

# Análise preliminar dos parâmetros convectivos nos eventos de trovoadas sobre o CLA

Bruno Miranda de Brito<sup>1</sup>, Fernando Pereira de Oliveira<sup>1</sup>,  
Bruce Francisco Pontes da Silva<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1.758,  
Jardim da Granja – São Jose dos Campos - SP, CEP: 12227-010.

<sup>2</sup>Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo – IAG/USP,  
Rua do Matão, 1226, Cidade Universitária - São Paulo – SP, CEP: 05508-090  
E-mails: bruno.miranda@cptec.inpe.br e fernando.oliveira@cptec.inpe.br

XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMET) 2010 Belém-PA

## RESUMO

Neste trabalho, analisou-se a frequência dos índices de instabilidade nos 34 dias com trovoadas e anual durante o ano de 2002, sobre a região do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), no Nordeste do Brasil. Os dias com trovoadas foram obtidos através dos dados do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*). As principais análises realizadas neste estudo foram: 1) médias mensais dos índices CAPE, TT, K e Sw, confrontadas com a frequência mensal de trovoadas, 2) frequências de trovoadas em cada um dos limiares determinados para os índices e 3) razão entre as frequências nos dias com trovoadas e anual para os índices de instabilidade citados, em cada limiar. Com isso, verificou-se que os índices de instabilidade CAPE+, TT e Sw são bons indicadores para eventos de trovoadas nos limiares  $> 950 \text{ J kg}^{-1}$ ,  $> 42^\circ\text{C}$  e  $< 2^\circ\text{C}$ , respectivamente. Não foi possível definir um limiar que produzisse dias com descargas elétricas através dos valores do índice K. Porém, foram encontrados dias com trovoadas em que ocorreram baixos valores da CAPE e valores altos de K.

**Palavras-Chave:** trovoadas, índices de instabilidade, CLA.

**ABSTRACT:** CONVECTIVE PARAMETERS ON THE THUNDERSTORM EVENTS OVER ALC. In this study, was analyzed the instability indices at the 34 thunderstorm days frequency and annual frequency of the 2002 year over Alcântara Launching Center (ALC) region, in the northeastern Brazil. Days with thunderstorms were obtained through the data from TRMM satellite (*Tropical Rainfall Measuring Mission*). The main analysis performed in this study were: 1) indices CAPE, TT, K and Sw monthly averages, compared with the thunderstorms monthly frequency, 2) frequency of the storms in each threshold determined for the indices and 3) the ratio between thunderstorm days frequency and annual frequency to the instability indices at each threshold. Thus, it was found that the instability indices CAPE +, TT and Sw are good thunderstorms indexes to the following thresholds:  $> 950 \text{ J kg}^{-1}$ ,  $> 42^\circ\text{C}$  and  $< 2^\circ\text{C}$ , respectively. Through the K index values were not possible to define a threshold that yields any lightning days. However, there were days with thunderstorms that occurred low CAPE values and high K values.

