



8

Modelo de Carrinho Fotovoltaico Construção e avaliação de desempenho

ÍNDICE

História gloriosa das corridas de carros solares	8-2
...e breve história dos carrinhos solares	8-3
Principalmente ... um trabalho de equipa	8-3
Princípios básicos de projecto	8-5
Módulo fotovoltaico	8-8
Estrutura e chassis	8-7
Motor, eixos, correias e engrenagens	8-10
Ideias para trabalhar na carroçaria , estrutura e chassis, guias, rodas, etc. (1/2)	8-14
Pista AIMSCC	8-15
Especificações de construção do carrinho	8-18
Para saber mais ...	8-22



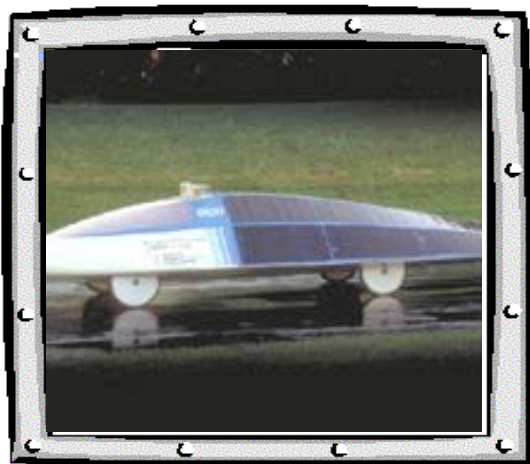
8

Gloriosa história das corridas de carros solares

- O desenvolvimento de **corridas de carros solares** remonta a 1980, quando dois australianos, Hans Tholstrup e Larry Perkins, construíram o primeiro carro movimentado pela energia solar.
- Em 1981, conduziram o **Quiet Achiever** (qualquer coisa como o *Empreendedor silencioso*) entre Perth e Sydney, numa travessia de 4500 km costa a costa. Demorou 20 dias à estonteante velocidade média de 20km/h !



• *Quiet achiever – 1983, Australia*



• *Suny racer – 1987, EUA*

- A primeira corrida oficial ocorreu na Suíça (1985) – a **Tour de Sol** – e tem-se repetido regularmente. Aquela que mais destaque deu a esta (nova) modalidade automobilística foi a **Word Solar Challenge** (1987), ligando Darwin a Adelaide, numa travessia de cerca de 3000km através do continente australiano. Nesse ano, o carro vencedor foi o **Suny racer** (EUA) com a duração de 44h54min, e a extraordinária velocidade média de 67 km/h

- Quase vinte anos depois, as corridas de carros solares já percorrem com regularidade as estradas do Japão, EUA, Austrália e Europa, anual a trianual.
- Na última prova do **Word Solar Challenge** (2003), venceu o **Nuna II** (Holanda), atingindo a velocidade de ponta de cerca de 160 km/h, pulverizando os tempos anteriores para 30h54min, naquela distância. Este veículo solar beneficiou de tecnologia espacial desenvolvida pela **Agência Espacial Europeia** (ESA) ao utilizar células fotovoltaicas de alto rendimento, iguais às que funcionam na Estação Espacial Internacional (ISS) em órbita na Terra.

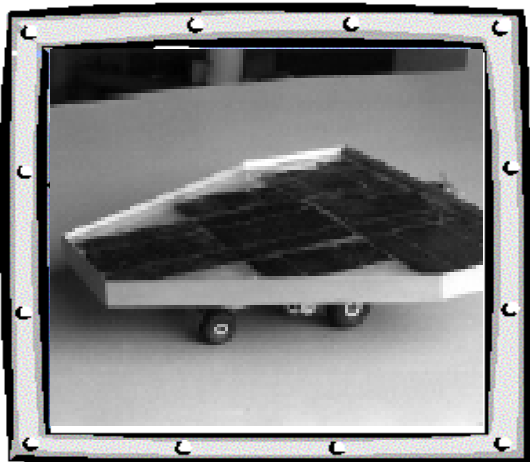


• *Nuna II – 2003, Holanda*



8

... e breve história dos carrinhos solares



• (talvez) o primeiro carrinho fotovoltaico - 1990, Austrália

• Desde o início do desenvolvimento de corridas de carrinhos solares que os **professores reconhecem**, particularmente os ligados às áreas das ciências e tecnologias, a oportunidade criada por um projecto educativo deste tipo.

