

UMA ACTIVIDADE INTERNACIONAL MULTIDISCIPLINAR

Inserido nas comemorações do Ano Internacional da Física e tendo como principal objectivo incutir nos alunos do ensino secundário o carácter universal dos conhecimentos científicos, realizou-se na Escola Secundária da Cidadela em Cascais, na semana que precedeu o equinócio e no solstício de Verão a actividade multidisciplinar "Revivendo Eratóstenes". Embora com adaptações, recorreu-se ao método utilizado pelo grego Eratóstenes há mais de 2000 anos para determinar as dimensões da Terra. A autora coordenou este trabalho em conjunto com os astrónomos Fernando Vieira e Paulo Pereira do Planetário do Rio de Janeiro. Colaboraram nesta iniciativa escolas das cidades de: Falkenberg, da Suécia; Sulingen, Darmstadt e Munique, da Alemanha; Londres, do Reino Unido; Marselha, da França; os Planetários de Belém, Campinas e Florianópolis, do Brasil; Varna e Haskovo, da Bulgária e a escola internacional francesa do Cairo, no Egipto. Nesta actividade que teve a melhor aceitação de todos, foi possível mostrar aos alunos a importância da colaboração internacional para resolver problemas. Esta iniciativa teve um significado especial pelo facto de em 21 de Junho ter sido realizada uma actividade no átrio da Biblioteca de Alexandria no Egipto, local original da experiência.

A Gazeta agradece o envio de contribuições para esta secção.
gazeta@teor.fis.uc.pt

ENSINO DA FÍSICA

UMA ACTIVIDADE INTERNACIONAL MULTIDISCIPLINAR

Eratóstenes nasceu em Cirene (actual Líbano), em 276 a.C. e faleceu em Alexandria em 194 a.C. Como muitos sábios do seu tempo, foi astrónomo, historiador, geógrafo, filósofo, poeta e matemático. Estes conhecimentos levaram-no a ocupar um dos cargos mais importantes na Antiguidade: director da maior e mais importante biblioteca da época - a Biblioteca de Alexandria, uma das setes maravilhas do mundo [1]. Apesar de ser um estudioso de nível superior nas áreas em que interveio nunca chegou a atingir o patamar máximo do seu contemporâneo Arquimedes [2]. No entanto, os seus feitos e descobertas, tornaram-no uma das figuras mais importantes da ciência [3].

Uma das questões que desafiou os matemáticos e astrónomos da Antiguidade foi a determinação dos tamanhos do Sol e da Lua. As primeiras especulações a respeito da forma da Terra tinham natureza não-científica. Os egípcios, por exemplo, acreditavam que a Terra era plana e alongada, reflectindo a gigantesca extensão daquele país. A partir do século VI antes de Cristo, surgiram visões mais racionais sobre a forma do nosso planeta. Parece que a primeira sugestão de esfericidade partiu da Escola Pitagórica de Crotona. Segundo vários estudiosos da época, a esfera seria a mais bela de todas as figuras sólidas. No século IV antes de Cristo, Aristóteles apresentou argumentos mais sólidos. O mais importante deles estava relacionado com o eclipse da Lua, um fenómeno cuja origem (alinhamento aproximado entre o Sol, a Terra e a Lua) já era conhecida na época. Aristóteles considerou que a sombra projectada da Terra sobre a Lua, durante o eclipse lunar, tinha forma circular porque a Terra era esférica. Uma vez admitida a esfericidade da Terra faltava medir o tamanho desta. Várias foram as pes-

