

Universidade de São Paulo – USP
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG
Departamento de Ciências Atmosféricas – ACA
Meteorologia Sinótica

O que é meteorologia Sinótica?

Definição e objetivos

- A meteorologia sinótica está relacionada com a descrição, análise e previsão do tempo de sistemas meteorológicos de grande escala; assim, relaciona-se ao estudo de processos atmosféricos da macro-escala, bem como à previsão do tempo baseada em resultados de estudos sinóticos;
- Um importante objetivo da formação sinótica é familiarizar o aluno com a estrutura e o comportamento da atmosfera real;
- Do grego synoptikos, que significa elaborar uma visão geral de um todo;
- Para a meteorologia este termo é utilizado no contexto de dimensões horizontais e tempos de duração de fenômenos atmosféricos, como por exemplo: ciclones e anticiclones extratropicais, cavados e cristas no escoamento baroclínico de oeste, zonas frontais e jatos.

Breve histórico

- Padronização de horários para as observações e junção das informações coletadas (inicialmente via telégrafo);
 - posterior confecção de mapas sinóticos ou cartas sinóticas;

- a distância entre as estações de superfície (normalmente em aeroportos) tornou-se o fator limitante determinação da escala horizontal mínima dos fenômenos que poderiam ser observados;
- Atualmente, fenômenos de escalas menores como bandas de precipitação, tempestades severas, frentes de rajada e nuvens tipo cúmulos podem ser observados pelos radares, lidares e satélites;
- antigamente estes sistemas eram investigados por aviões, que não conseguiam uma amostragem simultânea de vários lugares, e portanto não permitiam uma análise detalhada da estrutura espacial.

Classificação dos fenômenos atmosféricos

A escala de um fenômeno atmosférico refere-se às suas dimensões espaciais e temporais típicas. Existem classificações precisas e detalhadas, entretanto, a grosso modo, a *Figura 1* fornece uma noção destas divisões:

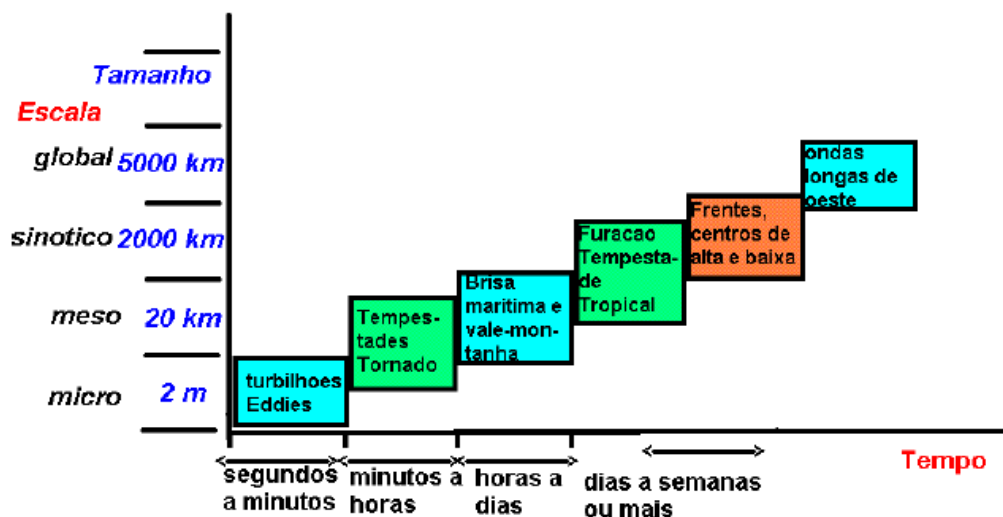


Figura 1: Esquema simplificado das escalas dos fenômenos atmosféricos.

Os fenômenos com grande (pequena) escala espacial estão associados à grande (pequena) escala de tempo. A razão entre a escala

espacial (horizontal) e a temporal é da mesma ordem de grandeza para todos os fenômenos (exceto para o tornado e seus vórtices menores), i. e., 10m/s. Isso faz com que os fenômenos atmosféricos possam ser tratados como fractais, ou seja, formas geométricas que possuem estrutura similar em todas as escalas, mesmo ocorrendo em diversas escalas de tempo.