• Existem inúmeros relatos de **grande motivação** e interesse pelas questões práticas ligadas aos modelos mas também à utilização de um recurso abundante e não poluente – a energia solar.

• Recorrendo a um conjunto mínimo de materiais, à **reutilização e reciclagem de componentes**, à concepção de novas peças e arrojados formas, os carrinhos solares fotovoltaicos ... Já estão na estrada !

• A participação nas corridas de carros solares inspirou alguns professores australianos, com destaque para Paul Wellington, a criar uma modalidade semelhante com **modelos** construídos por alunos do ensino básico.

• Foi assim que historicamente se realizou a primeira competição - o **Victorian Secondary Schools Model Solar Car Challenge** (1990), com a participação de carrinhos fotovoltaicos de 29 escolas (!), repetindo-se anualmente desde então.

• A corrida internacional de modelos de carrinhos fotovoltaicos ocorre trianualmente, para coincidir com o **World Solar Challenge** (o próximo é em 2006 ...)



• Corrida de carrinhos fotovoltaicos 2000, Austrália



8

Principalmente ... um trabalho de equipa

• A primeira ideia que surge na concepção de uma **corrida de carrinhos fotovoltaicos** é a de triunfar na competição. No entanto, o verdadeiro sentido ultrapassa a simples derrota ou vitória, num desafio que tem como *combustível* a conversão eléctrica da energia solar.

• A experiência obtida na **concepção e construção de um carrinho** com células solares fotovoltaicas pode ser muito enriquecedora para os jovens e para os professores da equipa.

• As ideias, conceitos e decisões tomadas neste âmbito podem contribuir para **complementar as actividades escolares** e inculcar o sentido de responsabilidade e de desafio em situações práticas.



Áreas curriculares a desenvolver

- **Tecnologia** – é essencialmente um projecto de concepção e construção.
- **Matemática** – alguns dos conceitos podem fazer sentido através de aplicação de fórmulas e interpretação de gráficos.
- **Ciências** – alguns conceitos físicos podem revelar-se muito importantes na concepção do protótipo. O recurso a experiências práticas deve ser o caminho para o desenvolvimento do método de trabalho.
- **Informática** – pode utilizar-se folhas de cálculo, gráficos e modelização simplificada.
- **Línguas e Comunicação** – pode estimular-se o recurso a informação disponível na Internet e a troca de informações por e-mail, assim como a preparação de relatórios e folhetos descritivos.
- **Ambiente** – o estudo e desenvolvimento de um veículo (embora pequeno) permitir compreender a utilização da energia renovável e a comparação com o consumo de combustíveis fósseis nos transportes, sector que ao nível do utilizador, é o que mais impacto causa no ambiente.

(alguns) Objectivos a atingir

- Compreender as funções das partes básicas de um **veículo**
- Compreender o funcionamento da célula fotovoltaica **sem perigo** de voltagem elevada
- Dinamizar a participação individual e colectiva a partir da **repartição de tarefas** na equipa
- Desenvolver o conceito de **eficiência** em diversos aspectos da construção do carrinho, devido à limitação de potência eléctrica imposta pelo funcionamento de células fotovoltaicas sujeitas ao recurso de energia solar variável ao longo do dia.





8

Princípios básicos de projecto (1/3)

A equipa defronta-se com duas possíveis abordagens na concepção do protótipo:

1. Construir um modelo de carrinho a energia solar

- Para algumas equipas, este objectivo é o mais importante a alcançar e corresponde aos meios técnicos e humanos à disposição na escola, a partir da **experiência** conseguida na montagem de componentes e no método de aprendizagem de tentativa-e-erro.

2. Construir um modelo de carrinho de corrida

- O desenvolvimento de um modelo de corrida deve levar a equipa a um grau mais avançado de concepção e desenvolvimento. O recurso aos testes de componentes e ao aperfeiçoamento da **performance** do carrinho obriga a um trabalho mais demorado e à procura de mais informação técnica.



Na prática, muitas escolas irão concerteza adoptar uma **abordagem mista**, à medida que o entusiasmo vai dando lugar à experiência e às verdadeiras possibilidades conseguidas com o seu protótipo.

