

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE DAS TROVOADAS E EXIBIÇÃO DE ÍNDICE
CERÁUNICO ENTRE OS ANOS DE 1998 A 2012 NO AEROPORTO DE
UBERLÂNDIA/MG**

Fabiano Ferfaglia Ribeiro

Graduado em Geografia pela Faculdade Católica de Uberlândia
Técnico em Meteorologia da Infraero
fferfaglia@gmail.com

Giuliano Tostes Novais

Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia
giulianus@hotmail.com

Resumo

Este trabalho visa analisar a variabilidade das trovoadas e exibir de maneira quantitativa a ocorrência deste fenômeno no Aeroporto de Uberlândia (SBUL), operado pela INFRAERO, em quantidade de horas nos anos de 1998 a 2012. Estes dados foram baseados nos registros feitos em sua Estação Meteorológica de Superfície e observados pelos profissionais de Meteorologia Aeronáutica desta localidade. Será apresentado, de modo geral, a formação e estrutura do fenômeno, bem como sua área de influência neste trabalho, para que em seguida seja exibida, de modo gráfico e analítico, a ocorrência das trovoadas nesta localidade, tendo como base o método da análise rítmica, proposto por Monteiro (1976), juntamente com a apresentação do índice ceráunico nesta mesma localidade.

Palavras-chave: Cumulonimbus. Trovoadas. Raios. Análise rítmica. Índice ceráunico.

**THUNDERSTORMS VARIABILITY ANALYSIS AND KERAUNIC INDEX
EXHIBITION BETWEEN 1998 TO 2012 YEARS AT UBERLÂNDIA'S AIRPORT
(MG)**

Abstract

This present work intents to analyze the variability of the thunderstorms and to show, through a quantitative manner, the occurrence of this meteorological phenomenon at Uberlândia's Airport (SBUL), managed by the INFRAERO company, by hours account since 1998 to 2012 year. All this data was based on its Meteorological Surface Station records and observed by the Meteorological Aeronautical staff from this location. This research will present, in a general way, the formation and structure of the thunderstorm phenomenon, as well as its based influenced and collected area, for then must be graphically and analytically shown, his occurrence at the location, although, this work has been inspired on the rhythmical analysis

Recebido em 21/01/2014 / Aprovado para publicação em 12/10/2014.

OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia, v.6, n.17, p. 52-73, out. 2014.

method, proposed by Monteiro (1976), besides the presentation of the keraunic index to the same location.

Keywords: Cumulonimbus. Thunderstorm. Lightning. Rhythmical analysis. Keraunic index.

Introdução

O Brasil está entre os países onde há uma das maiores ocorrências de raios e relâmpagos no mundo, devido a sua grande extensão territorial e sua localização geográfica, que se encontra entre duas zonas climáticas, a zona tropical e a temperada. Contudo, estudos do Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) apontam que o Brasil se encontra na posição de recordista em descargas atmosféricas, com a estimativa de que 50 a 70 milhões de incidências ocorrem, em média, por ano em solo brasileiro (PINTO JR., 2005, p. 05).

Entre os principais órgãos de pesquisa e acompanhamento deste fenômeno em nosso país, destacam-se o INPE, FURNAS Centrais Elétricas S.A., Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR). Ao longo da década de 2000 muitos avanços ocorreram no sentido de se estudar as descargas atmosféricas em nosso território e também mapeá-las. Estes esforços resultaram na chamada rede BrasilDAT (Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas) operada pelo ELAT, integrante do INPE. Além destes, existem ainda diversos pesquisadores vinculados a Institutos e Universidades, os quais desenvolvem trabalhos e pesquisas diversas referentes às descargas atmosféricas e trovoadas em todo o Brasil.

Em vista disso, raios, relâmpagos e descargas atmosféricas são um dos temas mais estudados nos meios científico e acadêmico em todo mundo. Isso se deve ao seu alto grau de complexidade e de afetação às diversas atividades humanas e que, muitas vezes, acaba por ceifar a vida de seres humanos e animais. Acredita-se que centenas de animais de várias espécies morrem por ano, afetados por raios. Já em relação à população, de acordo com o ELAT, um total de 1.321 pessoas morreram entre os anos de 2000 a 2009 no Brasil, sendo que a média de mortes por raios é de 116,25 entre os anos de 2003 e 2010 (ELAT, 2013). As circunstâncias são as mais diversas, porém todas fatais.

