327145&PageNr=2>; acedido em 31/10/2006.
- [3] – Farias, Tiago; "O automóvel do futuro é eléctrico"; <http://turboonline.clix.pt/default.asp?CpContentId=327204>; acedido em 31/10/2006.
- [4] - "Veículos Eléctricos"; <http://www.eficiencia-energetica.com/html/ve/ve.htm>; acedido em 5/11/2006.
- [5] – "O que são os Veículos Eléctricos rodoviários?"; <http://www.apve.pt/contento1.asp?treeID=07&categoriaID=6>; 20/11/2006.
- [6] – "FAQ about AC drive systems"; <http://www.metricmind.com/index1.htm>; Acedido em 17/12/2006.
- [7] – "Vantagens do uso de motor CA em relação em comparação com o motor CC e sistemas de variação de velocidade"; www.tecnaut.com.br/utilidades/VANTAGENS%20DO%20USO%20DE%20MOTOR%20CA.doc
Acedido em 21/08/2007.
- [8] – Datasheet do Simovert 6SV do fabricante Siemens.
- [9] – **Oficina e Cia; "Hidrovácuo";** www.oficinaecia.com.br/bibliadocarro/biblia.asp?status=visualizar&cod=109 Acedido em 22/08/2007
- [10] – <http://www.metricmind.com>
- [11] – <http://www.evisol.com>
- [12] – <http://jerryrig.com/convert/>
- [13] – <http://www.electroauto.com/>
- [14] – http://www.metricmind.com/ac_honda/main2.htm
- [15] – http://www.evadc.org/build_an_ev.html
- [16] – <http://www.evworld.com/>
- [17] – <http://www.cameronsoftware.com/ev/Welcome.html>
- [18] – <http://www.kiwi-ev.com>
- [19] – <http://www.elsportbilen.se/>

ANEXO 1

Implementação de um Veículo Eléctrico Puro na ESTV

Sistemas de Condicionamento de Potência

ÍNDICE

<u>1.</u>	<u>TECNOLOGIAS DE CONDICIONAMENTO DE POTÊNCIA</u>	49
<u>1.1.</u>	<u>CONTROLADORES DE MALHA ABERTA</u>	49
<u>1.2.</u>	<u>CONTROLADORES EM MALHA FECHADA</u>	52
<u>1.3.</u>	<u>CONTROLADORES VECTORIAIS</u>	1
<u>2.</u>	<u>BIBLIOGRAFIA E REFERENCIAS</u>	6

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1– Controlador em Malha Aberta.	50
Fig. 2– Controlador Siemens Simotion.	50
Fig. 3- Controlador em Malha Fechada	53
Fig. 4– Controlador Simovert 6SV.	53
Fig. 5- Diagrama de blocos do controlo SVPWM.	2

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações técnicas do inversor Simotion	51
Tabela 2 – Especificações técnicas do inversor Simovert 6SV	53
Tabela 3 – Especificações técnicas do Inversor Piktronik SAC40	5

1. TECNOLOGIAS DE CONDICIONAMENTO DE POTÊNCIA

1.1. CONTROLADORES DE MALHA ABERTA

Fabricante: Curtis Instruments, Inc.

Web Link: <http://www.curtisinstruments.com>

Outros Contactos: 200 Kisco Avenue

Mt. Kisco, New York 10549 USA

Tel. 914.666.2971

Fax. 914.666.2188

Um controlador OPEN LOOP (malha aberta), também reconhecido como controlador sem *feedback* é um controlador no qual se introduz no sistema um estado que depende do modelo do sistema.

Uma característica do controlador em malha aberta é que ele não usa realimentação para determinar se a entrada colocada atingiu o alvo pretendido. Significa que os controladores OPEN LOOP não observam a saída do processo que se está a controlar. Desta forma, um sistema OPEN LOOP não pode corrigir algum erro que venha a surgir no processo. Da mesma forma não pode compensar os ruídos introduzidos no sistema.

O controlo OPEN LOOP geralmente implementa-se em sistemas bem definidos onde o relacionamento entre a entrada e o estado resultante pode ser modelado por uma fórmula matemática.

Exemplo: Para determinar a tensão a aplicar na alimentação de uma máquina eléctrica que tracciona uma carga constante, de forma a obter-se a velocidade desejada pode-se aplicar um controlo em malha aberta. Se a carga não for previsível, pode acontecer que a velocidade varie em função da carga. Se for o caso, o controlo em malha aberta não é suficiente para assegurar controlo preciso da velocidade.

Um controlador OPEN LOOP, é geralmente usado em processos simples por causa da sua simplicidade de implementação e são os mais baratos, especialmente em sistemas onde o *feedback* não é crítico.

No caso do controlo de velocidade de um carro eléctrico, e uma vez que não é necessário elevada precisão da rotação do motor, considera-se que usar inversores com esta topologia seja uma hipótese viável uma vez que são os que tem custo mais reduzido e menos complexos, tornando-se os mais fáceis de implementar.

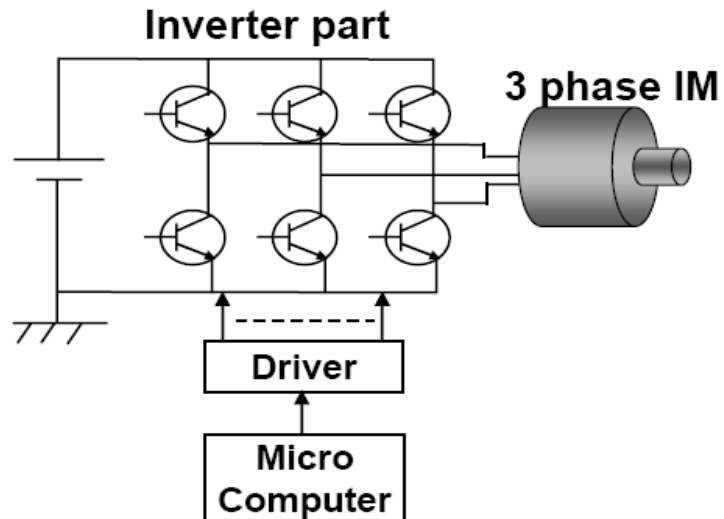


Fig. 26– Controlador em Malha Aberta.

