

parjap  
portugal  
2009



6º congresso Ibero-americano  
de parques e jardins públicos

póvoa de lanhoso



**João Paulo M. Castro**

Adjunto na Escola Superior Agrária de Bragança  
Instituto Polit. Bragança & CIMO - Centro de Investigação de Montanha, Bragança - Portugal  
jpmc@ipb.pt

**Manuel Feliciano**

Assistente na Escola Superior Agrária de Bragança  
Instituto Polit. Bragança & CIMO - Centro de Investigação de Montanha, Bragança - Portugal  
msabenca@ipb.pt

**Luís Miguel P. Martins**

Professor Auxiliar na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro - Portugal  
lmartins@utad.pt

# DISPERSÃO ATMOSFÉRICA NA CIDADE DE BRAGANÇA COM RECURSO À DETECÇÃO REMOTA

João Paulo M. Castro; Manuel Feliciano; Luís Miguel P. Martins

## RESUMO

Este trabalho insere-se no projecto de investigação Greenurbe, que tem por objectivo avaliar os impactes dos espaços verdes da cidade de Bragança na qualidade do ambiente urbano (qualidade do ar, níveis de ruído e condições microclimáticas), em estreita relação com o bem-estar social, de modo a formular recomendações relativas ao desenho dos espaços verdes, enquanto vertente do planeamento urbano.

Neste estudo pretende-se avaliar os efeitos da vegetação na qualidade do ar, fazendo a sua relação com a medição do "haze" atmosférico, com recurso à fotografia aérea e fotografia panorâmica.

O método envolveu a aquisição e tratamento numérico de fotografia aérea de pequeno formato e fotografia panorâmica, com a medição simultânea de alguns parâmetros de qualidade do ar em vários locais de Bragança, como ozono (O<sub>3</sub>) partículas em suspensão na atmosfera de diâmetro inferior a 10 micrómetros (m) (PM10). Desde 2006 que se tem vindo a medir, em intervalos de 10 minutos, as concentrações de PM10 e de O<sub>3</sub>. Das várias fotografias panorâmicas sobre Bragança, obtidas regularmente, foi quantificada a visibilidade atmosférica e procurou relacionar-se essa redução de visibilidade (aumento do haze) com as concentrações de O<sub>3</sub> e PM10.

Os resultados até agora obtidos evidenciam a existência de uma relação inversa entre visibilidade da atmosfera e concentrações PM10. Relativamente ao ozono, a relação é contrária, uma vez que este poluente secundário tende a apresentar menores concentrações na proximidade das fontes de poluição. O facto de a cidade de Bragança não ter níveis de poluição muito elevados e os episódios de poluição serem pouco frequentes constituem dificuldades acrescidas ao estudo, porque o fenómeno de haze também está ligado a outros factores como por exemplo a humidade atmosférica. Apontamos algumas situações mais críticas em termos de poluição, resultantes provavelmente das emissões de poluentes pelo tráfego rodoviário, pelos sistemas de aquecimento, pelos fogos florestais em locais próximos, entre outras. Os resultados obtidos aconselham o prolongamento do período de estudo para aumentar a segurança das conclusões e melhorar as correlações entre as variáveis medidas.

**Palavras-chave:** detecção remota; PM10; O<sub>3</sub>; fotografia panorâmica; regressão linear.

## 1. INTRODUÇÃO

Os fenómenos de dispersão atmosférica são bem conhecidos em fotografia. Por exemplo, em fotografia aérea, é normal a utilização de filtros como forma de reduzir os efeitos de neblina, provocados pela dispersão atmosférica. Por outro lado, é reconhecido que o efeito da dispersão atmosférica pode estar ligado a fenómenos de poluição (Lillessand e Kiefer, 2000; Castro *et al.*, 2009).

Dado que a neblina provoca a dispersão da luz, seria de esperar que os fenómenos de haze, causados por poluição atmosférica, pudessem ser avaliados de forma expedita. Mediante a recolha simultânea no campo de valores de concentrações de partículas de diâmetro inferior a 10 micrómetros (m) (PM10) e de ozono, poder-se-ia fazer a comparação de fotografias relativas a dias de atmosfera limpa e de atmosfera com haze, e verificar eventuais correlações.

