

# territorium



16

**DIAGNÓSTICO DE VENTO DE UMA REGIÃO  
USANDO UMA CARTA METEOROLÓGICA DE SUPERFÍCIE\***

**Mário A.R. Talaia**

Departamento de Física, Universidade de Aveiro,  
Campus Santiago, Aveiro  
[mart@ua.pt](mailto:mart@ua.pt)

**Rui Fernandes**

ISCTA – Instituto Superior de Ciências da Informação e da Administração Aveiro  
[rualberto.fernandes@gmail.com](mailto:rualberto.fernandes@gmail.com)

**RESUMO**

O comportamento e o desenvolvimento de um incêndio florestal estão directamente relacionados com o chamado Triângulo do Fogo Florestal, nomeadamente com parâmetros meteorológicos: temperatura, humidade e vento.

Neste trabalho é apresentada uma contribuição de modo a ser possível fazer um diagnóstico simples das características de vento. Também, é possível conhecer e interpretar as condições meteorológicas, a partir do uso de cartas meteorológicas de superfície.

São apresentados sítios da *Internet* que disponibilizam cartas meteorológicas sinópticas.

**Palavras chave:** incêndio florestal, alterações climáticas, desastres naturais, cartas meteorológicas de superfície

**RÉSUMÉ**

Le comportement et le progrès d'un incendie dans une forêt sont mis en rapport avec le triangle du feu forestier, notamment avec les paramètres météorologiques: température, humidité et vent.

Ça c'est une contribution qui peut aider à faire un simple diagnostic à la façon de connaître et interpréter les conditions météorologiques à partir de cartes météorologiques de surface.

Ici sont présentées plusieurs adresses à l'*internet* qui montrent des cartes météorologiques synoptiques et font aussi l'interprétation physique vis-à-vis des valeurs diagnosticables.

**Mots-clés:** incendie forestier, changement climatique, désastres naturels, cartes météorologiques de surface.

**ABSTRACT**

The behaviour and progress of a forestal fire are straight related with the so called forestal fire triangle, namely with the meteorological parameters: temperature, humidity and wind.

This is a contribution that helps to be possible to make a simple diagnosis in order to know and explain meteorological conditions by means of use of meteorological charts near surface.

Here are given several *internet* sites which permit to access to synoptical meteorological charts as well as to its physical explanation according the diagnostic values.

**Keywords:** forestal fire, climate change, natural disasters, meteorological charts of surface

\* Comunicação apresentada ao V Encontro Nacional e I Congresso Internacional de Riscos.

## Introdução

Alguns desastres naturais estão associados a fenómenos meteorológicos extremos. Por exemplo, períodos de seca prolongada podem ser desastrosos e favorecer incêndios florestais, quando são condicionados, em simultâneo, por humidade relativa do ar baixa, temperatura do ar alta e ventos fortes.

É sabido que o aquecimento global está a provocar alterações de clima e desta forma estão a ser alterados os padrões de risco (IPCC, 2001; IPCC, 2007).

Várias frentes podem ser accionadas: a *científica* permite desenvolver competências de construção de conhecimento científico, de modo a interpretar os diferentes fenómenos meteorológicos que podem provocar desastres naturais como por exemplo um incêndio florestal; a *educacional* deve começar nas escolas e dar atenção à cidadania; a *política e social* permite tomar decisões adequadas e considerar a coordenação organizacional.

Pensa-se que num incêndio florestal é importante conhecer o que pode contribuir para o seu comportamento e para o seu desenvolvimento.

O comportamento e o desenvolvimento de um incêndio florestal estão directamente relacionados com o chamado *Triângulo do Fogo Florestal*: o *combustível* tem a ver com o tamanho, carga térmica existente, continuidade e teor de humidade; a *morfologia do terreno* com altitude, relevo e exposição; a *meteorologia* com temperatura, humidade relativa do ar e vento (intensidade e direcção).

As coordenadas geográficas de Portugal permitem usar um método de diagnóstico, que é apresentado e que é válido para a latitude de cerca de 40° N, denominado *diagnóstico de vento geostrófico*.

Neste método de diagnóstico, a partir de cartas meteorológicas de superfície será possível, de uma maneira simples e rápida, conhecer a orientação, origem, sentido e intensidade do vento. São usados centros de baixa pressão (ciclones), centros de alta pressão (anticiclones), linhas isobáricas (indicam a mesma pressão), distância entre linhas isobáricas, massa volumica do ar, temperatura do ar e pressão do local.