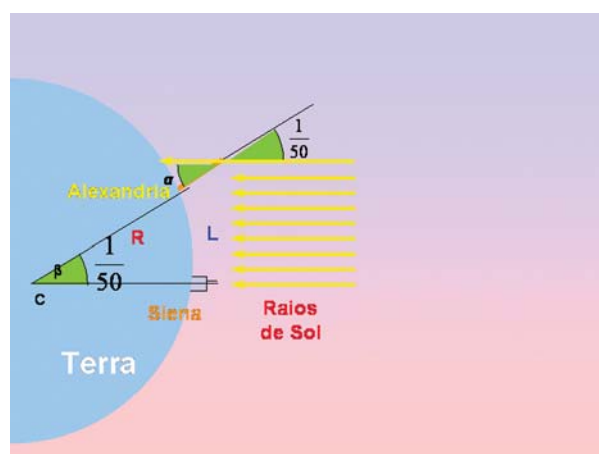


Fig. 1. Cálculo das dimensões da Terra de acordo com Eratóstenes.

soas e os processos utilizados, mas foi Eratóstenes, há mais de dois mil anos, quem fez a demonstração mais interessante.

Eratóstenes observou que ao meio-dia, do solstício de Verão, na cidade de Siena (actual Assuão), 5000 *stadium* a sul de Alexandria [4] [5] e situada no mesmo meridiano, os raios solares reflectiam-se no fundo de um poço. Ao mesmo tempo, em Alexandria, podia observar-se a sombra de uma coluna, o que indicava que a distância angular do Sol no zénite era de um cinquenta avos de um círculo. De facto, as sombras de objectos altos, tais como uma torre, indicavam que os raios solares faziam um determinado ângulo com a vertical. Eratóstenes deduziu que a única explicação para este facto era a Terra ser esférica [3] e que a sombra era mínima no momento em que o Sol passasse no meridiano local.

Eratóstenes sabia que, se aplicasse a matemática, seria possível determinar o tamanho da curvatura da Terra. Para realizar o cálculo, precisava de conhecer a altura da coluna, o comprimento da sombra produzida por esta em Alexandria, bem como a distância entre Alexandria e Siena. Segundo alguns historiadores, para medir a distância entre as duas cidades, Eratóstenes encarregou um escravo de ir a pé de Alexandria a Siena. Em 21 de Junho, ao meio-dia em Alexandria, Eratóstenes, em substituição da coluna, espetou uma vara de madeira de altura conhecida, mediu o comprimento da sombra desta e com estes valores determinou as dimensões do perímetro da Terra (Fig. 1).

Eratóstenes usando uma *skaphe*, um instrumento de forma semi-esférica, concluiu facilmente que o ângulo α media $1/50$ de toda a circunferência da Terra.

Como $\alpha = \beta$, a distância entre Siena e Alexandria também era $1/50$ da circunferência da Terra. Para a distância aproximada entre Siena e Alexandria foi medido o valor de 5 000 *stadium*. Temos em conta que, de acordo com Plínio, o *stadium* de Eratóstenes valia 300 cúbitos egípcios e que 1 cúbito = 0,5259 metros [5]. Eratóstenes concluiu então, que a circunferência da Terra era aproximadamente igual a 250 000 *stadium*, ou seja, 39 682 km [3].

Com os modernos equipamentos, sabe-se hoje que este valor é de 39 941 km se considerarmos a circunferência polar igual à circunferência equatorial.

O erro do modelo seguido por Eratóstenes foi muito pequeno, se considerarmos que na época não existiam bons instrumentos de medida e que houve algumas aproximações introduzidas no seu trabalho. Na verdade, sabe-se actualmente que Siena não está exactamente no trópico de Câncer (ou seja, os raios solares não são estritamente perpendiculares à superfície no solstício de Verão). A distância de Siena a Alexandria é superior às utilizadas no cálculo e as duas cidades não estão alinhadas na direcção Norte-Sul, ou seja, não estão no mesmo meridiano. De qualquer forma o valor encontrado por Eratóstenes foi surpreendente!

