

Problema Fermiano - Álcool e Petróleo

R.V. Ribas - Instituto de Física - USP

24 de abril de 2008

Resumo

Este problema foi apresentado aos alunos de Física V (Estrutura da Matéria), de nosso Instituto, no primeiro semestre de 2008. Está relacionado a um assunto de aula (*corpo negro*), bem como às nossas preocupações atuais a respeito de energia, aquecimento global, produção de alimentos, etc. O problema foi apresentado como um “Problema de Fermi”, já que o físico Enrico Fermi costumava propor problemas de estimativas numéricas a seus alunos na Universidade de Chicago, com o intuito de desenvolver neles a capacidade de se pensar problemas não usuais. Talvez um dos mais notórios “Fermi Problems” seja aquele em que Fermi propõe a seus alunos obter uma estimativa para o número de afinadores de pianos atuando em Chicago naquela época. O problema, dividido em várias etapas, consiste em se estimar a área necessária para cultivo de cana de açúcar, necessária para se produzir etanol de modo a se substituir toda a energia consumida atualmente na forma de petróleo. A seguir, as perguntas formuladas e minhas propostas soluções.

- 1 Sendo a temperatura na superfície do Sol de cerca de 5700K e este se comportando como um corpo negro, qual a potência, por metro quadrado, que chega nas proximidades da Terra? (constante solar).**

A radiança total do Sol, aproximado como um *corpo negro* [1], é dada por $R_T = \sigma T^4 = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot 5700^4 W/m^2 = 6 \cdot 10^7 W/m^2$. A superfície total do Sol é dada por: $S = 4\pi R_S^2 = 12,6 \cdot (7 \cdot 10^8)^2 = 6,2 \cdot 10^{18} m^2$. Portanto a potência total irradiada pelo Sol é de $3,7 \cdot 10^{26} W$. A Terra fica a aproximadamente $1,5 \cdot 10^{11} m$ de distância do Sol. A essa distância a densidade de potência é $3,7 \cdot 10^{26} W / [4\pi \cdot (1,5 \cdot 10^{11})^2] m \approx 1350 W/m^2$ (constante solar) [2, 3].

- 2 Que fração dessa potência atinge a superfície da Terra?**

A constante solar média é a potência solar média que atinge a Terra, por unidade de área (m^2). A potência total incidente é dada pelo produto da constante solar pela área do perfil da Terra (πR_T^2). A potência total incidente, dividida pela superfície total da Terra, $4\pi R_T^2$ é a denominada constante solar média. Esse número é portanto aproximadamente $340 W/m^2$. Essa é a potência total de energia solar que incide sobre nosso planeta, por unidade de área. Entretanto, parte dessa energia é refletida pela atmosfera e nuvens terrestres. A fração que chega à superfície terrestre é de aproximadamente 70% [3]. Portanto a média de potência na superfície é de cerca de $240 W/m^2$.

3 Qual a quantidade total de energia solar que atinge a superfície do Brasil em um ano?

Regiões, como o Brasil, localizadas entre os trópicos, recebem energia solar acima da média. Vamos então aproximar a potência média no Brasil por $300W/m^2$. Com uma superfície de cerca de 8,5 milhões de quilômetros quadrados, a potência total incidente é de cerca de $2,6 \cdot 10^{15}W$. A energia total é obtida multiplicando-se este pelo número de segundos em ano (cerca de $3 \cdot 10^7$, ou seja $7,8 \cdot 10^{22}J$, ou $\simeq 9 \cdot 10^9J/m^2$).

4 Qual a quantidade total de energia útil contida em um litro de petróleo (gasolina)?

Um barril de petróleo (cerca de 160 litros), equivale a $6,1 \cdot 10^9J$ [4], portanto cada litro contém cerca de $3,8 \cdot 10^7J$. Essa é a energia térmica equivalente.

5 Qual o consumo total de energia de petróleo consumida em um ano no Brasil?

O Brasil consome cerca de 2 milhões de barris de petróleo por dia (hoje, 2008, deve ser um pouco maior). Portanto a energia total equivalente, consumida em um ano é dada por: $2 \cdot 10^6(b/dia) * 365(dias/ano) * 160(l/b) * 3,8 \cdot 10^7(J/l) = 4,4 \cdot 10^{18}J$.

6 Na produção de energia à partir da cana de açúcar, a energia solar é transformada em energia do combustível (etanol) com eficiência de aproximadamente 0,5%. Qual a área total necessária para plantação de cana, para suprir toda a energia gasta no país, na forma de petróleo? Isso corresponde a que fração da área total do país?