Para se obter um controlo mais exacto, preciso e adaptativo é necessário retirar uma amostra da saída do sistema e colocá-la de novo num comparador à entrada, resultando um novo modelo: Este tipo é designado por controlo em malha fechada [1].

Soluções disponíveis em 2007

- Curtis 1231C



Fig. 27– Controlador DC Curtis 1231C.

Tabela 5 – Especificações técnicas do Curtis 1231C

Potência Máxima	72 kW
Gama de tensão de entrada	96 - 144 VDC
Máxima corrente saída	500A
Frequência de modulação	1.5 – 15kHz
Peso	8.6 kg
Dimensões físicas	33.8 x 21.8 x 9.4

[Fonte: <http://www.canev.com/KitsComp/Components/Controller.html>].

1.2. CONTROLADORES EM MALHA FECHADA

Fabricante: Evisol

Web Link: <http://www.Evisol.com>

Outros Contactos: Evisol B.V.

Röntgenweg 16d

6101XN Echt, The Netherlands

Para evitar os problemas apresentados pelo controlo OPEN LOOP, a teoria do controlo introduz a realimentação. Um controlador em malha fechada usa realimentação para controlar estados ou saídas de um sistema dinâmico. O nome surge da informação proveniente do sistema: Entradas ou alimentação (Tensão a aplicar ao motor eléctrico) têm influência sobre as saídas (velocidade e binário do motor), que são medidas por sensores e processadas pelo controlador. O resultado é um sinal que é usado como entrada do processo, fechando o anel.

Num veículo eléctrico, os sensores podem ser tacómetros, encoders ou mesmo sensores de efeito de Hall acoplados no eixo, com finalidade de medir velocidade e / ou posição.

Os controladores CLOSED LOOP trazem algumas vantagens sobre os de malha aberta, dos quais se destacam:

- ✓ Desempenho garantido mesmo quando o processo real e os parâmetros do modelo não são exactos;
- ✓ Um processo instável pode ser estabilizado;
- ✓ Redução da sensibilidade a variações de parâmetros.

Aplicando este modelo em carros eléctricos, é sabido que são necessários sensores adicionais, fazendo com que o sistema se torne mais caro e de implementação mais complexa [2].

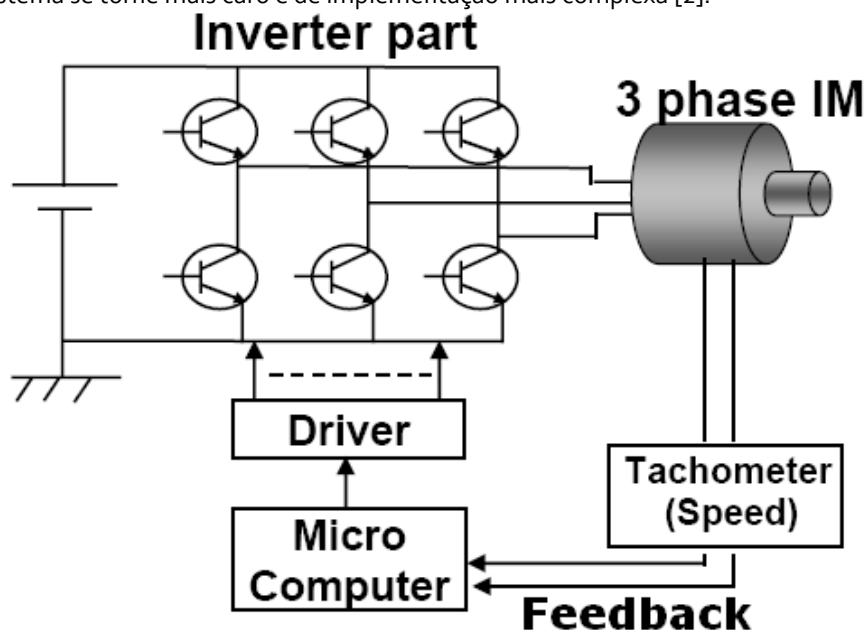


Fig. 28- Controlador em Malha Fechada

Soluções disponíveis em 2007

- Siemens Simovert 6SV



Fig. 29– Controlador Simovert 6SV.

Tabela 6 – Especificações técnicas do inversor Simovert 6SV

Potência Máxima	100 kW
Max tensão de Entrada	380 +/- 2%
Gama de tensão de entrada	65 - 155 VDC
Corrente de entrada	282 A
Frequência de modulação PWM	6KHz
Corrente Max. de saída (RMS/pico)	282/400 A
Eficiência	92%

[Fonte: <http://www.evisol.com>].

1.3. CONTROLADORES VECTORIAIS

Fabricante: - Piktronik d.o.o.

Web Link: - www.piktronik.com

Contacto: - Cesta k Tamu 17,2000 Maribor, Slovenia

Tel. +386 2 460 22 50

Para resolver o problema da complexidade introduzida pelos sensores existe o controlo vectorial, um modelo *sensorless*, que através de um processador de sinal consegue estimar a saída e assim obter-se um controlo global que se assemelhe ao controlo CLOSED LOOP.

Porquê usar controlo vectorial (SVPWM- Space Vector Pulse Width Modulation)?

Uma resposta antecipada: Para melhorar as qualidades do sistema.

Este módulo mostra como se pode controlar uma máquina assíncrona de tal forma que o seu comportamento se assemelhe ao de uma máquina de corrente contínua.

As estratégias de controlo requerem algoritmos tanto mais complexos quanto melhor for o desempenho desejado. Para tal temos de considerar algumas qualidades do sistema pretendido, como critérios de avaliação:

- Relação potencia / velocidade;
- O rendimento;
- A fiabilidade;
- Reacções sobre a rede (poluição harmónica).

Os métodos tradicionais, denominados de “escalares” controlam apenas a amplitude das grandezas e geralmente mantêm a relação U/I constante, na suposição de que as tensões e correntes do estátor são sinusoidais puras. Desta forma, consegue-se um controlo simples com um desempenho estático aceitável para uma boa parte das aplicações industriais, contudo este método não permite controlar:

- Os regimes dinâmicos - Os transitórios das tensões/correntes podem danificar os elementos de potencia, se não estiverem sobredimensionados;
- O rendimento da conversão da energia é degradado;
- As instabilidades – A associação baterias-conversor-motor-carga, sofre oscilações espontâneas do sistema.