É também reconhecido que a água reflecte muito pouco em todos os comprimentos de onda do espectro visível, ou do infravermelho próximo. Assim, quando se analisam imagens de detecção remota, verificam-se os valores de reflexão correspondentes a grandes extensões de água profunda e pura (Murtha, 1978; Avery e Berlin, 1992). Alguma luminosidade correspondente, que eventualmente exista, refere-se a fenómenos exteriores, nomeadamente dispersão atmosférica, e não a reflexão da água (Castro, 1997).

Por outro lado, a dispersão atmosférica suaviza toda a luminosidade numa fotografia aérea ou panorâmica. O contraste reduz-se e a definição dos objectos fotografados esbate-se. Poderemos afirmar que a variabilidade de luminosidade é menor quando a atmosfera apresenta haze (Castro, 1997).

Os valores de PM10 superiores a 20 µg/m<sup>3</sup> são considerados já elevados pela World Health Organization (WHO) [1] e o céu deixa de ser azul a partir de 100 µg/m<sup>3</sup>. As leituras devem ser efectuadas ao longo do tempo porque a concentração de PM10 pode variar muito rapidamente, dependendo da persistência da fonte poluente. Por exemplo, em Pequim foram medidas concentrações pontuais de PM10 na atmosfera muito acima do razoável. As autoridades consideraram então uma outra estimativa do haze e que entra em conta com o número de dias por ano de céu azul, o que é o mesmo que contabilizar o número de dias com menos de 100 µg/m<sup>3</sup>. O número de dias de céu azul variou desde 100 no ano de 1998, para 246 em 2008 [1].

O haze também pode ser formado apenas por causas naturais, tais como a neblina matinal. Por isso mesmo, no caso deste estudo – cidade de Bragança –, foram medidas não só as concentrações de PM10 e de ozono (O<sub>3</sub>) mas também dados climáticos tais como a radiação solar absoluta e a humidade relativa. Os valores observados de concentrações de PM10 e de ozono (O<sub>3</sub>) têm sido generalizadamente muito mais baixas que em cidades como Pequim. Pontualmente foram registados valores bastante elevados e que poderão estar relacionados com alguma fonte poluente não sistemática ou então de origem exterior da cidade e trazida para dentro pelo vento [3].

Os objectivos deste trabalho foram avaliar a transparência da atmosfera através de detecção remota, e comparar essa informação com os valores recolhidos no terreno à mesma hora e data. Isso possibilita estabelecer um método expedito de detecção de haze atmosférico, pesquisando-se relações de causa efeito entre o haze e a poluição atmosférica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho teve início em 2006 com a aquisição de fotografia aérea sobre a cidade de Bragança. De acordo com a metodologia proposta inicialmente, realizou-se no dia 19 de Setembro de 2006 uma missão aerofotográfica com descolagem e aterragem no aeródromo de Vila Real. Considerou-se o mês de Setembro o período mais adequado para a estudos de dispersão atmosférica causada pelas emissões de fumo dos frequentes fogos florestais.

O planeamento de voo foi feito tendo em conta vários factores, entre os quais, as previsões meteorológicas que apontavam céu limpo para aquele dia. Foram planeadas 3 linhas de voo sobre Bragança, a diferentes alturas (520, 800 e 1200 m), para avaliar eventuais diferenças de dispersão atmosférica consoante a altura em relação ao solo. No planeamento previu-se a captura de imagens com sobreposição estereoscópica longitudinal de (60%), de acordo com a altura de voo. Dadas as distintas alturas houve necessidade de programar um intervalómetro para garantir uma cadência de disparo adequada, fazendo a navegação por GPS, tal como é descrito por Castro *et al.* (2004) e Martins *et al.* (2007a; 2007b).

Utilizaram-se 2 câmaras fotográficas numa plataforma retráctil, adaptada ao avião *Cessna 172* (Figura 1). Uma de médio formato (*Rolleiflex 6008*) com objectiva normal de 80 mm e película fotográfica colorido normal diapositivo 100 ASA e outra digital de pequeno formato (*Fuji S1 Pro*) com objectiva normal de 28 mm. As objectivas não foram equipadas com filtros para não eliminar o efeito da neblina.