A escala temporal (cuja unidade é velocidade) representa o tempo que o ar leva para percorrer toda a estrutura do fenômeno.

A *Tabela 1* resume algumas classificações das escalas dos fenômenos atmosféricos:

Tabela 1: Classificações das escalas dos fenômenos atmosféricos.

| Escala | Exemplos | Comentários |
|----------------------|---|--|
| Interdecadal | <ul style="list-style-type: none"> • PDO | |
| Interanual | <ul style="list-style-type: none"> • El Niño • La Niña | |
| Intrasazonal | <ul style="list-style-type: none"> • Oscilação de Madden Julian | <ul style="list-style-type: none"> ➤ 15 a 60 dias; ➤ Variações que ocorrem dentro de uma estação. |
| Sinótica | <ul style="list-style-type: none"> • Cavados e cristas no escoamento baroclínico de oeste • Ciclone e anticiclone extratropical • Sistema frontal • Corrente de jato | <ul style="list-style-type: none"> ➤ 1 a 10 dias; ➤ A largura do sistema é muito maior que a sua espessura vertical; ➤ Dinâmica hidrostática; ➤ Suas dimensões horizontais e escalas de tempo podem ser prognosticadas pela teoria de instabilidade baroclínica; ➤ Embora frentes e jatos estejam associados a tais padrões, sua extensão horizontal é muito mais estreita. |
| Sub-sinótica | <ul style="list-style-type: none"> • Intenso ciclone extratropical sobre o oceano • Ciclone tropical • Sistema convectivo de mesoescala • Jato de baixos níveis | <ul style="list-style-type: none"> ➤ <1 dia; ➤ Dimensão horizontal e escala de tempo ligeiramente menores que a do sistema de escala sinótica; ➤ Com exceção das linhas de instabilidade, a dinâmica do sistema é hidrostática. |
| Mesoescala | <ul style="list-style-type: none"> • Frente costeira • outflow boundaries • dryline • Banda de precipitação associada a ciclone extratropical • Onda de gravidade • Brisa terra-oceano • Circulação vale-montanha • mesoalta • mesobaixa | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Dimensão horizontal e escala de tempo são ligeiramente menores que a do sistema de escala sub-sinótica; ➤ Com exceção da dryline e da banda de precipitação, a dinâmica do sistema é hidrostática. |
| Escala de Tempestade | <ul style="list-style-type: none"> • Tempestade severa • Mesociclone • Frente de rajada | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Escala de tempo da ordem de dezenas de minutos (~1 hora); ➤ Dimensão horizontal comparável |

| | | |
|--------------------------------|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Grande downburst | <ul style="list-style-type: none"> ➤ à escala convectiva; ➤ Não-hidrostático. |
| <p>Escala de Subtempestade</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Nuvens cumulus • Tornado e tromba d'água confinados na área limitada pelas tempestades convectivas | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ordem de 10 min; ➤ Não-hidrostático. |
| <p>Microescala</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Subvórtices em tornados • Trombas d'água • Roda-moinhos | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Escala de tempo da ordem de minutos e dimensão horizontal menor do que a escala de subnuvem; ➤ Não-hidrostático |

- Orlanski: subdivisão de acordo com a ordem de grandeza da escala horizontal de cada fenómeno, usando letras gregas e os prefixos micro, meso e macro.
- Fujita: subdivisão "de acordo com a ordem de grandeza da escala horizontal de cada fenómeno em relação à circunferência da Terra no equador, usando vogais e o prefixo "meso".