**Keywords:** thunderstorms, indices of instability, CLA.

## 1. INTRODUÇÃO

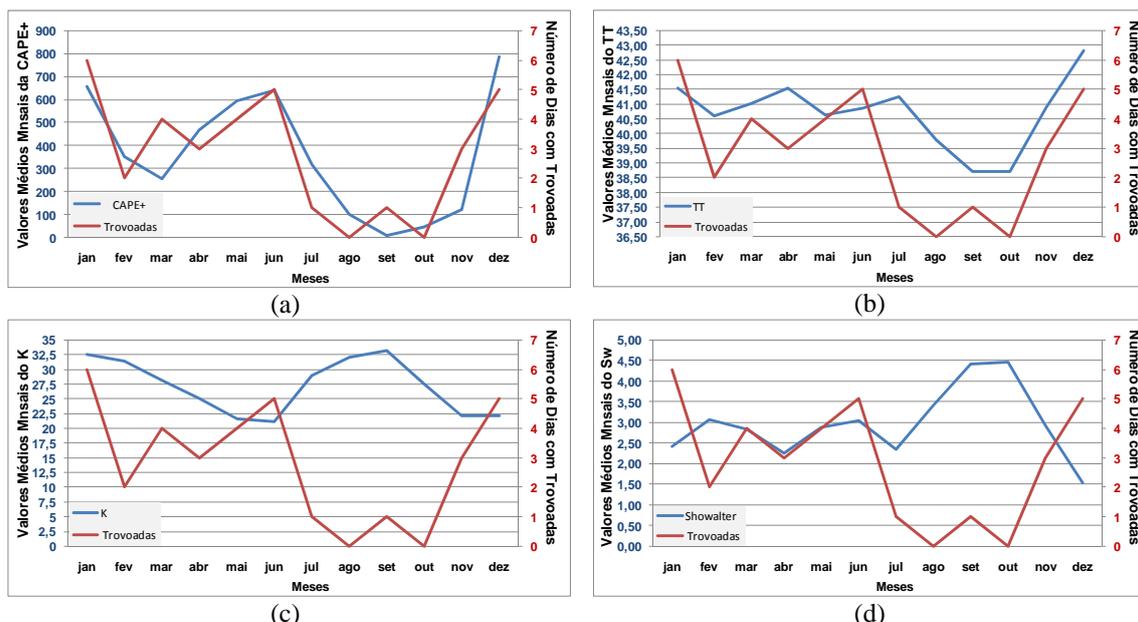
Trovoada é uma ou varias descargas bruscas de eletricidade atmosférica, manifestando-se por uma claridade breve e intensa (relâmpago) e por um ruído seco (trovão) (VIANELLO, 2000). Segundo o Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT/INPE, 2009), o número de mortes causadas por raios no Brasil em 2008 foi o maior da década, com 75 mortes. O número de raios no país em 2008 também foi maior que em 2007, principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Para Cotton e Anthes (1989) e Djuric (1994), a formação das trovoadas está associada com o desenvolvimento de convecção no ar instável. A análise dos processos termodinâmicos nas nuvens de desenvolvimento vertical é um dos métodos principais de estudo das trovoadas. Esta análise é feita utilizando-se índices de instabilidade (ou parâmetros convectivos). Este trabalho se foca em quatro destes parâmetros: Energia Potencial Disponível para Convecção (CAPE), Índice K (K) e Índice de Showalter (Sw). Djuric (1994) encontrou alguns limiares que foram relacionados à ocorrência de trovoadas, para CAPE ( $>1000 \text{ J Kg}^{-1}$ ), K ( $>24^{\circ}\text{C}$ ) e TT ( $>44^{\circ}\text{C}$ ). Já Brito et al. (2008) previram as ocorrências de trovoadas com até 48h de antecedência utilizando os índices CAPE+ ( $>1500 \text{ J Kg}^{-1}$ ) e o Índice de levantamento (LI  $< -2,5^{\circ}\text{C}$ ), sobre o Estado de Alagoas. Todavia, devido à carência dos estudos dos processos termodinâmicos no Nordeste Brasileiro até agora não se criou método ou técnica de avaliação de possibilidade da formação e evolução das trovoadas. O objetivo deste trabalho é um limiar para os valores dos índices de instabilidades que indiquem relação com de eventos de trovoadas sobre a região CLA.

## 2. DADOS E METODOLOGIA.

Utilizou-se dados de trovoadas do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) e dados de radiossondagem, ambos para o ano de 2002. Os dados se referem a região do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), no Estado do Maranhão que fica localizada nos seguintes limites espaciais:  $1^{\circ}\text{N} - 4^{\circ}\text{S}$  de latitude e  $45^{\circ} - 42,5^{\circ}\text{W}$  de longitude. Utiliza-se as médias mensais dos índices de instabilidade, CAPE, TT, K e Sw e compara-se com a frequência mensal do numero de dias com trovoadas. Os parâmetros foram divididos em intervalos, para verificar qual intervalo indica maior ocorrência de trovoadas. Calcula-se a razão entre as frequências nos dias com trovoadas e anual (de 1° de janeiro a 31 de dezembro de 2002) para cada limiar dos índices de instabilidade em estudo.

## 3. RESULTADOS

Os valores médios mensais dos índices da CAPE, TT e Sw (Figs. 1a, 1b e 1d) seguiram o número mensal de trovoadas diária, principalmente quando confrontado com os valores da CAPE, e quando a frequência mensal de trovoadas foi alta também ocorreram altos valores médios mensais da CAPE (Fig. 1a). Na Figura 1d, observa-se que os valores de Sw são menores (maior instabilidade) quando têm-se maior frequência mensal de trovoadas diária. Os valores médios mensais do índice K (Fig. 1c), não acompanharam os valores mensais de trovoadas, obtendo em geral tendências opostas, como observado entre os meses de agosto e outubro.



