



Edição 2005

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



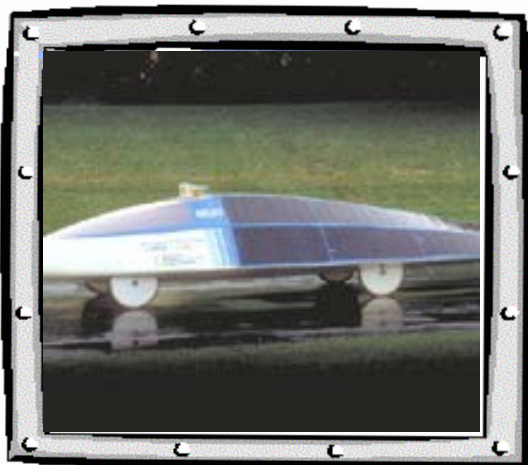
8

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, Austrália*



• *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.

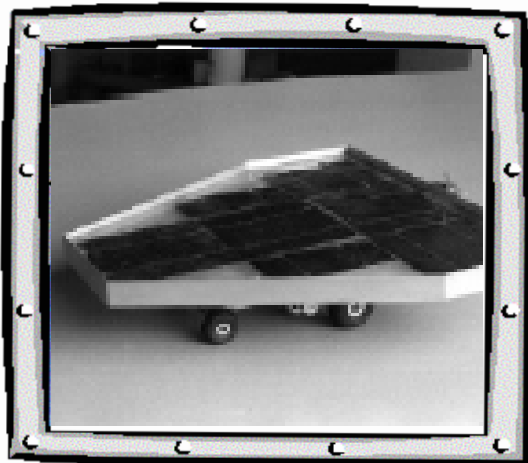


• *Nuna II – 2003, Holanda*



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.



• Corrida de carrinhos fotovoltaicos 2004, Lisboa - Portugal

• 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.

• Foi também assim, que em 2004, se realizou em Portugal, a primeira corrida de carrinhos fotovoltaicos, no Concurso Solar Padre Himalaya.

• 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, Sidney - Austrália

• Recorrendo a um conjunto mínimo de materiais, à **reutilização e reciclagem de componentes**, à concepção de novas peças e formas arrojadas, os carrinhos solares fotovoltaicos ...

Já estão, de novo, na estrada !



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**

$a \sim m$: 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)

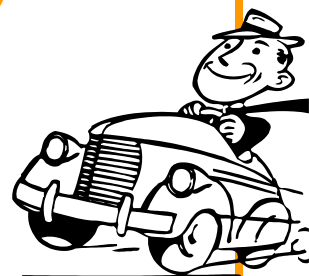
✓ **Carrinho com pouco atrito**, devido à resistência provocada pelo movimento das engrenagens, das rodas e o contacto dos pneus com a pista.

✓ 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.

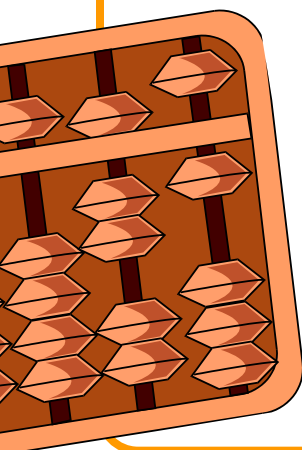
✓ **$M_v = vR / \pi d$** : é melhor começar por escolher um diâmetro

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 chasis ou num apoio rígido com o chasis.

✓ **As rodas** devem ter apoios rígidos ligados ao chasis 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 chasis.



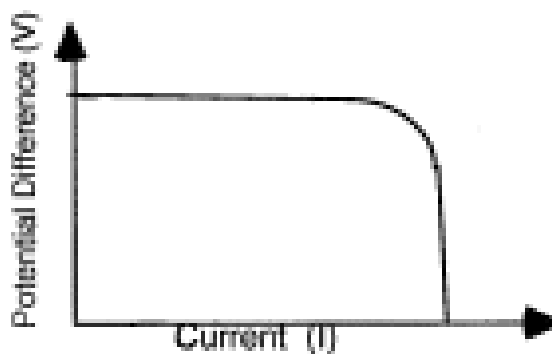


8

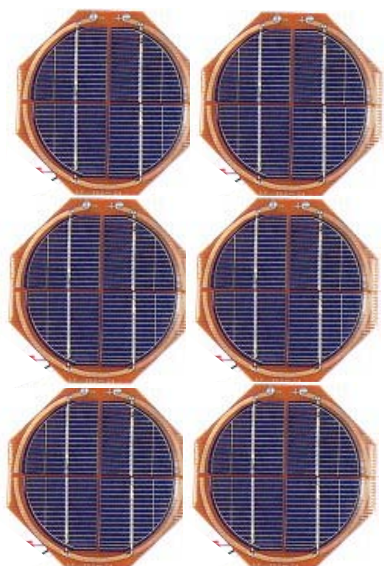
Módulo fotovoltaico (1/2)