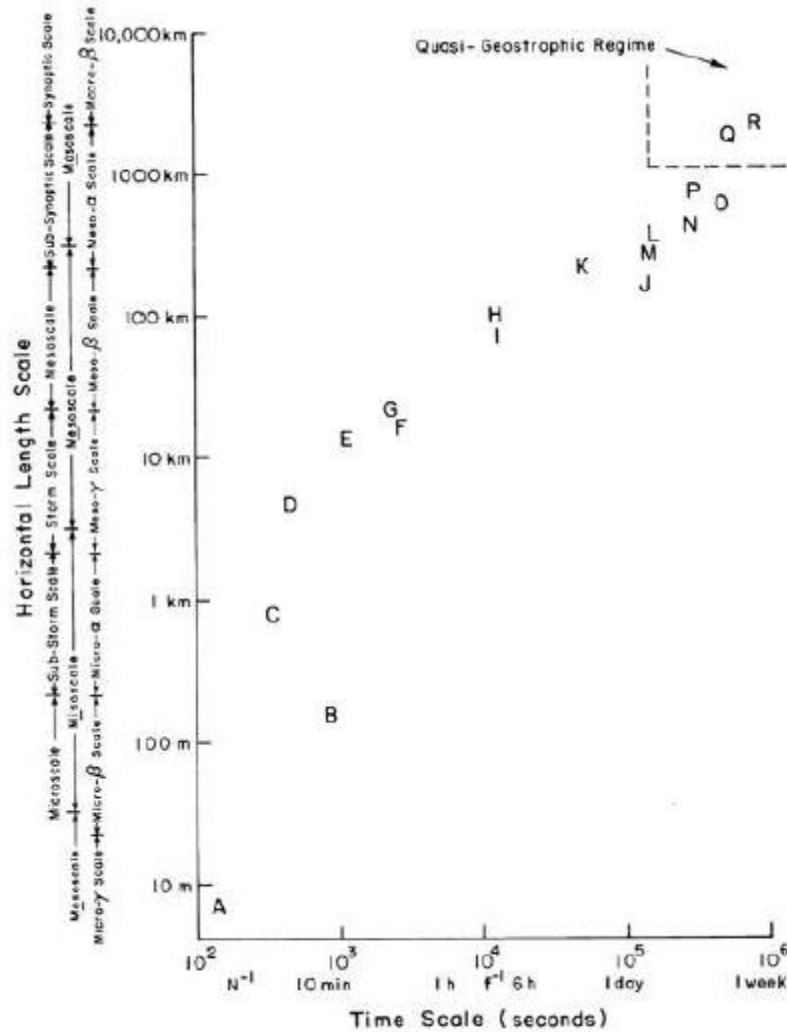


Figura 2: Horizontal-length scales and time scales for the following atmospheric phenomena: A, dust devils; B, tornadoes and waterspouts; C, cumulus clouds; D, downbursts; E, gust front; F, mesocyclones; G, thunderstorms; H, sea/land/lake breezes, mountain-valley circulations, meso-highs and meso-lows; I, precipitation bands; J, coastal fronts; K, mesoscale convective systems; L, low-level jet; M, dryline; N, “bombs” and tropical cyclones; O, upper-level jets; P, surface fronts; Q, extratropical cyclones and anticyclones; and R, troughs and ridges in the baroclinic westerlies. Fonte: Bluestein, 1992.