Este trabalho fará a caracterização da área de estudo, bem como de seu local de coleta de dados, em seguida explanará sobre a formação e evolução das nuvens relacionadas ao fenômeno e ainda suas características gerais. Sua ocorrência na área de estudo será exibida

através de gráficos, seguida da análise dos resultados. Como dito por Monteiro (1976, p. 25), “o fator tempo (duração) é essencial na definição dos climas”, portanto, dentre os vários métodos para análise climatológica, optou-se neste trabalho pelo agrupamento em horas mensais e anuais das ocorrências das trovoadas e sua relação percentual entre estes mesmos anos de ocorrência. Juntamente com o fator citado, este método exhibe também a variabilidade e o ritmo, que são aspectos diretamente relacionados ao fator tempo (MONTEIRO, 1976, p. 25). Dessa forma, pode-se compreender claramente o comportamento das trovoadas na localidade em questão e sua intensificação nos últimos anos.

Este trabalho pretende contribuir a outros diversos estudos para esta região, os quais vem sendo realizados por pesquisadores afins, pois são temas diretamente relacionados às tempestades e trovoadas.

A apresentação destes dados através do chamado índice ceráunico é um auxiliador para a obtenção da densidade de ocorrência de raios nuvem-solo de uma região (DIAS; MESQUITA; VISACRO, 2009, p. 2), o que significa a quantidade de raios que atingem o solo por quilômetro quadrado por ano. Este índice é útil também para a confecção de cálculos visando determinadas necessidades para os Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) de edificações em geral (NBR-5.419/ABNT apud STÉFANI, 2011, p. 18). Além disso, a sistemática disposição de índices ceráunicos de muitas localidades é o que faz compor os mapas isoceráunicos, que são as isolinhas destes índices para áreas extensas (OUTÃO; BARROS, 2009, p. 3).

Materiais e métodos

Foi feita uma consulta à literatura referente ao fenômeno, além da manipulação dos dados das observações meteorológicas de SBUL de 1º de janeiro de 1998 a 31 de dezembro de 2012, totalizando 15 anos de observações meteorológicas. Estes dados foram fornecidos pela INFRAERO e constam no formato XLS, assim, foi utilizado nesta análise o software Microsoft Excel 2010. Os dados são originários dos antigos formulários IEPV 105-78, amplamente utilizados para fins de registros pela Meteorologia Aeronáutica em todo país. Dessa forma, estes dados foram tabulados de acordo com os meses e anos correspondentes, considerando-se a ocorrência do fenômeno por horas totais. Para isso, foi feito o levantamento em todas as observações horárias onde constam o fenômeno e sua respectiva duração total por mês e ano.

Caracterização da área de estudo

O município de Uberlândia pertence à Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, no Estado de Minas Gerais, Região Sudeste do Brasil. Para suas coordenadas geográficas, este trabalho terá como referência o Centro Administrativo do município, localizado a 18°54'41'' de latitude sul e 48°15'21'' de longitude oeste de Greenwich (Prefeitura Municipal de Uberlândia, 2011). A altitude mínima do município é de 622m, localizada na Foz do Rio Uberabinha, ao norte do município (SILVA apud ALMG, 2010) e a altitude máxima é de 960m situada nas proximidades da Fazenda Floresta do Lobo, no setor sudeste do município (BENEDETTI et al., 2010); a altitude média do município está em torno de 863m (Prefeitura Municipal de Uberlândia, 2010). A porção urbana de Uberlândia corresponde a uma área de 219 km² dentro do total de 4.115 km² do município. Percentualmente a área urbana possui 5,32% e a rural 94,7% do total citado. É um município composto por 604.013 habitantes, sendo que 587.266 residem na porção urbana e 16.747 na porção rural do município (IBGE, 2010).

Climatologia de Uberlândia

Sobre a Climatologia do município, diversas classificações foram feitas desde meados do século passado, para o Brasil e para a região onde se encontra Uberlândia, sendo que, os trabalhos mais utilizados dentro da comunidade científica são os de Köppen (1936), Thorthwaite (1948), Strahler (1969) e Nimer (1979). Recentemente uma nova classificação climática proposta por Novais (2011) foi elaborada para a Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e do Entorno da Serra da Canastra, sendo esta classificação considerada a mais pontual e adequada para o município de Uberlândia.