Neste controlo, as estruturas de comando são específicas para os motores síncronos/assíncronos. Não se toma em consideração a interacção entre as 3 fases – o controlo é feito sobre as fases separadamente, mas não sobre o sistema no seu conjunto.

O Controlo vectorial é um método de controlo que implementa uma nova visão da máquina e dos seus modelos dinâmicos.

As principais características são:

- A utilização de “vectores espaciais”, cujas projecções são as variáveis trifásicas.
- Transformação do sistema trifásico variável no tempo e na velocidade num sistema difásico invariável.
- Desacoplamento entre as 2 grandezas essenciais da máquina assíncrona: fluxo e binário electromagnético.

O controlo vectorial ultrapassa as desvantagens mencionadas para o controlo $U/F = \text{constante}$ e pode assegurar elevados desempenhos dinâmicos e de conversão energética.

O controlo vectorial utiliza também um modelo da máquina num referencial tal que a ortogonalidade entre o fluxo e a componente activa da corrente seja mantida [3].

As funções essenciais que a estrutura de comando vectorial desempenha de forma a controlar o binário da máquina são:

- Gerar as funções de controlo do fluxo e o binário que, partindo das referências, definirão as referências das correntes transformadas.
- Implementar o controlo das correntes transformadas de forma a assegurar o seguimento das referências.
- Assegurar a transformação entre as referências, permitindo assim agir sobre as grandezas eléctricas reais, através de um conversor estático, normalmente um ondulador de tensão.
- Determinar a posição do fluxo

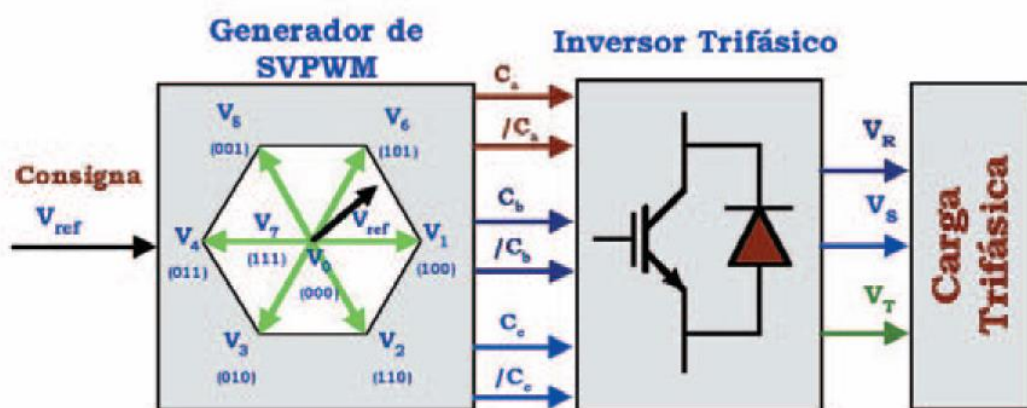


Fig. 30- Diagrama de blocos do controlo SVPWM.
[Referencia: www.e-lee.net]

Tendências para optimização de controlo

As novas tendências para soluções de controlo vectorial são variadas entre as quais se incluem:

- Supressão de sensores dinâmicos. Os respectivos métodos são designados de "Sensorless" (sem sensor) e necessitam de cálculo em tempo real de elevado desempenho para os processos de comando, o que requer a utilização de processadores digitais de sinal (DSP) o que os torna mais dispendiosos.
- Estimação do fluxo tendo em conta as perturbações aleatória (estimador / *filtro de Kalman*).
- Obtenção de um comando robusto, adaptativo e óptimo segundo diferentes critérios de desempenho.
- Desenvolvimento de técnicas não-convencionais: fuzzy, por modo de deslizamento, com redes neuronais.

Este sistema de controlo é já amplamente utilizado em aplicações industriais onde se necessita de alta precisão de accionamento (em velocidade e binário) com recurso a máquinas de indução assíncronas. Para os veículos eléctricos não se conhecem aplicações até ao momento e também não há a necessidade de sistemas com esta performance devido ao papel do ser humano (ele sabe quando deve actuar no sistema, acelerar ou travar) sobre o processo.

Os custos associados a esta solução tecnológica são de uma ordem de grandeza do dobro dos praticados pelos sistemas com realimentação referida na secção 1.2.

Soluções disponíveis em 2007

- Piktronik SAC40



Fig. 31 – Piktronic SAC40

Tabela 7 – Especificações técnicas do Inversor Piktronik SAC40

Potência Máxima	100 kW
Max tensão de Entrada	300 VDC
Gama de tensão de entrada	96 – 300 VDC
Corrente de entrada	280 A
Interface	CAN Bus & RS232
Programação	PC Software sobre RS232
Dimensões (CxLxA)	34x25x14 cm
Peso	11 kg

[Fonte: <http://www.piktronik.com>].

2. BIBLIOGRAFIA E REFERENCIAS

[1] - http://en.wikipedia.org/wiki/Open-loop_controller;

[2] - http://en.wikipedia.org/wiki/Control_theory;

[3] – <http://www.e-lee.net>.