Tal como se tinha estipulado inicialmente, foram captadas fotografias sobre uma albufeira (albufeira da barragem do Azibo) para capturar imagens com reflectância nula. Após o voo, as imagens analógicas (médio formato) foram reveladas e digitalizadas (1800 ppp) para poderem ser processadas digitalmente.

O procedimento descrito acima foi substituído em 2007 pela aquisição de fotografia panorâmica, isto é, fotografia cujo campo de visão inclui a linha de horizonte. Foi utilizada uma câmara fotográfica com filme que posteriormente teve de ser revelado e digitalizado, e no ano seguinte, em 2008, passou-se a utilizar uma câmara fotográfica digital (*Fuji S1 Pro*).



Figura 1. Avião Cessna 172 com plataforma para equipamento fotográfico.

A amostragem de campo foi feita com sensores fixos de medição da qualidade do ar e condições meteorológicas. Foram medidos valores de poluentes como as partículas PM10 e também ozono (O<sub>3</sub>) em intervalos de 10 minutos. Simultaneamente registou-se a temperatura, a radiação solar, a humidade atmosférica, direcção e velocidade do vento, e a precipitação. Pretendia-se avaliar a possibilidade de se compararem fotografias relativas a dias de atmosfera limpa e de atmosfera com haze, com o objectivo de se verificarem eventuais correlações.

A avaliação expedita da transparência da atmosfera e do fenómeno da neblina ou haze consistiu em estimar o contraste e variabilidade de tonalidade em alvos fixos situados algures na linha do horizonte, a alguns quilómetros do local de observação, para Nordeste. O local de observação foi o ponto mais elevado de Bragança, no último piso do antigo silo de cereal da EPAC.

A avaliação do haze foi feita por análise numérica sobre o programa Photoshop de fotografias panorâmicas. No programa Photoshop foram seleccionados dois alvos, contendo 122976 pixéis cada um. Um dos alvos coincide com uma zona abaixo da linha do horizonte (apenas terra e vegetação) e outra acima (apenas céu). Foram feitas leituras de luminosidade nos dois alvos predefinidos. Este exemplo da amostragem corresponde a uma fotografia tirada às 10:00h da manhã do dia 23-10-2008 (Figura 2).

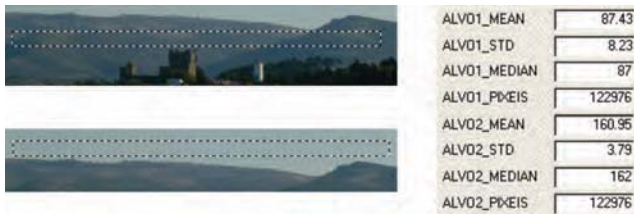


Figura 2. Foto de 23-10-2008 às 10:00h (alvo 1 – acima; alvo 2 abaixo; valores indicados: luminosidade média, desvio padrão, mediana e número de pixels da amostragem).

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A fotografia aérea não foi viável devido aos seus custos elevados e por não permitir sequências contínuas de dados.

Em relação às fotografias panorâmicas, as câmaras analógicas demonstraram não ser as mais adequadas porque implicavam a revelação das fotografias em laboratório profissional e a digitalização. De facto, todo este processo inviabilizou o carácter expedito do sistema que só por si seria motivo suficiente para o seu abandono.

A utilização da câmara digital reflex de boa qualidade (Fujifilm S1 Pro) a partir de 2008 revelou ser mais adequada. O automatismo que já tinha sido desenvolvido para a aquisição de fotografias a várias horas do dia continuou a funcionar correctamente. A velocidade do obturador e da abertura do diafragma foram regulados manualmente tendo proporcionado imagens com valores de luminosidade apenas dependentes da real reflexão dos objectos fotografados.

O automatismo desenvolvido apenas permitiu 6 disparos por dia. Por isso, ao longo do ano foi necessário alterar a hora de aquisição de fotografias para se garantirem apenas períodos diurnos. Ocorreram algumas falhas de dados do campo devido a manutenções. E os dias com chuva não foram considerados porque para a avaliação do haze são necessários dias limpos e sem nuvens. Por essas razões, os dados disponíveis de 2008 foram de certa forma escassos.

Na Figura 3 mostram-se as fotografias de dois dias consecutivos, dia 9 e dia 10 de Setembro de 2008, de manhã e à tarde. Pode observar-se um valor de haze superior na manhã do dia 9 (canto superior esquerdo) quando comparado com o valor obtido à mesma hora do dia seguinte (canto superior direito).