## Teoria

Para prever o estado do tempo atmosférico é fundamental saber como se comporta e circula o ar à escala sinóptica.

Na meteorologia sinóptica, procura-se por um processo de comparação, análise e síntese do resultado das observações, executadas numa rede de estações meteorológicas, identificar e caracterizar as principais "entidades" meteorológicas e prever a sua evolução.

O método sinóptico é "sui generis" no domínio das ciências, porque consiste fundamentalmente, na recolha dos resultados das observações executadas nas diferentes estações no mesmo momento (horas sinópticas).

Nestas circunstâncias, é possível prever se irá ocorrer ou não precipitação num dado local ou ainda para estimar a direcção, intensidade e sentido do vento.

Para prever o movimento e comportamento do ar à escala sinóptica, é fundamental identificar e localizar os centros de altas e baixas pressões.

É sabido que a pressão atmosférica diminui rapidamente com a altitude, mas à superfície terrestre a variação de pressão atmosférica dá-se em torno de um valor médio de cerca de 1013mbar ou 1013hPa. Estas variações de pressão à superfície ocorrem devido ao aquecimento desigual da superfície terrestre (McINOSH e THOM, 1981; SALEY, 1995).

Um anticiclone é um sistema de isóbaras fechadas em que a pressão atmosférica diminui do centro para a periferia, em todas as direcções e é representado pela letra **A** (de alta) ou **H** (de High). Uma depressão é um sistema de isóbaras fechadas em que a pressão atmosférica aumenta do centro para a periferia, em todas as direcções e é representada pela letra **B** (de baixa) ou **L** (de Low).

Para perceber como ocorre a circulação de ar nos centros de altas e baixas pressões, é necessário compreender o conceito de equilíbrio de forças.

Fala-se em equilíbrio da pressão atmosférica quando esta possui iguais valores junto ao solo, no entanto devido à existência de variações de pressão, essa situação de equilíbrio não se verifica. Quando ocorrem diferenças de pressão, a atmosfera tentará repor valores de pressão iguais. Como consequência haverá movimento de ar proveniente de um anticiclone em direcção a um centro depressionário, como se ilustra fig.1.

O vento junto ao solo é originado devido às diferenças de pressão que aí se registam. A força que faz com que o ar se desloque das altas para as baixas

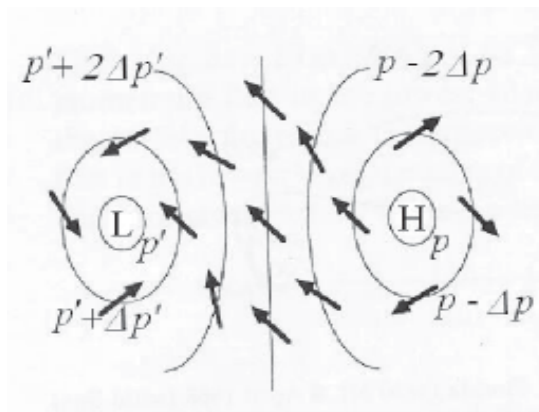


Fig. 1 - Movimento do ar das altas para as baixas pressões [adaptado de HILTON (2004)].



pressões designa-se por força de gradiente de pressão.

Em função do movimento de rotação da Terra é gerada uma força denominada força de Coriolis (para movimentos à escala sinóptica, não pode ser desprezada), que é perpendicular ao movimento do ar ou seja ao vector velocidade do pacote de ar. A sua acção vai fazer com que o deslocamento do ar, em relação ao seu movimento inicial, seja desviado para a direita no Hemisfério Norte (HN), como se ilustra na fig. 2.

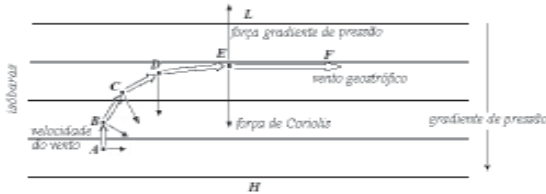


Fig. 2 - Movimento de um pacote de ar: aproximação geostrófica (HN).