ANEXO 2

Implementação de um Veículo Eléctrico Puro na ESTV

Sistemas de Accionamento Eléctrico

ÍNDICE

<u>1.</u>	<u>TECNOLOGIAS DE ACCIONAMENTO DE ELÉCTRICO</u>	11
<u>1.1.</u>	<u>MÁQUINAS DE CORRENTE CONTÍNUA</u>	11
<u>1.1.1.</u>	<u>MOTORES BRUSHLESS (ÍMANES PERMANENTES)</u>	11
<u>1.2.1.</u>	<u>MÁQUINAS ASSÍNCRONAS (DE INDUÇÃO)</u>	13
<u>1.2.1.1.</u>	<u>ROTOR EM GAIOLA DE ESQUILO</u>	13
<u>1.2.1.2.</u>	<u>ROTOR BOBINADO</u>	14
<u>1.2.2.</u>	<u>MÁQUINAS SINCRONAS</u>	15
<u>1.3.</u>	<u>MOTORES LINEARES: <i>DIRECT DRIVES</i></u>	17
<u>1.4.</u>	<u>MÁQUINAS DE ALTO RENDIMENTO</u>	21
<u>1.4.1.</u>	<u>MOTORES DE ALTO RENDIMENTO DE CORRENTE CONTINUA</u>	23
<u>1.4.2.</u>	<u>MOTORES DE ALTO RENDIMENTO DE CORRENTE ALTERNADA</u>	24
<u>2.</u>	<u>BIBLIOGRAFIA E REFERENCIAS</u>	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Constituição de um motor Brushless	11
Fig. 2 – Representação esquemática da maquina síncrona	16
Fig. 3- Elementos de um Direct Drive fabricados pela Toyo Denky Seizo	17
Fig. 4– Componentes do motor eléctrico de acoplamento directo na roda.	19
Fig. 5– Máquina de alto rendimento	21
Fig. 6 – Máquina de indução de alto rendimento vs standard	22
Fig. 7– Motor impulse 9	23
Fig. 8 – Motor 1LH5118 da siemens	24
Fig. 9– Motor ASM6.17.12 da Brusa	25
Fig. 10 – Motor ACW-80-4 da Siemens	26

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações técnicas do motor Impulse 9	23
Tabela 2 – Especificações técnicas do Motor 1LH5118	24
Tabela 3 – Especificações técnicas do Motor ASM6.17.12	25
Tabela 4– Especificações técnicas do Motor ACW-80-4	26

3. TECNOLOGIAS DE ACCIONAMENTO DE ELÉCTRICO

3.1. MÁQUINAS DE CORRENTE CONTÍNUA

3.1.1. MOTORES BRUSHLESS (ÍMANES PERMANENTES)

Os motores Brushless são um tipo de máquinas hoje preponderante no accionamento em DC na indústria. Usam-se em aplicações desde o domínio de consumo doméstico, automação médica, industrial, equipamento de medição e até em aplicações aeroespaciais.

Este tipo de motores, não usam escovas para a comutação; em vez disso as correntes são comutadas electronicamente no estator, criando um campo girante que interage com o campo permanente do rotor, criado pelos ímanes.

Os motores Brushless apresentam grandes vantagens sobre os motores com escovas de corrente contínua e motores de indução, das quais se destacam as seguintes:

- ✓ Melhor característica velocidade vs binário;
- ✓ Elevada resposta dinâmica;
- ✓ Elevada eficiência;
- ✓ Longa vida útil;
- ✓ Operação silenciosa
- ✓ Superiores gamas de velocidade

Além disso, estas máquinas são mais compactas, devido às elevadas densidades de fluxo dos ímanes, fazendo com que seja uma escolha acertada em aplicações onde o espaço e o peso são factores críticos [1].

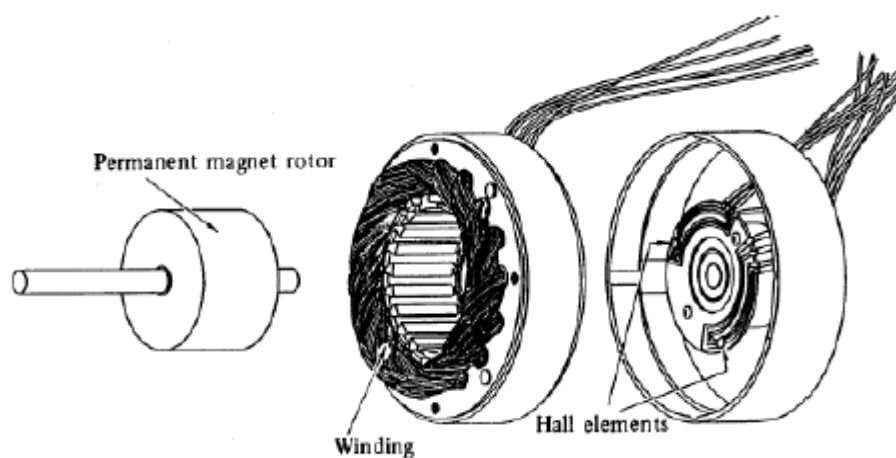


Fig. 32 – Constituição de um motor Brushless.

[Fonte: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis89.pdf>]

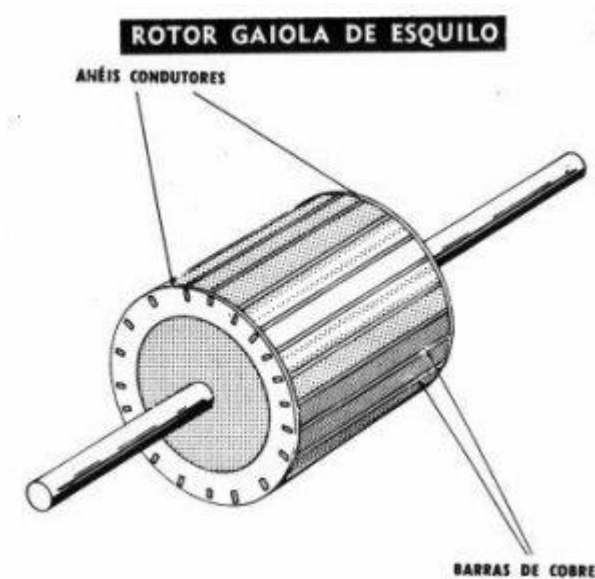
Actualmente os motores Brushless são encontrados em muitas aplicações como drives de CD e DVD, usados também na refrigeração dos PCs por meio de coolers (Ventiladores). Para baixa velocidade e baixa potência, os Motores Brushless são usados em direct-drive turntable (Gira-discos). Em alta potência são encontrados em veículos eléctricos e algumas maquinarias industriais [2].

3.2. MÁQUINAS DE CORRENTE ALTERNADA

3.2.1. MÁQUINAS ASSÍNCRONAS (DE INDUÇÃO)

O motor de indução é o tipo mais utilizado, tanto na indústria como no ambiente doméstico, devido à maioria dos sistemas actuais de distribuição de energia eléctrica serem de corrente alternada. O motor de indução divide-se em dois tipos, o motor com o rotor em gaiola de esquilo, e o motor de rotor bobinado.