Os valores encontrados de PM10 de manhã foram coerentes e superiores no dia 9 (PM10 de 73,6 e 33,4g/m<sup>3</sup>, respectivamente). De tarde, os valores de PM10 do dia 10 foram ligeiramente inferiores (PM10 de 37 e 26 g/m<sup>3</sup>, respectivamente).



Figura 3. Dias 9 (esquerda) e 10 (direita) de Setembro às 10:00h (cima) e 18:00h (baixo)

Pela análise dos dados de campo constatou-se da reduzida poluição de Bragança, dificultando neste caso em concreto o estudo comparativo. A avaliação noutra local com maior poluição (outra cidade) poderia oferecer maiores oportunidades de análise. Efectivamente, verificou-se não terem ocorrido episódios de poluição relevantes durante o Verão de 2008, nas imediações de Bragança, designadamente incêndios florestais.

Os ventos também tiveram pouca influência na importação de partículas poluentes. Como tal, o estudo foi mais dirigido para situações relativamente mais críticas, mas causadas por emissões de poluentes ocorridas dentro da cidade de Bragança, eventualmente relacionadas com sistemas de aquecimento durante o Inverno.

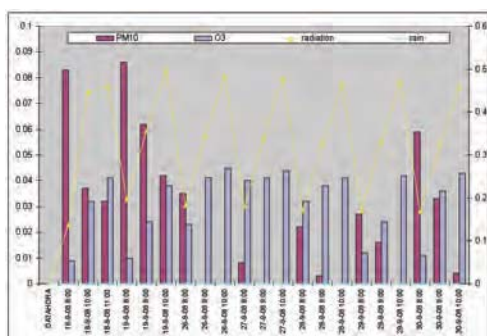


Figura 4. Variação média diária da Radiação Solar e da Precipitação durante Setembro de 2008 e concentrações de O<sub>3</sub> e de partículas PM10 entre as 08:00h e as 10:00h.

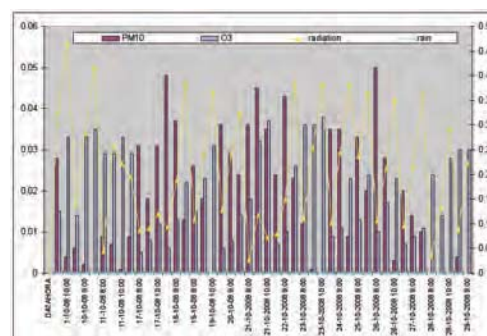


Figura 5. Variação média diária da Radiação Solar e da Precipitação durante Outubro de 2008 e concentrações de O<sub>3</sub> e de partículas PM10 entre as 08:00h e as 10:00h.

Apresenta-se a título de exemplo nas Figura 4 a Variação média diária da Radiação Solar e da Precipitação durante o mês de Setembro de 2008, e correspondentes concentrações de O<sub>3</sub> e de partículas PM10 entre as 08:00h e as 10:00h.

A Variação média diária da Radiação Solar e da Precipitação durante o mês de Outubro de 2008, e correspondentes concentrações de O<sub>3</sub> e de partículas PM10 entre as 08:00h e as 10:00h é indicada na Figura 5 e na Figura 6. Nas figuras indica-se a variação média diária da Radiação Solar e da Precipitação durante o mês de Outubro de 2008, e correspondentes concentrações de O<sub>3</sub> e de partículas PM10 entre as 14:00h e as 18:00h. Observa-se uma concentração anormal de PM10 nos dias 18 e 19 de Outubro.

O Inverno de 2008/2009 foi mais frio que o habitual, o que provavelmente fez aumentar as emissões poluentes libertadas pelos sistemas de aquecimento. No entanto, as sequências fotográficas obtidas foram escassas porque ocorreu elevada nebulosidade entre Setembro de 2008 e Janeiro de 2009.

O tratamento numérico das fotografias demonstrou ser relativamente rápido e conclusivo. Os dados medidos no campo e nas fotografias foram integrados e realizaram-se alguns testes estatísticos comparativos.