O objectivo do projecto desenvolvido foi precisamente determinar as dimensões da Terra, por um processo semelhante ao usado por Eratóstenes. Para a sua concretização são necessários, no mínimo, dois grupos de participantes localizados em regiões diferentes do globo, quer no hemisfério Norte quer no hemisfério Sul. Cada grupo é responsável pelos seguintes passos:

1 - Determinação da orientação geográfica



Fig. 2 - No pátio da Escola Secundária da Cidadela marca-se a direcção Norte-Sul.

Para isso coloca-se uma vara (haste), de forma a ficar perfeitamente na vertical, num local ao ar livre onde incida a luz solar durante boa parte do dia. De manhã traça-se uma circunferência que tem como centro a haste e cujo raio é igual à dimensão da sua sombra, marcando-se o ponto de intercepção desta com a referida circunferência. No período da tarde, logo que a sombra volta a tocar no círculo marca-se neste o novo ponto de intercepção. A recta que une essas duas marcas indica a linha Este-Oeste. Traçando-se uma linha perpendicular a esta obtém-se a direcção Norte-Sul (Fig. 2), que corresponde ao meio-dia solar, instante de menor sombra da haste.

2 - Determinação da latitude do local do grupo participante

Mede-se o comprimento da sombra projectada pela haste vertical, presa ao solo no momento da passagem meridiana do Sol. Com a altura da haste e da declinação do Sol e com a ajuda da matemática obtém-se a altura angular deste ao meio-dia solar (Fig. 3).



Fig. 3 - Medição da altura do Sol.

Finalmente calcula-se a latitude, usando a expressão $f = \delta + (90^\circ - \alpha)$ onde δ [6] é a declinação solar. A hora do local na passagem meridiana do Sol é um dado básico da experiência, devendo ser registado e convertido para o tempo de *Greenwich* (GMT).

3 - Determinação da diferença da longitude entre os dois grupos participantes

Efectivamente, não se determina a longitude das duas cidades, mas a diferença entre elas. No momento em que a sombra da haste atinge a direcção Norte-Sul, é registada a hora local e seguidamente convertida para a hora universal. A diferença entre os instantes das culminações determina a diferença entre as longitudes das duas cidades. Note-se que a velocidade do Sol é aproximadamente $15^\circ/h$, de forma que a diferença do tempo das culminações está directamente relacionada com a diferença entre as longitudes das duas cidades. Sabendo a diferença dos tempos (Δt), determina-se a diferença entre as longitudes, multiplicando Δt por $15^\circ/h$.

4 - Cálculo do tamanho da Terra utilizando uma escala e uma bola (de voleibol ou de esferovite)

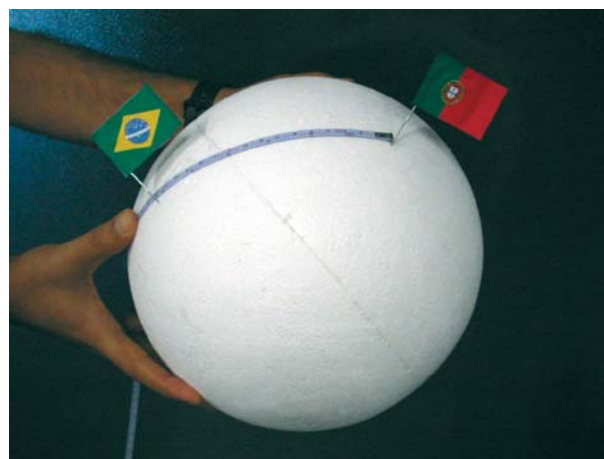


Fig. 4 - Bola de esferovite utilizada na determinação das dimensões da Terra pelo Planetário do Rio de Janeiro.

Os dados obtidos na escola de Cascais foram marcados numa bola de voleibol de 63,0 cm de perímetro.

Foram atingidos diversos objectivos: a vivência de um trabalho científico, o desenvolvimento de formas de expressão e a aquisição de conhecimentos variados, em História, Geografia, Astronomia, Física e Matemática.