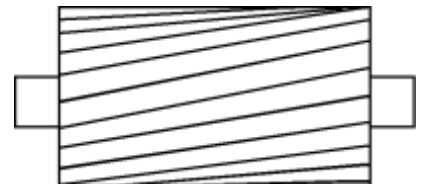
3.2.1.1. ROTOR EM GAIOLA DE ESQUILO



Este é o motor mais utilizado na indústria actualmente. Tem a vantagem de ser mais económico em relação aos motores monofásicos tanto na sua construção como na sua utilização. Além disso, escolhendo o método de arranque ideal, tem um leque muito maior de aplicações. Por isso, vamos analisar detalhadamente este motor. O rotor em gaiola de esquilo é constituído por um núcleo de chapas ferro magnéticas, isoladas entre si, sobre o qual são colocadas barras de alumínio (condutores), dispostos paralelamente entre si e unidas nas suas extremidades por dois anéis condutores, também em alumínio, que curto-circuitam os condutores (ver figura). O

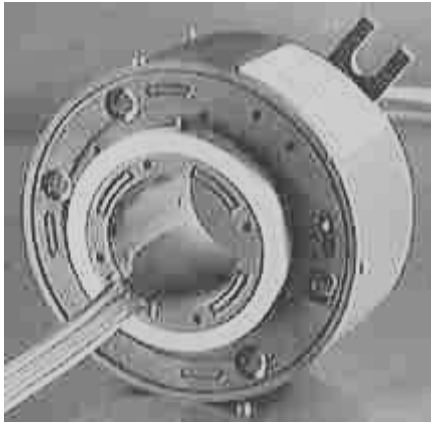
estator do motor é também constituído por um núcleo ferro magnético laminado, nas cavas do qual são colocados os enrolamentos alimentados pela rede de corrente alternada trifásica.

A vantagem deste rotor relativamente ao de rotor bobinado é que resulta numa construção do induzido mais rápida, mais prática e mais barato. Trata-se de um motor robusto, barato, de rápida produção, não exigindo colector (órgão sensível e caro) e de rápida ligação à rede.



De referir que as barras condutoras da gaiola são colocadas geralmente com uma certa inclinação, para evitar as trepidações e ruídos que resultam da acção electromagnética entre os dentes das cavas do estator e do rotor. A principal desvantagem refere-se ao facto de o binário de arranque ser reduzido em relação à corrente absorvida pelo estator. Trata-se essencialmente de um motor de velocidade constante [3].

3.2.1.2. ROTOR BOBINADO



O motor de rotor bobinado difere do motor de rotor em gaiola de esquilo apenas quanto ao rotor. O rotor é constituído por um núcleo ferro magnético laminado sobre o qual são alojadas as espiras que constituem o enrolamento trifásico, geralmente em estrela. Os três terminais livres de cada uma das bobinas do enrolamento trifásico são ligados a três anéis colectores. Estes três anéis ligam exteriormente a um reóstato de arranque constituído por três resistências variáveis, ligadas também em estrela. Deste modo os enrolamentos do rotor também ficam em circuito fechado.

A função do reóstato de arranque, ligado aos enrolamentos do rotor, é a de reduzir as correntes de arranque elevadas, no caso de motores de elevada potência. À medida que o motor vai ganhando velocidade, as resistências vão sendo progressivamente retiradas do circuito até ficarem curto-circuitadas (retiradas), quando o motor passa a funcionar no seu regime nominal. Desta forma, o motor de rotor bobinado também funciona com os elementos do rotor em curto-circuito (tal como o motor de rotor em gaiola de esquilo), quando atinge o seu regime nominal.

O motor de indução de rotor bobinado substitui o de rotor em gaiola de esquilo em potências muito elevadas devido ao abaixamento da corrente de arranque permitida pela configuração do rotor. Apesar de ser utilizados em casos com velocidades constantes de serviço, como referimos no último parágrafo, aplica-se preferencialmente quando as velocidades de serviço são variáveis [3].

3.2.2. MÁQUINAS SINCRONAS

As máquinas síncronas são utilizadas em sistemas de velocidade ajustável de grande potência. Para sistemas de pequena potência utilizam-se as suas variantes que resultam do uso de ímanes permanentes, as máquinas de ímanes permanentes, e do aproveitamento do efeito de relutância magnética, as máquinas síncronas de relutância.

O estator da máquina síncrona é constituído por um núcleo de material ferro magnético em forma de um tambor no interior do qual se encontram cavas onde se encontra instalado um enrolamento polifásico, normalmente trifásico. Este enrolamento constitui o induzido da máquina. O enrolamento do indutor encontra-se instalado no rotor que pode ser de pólos lisos ou de pólos salientes e é alimentado em corrente contínua. Normalmente existem também no rotor enrolamentos amortecedores que são realizados com condutores em curto-circuito.

Uma grande vantagem, característica desta máquina, resulta do facto de se poder ajustar o factor de potência às necessidades da aplicação. Esta característica não existe em regra nas outras máquinas.

Para ajustar a velocidade da máquina síncrona às necessidades da carga, será necessário actuar na frequência de alimentação utilizando para isso um conversor apropriado.

A variação de frequência da máquina síncrona deverá ser acompanhada de uma variação simultânea do valor eficaz da tensão aplicada ao estator.

Tal como na máquina de corrente contínua também agora se podem distinguir duas zonas de actuação. Na zona de binário máximo disponível, o fluxo do estator é mantido constante e a tensão de alimentação é variada proporcionalmente à velocidade de rotação. Este modo será estudado mais à frente. Na zona de enfraquecimento do campo a tensão aplicada mantém-se constante e reduz-se o fluxo actuando na corrente de excitação ou na componente da corrente do estator segundo a direcção longitudinal [4].