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

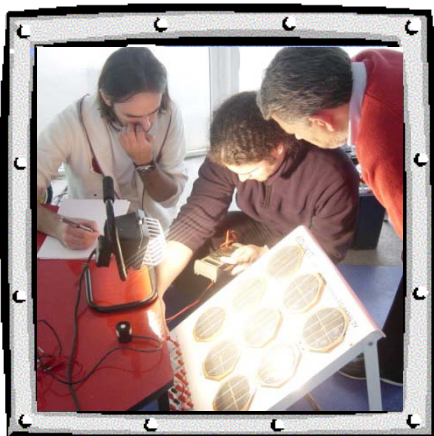
- Silício monocristalino
- Refª : ETM 500 - 2V (RQ)
- Rendimento teórico = 10%
- Tensão circuito aberto: 2 VDC
- Corrente de curto-circuito: 500mA
- Dimensão da célula : diâmetro 100mm
- Área da célula: 0,008 m²

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, devem 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, 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

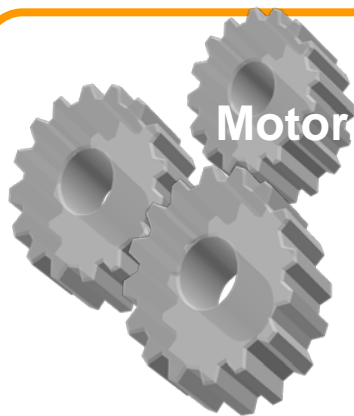
Deve-se ter cuidado na manipulação das células fotovoltaicas pois estas são frágeis e racham facilmente (causando descontinuidades nas pistas de solda e inutilizando-as). Se se optar por soldar fios condutores aos terminais das células, é preciso ter cuidado para evitar que o ferro de soldar esteja demasiado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



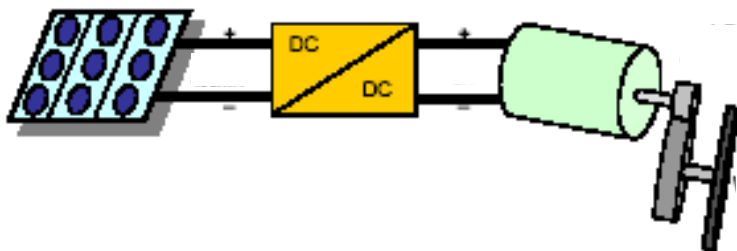


8

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**.

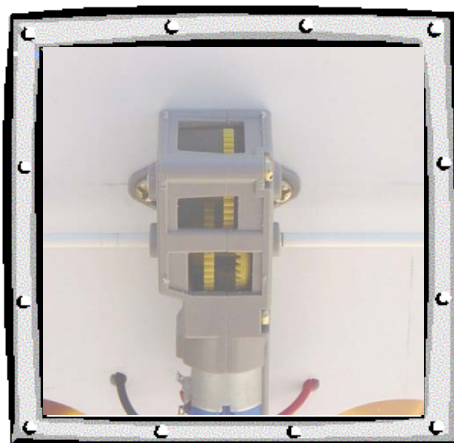


Especificações do motor

- 9 a 12 VDC

A título de exemplo, as características do motor eléctrico utilizado na edição do Concurso Solar Padre Himalaya em 2004, são:

- Motor eléctrico de 12VDC com caixa redutora, marca MABUCHI, modelo FA/FL 130
- regimes de rotação (1) 17500 rpm (consumo 0,12 A); (2) 12400rpm (consumo 0,34 A);
- binário a 12400rpm = 0,10 Ncm;
- potência 1,26 Watt; eficiência = 30%;
- peso 18g
- caixa redutora vel. Máx 16:1; Média 58:1; Baixa 203:1.

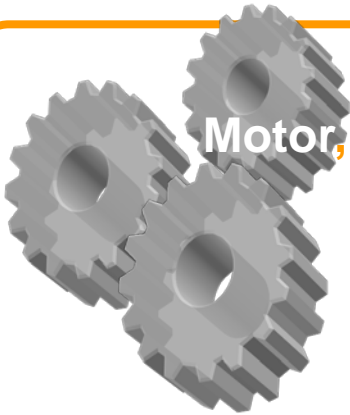


Motor 12 VDC c/ 3 caixas de engrenagens



8

Motor, eixos, correias e engrenagens (2/2)



✓ **Carrinho com pouco atrito**, devido à resistência provocada pelo movimento das engrenagens, das rodas e o contacto dos pneus com a pista.