Então qual é o primeiro conselho ? – Para ganhar a corrida o carrinho tem que **acelerar** o mais possível durante o **maior tempo** possível.

✓ **Carrinho mais leve possível**, senão o movimento passa a ser retardado !

✓ **$F = m \times a$: 2ª lei de Newton**

$a \sim m^{-1}$: aceleração é inversamente proporcional à massa

F = força (Newton)
m = massa (kg)
a = aceleração (m/s²)

✓ **Carrinho com reduzida resistência ao deslocamento**

✓ **$F_v \sim v_v^2$: a resistência ao deslocamento aumenta com o quadrado da velocidade do vento**

F_v = força de resistência ao vento (N)
 v_v = velocidade do vento = velocidade do carrinho (v) + velocidade do ar (m/s)





8

Princípios básicos de projecto (2/3)

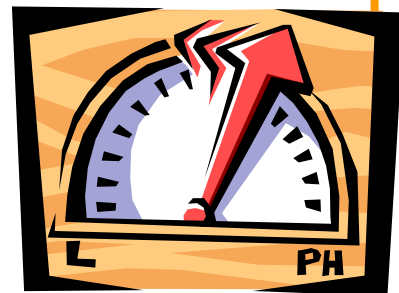
- ✓ **Carrinho com pouco atrito**, devido à resistência provocada pelo movimento das engrenagens, das rodas e o contacto dos pneus com a pista.
- ✓ As forças de atrito dependem das características das **superfícies em contacto** e da **massa do carrinho**, mas não dependem da área da superfície de contacto
- ✓ O **atrito de rolamento** é sempre menor que o atrito de escorregamento
- ✓ $F_a \sim v$: a força de atrito aumenta proporcionalmente com a velocidade do carrinho

F_a = força de atrito (N)
 v = velocidade do carrinho (m/s)

- ✓ **A resultante das forças limita a força de deslocamento do carrinho**

$$F_r = F_m - F_v - F_a$$

F_m = Força de impulso do motor (rodas) (N)
Se $F_v + F_a = F_m$ a aceleração do carrinho é nula.



- ✓ **O impulso a fornecer ao Carrinho está relacionado com a potência do motor**

- ✓ O **módulo de células fotovoltaicas** converte a radiação solar na máxima corrente eléctrica que alimenta o motor

$F_m = P / v$: a força de deslocamento do carrinho é proporcional à potência fornecida pelo motor

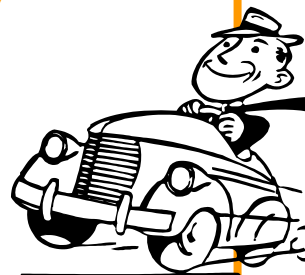
- ✓ Quando o carrinho **inicia** o movimento a potência do motor é baixa. Aumenta com o aumento de **velocidade** até atingir um certo limite máximo (depende do motor). Nestas condições, por mais que a velocidade aumente, a **potência tende a reduzir**.

F_m = impulso do motor através das rodas motoras (N)
 P = Potência fornecida pelo motor (Watt)
 v_v = velocidade de deslocamento do carrinho (m/s)



8

Princípios básicos de projecto (3/3)



- ✓ **Carrinho com pouco atrito**, devido à resistência provocada pelo movimento das engrenagens, das rodas e o contacto dos pneus com a pista.
- ✓ As forças de atrito dependem das características das **superfícies em contacto** e da **massa do carrinho**, mas não dependem da área da superfície de contacto
- ✓ O **atrito de rolamento** é sempre menor que o atrito de escorregamento
- ✓ **$F_a \sim v$** : a força de **atrito** aumenta proporcionalmente com a velocidade do carrinho

F_a = força de atrito (N)
 v = velocidade do carrinho (m/s)

✓ **O diâmetro das rodas** é calculado a partir do compromisso entre a velocidade do motor e a razão de desmultiplicação para um dada velocidade do carrinho.