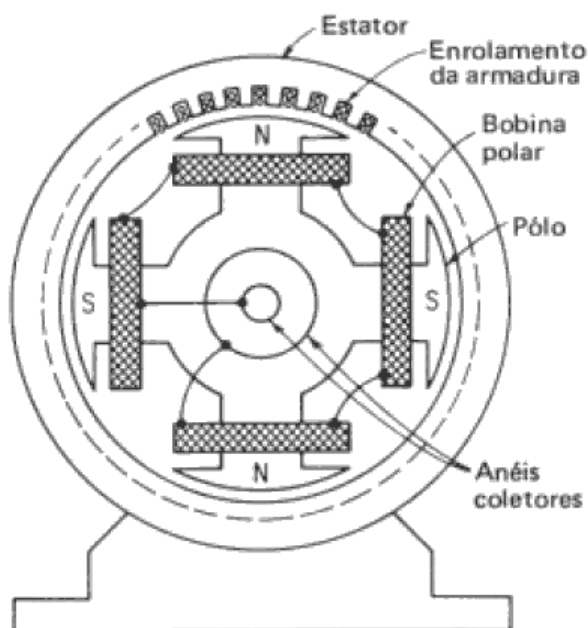


Fig. 33 – Representação esquemática da máquina síncrona
[Fonte: <http://www.ee.pucrs.br/~lpereira/ConversaoB/apost02.pdf>]

1.4. MOTORES LINEARES: *DIRECT DRIVES*

Uma categoria de motores em crescente popularidade para aplicações em sistemas de accionamento eléctrico na maquinaria em geral é os *Direct Drive Motors* (motores de accionamento directo)*. Dentro desta categoria são agrupados motores baseados em diferentes tecnologias, tais como relutância variável, DC de ímanes permanentes, AC de ímanes permanentes comutados electronicamente. Tendo em comum o facto de poderem ser acoplados directamente à carga, não necessitam de sistema redutor, e possibilitam baixas velocidades de rotação, velocidades a partir do zero. Isto aliado à elevada precisão de posicionamento de alguns destes motores, ao elevado binário e reduzidas dimensões tornam-nos os motores de excelência do futuro.

Constituição de um Direct Drive:

Genericamente, um Direct Drive de ímanes permanentes é constituído pelos seguintes elementos:

- Rotor de aço com ímanes permanentes;
- Bobinas do estátor;
- Estátor laminado incorporando os enrolamentos e fixo à carcaça externa;

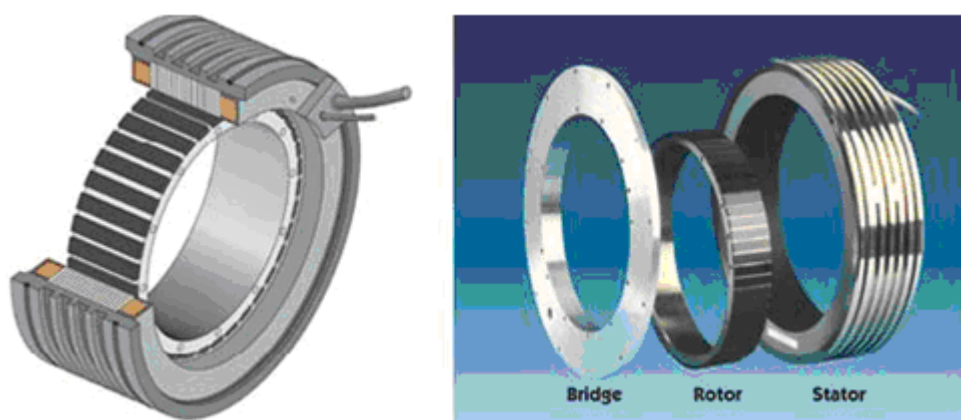


Fig. 34- Elementos de um Direct Drive fabricados pela Toyo Denky Seizo

A carcaça poderá incorporar um circuito de refrigeração a ar, água ou líquido refrigerante.

Os Motores de accionamento directo (Direct Drive) são motores de características técnicas diferentes dos motores tradicionais.

Estes motores disponibilizam à carga um elevado binário e velocidades que podem variar desde zero até milhares de r.p.m.

* Variante do motor linear

Implementação de um Veículo Eléctrico Puro (VEP) na ESTV

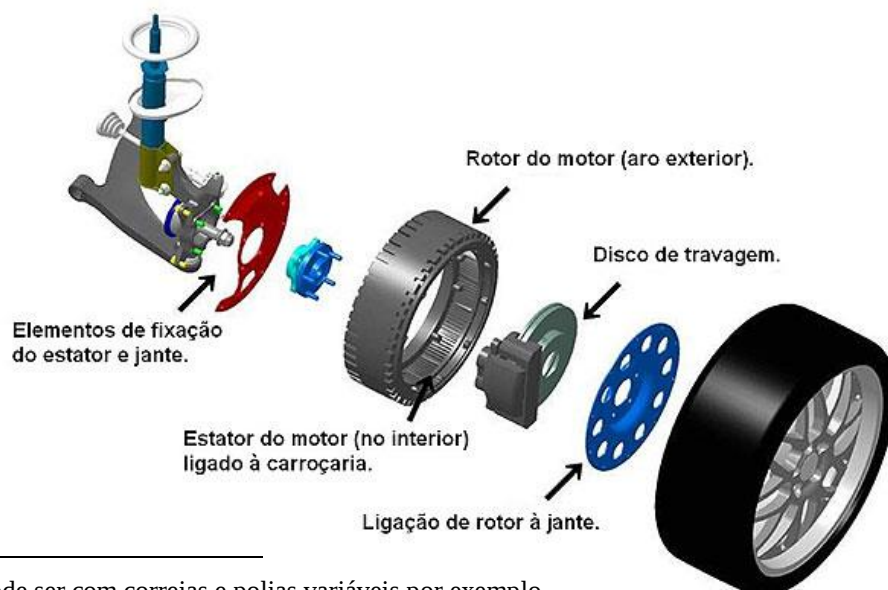
Alguns não têm rolamentos e são suportados na estrutura da própria máquina em que se encontram inseridos, tem relações relativamente grandes diâmetro-comprimento tendo por resultado um motor com perfil baixo em forma de anel, estando disponíveis com um eixo sólido ou oco.

São motores síncronos e possuem um número relativamente elevado de pólos e existem para diferentes formas de alimentação: contínua, alternada, monofásicos, trifásicos. O ruído audível do motor é mais baixo do que de um motor tradicional.