**Figura 1** - Número de descargas elétricas mensais associadas aos valores dos índices de instabilidade em média mensal: (a) CAPE+, (b) TT, (c) K e (d) Showalter, sobre CLA, no ano de 2002.

A frequência mensal do número de dias com trovoada para os limiares de cada índice é mostrada na Tabela 1. Para a CAPE, a frequência dos dias com trovoadas é maior para valores acima de  $950 \text{ J Kg}^{-1}$  ( $> 41\%$ ). Para o índice TT, o número de dias com descargas elétricas é mais frequente entre  $42\text{-}43 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $>23\%$ ), e com um total de cerca de  $56\%$  quando este índice foi acima de  $42^\circ\text{C}$ . O índice K, com valores acima de  $25^\circ\text{C}$  tiveram próximo de  $62\%$  dos dias com trovoadas. Já o índice Sw obteve como valor para trovoadas quando foram menores que  $2^\circ\text{C}$ , onde obtiveram um valor próximo de  $62\%$  dos dias com trovoadas.

**Tabela 1** – Frequência em dias com trovoadas relacionados aos valores da CAPE +, TT, K e Showalter.

CAPE ( $\text{J Kg}^{-1}$ )	N	Porcentagem (%)	TT ( $^\circ\text{C}$ )	N	Porcentagem (%)
$>2000$	0	0,00	$>45$	4	11,76
$>1500 \text{ e } <2000$	4	11,76	$>44 \text{ e } <45$	2	5,88
$>1000 \text{ e } <1500$	8	23,53	$>43 \text{ e } <44$	5	14,71
$>950 \text{ e } <1000$	2	5,88	$>42 \text{ e } >43$	8	23,53
$>900 \text{ e } <950$	0	0,00	$<41 \text{ e } <42$	6	17,65
$>800 \text{ e } <900$	2	5,88	$>40 \text{ e } <41$	4	11,76
$>700 \text{ e } <800$	4	11,76	$<40$	5	14,71
$>600 \text{ e } <700$	2	5,88	<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>100</b>
$>500 \text{ e } <600$	0	0,00	<b>Sw (<math>^\circ\text{C}</math>)</b>	<b>N</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
$<500$	12	35,29	$<0$	3	8,82
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>100</b>	$<1 \text{ e } >0$	6	17,65
<b>K (<math>^\circ\text{C}</math>)</b>	<b>N</b>	<b>Porcentagem (%)</b>	$<1,5 \text{ e } >1$	6	17,65
$>34$	4	11,76	$<2 \text{ e } >1,5$	6	17,65
$>29 \text{ e } <34$	10	29,41	$>2$	13	38,24
$>25 \text{ e } <29$	7	20,59	$<2$	0	0,00
$>21 \text{ e } <25$	4	11,76	<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>100</b>
$>17 \text{ e } <21$	4	11,76			
$\leq 17$	5	14,71			
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>100</b>			

A razão entre as frequências nos dias com trovoadas e anual para os índices de instabilidade da CAPE+, TT, K e Sw (Tabelas de 2a até 2d). A CAPE mostrara-se com melhor aproveitamento entre 1500 e 2000 J Kg<sup>-1</sup>, para os dias com trovoadas (Tabela 2a). Esse índice ainda é também relacionado a descargas elétricas quando acima de 950 J Kg<sup>-1</sup>. Em geral, ocorrem trovoadas quando o índice TT tem valores superiores a 42°C, chegando a um máximo quando maior a 45°C (razão de 0,22). O índice K apresenta resultados opostos ao esperado, aumentando a razão entre as frequências nos dias com trovoadas e anual com a diminuição dos valores dos índices. As razões calculadas dos limiares utilizados, nos valores de Sw entre os dias com trovoadas e todos os valores diários do ano de 2002, obtiveram razão entre a frequência de trovoadas e a frequência anual, para os limiares <2 (>2) os seguintes valores 0,19 (0,06), chegando a um máximo de 0,22, para magnitudes entre 1 e 1,5 °C.

