

# DESENVOLVIMENTO DA CAMADA LIMITE INTERNA NO CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCANTARA

Luciana B. M. Pires<sup>1</sup>, Gilberto Fisch<sup>2</sup>, Ralf Gtelow<sup>2</sup>

Formatado

Formatado

Formatado

**RESUMO** - Esse trabalho tem como objetivo estudar a estrutura da turbulência atmosférica no CLA, através de parâmetros de engenharia (picos de rajadas, amplitudes instantâneas de rajadas de vento, intensidade turbulenta) usualmente utilizados para a determinação de esforços estruturais devido ao vento. Os dados utilizados nesse estudo foram obtidos através de duas campanhas de coleta de dados (Eclica 1 e 2). Dos resultados obtidos podemos notar que durante a campanha do Eclica 1, o anemômetro localizado no ponto B (próximo à falésia) apresenta os maiores valores de velocidade (em torno de 8m/s), enquanto que o anemômetro do ponto A (na praia) apresenta os menores (em torno de 5m/s). Pode-se observar também que amplitude máxima de rajadas é maior no ponto C, com valores superiores a 3,4 e que a velocidade do vento é maior durante o período diurno, variando em torno de 0,1 a 0,4 em relação ao período noturno. No Eclica 2, podemos notar que os valores dos anemômetros B2 e C são bastante parecidos, podendo ser um indicio de que B e C estão dentro de uma mesma configuração.

**Palavras-Chave:** turbulência, regime de vento, fator de rajadas.

**ABSTRACT** - This work has as objective to study the structure of the atmospheric turbulence in the CLA, through parameters of engineering (gust peaks, instantaneous amplitude of wind gusts, turbulent intensity) usually used for the determination of structural efforts had to the wind. The data used in this study had been gotten through two campaigns of collection of data (Eclica 1 and 2). Of the gotten results we can notice that during the campaign of Eclica 1, the anemometer located in point B (next to the topographical variation) presents the biggest values of speed (around 8m/s), while that the anemometer of the point A (in the beach) presents the minors (around 5m/s). It can also be observed that maximum amplitude of gusts is bigger in point C, with superior values the 3,4 and that the speed of the wind is bigger during the daylight, varying around 0,1 the 0,4 in relation to the nocturnal period. In Eclica 2, we can notice that the values of the anemometers B2 and C sufficiently are seemed, being able to be an indication of that B and C are inside of one same configuration

**Key Words:** turbulence, winds, gust factor

## INTRODUÇÃO

Em geral, se o vento estiver escoando em regime permanente sobre uma superfície de rugosidade homogênea por algum tempo, o perfil da velocidade do vento estará em equilíbrio com esta superfície. Entretanto, se o ar passar para uma outra área com características diferentes, um

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) Avenida dos Astronautas, 1.758 - Jardim da Granja CEP: 12227-010 - São José dos Campos - SP - Brasil e-mail: [lubassi@cptec.inpe.br](mailto:lubassi@cptec.inpe.br), [ralfg@cptec.inpe.br](mailto:ralfg@cptec.inpe.br)

<sup>2</sup> Centro Técnico Aeroespacial (CTA/IAE-ACA) Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias CEP: 12228-901 - São José dos Campos - SP - Brasil e-mail: [gfisch@iae.cta.br](mailto:gfisch@iae.cta.br)

O clima de Alcântara apresenta um regime de precipitação dividido em dois períodos: chuvas intensas durante os meses de janeiro a junho e período seco de julho a dezembro. Os ventos possuem um comportamento distinto entre as épocas chuvosas e secas. O vento é bem intenso na camada mais baixa (até 2000 m) com ventos médios entre 10,0 e 10,5 m.s<sup>-1</sup>, apresentando uma pequena rotação para sudeste. Isto se deve a intensificação do fenômeno de brisa marítima (Fisch, 1999).

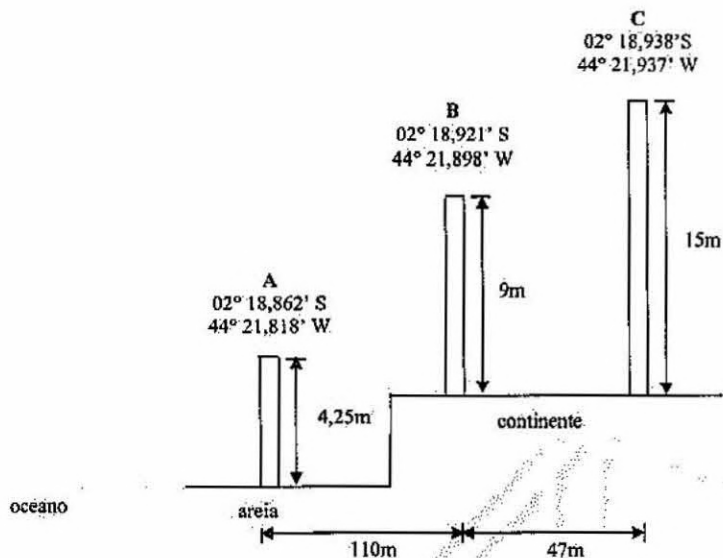


Figura 2 – Representação esquemática dos anemômetros durante a campanha Eclisa 1.