Estes motores permitem eliminar o sistema redutor de velocidade para acoplamento à carga *, o que aumenta o desempenho dinâmico da máquina e permite:

- Redução do ruído produzido;
- Aumento da exactidão (10 vezes maior);
- Elevada precisão, receptibilidade e resolução;
- Redução de folgas e movimento suave;
- Simplificação do sistema em que são inseridos;
- Redução das dimensões do sistema e do número de peças constituintes;
- Elevada fiabilidade do sistema;
- Manutenção reduzida;
- Usáveis em condições de elevada exigência de limpeza uma vez que não são necessários lubrificantes.

Apesar de ter todas estas vantagens, este tipo de máquinas não deverá ser o eleito para a conversão do nosso veículo, uma vez que os *direct-drive* ainda têm elevados custos iniciais, que podem ser da ordem dos 30% aos 400% superiores ao custo dos sistemas convencionais, para além de ainda não haver no mercado exemplares que demonstrem os requisitos que façam com que seja uma solução a considerar; isto é, apenas se encontram disponíveis comercialmente modelos de pequena potência para pequenas aplicações [5].



* Porque pode ser com correias e polias variáveis por exemplo



Fig. 35– Componentes do motor eléctrico de acoplamento directo na roda.

[Fonte: <http://turboonline.clix.pt/default.asp?CpContentId=327145&PageNr=2>]

Futuramente aparecerão fabricantes a disponibilizar uma gama mais alargada deste tipo de máquinas, na qual se poderão encontrar *drives* como as usadas no veículo eléctrico Mitsubishi MIEV (fabricados pela Toyo Denky Seizo), que apresenta uma solução equilibrada para tracção de veículos.

Na linha da frente destes fabricantes encontra-se a Siemens VDO já a desenvolver um sistema de accionamento eléctrico que integra o sistema de propulsão (2), sistema de travagem (3), suspensão (4) e direcção (5) tudo num único bloco a aplicar directamente nas rodas dos veículos futuros. Este conceito é designado “eCorner”, é controlado electronicamente e traduz-se num aumento de segurança, melhor economia do combustível, para além de substituir o motor de combustão (menor ruído) e todos os sistemas associados (caixa de velocidades, transmissões, e diferenciais mecânicos) [6].



Fig. 36 – Conceito eCorner da Siemens VDO.

[Fonte: http://www.siemensvdo.com/products_solutions/cars/chassis-carbody/body_chassis_electronics/e-corner/]





1.5. MÁQUINAS DE ALTO RENDIMENTO

As máquinas de alto rendimento são motores que possuem rendimento superior ao das máquinas standard, apresentam perdas inferiores, reduz significativamente a temperatura de funcionamento, a necessidade de ventilação e consequente aumento de vida útil.

A eficiência energética é importante em aplicações contínuas e promove a racionalização do consumo, eliminando os desperdícios e reduzindo os custos.

As principais diferenças entre a máquina standard e a máquina de alto rendimento são as seguintes:

- ✓ **Maior quantidade de cobre** – reduz as perdas de efeito de Joule no estátor;
- ✓ **Chapa magnética com baixas perdas** – aço com maior permeabilidade magnética e com laminas mais finas;
- ✓ **Enrolamento de dupla camada** – Resulta em melhor dissipação de calor;
- ✓ **Rotores tratados termicamente** – Reduzem as perdas suplementares;
- ✓ **Região menor de entreferro** – Reduz também as perdas suplementares;
- ✓ **Ventoinha com menores dimensões.**

O custo inicial deste tipo de máquinas é mais elevado, no entanto essa diferença é amortizada pela redução na factura da energia eléctrica e pela diminuição dos custos de manutenção.

Vantagens:

- Alta economia de energia;
- Reduz as perdas em até 40%;
- Desempenho superior;
- Baixo aquecimento;
- Maior tempo de vida útil
- Menor manutenção;
- Preserva o meio ambiente;
- Maior capacidade de sobrecarga;
- Menor nível de ruído e vibração.

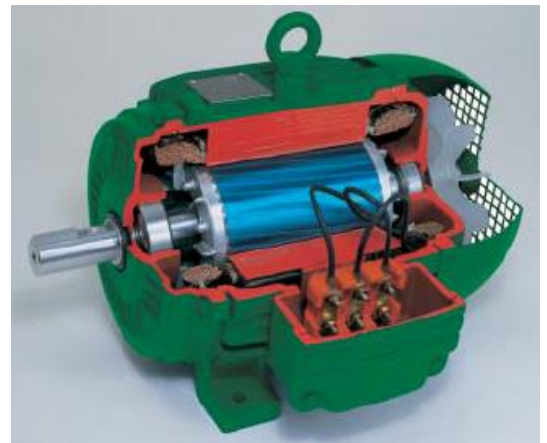


Fig. 37 – Máquina de alto rendimento



No gráfico seguinte apresenta-se uma representação do rendimento em função da potência, de um motor standard e um de alta eficiência:

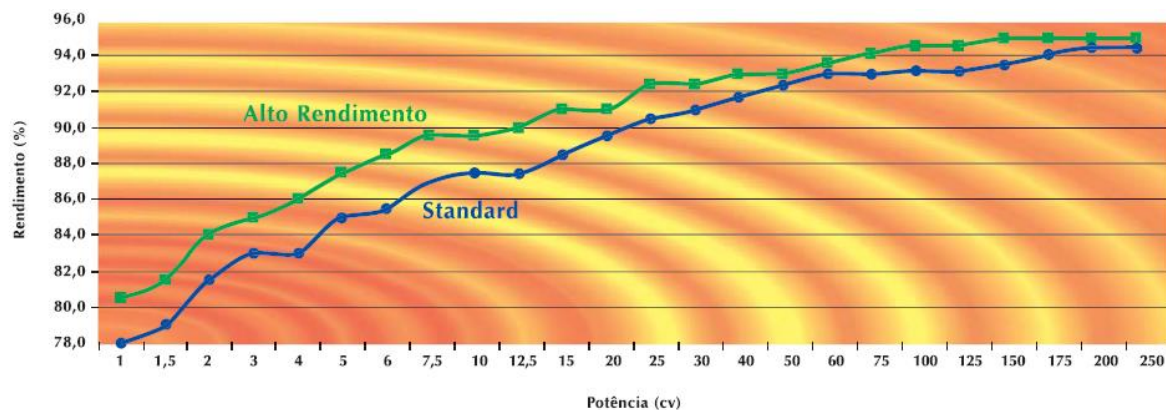


Fig. 38 – Máquina de indução de alto rendimento vs standard

[Fonte: www.procobre.org/pr/pdf/pdf_pr/o8.pdf]

Na escolha do tipo de motor para o nosso veículo eléctrico, se optarmos por uma política de eficiência energética, no uso de motores de alto rendimento, além de obtermos ganhos expressivos de energia (e dinheiro), contribuiremos para a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável [7].