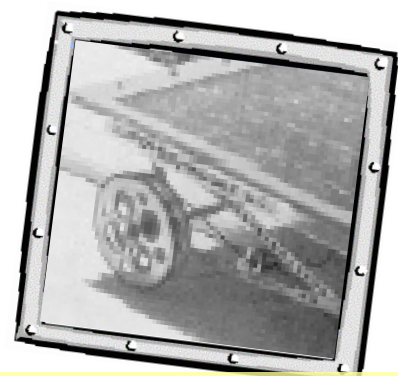
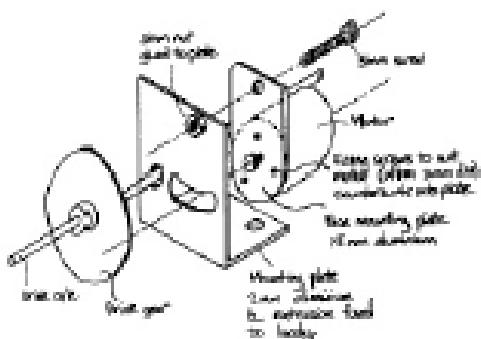
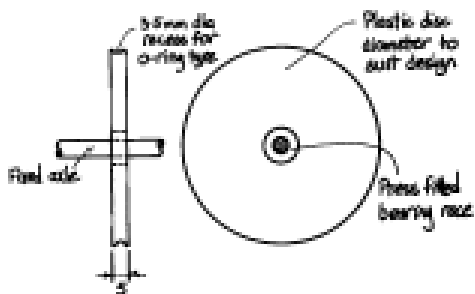
✓ As forças de atrito dependem das características das **superfícies em contacto** e da **massa do carrinho**, mas não dependem da área da superfície de contact



Transmissão por pinhão



Transmissão por cremalheira



Transmissão por correias



8

Ideias para trabalhar na carroçaria , estrutura e chassis, guias, rodas, etc. (1/3)



Inovação sim ! Mas ...

Caixas de velocidades automáticas

Existem registos de carrinhos fotovoltaicos com sistemas primários de caixas automáticas que parecem (eh, eh) não ter resultado muito bem. Quem sabe ...

MPPT – Maximum Power Point Tracking

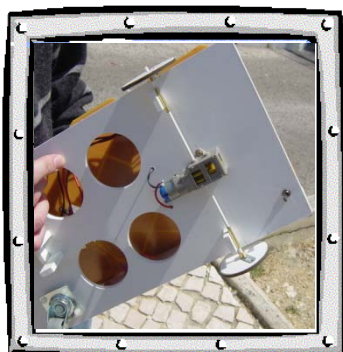
Utilizar um circuito electrónico ligado à saída do módulo fotovoltaico, de forma que este dê a maior potência eléctrica em diferentes condições de irradiação solar (baixa irradiação) adaptada à tensão de alimentação que o motor precisa para que o carro atinja a máxima velocidade. Complicado ?? Não ... No arranque do carrinho é exigida ao motor a máxima potência e baixa tensão. À medida que a velocidade aumenta a tensão também aumenta, até um máximo, característico do motor. Por outro lado, o módulo fotovoltaico requer uma atenção particular, pois funciona melhor com a tensão nominal a 12VDC. Com o MPPT trata-se de condicionar o módulo, de forma a fornecer a máxima potência correspondente à tensão de alimentação mas conveniente para o melhor desempenho do carro.

Espelhos

O recurso a espelhos foi uma inovação utilizada nas primeiras corridas com o objectivo de aumentar a irradiação solar que chega às células. Parece não existir relatos de carros bem sucedidos. Embora haja um ganho pequeno de potência, o atrito provocado pelo peso acumulado e a resistência à deslocação ao vento contraria esta inovação.

Painéis inclinados

Tentativa de maximizar a potência eléctrica a partir da optimização do ângulo de incidência da irradiação solar, tirando partido da inclinação do painel transversal. O formato da pista em “8” parece ser o maior obstáculo em competição, pois o carrinho está sujeito a uma mudança de direcção





8

Ideias para trabalhar na carroçaria , estrutura e chassis, guias, rodas, etc. (2/3)

Inovação e Competição com um carrinho solar

São essencialmente dicas baseadas em registos e relatos e de corridas, embora seja difícil julgar se foi uma determinada inovação que permitiu o sucesso .

Precisão técnica

- Talvez o factor mais importante
- Melhor construção significa melhor precisão técnica
- Engrenagens ajustáveis e precisas
- Sistema de direcção com tolerâncias bem ajustadas à guia
- Chassis leve e com rigidez suficiente para rolar bem na pista.

Pouco peso

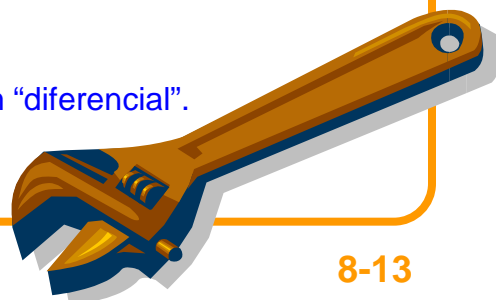
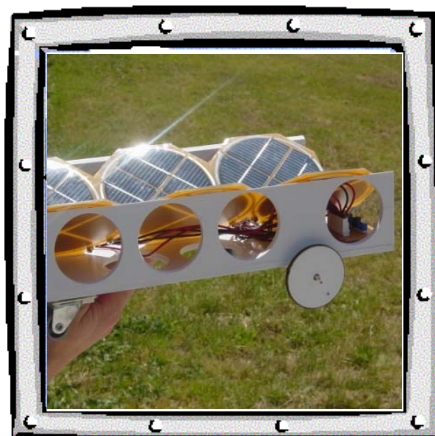
- Materiais resistentes e leves
- Concepção simples da carroçaria e chassis

Rodas com rolamentos de esferas

- Uso de rodas com pequenos rolamentos de esferas
- Uso de lubrificante – silicone – antes de cada corrida.