Na fig.2, no instante inicial, a força de Coriolis é nula pois também é nula a velocidade do pacote de ar (a força de Coriolis só aparece quando a velocidade da parcela de ar é diferente de zero). Quando o pacote de ar inicia o movimento por acção da força gradiente de pressão, surge imediatamente a força de Coriolis, sendo sempre perpendicular ao vector velocidade e proporcional a esta. A trajectória do pacote de ar será portanto desviado para o lado em que actua a força de Coriolis. Estabelece-se assim o equilíbrio entre a força gradiente de pressão e a força de Coriolis.

Note-se que se houver alteração na distribuição das pressões demorará um certo intervalo de tempo a restabelecer-se o equilíbrio. Chama-se ainda a atenção que esta solução do vento geostrófico não é aplicável nas regiões intertropicais, entre 15°N e 15°S (não há equilíbrio entre a força de Coriolis e a força gradiente de pressão). Nas latitudes médias e altas verifica-se que o vento na atmosfera livre é quase geostrófico. A aproximação geostrófica é, portanto, útil porque pode ser utilizada numa grande parte do globo para estimar ventos a partir da distribuição da pressão atmosférica.

Existe também uma força adicional que vai alterar a direcção do vento denominada força de atrito, que actua junto ao solo e não só muda a direcção como reduz a intensidade do vento, como se ilustra na fig.3.

Como consequência, no centro depressionário o ar irá circular para dentro (há convergência) e no anticiclone o ar irá circular para fora (há divergência). Assim, quando o ar chega a um determinado local, proveniente de diferentes direcções (convergência), terá de continuar o seu movimento. Como consequência, se o ar estiver junto

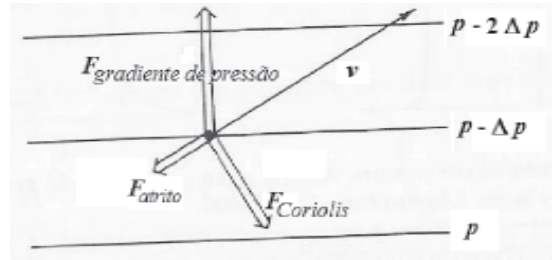


Fig. 3 - Balanço das forças: gradiente de pressão, de Coriolis e de atrito (turbulência).

ao solo, terá de ascender na atmosfera. Quando num determinado ponto o ar se afasta em todas as direcções (divergência), isso significa que proveio de uma maior altitude.

Quando o ar sobe, a sua temperatura diminui. Se essa diminuição de temperatura for suficiente em atingir uma temperatura igual ou inferior à do ponto de orvalho, haverá condições para que o vapor de água condense e possa haver formação de nuvens. Esta situação, onde ocorre convergência e subida de ar, está associada à formação de nuvens e pode ocorrer precipitação.

Por outro lado, nos anticiclones ocorre divergência e descida ou acumulação de ar junto ao solo. Ao descer, a sua temperatura aumenta, o que favorece uma diminuição da humidade relativa do ar. Nestas circunstâncias não ocorre condensação de vapor de água, não há formação de nuvens e promove-se condições de bom tempo.

O vento horizontal devido à força de atrito muda ligeiramente de direcção tomando o sentido para a pressão mais baixa, como se indica na fig. 1. Esta situação implica numa convergência de massa quando se trata de circulação ciclónica e numa divergência de massa no caso de circulação anticiclónica, a qual por continuidade de massa se requer movimento vertical ascendente e descendente, respectivamente.

Nesta perspectiva é possível considerar a aproximação denominada de aproximação geostrófica, que tem como componentes:

segundo x

$$-fv \cong -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1)$$

segundo y

$$+fu \cong -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (2)$$

em que  $f$  representa o parâmetro de Coriolis,  $\rho$  a massa volúmica do ar,  $p$  a pressão,  $v$  a velocidade meridional e  $u$  a velocidade zonal.

As expressões (1) e (2) são de diagnóstico e estabelecem a relação entre o campo horizontal de pressão e a velocidade horizontal (nas duas



componentes, a zonal e a meridional). Na prática, se uma variável for conhecida pode avaliar-se a outra.

A aproximação geostrófica é válida para escalas sinóticas nas latitudes extratropicais. Por que não aparece a variável tempo nas expressões (1) e (2), não é possível prever a evolução do campo da velocidade.