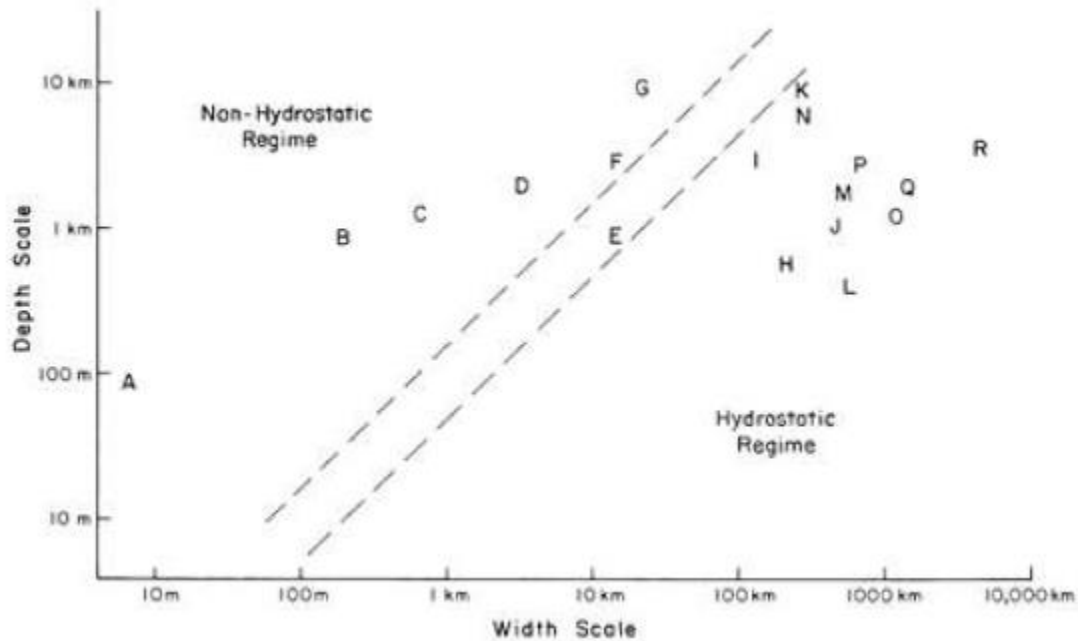


Figura 3: Depth and width scales for the atmospheric phenomena shown in the other figure. (By width we mean the characteristic horizontal scale; some features such as fronts are elongated and therefore are characterized by two different length scales. In this case we refer to the longer of the two scales as the width). Fonte: Bluestein, 1992.

Observações versus Teoria

A classificação dos fenômenos deve ser feita de acordo com suas características físicas ou em termos de leis governantes?

- A sinótica é altamente baseada em observações;
- A meteorologia dinâmica baseia-se na aceitação de leis físicas e deduções sobre o comportamento atmosférico regido por tais leis;

Por um lado, pode-se:

- ✓ observar determinado fenômeno;
- ✓ em seguida descrever suas características;

- ✓ depois analisá-lo, para aprender porque é formado e porque se comporta daquela maneira e finalmente poder prevê-lo (Ex: ciclones extratropicais).

Por outro lado:

- ✓ a existência de determinado fenômeno pode ser prevista pelo conhecimento de uma lei física;
- ✓ Depois procura-se observá-lo na natureza (Ex: ondas de gravidade).

Atualmente, a sinótica não vive sem a dinâmica e vice-versa; portanto, a ideia básica é fundir o que tem sido tradicional na sinótica com os fundamentos teóricos oriundos da dinâmica.

O meteorologista sinótico representa o lado intuitivo enquanto que o meteorologista dinâmico representa o lado dedutivo; o sinótico "descobre" as leis enquanto que o dinâmico prova que a lei está correta e tenta compreendê-la.

O melhor exemplo de aplicação de princípios dinâmicos na sinótica é a teoria quase-geostrófica, que é baseada nas observações, mas foi desenvolvida pelos teóricos através da lógica.

Evolução natural

A influência tecnológica exerceu um papel fundamental para a evolução natural da meteorologia:

- A meteorologia sinótica começou no final do século XIX com a invenção do telégrafo (1840);
- Muitos anos de observação da estrutura bidimensional da atmosfera na superfície permitiu o desenvolvimento da teoria frente polar no começo do século XX (1920);

- As radiossondas, desenvolvidas no final de 1930s, promoveram uma visão 3D da atmosfera;
- Em 1940s, com o surgimento dos computadores começaram-se os investimentos em previsões numéricas do tempo e criou-se a teoria quase-geostrófica;
- 1950: primeira previsão numérica em computador;
- 1950s: verificação da teoria quase-geostrófica;
- 1960s-1970s: surgimento dos satélites, estudos dos efeitos não-quase-geostróficos;
- 1980s: perfiladores via radar, redes observacionais, satélites e computadores.

Não se deve apresentar as leis físicas como fatos, deve-se mostrar que fazem sentido e que tem limitações, assim retém-se o mistério na ciência. Os eventos observados, analisados e previstos pelos meteorologistas sinóticos são de certa forma misteriosos, pois nem todas as leis físicas envolvidas são completamente compreendidas, além do fato de que o estado da atmosfera não é perfeitamente conhecido. Desta forma, em grande parte dos casos não é possível fazer previsões perfeitas e precisas. Os estímulos são: entender melhor as leis físicas, descobrir novos fenômenos e por que ocorrem, e assim fazer melhores previsões.