**Tabela 2a** – Frequência em dias com trovoadas e frequência anual e razão entre essas para os valores da CAPE+.

CAPE+ (J kg <sup>-1</sup> )	Frequência F(r)	Frequência F(t)	RAZÃO F(t)/F(r)
>2000	1	0	0,00
>1500 e <2000	8	4	<b>0,50</b>
>1000 e <1500	39	8	0,21
>950 e <1000	5	2	<b>0,40</b>
>900 e <950	4	0	0,00
>800 e <900	7	2	0,29
>700 e <800	12	4	0,33
>600 e <700	12	2	0,17
>500 e <600	14	0	0,00
<500	235	12	0,05

**Tabela 2b** – Frequência em dias com trovoadas e frequência anual e razão entre ambas para os valores do índice de instabilidade TT.

TT (°C)	Frequência F(r)	Frequência F(t)	RAZÃO F(t)/F(r)
<b>&gt;45</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>0,22</b>
>44 e <45	20	2	0,10
<b>&gt;43 e &lt;44</b>	<b>28</b>	<b>5</b>	<b>0,18</b>
<b>&gt;42 e &gt;43</b>	<b>45</b>	<b>8</b>	<b>0,18</b>
<41 e <42	54	6	0,11
>40 e <41	52	4	0,08
<40	120	5	0,04

**Tabela 2c** – Frequência do climatológico e dos associados os dias com descargas elétricas do índice de instabilidade K, para o ano de 2002, sobre o CLA.

K (°C)	Frequência F(r)	Frequência F(t)	RAZÃO F(t)/F(r)
>34	41	4	0,098
>29 e <34	105	10	0,095
>25 e <29	79	7	0,089
>21 e <25	36	4	0,111
>17 e <21	36	4	0,111
<=17	40	5	0,125

**Tabela 2d** - Climatologia da frequência e frequência em dias com descargas elétricas dos valores do índice de instabilidade Showalter.

Showalter (°C)	Frequência F(r)	Frequência F(t)	RAZÃO F(t)/F(r)
<0	20	3	0,15
>0 e <1	32	6	0,19
>1 e <1,5	32	6	0,19
>1,5 e <2	<b>27</b>	<b>6</b>	<b>0,22</b>
>=2	<b>226</b>	<b>13</b>	<b>0,06</b>
<2	111	21	0,19

#### 4. CONCLUSÕES

Nas análises da frequência dos índices de instabilidade nos 34 dias com trovoadas sobre a região do CLA, os limiares que apresentaram melhor resultados para os índices foram: CAPE ( $>950 \text{ J Kg}^{-1}$ ), TT ( $>42 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e Sw ( $<2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Porém, para o índice K não foi possível definir um limiar que fosse indicativo de descargas elétricas, devido ao aumentando dos valores de razão entre as frequências nos dias com trovoadas e anual com a diminuição dos valores dos índices.

Os valores do índice K acima de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  compreenderam um total de 62% dos dias com trovoadas, mas, a frequência anual dos valores acima desse limiar também é alta. Assim, não foi possível determinar a ocorrência de trovoadas através do índice K, pois mais de 90% dos valores de  $K > 25 \text{ }^\circ\text{C}$  não são associados à trovoadas.

Para dias com trovoadas associados a CAPE+ com baixos valores podem estar relacionados ao ponto inicial da ascensão da parcela, ou seja, a parcela que gerou a instabilidade não ser a mesma que a utilizada para o cálculo da CAPE. Pois, para o cálculo da CAPE o nível inicial da ascensão não é definido.

Quando a CAPE teve valores baixos também foram verificados que outros índices apresentaram valores altos, isso sugere que, para determinar eventos de trovoadas é necessário o uso de mais de um índice com valores dentro do limiar sugerido para cada índice, podendo ter o índice K com valores altos mesmo não sendo mostrado um limiar para esse índice.

**AGRADECIMENTOS:** O presente trabalho teve o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

#### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

COTTON, W. R., ANTHES, R. A. *Storm and Cloud Dynamics*. Academic Press: New York, p. 468, 1989.

BRITO, B. M; LEVIT, V; FEDORAVA, N; Tenório, R. S; SANTOS, D. M. B; Silva, B. F. P. Utilização do Modelo HYSPLIT para a Previsão de Trovoada no Aeroporto Zumbi dos Palmares, Maceió, Alagoas. In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo, 2008.

DJURIC, D. *Weather Analysis*. Prentice Hall New Jersey, p. 304, 1994.

ELAT/INPE, *Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/>. Acesso em: janeiro, 2009.

VIANELLO L. R; ALVES A. R. *Meteorologia Básica e Aplicações*. Viçosa (MG): Editora UFV, p. 367, 2000.