1.5.1. MOTORES DE ALTO RENDIMENTO DE CORRENTE CONTÍNUA

Fabricante: NetGain Technologies, LLC

Web Link: <http://www.go-ev.com>

Outros Contactos: 900 North State Street – Suite 101

Lockport, IL 60441

630-243-9100

➤ Motor Impulse 9



Fig. 39– Motor impulse 9

Tabela 8 – Especificações técnicas do motor Impulse 9

Potência	29 kW
Binário	52 N.m
Velocidade	5500 RPM
Corrente de entrada	400 A
Tensão de entrada	72 V
Peso	59 kg
Eficiência	90%



1.5.2. MOTORES DE ALTO RENDIMENTO DE CORRENTE ALTERNADA

Fabricante: Siemens (MetricMind)

Web Link: <http://www.evisol.com>

Outros Contactos: Evisol B.V.

Röntgenweg 16d

6101XN Echt, The Netherlands

➤ Motor 1LH5118

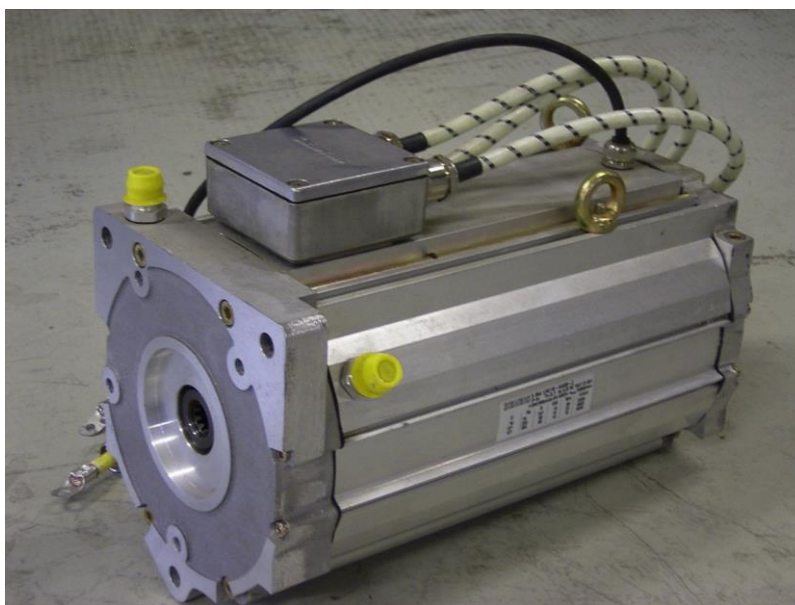


Fig. 40 – Motor 1LH5118 da Siemens.

Tabela 9 – Especificações técnicas do Motor 1LH5118

Potência nominal	15 kW
Potencia máxima	49.3 kW
Binário	65 N.m
Binário máximo	123 N.m
Velocidade	3500 – 10000 r.p.m.
Corrente de entrada	282 A
Tensão nominal	160V
Tensão máxima	380V
Refrigeração	Água (8l/min)
Eficiência	94%
Peso	41.5kg
Dimensões (LxAxP)	19.6x19.6x36 Cm

Fonte: (<http://www.metricmind.com/index1.htm>).

Fabricante: Brusa

Web Link: <http://www.Brusa.biz>

Outros Contactos: BRUSA Elektronik AG Neudorf 14
Postfach 55 CH-9466 Sennwald
Switzerland



➤ Motor ASM6.17.12



Fig. 41– Motor ASM6.17.12 da Brusa

Tabela 10 – Especificações técnicas do Motor ASM6.17.12

Potência	27 kW
Binário	65 N.m
Velocidade	4000 – 11000RPM
Corrente de entrada	351 A
Tensão de entrada	320 - 400 V
Peso	49 kg
Eficiência	94 %

Fonte: (http://www.brusa.biz/products/e_motor_asm6.17.12410.htm).

Fabricante: Siemens (MetricMind)

Web Link: <http://www.metricmind.com>

Outros Contactos: Metric Mind Engineering

9808 SE Derek Ct.

Happy Valley, OR 97086-7250

Tel. 503-680-0026

Fax. 503-774-4779

Email. ac@metricmind.com



➤ Motor ACW-80-4



Fig. 42 – Motor ACW-80-4 da Siemens

Tabela 11– Especificações técnicas do Motor ACW-80-4

Potência	21 kW
Binário	20 N.m
Velocidade	10000 – 12500 RPM
Corrente de entrada	212 A
Tensão de entrada	200 - 320 V
Peso	22 kg
Eficiência	-

Fonte: (<http://www.metricmind.com/index1.htm>).



4. BIBLIOGRAFIA E REFERENCIAS

[1] -

http://www.eetkorea.com/ARTICLES/2004MAY/2004MAY25_MSD_AN02.PDF?SOURCES=DOWNLOAD;

[2] - http://pt.wikipedia.org/wiki/Brushless_DC;

[3] - <http://www.cefetsc.edu.br/~vnoll/Motores%20de%20Inducao.htm#MotoresPolifasicos>;

[4] – Apontamentos da cadeira de Complementos de Máquinas Eléctricas do 4ºano de engenharia electrotécnica da ESTV.

[5] - www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasco/Motor%20direct%20drive.pdf;

[6] - http://www.siemensvdo.com/products_solutions/cars/chassis-carbody/body_chassis_electronics/e-corner/;

[7] - www.procobre.org/pr/pdf/pdf_pr/o8.pdf;