Foi estabelecida uma regressão linear entre a concentração de partículas PM10 e a concentração de O<sub>3</sub> (Figura 7) com uma correlação de 0,84 [P-value= 1.2413310<sup>-20</sup> \*\*\*]

Equação da recta de regressão [PM10] vs [O<sub>3</sub>]:  
 $\log([PM10]) = -0.0143[O_3] + 0.0386$  [1]

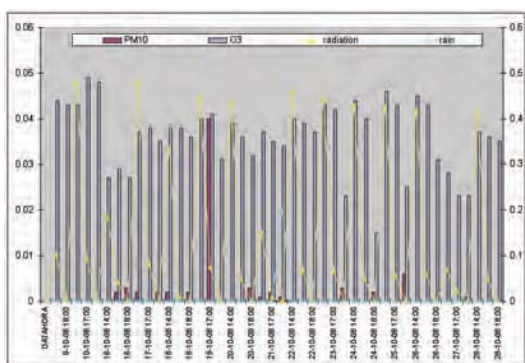


Figura 6. Variação média diária da Radiação Solar e da Precipitação durante Outubro de 2008 e concentrações de O<sub>3</sub> e de partículas PM10 entre as 14:00h e as 18:00h.

Considerando o alvo fotográfico 2, isto é, o alvo situado abaixo da linha do horizonte e que contém vegetação e solo, foi encontrada uma relação linear inversa entre o desvio padrão dos valores de luminosidade e o logaritmo da concentração de partículas PM10 (Figura 8). Obteve-se para esta regressão um coeficiente de correlação de 0,84 [P-value= 1.2413310<sup>-20</sup> \*\*\*].

Equação da recta de regressão ALVO1\_STD vs [PM10]:  
 $\text{LOG}([Alvo1\_std]) = -0.3276 \text{ LOG}([PM10]) + 5.6449$  [2]

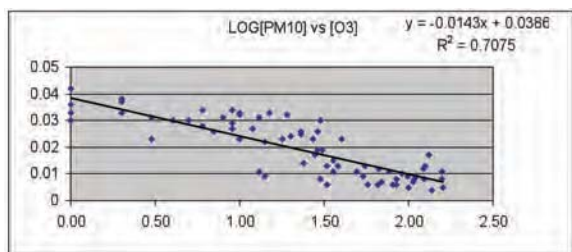


Figura 7. Regressão linear entre a concentração de partículas [PM10] e a concentração de [O<sub>3</sub>] com uma correlação de 0,84 [P-value= 1.2413310<sup>-20</sup> \*\*\*]

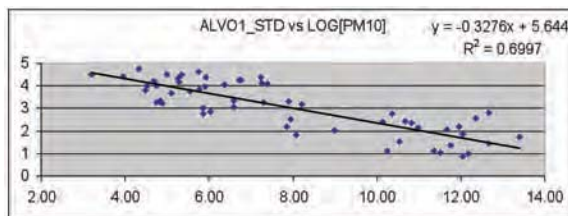


Figura 8. Relação linear entre o desvio padrão dos valores de luminosidade e o logaritmo da concentração de partículas PM10 (R<sup>2</sup> = 0,6997; P= 1.6066110<sup>-16</sup>\*\*\*)

O método aplicado partiu do princípio que em dias limpos a atmosfera seria mais transparente e por isso um alvo qualquer apresentaria uma maior variabilidade de contraste. Assim, como medida da variabilidade foi considerado o desvio padrão da luminosidade medida na área amostrada. Efectivamente, na observa-se que o desvio padrão do céu é sempre menor, porque o alvo é mais homogéneo. Quando o efeito de haze é mais intenso, a média e mediana da luminosidade do céu aumentam. Por outro lado, o desvio padrão da luminosidade do alvo 1 diminui nessas condições.

## 4. CONCLUSÕES

A fotografia aérea de pequeno e médio formato não foi eficaz e por isso não considerada em estudos posteriores. Para as fotografias panorâmicas não se aconselha a utilização de câmaras fotográficas analógicas, as quais foram substituídas por uma câmara fotográfica digital com muitas vantagens.

Parece haver uma relação directa do haze com a redução dos teores de ozono (O<sub>3</sub>) e o aumento dos teores de partículas de diâmetro inferior a 10 m (PM<sub>10</sub>).