Eventos importantes na história da meteorologia sinótica

Tabela 2: Eventos importantes na história da meteorologia sinótica.

| | |
|-------------|---|
| ca. 1440 | • Rain gauge used in Korea |
| ca. 1595 | • First thermometer (Galileo) |
| 1643 | • Invention of mercury barometer (Torricelli) |
| 1650 | • Cloud motion determined by trigonometry |
| 1654 | • First "satisfactory" thermometer introduced |

| | |
|----------|---|
| 1660 | <ul style="list-style-type: none"> • Compressibility of air discussed (Boyle) |
| ca. 1670 | <ul style="list-style-type: none"> • Suggestion that pressure should decrease with height (Halley) |
| 1674 | <ul style="list-style-type: none"> • Observations of pressure decreasing with height (Pascal) |
| 1686 | <ul style="list-style-type: none"> • Description of trade winds and monsoons (Halley) |
| 1687 | <ul style="list-style-type: none"> • Explanation of winds that involves effect of Earth's rotation (Hadley) |
| 1735 | <ul style="list-style-type: none"> • Upper air temperatures measured on kite (Wilson) |
| 1773 | <ul style="list-style-type: none"> • Invention of balloon (Charles) |
| 1784 | <ul style="list-style-type: none"> • Upper air temperatures measured on balloon (Jeffries, Blanchard) |
| 1801 | <ul style="list-style-type: none"> • First cloud classification scheme devised (Lamarck) |
| 1803 | <ul style="list-style-type: none"> • Cloud classification scheme, basis for current one, devised (Howard) |
| 1809 | <ul style="list-style-type: none"> • Wind measurements made above ground (Foster) |
| 1816 | <ul style="list-style-type: none"> • First synoptic maps drawn (Brandes) |
| 1835 | <ul style="list-style-type: none"> • Coriolis force described mathematically (Coriolis) |
| 1840 | <ul style="list-style-type: none"> • Invention of telegraph (Morse) |
| 1840 | <ul style="list-style-type: none"> • Identification of "polar current" and "equatorial current" (Dove) |
| 1852-90 | <ul style="list-style-type: none"> • Upper air measurements of pressure, temperature, humidity in a manned balloon (Welsh, Glaisher, Assman) |
| 1860 | <ul style="list-style-type: none"> • Dove's "currents" found on synoptic maps (Fitzroy) |
| 1861 | <ul style="list-style-type: none"> • Cyclone model (based on marine observations) that has wind-shift lines (Jinman) |
| 1865-78 | <ul style="list-style-type: none"> • Improvement of Howard's cloud classification scheme (Ley) |
| 1870 | <ul style="list-style-type: none"> • Invention of cup anemometer (Robinson) |
| 1878 | <ul style="list-style-type: none"> • First model of what later becomes a cold front (Ley) |
| 1883 | <ul style="list-style-type: none"> • Cyclone model based on pressure distribution on synoptic maps (Abercromby) |
| 1890 | <ul style="list-style-type: none"> • Model of cyclone showing relationship between divergence (convergence) at surface and aloft and pressure distribution at surface (Van Bebber) |
| 1890 | <ul style="list-style-type: none"> • First "balloon-sonde" (unmanned, recording balloon) (de Bort) |
| 1893 | <ul style="list-style-type: none"> • First kite network (Rotch and Fergusson) |
| 1900 | <ul style="list-style-type: none"> • Invention of radio (Marconi) |
| 1901 | <ul style="list-style-type: none"> • Discovery of tropopause (de Bort) |
| 1903 | <ul style="list-style-type: none"> • Invention of airplane (Wright brothers) |
| 1903 | <ul style="list-style-type: none"> • Hypothesis that kinetic energy of storms comes from total potential energy, and is associated with horizontal |