Direcção

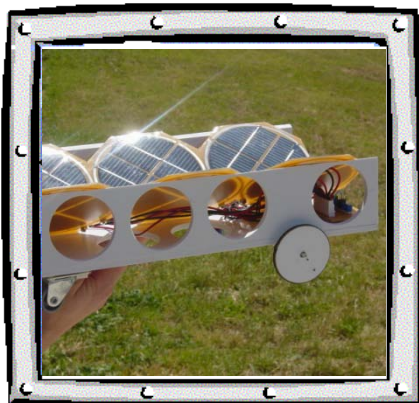
- Uso de pequenos rolamentos no sistema de direcção
- Uso de guias principais à frente e de pequenas guias atrás
- Ajuste de guias traseiras para estabilizar o veículo e alinhá-lo nas guias dianteiras.
- Reduzir o efeito “barbatana” na traseira do carro.
- Efeito de compensação nas curvas semelhante a um “diferencial”.





8

Ideias para trabalhar na carroçaria , estrutura e chassis, guias, rodas, etc. (3/3)



Rodas

- Diâmetro mais pequenas, mais duras, mais aderentes e mais estreitas
- Pneus largos e macios não significam melhor tracção.

Motor

- Compromisso entre a tensão de saída do módulo fotovoltaico e a corrente de alimentação do motor
- Compromisso entre a potência do módulo fotovoltaico e um ou dois motores
- Compromisso entre a (variação) das condições de irradiação solar e o consumo eléctrico do carro.

Diferença de potencial produzida no módulo fotovoltaico

- Ajustar o módulo fotovoltaico para diferentes configurações de saída de diferença de potencial
- Em condições de irradiação solar reduzida, combinar a tensão de saída mais ajustada ao desempenho do motor

Refrigerar o painel

- Existem alguns relatos de equipas que arrefeceram o módulo fotovoltaico em gelo imediatamente antes de iniciar a corrida

Aerodinâmica

- Melhorar a aerodinâmica do carro a partir de pequenos pormenores como a posição do módulo, dos painéis laterais, da posição das rodas, etc.
- Testar o carrinho num túnel de vento – fabricado na escola ou acessível em Universidades e Institutos superiores – para melhorar o coeficiente de arrasto em velocidades mais elevadas.



8

Pista AIMSCC (1/3)



1. Forma e dimensão da pista

Para a realização do Concurso Solar Padre Himalaya foi adaptada a pista de origem australiana com a configuração de um “8”, para uso exterior, inspirada no regulamento da Australian-International Model Solar Challenge (AIMSCC), com duas faixas de rodagem, para concorrerem dois carrinhos lado a lado. A pista tem uma ponte baixa no local de cruzamento, como se mostra no diagrama 1 em anexo (escala 1/200), situação que se apresenta como um desafio adicional para os competidores, pois os carrinhos ficam na obscuridade durante um pequeno percurso e têm que subir uma “montanha” com cerca de 300mm de altura. A forma da pista é caracterizada por ter três curvas, duas com raio de curvatura com cerca de cinco metros (A1 e A2) e uma com raio de curvatura de 23m, e uma recta com 22,8m. A largura da pista é de cerca de 1m e o comprimento de 86 metros, devendo os carros completar uma volta e mais 14m de recta para alcançar os 100m até à linha de meta.

2. Inclinação

As secções que se cruzam na ponte, terão um afastamento mínimo entre pistas de 300mm. As pendentes variam entre 1:16 a aproximadamente 1:8.

3. Construção

A pista está construída de forma a assegurar uma superfície lisa com duas vias paralelas, cada uma com uma guia de canaleta em perfil “U” de PVC ou equivalente (ver diagrama 2, em anexo) com as dimensões nominais exteriores de 20x20mm, devidamente aparafusada ao piso em madeira de contraplacado, que servirá de guiamento para o carrinho pelo exterior da canaleta. Como a pista é montada em secções – rectas e curvas – prevê-se a necessidade de compensar os desalinhamentos que necessariamente poderão existir pela junção dos topos das guias, introduzindo peças de união em metal entre extremidades adjacentes da canaleta. Esta correcção pode levar a alterar a largura da guia de 20mm para 25mm, dimensão que deverá ser tomada em consideração se o guiamento do carrinho for efectuado com guias externas. A Organização do evento irá assegurar que, por motivo do nivelamento da pista ou outra razão equivalente, os desalinhamentos horizontais e verticais sejam mínimos. Se for opinião da Organização, que determinado carro em competição foi inibido numa corrida por motivo de grande imperfeição, então essa parte da corrida deverá ser repetida logo que possível.