Os dados utilizados nesse estudo foram obtidos através de duas campanhas de coleta de dados denominadas como Eclisa 1 e 2 (Estudos da Camada Limite Interna na região do CLA) que foram realizadas nos períodos de 14 a 24 de abril (final da estação seca e início da chuvosa) e 6 a 16 de outubro (final da estação chuvosa e início da seca) do ano de 1998, respectivamente. Este estudo foi realizado através de anemômetros do tipo Aerovane, marca Young, Modelo MA, que foram calibrados no túnel de vento do CTA. Estes equipamentos coletam dados de velocidade e direção a cada 20s, durante todo o dia. A partir desses dados foram obtidos também, através da programação de aquisição de dados Campbell 21XL, os seguintes parâmetros a cada 10 min: velocidade média escalar (m/s), velocidade vetorial média (m/s), direção média (graus), desvio padrão da direção, desvio padrão da velocidade, velocidade máxima (m/s), velocidade mínima (m/s), amplitude da rajada média (m/s), amplitude da rajada máxima (m/s) e amplitude da rajada mínima.

Para a realização do Eclisa 2, os anemômetros foram colocados nas mesmas coordenadas geográficas, sendo que no ponto B foi acrescentado mais um anemômetro (B2) na altura de 4,5 m.

novo perfil de vento será obtido. O escoamento não se ajusta imediatamente em todos os níveis para esta nova superfície, mas ao contrário, este ajuste ocorre de forma gradual (Fisch, 1999).

A influência da superfície sobre o escoamento depende não só das características desta, como também das diferenças em relação à superfície anterior, onde o escoamento encontrava-se em equilíbrio. Desta maneira, uma nova camada de equilíbrio é formada sendo que sua espessura vertical aumenta conforme a distância do ponto de descontinuidade. Esta profundidade pode ser estudada através da determinação do desenvolvimento (crescimento) da altura da camada limite interna em função da distância do ponto de descontinuidade. Acima desta altura, o perfil de vento apresenta-se em equilíbrio com a superfície anterior e, dentro desta camada, o perfil de vento ajusta-se em relação à nova superfície (Fisch, 1999).

Atualmente o regime de ventos e a turbulência atmosférica na camada limite superficial têm sido de grande importância nos estudos da Meteorologia Aeroespacial, pois de suas características são extraídas informações básicas para o projeto e desenvolvimento de foguetes ou veículos espaciais ou na análise das condições ambientais presentes, quando da ocorrência de lançamentos fracassados de foguetes (por exemplo, os trabalhos de Uccellini et al. (1986) e Fichtl et al. (1988) relativos à explosão do ônibus espacial Challenger em 1986, citados por Fisch em 1999).

A Figura 1 mostra uma representação esquemática do desenvolvimento da CLI e do perfil de vento sobre áreas oceânicas ( $x_0$ ) e continental ( $x_1$  e  $x_2$ ) conforme ocorre no CLA.

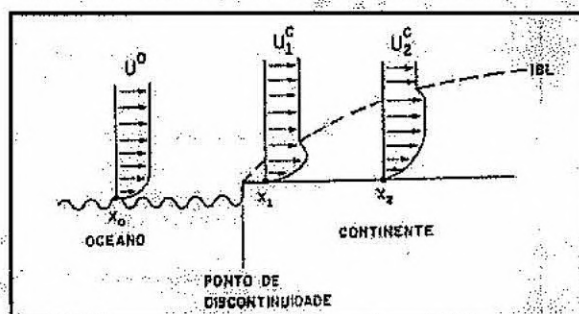


Figura 1 – Representação esquemática do desenvolvimento da IBL e do perfil de vento sobre áreas oceânica ( $x_0$ ) e continental ( $x_1$  e  $x_2$ ).

O objetivo deste trabalho é o de estudar a estrutura da turbulência atmosférica no CLA, através de parâmetros de engenharia (picos de rajadas, amplitudes instantâneas de rajadas de vento, intensidade turbulenta) usualmente utilizados para a determinação de esforços estruturais devido ao vento.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados coletados foram analisados em período integral e depois divididos em períodos diurno (das 6 às 18 hs) e noturno (das 18 às 6 hs). Como nem todos os anemômetros começaram a funcionar ao mesmo tempo, foi aproveitado ao máximo o número de dados simultâneos, sendo os demais desprezados. As tabelas 1 e 2 mostram o funcionamento dos anemômetros para as campanhas do Eclisa 1 (conforme a Figura 2) e Eclisa 2, respectivamente.