O vento geostrófico (geo - Terra; estrófico - que roda) no campo horizontal, em termos vectoriais, é dado por

$$\vec{V}_g = u_g \hat{i} + v_g \hat{j} \quad (3)$$

e o seu valor é determinado a partir do produto vectorial,

$$\vec{V}_g = \hat{k} \times \frac{1}{\rho f} \nabla p \quad (4)$$

em que  $\hat{k}$  representa um versor (vector unitário) que é perpendicular ao plano da carta e com sentido positivo do plano considerado para o topo da atmosfera, e  $\nabla p$  o gradiente da pressão (da orientação ao campo de pressões). A expressão (4) pode tomar o aspecto

$$\vec{V}_g = \hat{k} \times \frac{1}{\rho f} \left( \frac{\partial p}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial p}{\partial y} \hat{j} \right) \quad (5)$$

resultando para as componentes zonal e meridional,

$$+u_g = -\frac{1}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial y} \quad v_g = +\frac{1}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (6)$$

O parâmetro de Coriolis  $f$  é determinado a partir da expressão

$$f = 2\Omega \sin(\varphi) \quad (7)$$

onde  $\Omega$  representa a velocidade angular da Terra e  $\varphi$  a latitude local.

O parâmetro de Coriolis é superior a zero (positivo) no Hemisfério Norte.

Assim, a distribuição do vento geostrófico depende essencialmente da distribuição da pressão ao longo da horizontal (o parâmetro de Coriolis varia com a latitude e a massa volúmica varia muito pouco ao longo da horizontal).

Nestes termos, o vento geostrófico é uma boa aproximação do movimento horizontal real do ar. Vamos supor uma dada distribuição espacial horizontal da pressão atmosférica representada numa carta meteorológica.

Como o gradiente de pressão horizontal  $\nabla p$  é um vector perpendicular às isobáricas que aponta no sentido crescente dos valores da pressão e como  $\hat{k}$  é perpendicular ao plano da representação, o vector velocidade geostrófica  $\vec{V}_g$ , conforme se indica na expressão (4), aponta paralelamente segundo as isobáricas deixando à sua direita os valores mais altos da pressão.

Na fig. 4 está esquematizada a direcção e sentido do vento geostrófico no Hemisfério Norte, quando se usa a regra do saca-rolhas na aplicação da expressão (4). Não esquecer que a rotação deve ser feita sempre no sentido do menor ângulo.

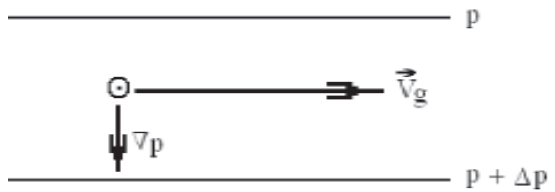


Fig. 4 - Ilustração da orientação do vento geostrófico.

Para estudar a intensidade ou módulo do vento geostrófico pode admitir-se com boa aproximação que localmente a massa volúmica e o parâmetro de Coriolis pouco variam. Então o módulo da velocidade geostrófica será proporcional ao módulo do  $\nabla p$  como se indica,

$$V_g \cong \frac{1}{\rho f} \frac{\Delta p}{\Delta n} \quad (8)$$

onde  $\Delta n$  representa o afastamento ou a distância entre duas isobáricas correspondentes à variação da pressão  $\Delta p$ , como se ilustra na fig. 5. A intensidade do vento geostrófico é inversamente proporcional ao afastamento das isobáricas.

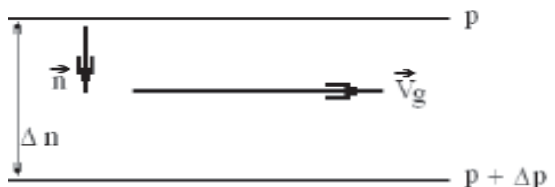


Fig. 5 - Vento geostrófico condicionado pela distância entre isobáricas.

De acordo com a lei de Buys Ballot podem ser retiradas algumas conclusões: o vento geostrófico é inversamente proporcional ao afastamento das isobáricas; para o mesmo gradiente de pressão o vento geostrófico é mais forte nas latitudes baixas do que nas latitudes altas; para a mesma latitude e com o mesmo valor de  $\Delta p / \Delta n$ , o vento geostrófico é inversamente proporcional à massa volúmica do ar, ou seja, é directamente proporcional à temperatura.