Pela mesma data foi realizada uma experiência parecida em Pequim, por ocasião dos jogos Olímpicos de 2008. Um jornalista da BBC relatava a 11 de Agosto de 2008 a preocupação da comissão organizadora dos Jogos Olímpicos de Pequim com a poluição atmosférica e na avaliação dos riscos das actividades desportivas ao ar livre, ainda que a poluição em Pequim já tivesse descido muito quando comparada com anos anteriores. Mesmo assim, WHO considerou os valores de poluição atmosférica ainda demasiado altos [1].

Foram, por isso, tomadas medidas mais drásticas para reduzir ainda mais os níveis de poluição atmosférica: redução do tráfego automóvel, interrupções de fábricas nas zonas urbanas, entre outras. Gerou-se a opinião pública de que o intenso haze sobre Pequim estaria directamente ligado com os elevados níveis de poluição, embora essa ideia tivesse sido refutada pelo Director Executivo do "International Olympic Committee" (IOC), Gilbert Felli [1].

Os jornalistas da BBC montaram um esquema algo semelhante ao testado no presente trabalho tendo captado várias fotografias panorâmicas e verificado no campo os valores de PM<sub>10</sub>. Nesse estudo empírico as relações são mais evidentes do que o afirmado pelo IOC.

O presente trabalho deverá pois ter continuidade para se obterem dados que comprovem os resultados já obtidos. Os resultados já obtidos permitem já prever a criação dum método expedito de determinação de focos de poluição no espaço urbano e estabelecer alguma zonagem relativamente à influência das áreas verdes na diminuição da expressão desses focos.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e pelo Fundo Europeu para o Desenvolvimento Regional (FEDER), através do projecto PPCDT/AMB/59174/2004 "Os Impactes dos Espaços Verdes na Qualidade do Ambiente Urbano".

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avery, T. E. and G. L. Berlin. 1992. Fundamentals of remote sensing and air photo interpretation. Prentice-Hall, Inc. 5<sup>a</sup> ed., New Jersey, 472 pp.
- Castro, J. P. M. 1997. Cartografia de uso do solo em zona de montanha com recurso à detecção remota. Dissertação de Mestrado, UTAD, Vila Real, 200 pp.
- Castro, J. P. M.; L. M. Martins; J. T. Aranha e F. W. Macedo. 2004. Sistema de navegação para fotografia aérea de pequeno formato. *Silva Lusitana* 12 (2): 213-225.
- Castro, J. P., W. Macedo, J. Azevedo and L. Martins. 2009. Assessment of the spread of Chestnut Ink Disease by remote sensing. In: 1st European Congress and 5th Italian Congress on Chestnut, 13-16 October 2009, Cuneo, Italy (submitted)
- Castro, Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer. 2000. Remote sensing and image interpretation. Joh Sons, Inc., Fourth Edition, New York, 725 pp.
- Lillesand T. M. and R. W. Kiefer. 2000. Remote sensing and image interpretation. Joh Sons, Inc., Fourth Edition, New York, 725 pp.
- Martins, L. P. M., J. P. M. Castro e F. A. W. Macedo. 2007a. Fotografia aérea de pequeno formato na monitorização da tinta do castanheiro em Portugal. In: Disperati, Attilio A., Ricardo F. Amaral e Carlos A. B. Schuler (eds), *Fotografias Aéreas de Pequeno Formato: Aplicações Ambientais*. UNICENTRO, pp.129-154, Irati, Paraná.
- Martins, L.M., J. P. Castro, F. W. Macedo, C. P. Marques and C. G. Abreu. 2007b. Assessment of the spread of Chestnut Ink Disease using remote sensing and geostatistical methods. *European Journal of Plant Pathology* 119 (2): 159-164.
- Murtha, P. A. 1978. Remote sensing and vegetation damage: a theory for detection and assessment. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing* 44 (9): 1147-1158.

[1] <http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/7498198.stm> (Março, 2009)

[2] [http://www.chinadaily.com.cn/olympics/2008-07/29/content\\_6886287.htm](http://www.chinadaily.com.cn/olympics/2008-07/29/content_6886287.htm) (Março, 2009)

[3] [http://news.bbc.co.uk/2/hi/in\\_pictures/7506925.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/in_pictures/7506925.stm) (Março, 2009)