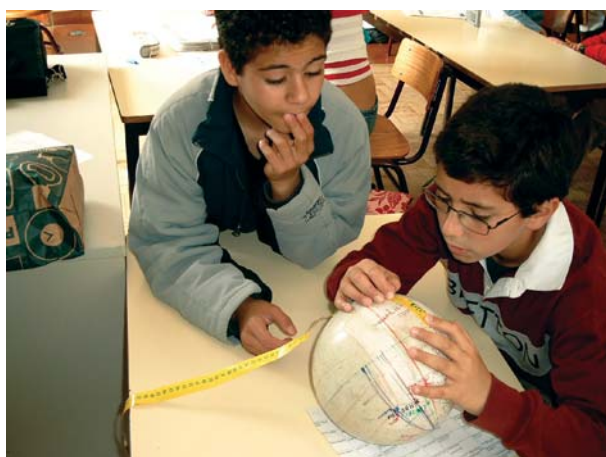


Fig. 5 - Alunos da Escola Secundária da Cidadela, trabalhando no cálculo das várias distâncias marcadas na bola de voleibol.

Esta actividade promove uma aplicação integrada de competências relativas às várias utilizações da Tecnologia de Informação e Comunicação, na medida em que os alunos, para além de consultas na *Web* acompanham as comunicações dos colegas por meio de câmaras e "falam" entre eles por *chat* [8].

Verificou-se que os estudantes executaram as tarefas com grande entusiasmo e motivação, tendo ficado surpreendidos com a precisão dos resultados obtidos em Cascais, 40 414 km em média.

Considera-se ainda que a simplicidade da actividade, conjugada com a possibilidade de se trabalhar com cidades que não estejam num mesmo meridiano, sugere que qualquer professor pode implementar esta experiência na sua escola, sem grandes dificuldades.

Atendendo aos óptimos resultados obtidos e ao interesse mostrado pelos alunos espera-se que nas próximas sessões, já programadas, haja ainda uma maior adesão de participantes, a nível quer nacional quer internacional.

A actividade de Eratóstenes, considerada em Setembro de 2002 pela revista *Physics World* como uma das mais belas experiências da Física, é sem dúvida uma excelente oportunidade de aprender física sem fronteiras.

Manuela Alves Moreira do Amaral
Escola Secundária da Cidadela - Cascais
manuela_amaral@yahoo.com

Mais informações:
<http://www.rio.rj.gov.br/planetario/eratostenes/english/era1.html>

REFERÊNCIAS

- [1] - "Biography" in *Dictionary of Scientific Biography*, New York, 1970-1990.
- [2] - Heath, T. L., *A History of Greek Mathematics*, Oxford, 1921.
- [3] - Boyer. C.B., *História da Matemática*, Editora Edgard Blucher Ltda., 1974.
- [4] - Gulbenkian, E. "The origin and value of the stadion unit used by Eratosthenes in the third century B.C", *Archive for History of Exact Sciences*, 37, 359-363, Springer, New York, 1987.
- [5] - D. Rawlins, "The Eratosthenes - Strabo Nile map. Is it the earliest surviving instance of spherical cartography? Did it supply the 5000 stades arc for Eratosthenes' experiment?", *Archive for History of Exact Sciences*, 26, 211-219, Springer, New York, 1982.
- [6] - <http://euler.on.br/ephemeris/index.php>
- [7] - <http://www.wcrl.ars.usda.gov/cc/c/java/lat-long.htm>
- [8] - <http://cophylab.no-ip.org/>

NOTAS:

¹ *stadium* designa uma antiga medida grega: 1 km seria aproximadamente 6,3 *stadium*.





VIDROS E EQUIPAMENTOS, LDA.

Telefs.: 21 9588450/1/2/3/4 Telefax 351 21 9588455
Rua Soeiro Pereira Gomes; 13 - R/C | <http://www.videq.pt>
BOM SUCESSO - 2615 ALVERCA
PORTUGAL

MATERIAL DIDÁCTICO



FÍSICA