8

Pista AIMSCC (2/3)

4. Posição de partida

Os carrinhos deverão iniciar a posição de partida no topo da secção mais alta, no sentido da descida. Os carrinhos serão colocados em posição de arranque (interruptor ligado), encostados à cancela de partida que será afastada por um delegado da Organização, quando for dado o sinal de partida.

5. Posição de chegada

O carrinho vencedor é apurado através de um dispositivo electrónico sincronizado por um feixe infra-vermelho, emitido por um emissor e recebido por dois receptores (ou equivalente), um para cada lado da pista. O feixe e os detectores serão alinhados horizontalmente, aproximadamente 50mm acima da pista ou 10mm verticalmente de cada lado da canaleta da guia. Podem ocorrer pequenos erros de marcação de tempos em situações raras, motivadas essencialmente pela forma ou materiais usados na concepção do carrinho. Para prever esse tipo de falhas de equipamento, a Organização contará com comissários de pista equipados com cronómetros para registo dos tempos de prova. O coordenador da prova deverá exercer a sua autoridade em situações de dúvida relacionadas com o tempo ou posição final de qualquer carro, não havendo lugar a qualquer apelo contra essa decisão.

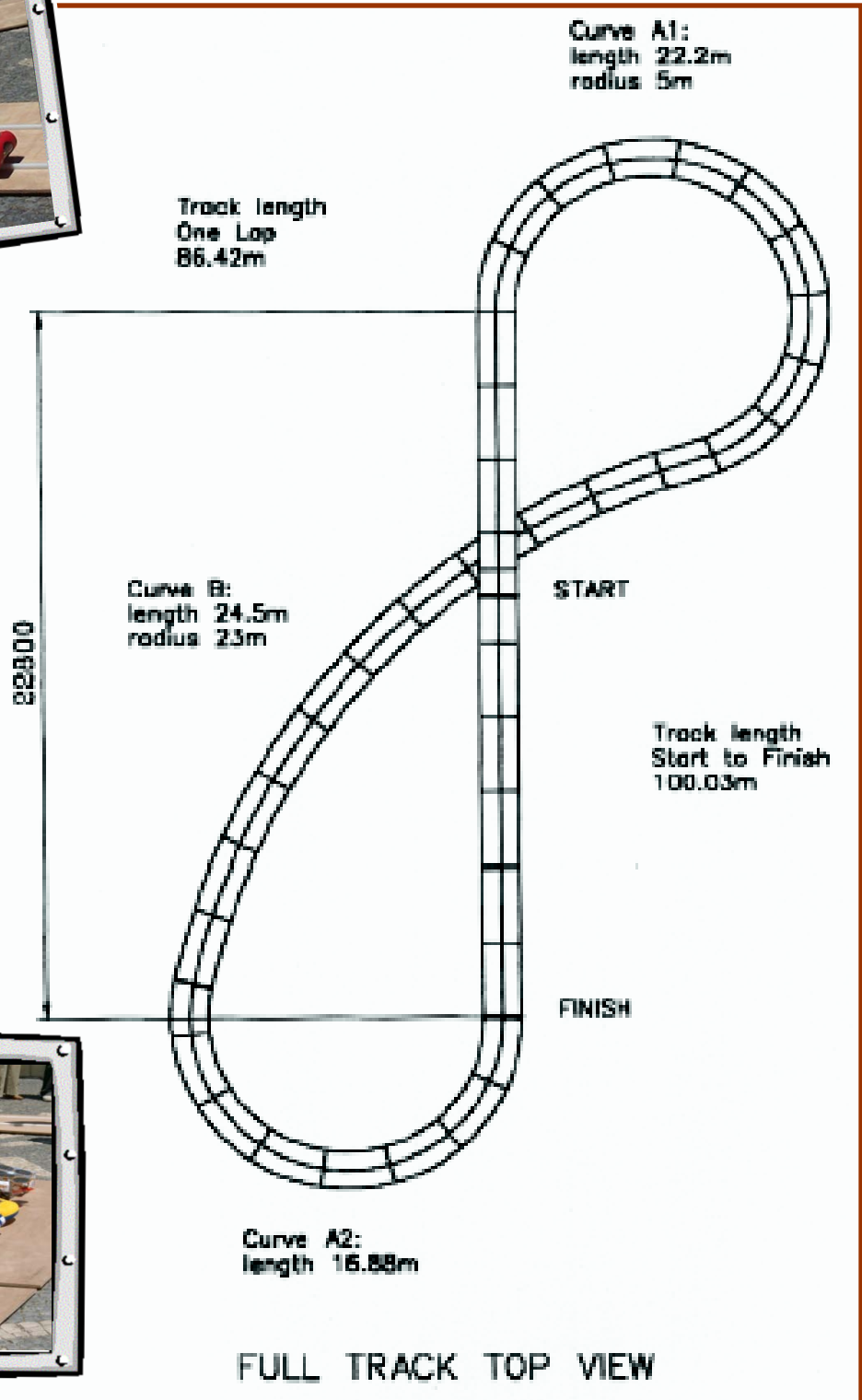
6. Procedimento de paragem – bloco de travagem