Essa eficiência de conversão é um número muito aproximado. Não tenho um número melhor, mas provavelmente este é um número próximo ao máximo. Acredito que com a tecnologia de que dispomos no momento, essa fração seja de aproximadamente 0,25%. Sabe-se, por exemplo, que a produção de etanol à partir do bagaço da cana pode aumentar significativamente essa eficiência. Usando-se o coeficiente 0,5%, temos:

$$\text{Energia solar/ano.m}^2 = 300(W/m^2) \cdot 3 \cdot 10^7(s/ano) = 9 \cdot 10^9J/m^2$$

$$\text{Energia (etanol)/ano.m}^2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 0,005 = 4,5 \cdot 10^7J/m^2$$

$$\text{Área plantada: } 4,4 \cdot 10^{18} / 4,5 \cdot 10^7 \simeq 10^{11}m^2 = 10^7ha = 0,1 \cdot 10^6km^2$$

Isso corresponde a: $0,1/8,5 \simeq 1,2\%$ da área do país, ou cerca de 4% da área atualmente desmatada do país[5]. Dessa área desmatada, estimo que atualmente, cerca de 2-3% sejam ocupadas pelas cidades, 12% pela agricultura de grãos (soja, milho, arroz, feijão, trigo), 8% para produção de outros alimentos, 1,2% na produção de etanol, e portanto cerca de 70% com a pecuária (cerca de 1 cabeça/ha)[6] (devemos lembrar que boa parte da área ocupada com a pecuária bovina correspondem a terras de baixa produtividade agrícola). Na última revista Pesquisa da Fapesp[7], uma matéria sobre o assunto informa que há no Brasil cerca de 150 milhões de ha de terras agriculturáveis

(60% da área desmatada) e que somente a metade é atualmente cultivada. Esse número é bastante próximo do estimado acima.

Com a tecnologia hoje disponível, produz-se no Brasil cerca de 6000 l/hectare de etanol de cana de açúcar. Considerando que o etanol propicia cerca de 70% do conteúdo energético do petróleo (o número deve ser maior que este, que corresponde aproximadamente ao rendimento relativo na utilização em motores automotivos), a produção de energia/ha corresponde a:

$0,7 \cdot 6 \cdot 10^3(l/ha) \cdot 3,8 \cdot 10^7(J/l) \cdot 10^{-4}(m^2/ha) = 1,5 \cdot 10^7(J/m^2)$, ou seja, cerca de 1/3 do valor estimado. Isso levaria a uma área de cultivo de cerca de 10% da área atualmente desmatada. Com melhorias na produtividade e na eficiência da produção de etanol, esta fração poderia ser bem menor. Hoje produzimos cerca de 15 bilhões de litros de etanol por ano, cerca de 10-15% de nossas necessidades em combustíveis na forma de petróleo. A área atual ocupada com cana para etanol é portanto de cerca de $2,5 \cdot 10^6 ha$, ou seja 1% da área total desmatada do país. Devemos lembrar ainda que atualmente bagaço de cana (queima) é bastante utilizado na produção de energia elétrica.

Uma outra questão interessante, corresponde à produção de energia por usinas hidroelétricas. Como se compara a energia produzida anualmente por ha de área inundada, com o equivalente de energia de etanol? Tomando três usinas como exemplo, a de Itaipu, produz cerca de 14GW e a área inundada é de cerca de 2200 km². Portanto o rendimento é de cerca de 63kW/ha. A usina de Porto Primavera, considerada uma das menos eficientes do mundo, produz pouco menos de 1GW, com uma área inundada de cerca de 2250 km² (4,5kW/ha). A de Ilha Solteira está entre esses dois extremos (30kW/ha), o que tomaremos como média. Isso corresponde a cerca de $10^{12} J/ha$. No caso do etanol, com 6000 l/ha e $2,7 \cdot 10^7 J/l$, temos $1,6 \cdot 10^{11} J/ha$, ou seja, cerca de 16% da eficiência das hidroelétricas. Considerando que no caso de hidroelétricas a área alagada corresponde a regiões de vales, e portanto as mais férteis e adequadas para agricultura, bem como possíveis melhorias na eficiência de produção de etanol, essa diferença perde um pouco a significância.

Referências

- [1] <http://en.wikipedia.org/wiki/Blackbody>
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_radiation
- [3] <http://curriculum.calstatela.edu/courses/builders/lessons/less/biomes/SunEnergy.html>
- [4] http://www.evworld.com/library/energy_numbers.pdf
- [5] <http://revistapesquisa.fapesp.br/?ed=902&lg=>
- [6] http://www.bmf.com.br/portal/pages/imprensa1/destaques/2007/abril/Destaque_ResultadoSeminario.asp
- [7] Revist n.146 - <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?sec=29&type=ea&lg=>