O vento real pode coincidir com o movimento geostrófico apenas se os contornos de altura forem paralelos aos círculos de latitude. Conforme já citado, o vento geostrófico é geralmente uma boa aproximação do vento real nos distúrbios extra-tropicais de escala sinótica. No entanto, para cada situação deve avaliar-se esta afirmação.

### Análise de cartas meteorológicas de superfície

O nosso objectivo é avaliar a direcção, intensidade e sentido do vento na região centro de Portugal.

Para o efeito considerou-se, para exemplo, um dia aleatório, o dia 28 de Abril de 2009.

Recorreu-se a dois sítios na Internet para obtenção de cartas meteorológicas do dia em análise (on-line a 28/4/2009) :

<http://www.meteo.pt/pt/otempo/previsao numerica/>  
<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/tkfaxbraar.htm>.

A fig. 6 mostra a carta meteorológica de superfície ECMWF pressão ao nível médio do mar para o dia 28/4/2009. Na figura a letra A indica a presença de anticiclone (centro de alta pressão) e a letra B de ciclone (centro de baixa pressão). As linhas a negro são isóbaras e indicam para a mesma linha uma pressão igual. Os valores indicados, por exemplo aqueles que nos interessam, 1014 e 1018 não apresentam unidades. Na meteorologia estes valores são indicados no sistema internacional SI na unidade de mbar ou hPa.

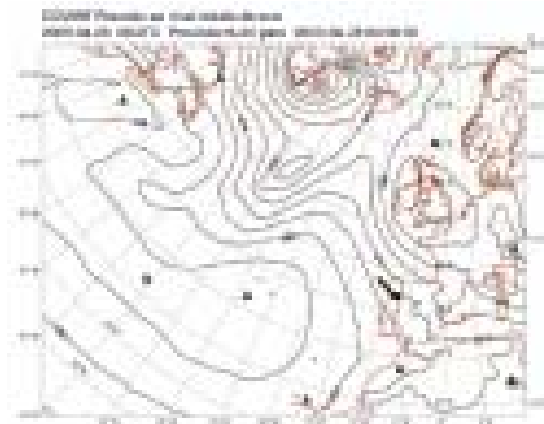


Fig. 6 - Carta meteorológica de superfície ECMWF para o dia 28/4/2009.

Como avaliar a direcção do vento na região centro de Portugal?

De acordo com a teoria apresentada, estando Portugal a uma latitude superior a  $35^\circ$  e inferior a  $45^\circ$  pode usar-se a aproximação geostrófica.

A linha de pressão de valor mais alto (1018 hPa) atravessa Portugal e a linha de valor mais baixo (1014 hPa) está a Norte de Portugal. O pacote de ar no seu movimento deve deixar a linha isóbara com valor de pressão mais alto à sua direita. Nestas circunstâncias a direcção será de noroeste para sudeste, como se indica pela seta a negro. Esta seta (indica o vector velocidade) deve ser deslocada ligeiramente para a isóbara de valor mais baixo devido à força de atrito ou seja deve provocar convergência num centro de baixa pressão. Assim, a representação da orientação do vento é aproximadamente a indicada.

Uma maneira expedita de identificar a posição das isóbaras é voltarmos de costas para o vento. À nossa direita estará a linha isóbara de valor mais alto e à nossa esquerda a isóbara de valor mais baixo. Nestas circunstâncias bastará ao observador da carta meteorológica de superfície identificar o valor das isóbaras, colocar-se de modo a que a isóbara de pressão mais alta fique do seu lado direito. A direcção e sentido ficam facilmente conhecidos.

Para avaliar a intensidade do vento recorre-se à expressão (8).

Da fig. 6 constata-se que  $\Delta p = 4$  hPa. A figura não apresenta escala mas é conhecido o comprimento de Portugal. Nestes termos o valor de  $\Delta n \cong 460$  km. Sem grande erro pode usar-se para a nossa latitude  $f \cong 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  e  $\rho \cong 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$ .

O valor calculado para a intensidade da velocidade do pacote de ar, por aplicação da expressão (8), é aproximadamente de  $7,2 \text{ m.s}^{-1}$  ou  $25,7 \text{ km.h}^{-1}$ .