Nas provas de apuramento é autorizado qualquer procedimento de paragem dos carrinhos (normalmente uma pára-choques de poliestireno ou um “túnel” de sombreamento em cartão). Nas provas de qualificação, a organização poderá usar um bloco de espuma de poliestireno com comprimento de 400+/-10mm, largura de 250+/-5mm e espessura de 70+/-5mm, com um balastro com cerca de 250+/- 5g para parar os carros, após cruzar a linha de chegada. Os blocos apresentam um sulco, com 18 a 20 mm de largura e igual profundidade, escavado no fundo por forma a deslizar ao longo da canaleta sem prender. Os blocos serão colocados na extremidade da primeira curva (A1), aproximadamente a 32m da linha da partida. Os blocos serão manipulados nas faixas de rodagem pelos comissários de prova, após a passagem do carrinho respectivo pela linha de meta. Quando o carro embate no bloco de travagem deverá empurrá-lo até se imobilizar. Os carros devem ser construídos para poder suportar um elevado número de colisões durante a prova. Não será permitido a utilização de outro meio de travagem dos carrinhos (por exemplo, deixando cair sobre ele um pano opaco) nas provas de qualificação.



8

Pista AIMSCC (3/3)





8

Especificações de construção do carrinho (1/4)

Definições: São criadas as seguintes definições ajustadas à aplicação deste regulamento.

1. Módulo solar fotovoltaico e estrutura de suporte

Ao conjunto de células fotovoltaicas conectadas electricamente entre si atribui-se o nome de *módulo fotovoltaico*. O apoio ou base de sustentação das células fotovoltaicas (módulo fotovoltaico) é designada *estrutura de suporte*. Esta estrutura deverá ser amovível e deve fazer parte do carro, sem, contudo, fazer parte do chassis ou dos painéis laterais identificadores, definidos em seguida. A estrutura de suporte deverá possuir um interruptor *ligado/desligado* e poderá ser utilizado para modificar manualmente a tensão de alimentação do motor eléctrico. Neste âmbito, não é permitido a instalação ou utilização de sistemas electrónicos, mecânicos, ópticos, radio comandados ou uma sua combinação, para alterar a tensão de alimentação do motor. A altura entre a superfície da pista e a parte inferior da estrutura de suporte não poderá ser inferior a **75mm**.

2. Chassis

O protótipo deverá ter um sistema rígido, independente, separado do módulo fotovoltaico. Esta é a parte do carro que deverá ser inspeccionada para garantir o cumprimento das regras, nomeadamente, se apresenta a resistência adequada para suportar o motor eléctrico, os painéis transversais de identificação e a transmissão entre o pinhão do motor e as rodas. O chassis deverá apresentar um fundo horizontal com pelo menos **400cm²**, onde devem estar concentradas todas as ligações e acessórios eléctricos.

3. Carroçaria

A carroçaria deve apresentar a forma mais aerodinâmica possível quando o carro se movimenta na pista. Isso inclui (obrigatoriamente) os dois painéis laterais, o painel transversal e o chassis.

4. Dois painéis laterais

Devem ser colocados lateralmente à carroçaria dois painéis informativos para identificar o número de competição (atribuído por sorteio da Organização), o nome do carro (ou equipa), o nome da escola e exibir os eventuais patrocínios e apoios. Estes devem facilmente ser vistos por espectadores quando o carro estiver em competição. A finalidade destes painéis é de facilitar, principalmente, a identificação à distância do nome e número de cada carro. Cada painel lateral deve ter pelo menos **200cm²** de área. A altura mínima deve ser de pelo menos **75mm**.