| | |
|---------|--|
| | temperature contrast (Margules) |
| 1906 | <ul style="list-style-type: none"> • Study of Dove's "currents" using trajectory analysis (Lempfert and Shaw) |
| 1909 | <ul style="list-style-type: none"> • First theodolite used to get upper air winds, invention of pilot balloon (Rotch) |
| 1909-11 | <ul style="list-style-type: none"> • Streamline analysis first used (Sandström, Bjerknes) |
| 1917 | <ul style="list-style-type: none"> • First airplane soundings |
| 1917 | <ul style="list-style-type: none"> • First telegraphy from instrumented kite (Herath and Robitzsch) |
| 1918-28 | <ul style="list-style-type: none"> • Polar front theory—the "Bergen school" (J. Bjerknes, Solberg, Bergeron) |
| 1923-35 | <ul style="list-style-type: none"> • Invention and improvement of radiosonde (Blair, Idrac, Bureau, Moltchanoff, Vaisala, Duckert, Lange) |
| 1928 | <ul style="list-style-type: none"> • Theory of kinematics of frontogenesis (Bergeron) |
| 1930 | <ul style="list-style-type: none"> • Introduction of concept of isentropic analysis (Shaw) |
| 1933 | <ul style="list-style-type: none"> • First upper air maps at constant height levels |
| 1933 | <ul style="list-style-type: none"> • First upper air maps at constant pressure levels (Scherhag) |
| 1937 | <ul style="list-style-type: none"> • First routine use of radiosonde data |
| 1937-40 | <ul style="list-style-type: none"> • First isentropic analysis of upper air data (Rossby, Namias) |
| 1941 | <ul style="list-style-type: none"> • First routine isentropic analyses in United States Invention of radar |
| 1943 | <ul style="list-style-type: none"> • First aircraft penetration of the eye of a hurricane |
| 1944 | <ul style="list-style-type: none"> • First detection of precipitation by radar |
| 1945 | <ul style="list-style-type: none"> • International adoption of constant-pressure analysis |
| 1945 | <ul style="list-style-type: none"> • First use of reference States • Discovery of the jet stream and jet streaks, The "Chicago School" (Palmen, Newton, et al.) • First use of quase-geostrophic assumption (Charney, Eliassen) • Mathematical justification for quasigeostrophic theory (Charney) |
| 1949 | <ul style="list-style-type: none"> • The Thunderstorm Project (Byers, Braham) |
| 1950 | <ul style="list-style-type: none"> • Invention of the computer • First numerical forecast by computer • Discovery of upper level fronts (Reed) • Discovery of the dryline (Fujita, Beebe) |
| 1957 | <ul style="list-style-type: none"> • First satellite (Sputnik I) |
| 1959 | <ul style="list-style-type: none"> • First meteorological satellite (Explorer VII) |
| 1960 | <ul style="list-style-type: none"> • First Communications satellite • First pulsed Doppler radar |

| | |
|------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • First infrared sensors on satellite • First geosynchronous satellite • First satellite soundings using infrared spectrometers |
| 1970 | <ul style="list-style-type: none"> • Analysis of coastal fronts • First detailed documentation of mesoscale organization precipitation systems • First multiple-Doppler observations • Introduction of semigeostrophic theory and its application to the study of fronts and jets (Hoskins) • First Doppler radar observations in clear air • First use of minicomputers • First interactive computer system for meteorological analysis (McIDAS) • First pulsed Doppler lidar observations • First automated surface networks (National Center for Atmospheric Research) • Theory of conditional symmetric instability and rainbands in cyclones (Emanuel, Bennetts, Hoskins) |
| 1980 | <ul style="list-style-type: none"> • First use of wind profilers (Wave Propagation Laboratory) • First dual-polarization radars for hail detection |

Referências

H.B. Bluestein 1992. Synoptio-Dynamic Meteorology at Midlatitudes, Volume I -"Chapter I", Oxford University Press.

Sites:

http://www.dca.iag.usp.br/www/material/ritaynoue/aca-0422/2009_aulas%20amanda/ (acessado em 03/08/10)

<http://www.atmos.washington.edu/academic/synoptic.html> (acessado em 03/08/10)

http://nsidc.org/arcticmet/glossary/synoptic_meteorology.html (acessado em 03/08/10)

http://www.dca.iag.usp.br/www/material/apereira/aca115/textos/Aulas_1_2_3.pdf (acessado em 03/08/10)