O Instituto de Meteorologia (Portugal) apresentava a seguinte previsão para 3ª Feira, 28 de Abril de 2009: *céu geralmente muito nublado, tomando-se pouco nublado a partir da tarde nas regiões do interior Centro e na região Sul. Agulheiros fracos, em especial até ao final da manhã e nas regiões do litoral Norte e Centro. Vento em geral fraco (10 a  $20 \text{ km.h}^{-1}$ ) de noroeste, soprando moderado (15 a  $35 \text{ km.h}^{-1}$ ) no litoral e forte ( $35$  a  $45 \text{ km.h}^{-1}$ ), com rajadas da ordem dos  $65 \text{ km/h}$  nas terras altas até ao início da manhã. Neblina ou nevoeiro matinal.*

O diagnóstico realizado a partir da carta meteorológica de superfície do Instituto de Meteorologia está em concordância com a descrição de previsão do sítio do Instituto de Meteorologia (Portugal): *vento a soprar de noroeste com uma intensidade de  $25,7 \text{ km.h}^{-1}$ .*

A partir da fig. 7 é possível obter a seguinte informação (carta de superfície do sítio <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/tkfaxbraar.htm>):

O centro de altas pressões é representado pela letra H e o centro de baixas pressões pela letra L. As linhas isóbaras estão indicadas apenas pelo valor (em Portugal a de maior valor de 1020 hPa a Sul e a de menor valor de 1016 hPa a Norte). A distância entre as isóbaras no contexto de estudo é também semelhante. A direcção, intensidade e sentido do vento são concordantes. No entanto, esta carta meteorológica de superfície tem uma valiosa informação porque indica a aproximação de uma frente fria.

Uma frente fria é caracterizada por uma massa de ar que apresenta uma temperatura baixa. Nestas circunstâncias a sua entrada na Península Ibérica levará à formação de um céu muito nublado, com presença de neblina ou nevoeiro no litoral.

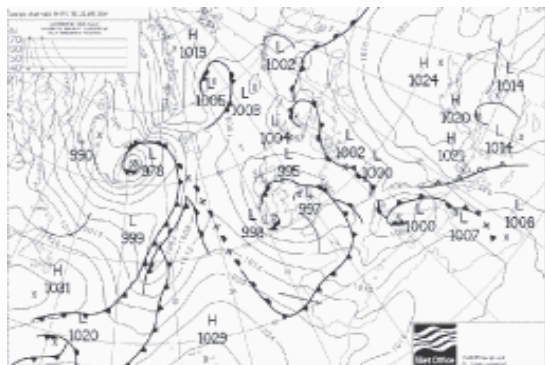


Fig. 7 - Carta meteorológica de superfície MetOffice para o dia 28/4/2009.

Esta informação complementar está de acordo com a previsão do Instituto de Meteorologia.

### Considerações finais

A aproximação de vento geostrófico é uma ferramenta útil de diagnóstico.

Em caso de incêndio florestal a consulta a cartas de superfície podem contribuir para a definição de estratégias de prevenção e combate.

Por último apresenta-se a situação típica do tempo atmosférico que se faz sentir em Portugal: em geral chove muito pouco no Verão, enquanto os Invernos são mais chuvosos. Estas situações podem ser explicadas pelas localizações médias do anticiclone dos Açores e da depressão da Islândia. No Inverno, a depressão da Islândia encontra-se em média mais próxima de Portugal, enquanto que o anticiclone dos Açores se encontra mais longe. Por isso ocorre com alguma frequência precipitação durante o Inverno. No Verão, a depressão da Islândia encontra-se em média mais afastada de Portugal, enquanto que o anticiclone dos Açores se encontra mais perto. Assim, durante o Verão é raro chover!

### Referências bibliográficas

- IPCC (2001). *Intergovernmental Panel on climate change Technical Summary*. A Report Accepted by Working Group I, wgI\_ts.pdf. Acedido em 19 de Novembro de 2004, em: <http://www.ipcc.ch/pub/wg1TARtechsum.pdf>.
- IPCC (2007). *Climate change 2007: the physical science basis summary for policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris: IPCC, Working Group I.
- HOLTON, J.R. (2004). *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Volume 88 in the International Geophysics Series. Edited by Renata Drowska and James R. Holton. Elsevier Academic Press.
- MCINICH, D.H. and THOM, A.S. (1981). *Essentials of meteorology*, the Wykeham Sciences Series, Taylor and Francis, Ltd, London.
- SALBY, M.L. (1995). *Fundamentals of atmospheric physics*. Vol 61 in the International Geophysics Series, Edited by Renata Drowska and James R. Holton, Academic Press, Inc., London.