8

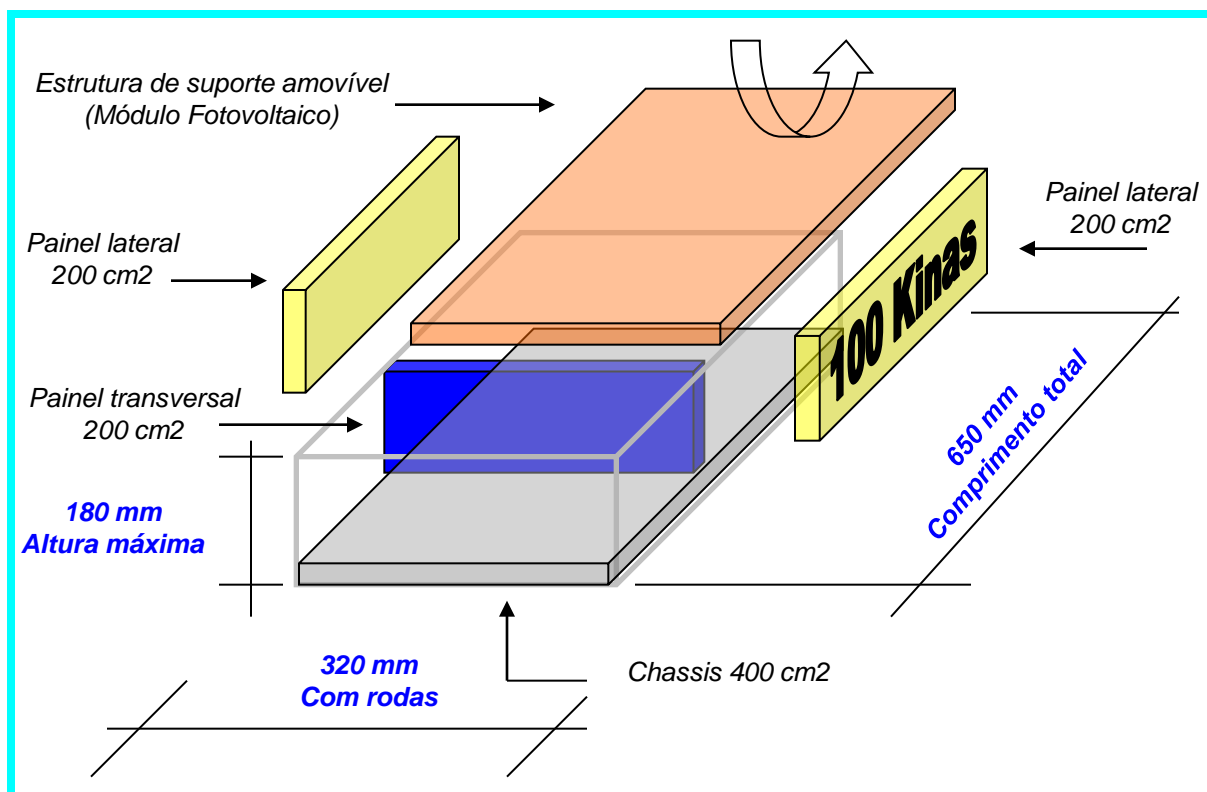
Especificações de construção do carrinho (2/4)

5. Nome da Escola e da Equipa

Cada equipa deve escolher um nome para o carro e, juntamente, com o nome da escola (se possível, abreviado), devem figurar nos painéis laterais, com letras de **40mm** de altura, visíveis no decorrer da competição.

6. Painel transversal

Deve ser montado um painel vertical (transversal) a toda a largura do carro, perpendicular à direcção do movimento - $90^\circ \pm 5^\circ$ -, através do qual o ar não possa passar, executado a partir de qualquer material rígido, como balsa, cartão, plástico, etc. Com esta regra exige-se às equipas que projectem e construam um protótipo com a aerodinâmica mais próxima de um “carro” e menos de uma “tábua com rodas”. Se o painel não for rectangular, pode ser adaptado à forma do corpo do carro mas deve respeitar a área de **200cm²**. Se o carro é formado por um corpo contínuo (por exemplo, espuma de poliestireno, bloco de balsa, etc.), então, a secção transversal de maior dimensão deve ter a superfície igual a **200cm²**. As equipas devem providenciar os cálculos efectuados para evidenciar esta regra aos comissários de prova.





8

Especificações de construção do carrinho (3/4)

7. Interruptor ON/OFF

O carro deve possuir um interruptor de duas posições (ligado/desligado) para desligar eléctricamente o painel de células do motor e colocar o carro em posição de repouso. A utilização de grampos ou de pontas de “crocodilo” ou semelhante não é considerado um interruptor válido e como tal não pode ser utilizado. Este interruptor é particularmente importante na situação de início das provas, principalmente quando se coloca o carro na grelha de partida. O interruptor deve estar visível para que o comissário de prova possa accioná-lo para dar a partida (de preferência na parte de baixo ou na parte de cima).

8. Não são permitidos modelos comerciais

Os protótipos em competição devem ser resultado do trabalho da equipa que o criou e construiu e não deve usar chassis ou partes do corpo de modelos comerciais de carros construídos (naturalmente) em série. Não se considera incluído nesta regra as peças ou componentes, tais como engrenagens, rodas, suspensão, veios, ou equivalentes. Em caso de dúvida é preferível consultar a Organização do concurso para aprovação prévia.

9. Dimensões máximas

A dimensão do carro que será verificada na inspecção, elege como máximos:

- o comprimento total do carro em **650mm**;
- a altura máxima até **180mm**;
- a largura não deve exceder **320mm** (rodas incluídas).

10. Fonte de energia solar

O carro é alimentado pela conversão eléctrica da energia solar produzida por intermédio de um conjunto de células fotovoltaicas (ou um módulo fotovoltaico construído), que devem ser de silício monocristalino, policristalino ou amorfo.

A potência máxima fornecida pelo módulo fotovoltaico só está limitada pelo tipo de construção baseada no silício e pelas dimensões limites para o carrinho estabelecidas no regulamento.