As análises de turbulência foram realizadas, considerando-se uma série de definições usualmente utilizadas em estudos de aplicação de meteorologia a problemas de engenharia (Plate (1982), Bergström (1987); Kristensen et al., (1991) e Young&Kristensen (1992), entre outros). O estudo das rajadas de vento é uma das formas de se analisar a estrutura da turbulência de um determinado local, sendo que estas podem ser definidas como o aumento/diminuição repentina da velocidade do vento em ciclos muito pequenos e contínuos. Uma análise condensada desta metodologia encontra-se em Fisch (1999).

Tabela 1 – Funcionamento dos anemômetros no Eclisa 1

Dias	Anemômetro A	Anemômetro B	Anemômetro C
14/04/98	não	Ok	não
15/04/98	A partir das 18:00h	Ok	A partir das 11:10h
16/04/98	Até 10:40h	Ok	Ok
17/04/98	não	Até 16:00h e a partir das 18:20h	Ok
18/04/98	não	Ok	Ok
19/04/98	A partir de 11:20h	Ok	Ok
20/04/98	Ok	Ok	Ok
21/04/98	Ok	Ok	Ok
22/04/98	Ok	Ok	Ok
23/04/98	Ok	Até 9:50h	Ok
24/04/98	Ok	não	Até 9:50h

Tabela 2 – Funcionamento dos anemômetros no Eclisa2

Dias	Anemômetro A	Anemômetro B1	Anemômetro B2	Anemômetro C
06/10/98	Nao	A partir das 18:30h	A partir das 18:30h	A partir das 18:30h
07/10/98	A partir das 14:00h até 20:20h e a partir das 22:50h	Ok	Ok	Ok
08/10/98	Ate 6:00h e a partir das 7:50h ate 10:40h	Ok	Ok	Ok
09/10/98	A partir das 11:30h	Ok	Ok	Ok
10/10/98	Ok	Ok	Ok	Ok
11/10/98	Ok	Ok	Ok	Ok
12/10/98	Ok	Ok	Ok	Ok
13/10/98	Ok	Ok	Ok	Ok
14/10/98	Ok	Ok	Ok	Ok
15/10/98	Ok	Ok	Ok	Ok
16/10/98	Ate as 10:30h	Ate as 10:30h	Ate 10:30h	Ate 10:30h



Note que os valores dos anemômetros B2 e C são bastante parecidos, podendo ser um indício de que B e C estão dentro de uma mesma configuração, ou seja, dentro da camada limite interna. O ponto A apresenta os menores valores de velocidades, porém com valores mais elevados do que no Eclisa 1 (em torno de 6,0 m/s). Notar que o ponto B apresenta as maiores velocidades (superiores a 8,6m/s.) A intensidade turbulenta é menor nesse ponto, apresentando pequenas variações entre o período diurno e noturno, em torno de 0,02. O fator de rajadas é o mesmo nos pontos A e B (1,2), sendo maior nos pontos B2 e C no período noturno (1,3). O mesmo ocorre para a amplitude de rajadas no período noturno que se encontra em torno de 2,1 nos pontos B2 e C.

## CONCLUSÕES

As análises do Eclisa 1 mostram que os maiores valores de velocidade concentraram-se no ponto B, independente do horário. Durante a campanha do Eclisa 2, houve um aumento das velocidades em comparação ao Eclisa 1, o que demonstra que a velocidade do vento é mais no intensa na época seca. Através da análise dessa campanha, foi possível notar que o topo da camada limite interna encontra-se entre as alturas dos anemômetros B e B2 (4,5 e 9 metros, respectivamente). Também no Eclisa 2, nota-se que as maiores velocidades do vento se encontram no ponto B, que possui uma altura menor que o ponto C (9 e 15m, respectivamente) o que torna claro que o ponto B já ultrapassa o topo da camada limite interna, fazendo parte do perfil de vento que estava em equilíbrio com a superfície oceânica.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Bergstrom, H., 1987, "A statistical analysis of gust characteristics", *Boundary Layer Meteorology*, v.39, n.1, p.153-173.
- Fisch, G., 1999, "Características do Perfil Vertical do Vento no Centro de Lançamento de Foguetes de Alcântara (CLA)", *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.14, n.1, 11-21.
- Kristensen, M., et al., 1991, "In search of a gust definition", *Boundary Layer Meteorology*, v.55, n.1, p.91-107.
- Plate, E., 1982, "Engineering meteorology: studies in wind engineering and industrial aerodynamics", Amsterdam, Elsevier, 1982, 740p.
- Young, G.S., Kristensen, L., 1992, "Surface Layer gusts for aircraft operation", *Boundary Layer Meteorology*, v.59, n.2, p.231-242.