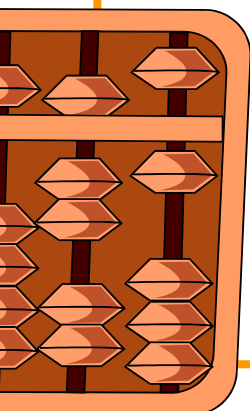
✓ **$M_v = vR' \pi d$** : é melhor começar por escolher um diâmetro

M_v = rotação do motor (rpm)
 v = velocidade do carrinho (m/s)
 R = razão de transmissão
 d = diâmetro da roda (mm)

✓ **As engrenagens** devem ter atrito reduzido (material plástico ou alumínio) e devem ser firmemente montadas no chassis ou num apoio rígido com o chassis.

✓ **As rodas** devem ter apoios rígidos ligados ao chassis e devem estar muito bem alinhadas com as engrenagens. Devem ser perfeitamente circulares (vale a pena caprichar) e possuir uma tira de borracha ou um pneu rígido embutido para minimizar o atrito por escorregamento. Testar diversas opções e escolher a melhor.

✓ **Os eixos** devem estar paralelos entre si e muito bem apoiados na perpendicular em relação ao chassis.



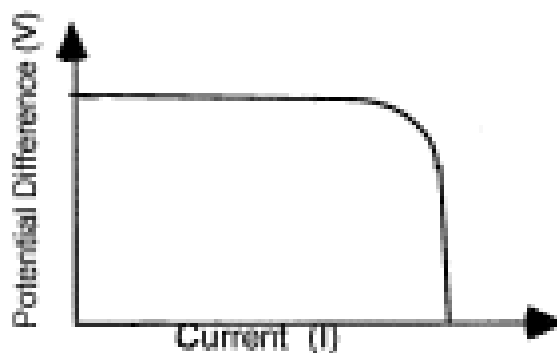


8

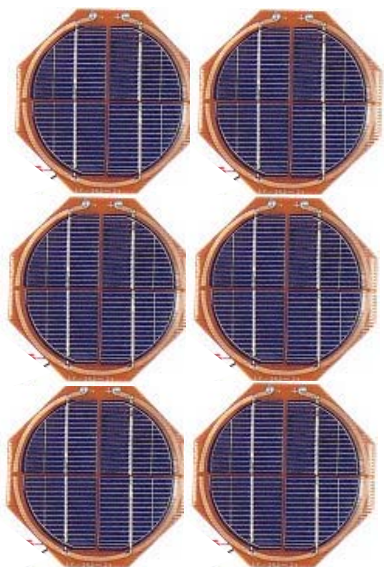
Módulo fotovoltaico (1/2)

Curva de variação de V v. I

A saída eléctrica do módulo fotovoltaico atinge um máximo para um determinado valor de resistência do circuito (neste caso o motor), em função da irradiação solar que ocorrer no momento (a máxima irradiação é prevista para o meio-dia solar). Para obter esse valor procede-se como descrito na



Experiência 2. Esta experiência permite traçar um gráfico que evidencia a medida do valor máximo de diferença de potencial para uma determinada intensidade de corrente, medida num circuito composto por um módulo fotovoltaico (ou apenas uma célula do módulo) ligado a uma resistência variável (ou resistências com diferentes valores), monitorizada simultaneamente, por um voltímetro e por um amperímetro.



Especificações da célula fotovoltaica

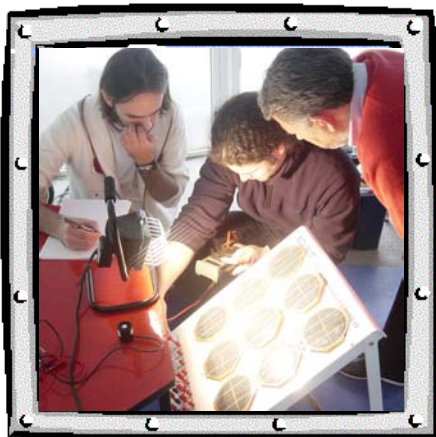
- Silício monocristalino
- Refª : ETM 500 - 2V (RQ)
- Rendimento teórico = 10%
- Tensão circuito aberto: 2 VDC
- Corrente de curto-circuito: 500mA
- Dimensão da célula : diâmetro 100mm
- Área da célula: 0,008 m²

O cálculo da potência à saída é feito pela expressão $P = V \times I$. Os gráficos V-I que se possam traçar desta forma, podem ser úteis na compreensão do comportamento do módulo e podem ajudar a equipa a seleccionar um motor que combine com a saída de potência do módulo ou ajustar o valor de tensão de alimentação do motor para um determinado valor de irradiação ao longo do dia solar.