8

Especificações de construção do carrinho (4/4)

11. Sistemas de armazenamento de energia

Não é permitido a utilização de sistemas de armazenamento de energia de origem eléctrica, mecânica ou química, com excepção de condensadores inferiores a **1 farad**, ligados à alimentação do motor. O comissário de prova reserva-se o direito de descarregar o condensador imediatamente antes de cada prova.

12. Motor

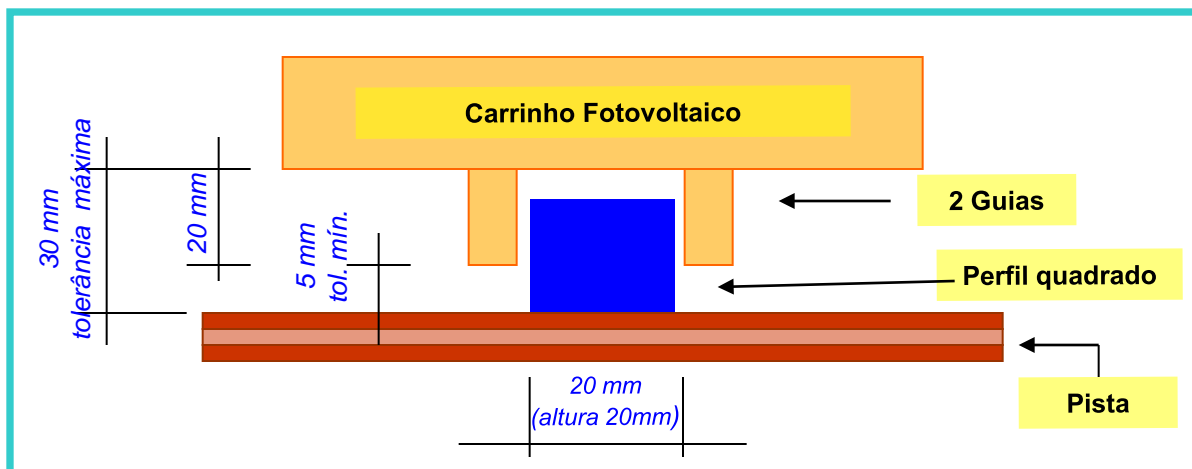
Recomenda-se a utilização de motor eléctrico de corrente contínua, de 12VDC, de elevada rotação (típico 12000rpm), preparado para ser facilmente conectado a uma caixa redutora (caixa de velocidades).

13. Rodas

O diâmetro das rodas não está limitado. Para evitar danificar a pista, não são permitidas rodas de borda aguçada, devendo para isso ser respeitado o mínimo de **1mm** de rasto ou ter um raio de curvatura não inferior a **0.6mm**, medido na superfície de rotação. Um dos destaques técnicos que irá ser valorizado na avaliação da *criatividade* do protótipo é o eventual recurso a um sistema de guiamento activo.

14. Guia de direcção

Cada carro deve incorporar os meios de direcção necessários para acompanhar a guia de PE (polietileno) em forma de varão quadrado, com as dimensões nominais de **20x20mm**, aparafusada ao piso, seguindo o contorno da pista em 8. O sistema de direcção deve ser projectado para funcionar de acordo com o esquema em anexo, sendo capaz de apresentar uma tolerância de ajustamento entre **5 e 30mm** acima da superfície da pista, para evitar que o carro “descarrile”.





8

Modelo de Carrinho Fotovoltaico para saber mais ...

Experiência 1

- “Model Solar Car Racing ;A2 The motot test winch”. Peter Harley, 1999, UNSW (*disponível na INTERNET em documento em PDF*)
- www.nasaexplores.com < Photovoltaics Cells – teacher sheets > (*disponível na INTERNET em documento em PDF*)

Experiência 2

“Microelectronics Process Engineering Program - Engineering 10 Solar Cell Lab Activity”. San Jose State University, 2001. (*disponível na INTERNET em documento em PDF*)

Bibliografia e sites da Internet

“Conversão Térmica da Energia Solar”, Cruz Costa, Jorge; Lebeña, Eduardo, SPES/INETI (*disponível em:* http://www.spes.pt/Manual_Instaladores.pdf)

Energias Renováveis – A Opção Inadiável (SPES) – Manuel Collares-Pereira

<Australian-International Model Solar Car Challenge – 2003 Regulations> (*disponível na INTERNET em documento em PDF*)

<SolarQuest – Rally Class High School Model Solar Car Challenge 2003 > (*disponível na INTERNET em documento em PDF*)

<Model Solar Vehicles Provide Motivation for Schooll students – Paul Wellington and Melissa Bennett – Mechanical Engineering Department – Monash University- Australia > (*disponível na INTERNET em documento em PDF*)

http://www.speedace.info/solar_cars.htm - corridas de carros solares

www.spes.pt – Sociedade Portuguesa de Energia Solar

www.aguaquentesolar.com – Iniciativa Pública AQSpP