8

Módulo fotovoltaico (2/2)



Banco de ensaio

Para testar o carrinho com o módulo fotovoltaico é possível utilizar um **fonte de luz artificial** entre 100W e 350W, dependendo da proximidade, (halógena é melhor que incandescente) para conseguir a potência nominal de saída de 6W,

Ao recorrer a este tipo de teste, deve tratar-se as células com cuidado, pois o calor desenvolvido por uma lâmpada, poderá amolecer a superfície protectora e **deformá-la**, se estiver demasiado quente. Aliás, esta superfície deve ser limpa a seco, de poeiras ou humidade que reduzam a transparência

Modificação da tensão de alimentação

As características construtivas de cada carro (peso, resistência ao ar, ao atrito, motor, etc.) podem determinar qual a tensão de alimentação mais adequada para o motor. É possível (e permitido pelo regulamento) explorar esta possibilidade técnica e usá-la, com vantagem, em competição, alterando a tensão de alimentação de prova para prova.

Cuidados a ter

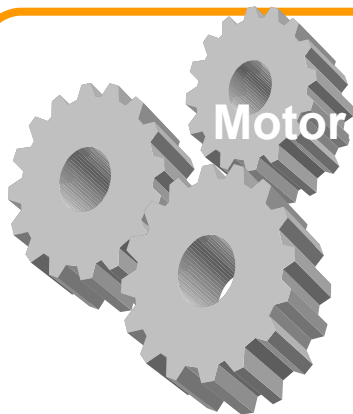
Deve-se ter cuidado na manipulação das células fotovoltaicas pois estas são frágeis e racham facilmente (causando descontinuidades nas pistas de solda e inutilizando-as). Se se optar por soldar fios condutores aos terminais das células, é preciso ter cuidado para evitar que o ferro de soldar esteja demasiado quente (ou que o contacto do ferro com o terminal dure demasiado tempo), justamente para não afectar as ligações soldadas.



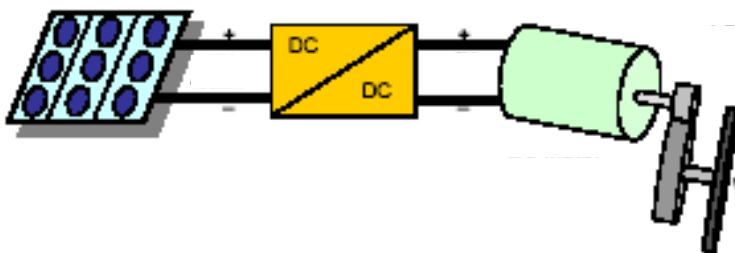


8

Motor eixos, correias e engrenagens



Esquema de montagem



Teste de motores

*Sendo necessário efectuar a avaliação de desempenho ou a comparação de **motores**, podem ser utilizados dois métodos:*

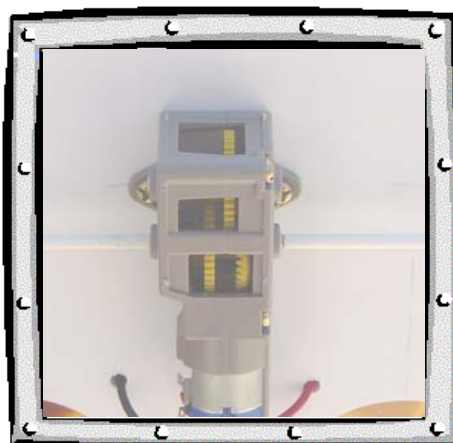
- Utilizar um **dinamómetro**, para medir a potência de saída do veio do motor, com ou sem engrenagens (procurar no Lab. de Física ...)
- Utilizar um **guincho** (improvisado) e diversos pesos, que o motor vai tentar levantar a uma determinada altura – **ver Experiência 1**.



Especificações do motor

- 3 a 12 VDC

consultar a folha técnica enviado com o motor



Motor 12 VDC c/ 3 caixas de engrenagens (fornecido pela Organização)