Dessa forma, Uberlândia se situa dentro do “Clima Tropical Semi-úmido” (NOVAIS, 2011, p. 160), isto é, quente o ano todo com 4 a 5 meses secos (maio-agosto, setembro); temperatura média anual de 22,4°C, temperatura média do mês mais frio acima de 18°C; entre os anos de 1980 a 2009, a média das temperaturas máximas ficou em 35,3°C, e a média das mínimas em 6,9°C. A pluviosidade média anual do município é de 1.590 mm, concentrados em sua maior quantidade no verão (dezembro-fevereiro); déficit hídrico anual entre 100 mm – 500 mm e seu excedente hídrico anual entre 200 mm – 600 mm (NOVAIS, 2011, p. 158).

As massas de ar e sistemas atmosféricos atuantes em Uberlândia

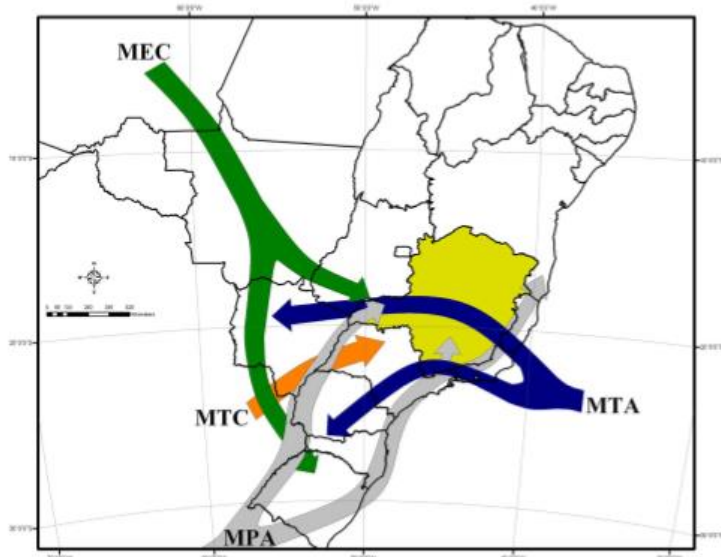
Os sistemas atmosféricos atuantes em Uberlândia são (CAVALCANTI et al., 2009, apud NOVAIS, 2011, p. 67-71):

- Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS);
- Jatos de Altos Níveis (Jato Subtropical – JST);
- Frentes Frias;
- Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs);

Já sobre as massas de ar atuantes, tem-se (MENDONÇA, 2007, apud NOVAIS, 2011, p. 71-81):

- Massa de Ar Tropical Atlântica (MTA);
- Massa Tropical Continental (MTC);
- Massa de Ar Equatorial Continental (MEC);
- Massa Polar Atlântica (MPA);

Figura 1. Massas de ar que atuam no Estado de Minas Gerais.



Fonte: NOVAIS, 2011.

Características da Estação Meteorológica e da coleta dos dados

O Aeroporto Ten. Cel. Av. César Bombonato, ou Aeroporto de Uberlândia, se encontra localizado na latitude de 18°53' sul e 48°13' longitude oeste de Greenwich, tendo como altitude 943m (SAC/PR, 2013). Sua Estação Meteorológica de Superfície, bem como seu ponto de observação meteorológico, encontra-se localizado junto ao prédio da torre de controle.

O complexo aeroportuário uberlandense pertence à Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), empresa pública federal brasileira, vinculada à Secretaria de Aviação Civil da Presidência da República (SAC/PR). Sua Estação Meteorológica de Superfície (EMS) é uma das 61 existentes em todo o sistema da INFRAERO pelo país (INFRAERO, 2014).

As EMS têm por finalidade efetuar observações meteorológicas à superfície para fins aeronáuticos, sinóticos e para o registro de dados com fins climatológicos. As EMS da INFRAERO estão subordinadas a regulamentação definida pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) do Comando da Aeronáutica, que por sua vez o faz com base no mecanismo internacional da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e da Organização de Aviação Civil Internacional (OACI).

As EMS são classificadas em classes pelo DECEA, assim, elas podem ser: EMS-1, EMS-2 ou EMS-3. Essa divisão em classes se deve a quantidade de equipamentos que a estação possui, a mais completa é a EMS-1. Na atualidade, o Aeroporto de Uberlândia possui uma EMS-1 (MINISTÉRIO DA DEFESA, MCA 105-2, 2011, p. 12).

Conforme preconiza a regulamentação do DECEA, a EMS-1 é operada por uma equipe de meteorologistas de nível técnico, também chamados de observadores meteorológicos, que possuem como algumas de suas atribuições: manter vigilância meteorológica contínua no aeródromo junto à EMS-1 em questão, realizar observações meteorológicas e sinóticas à superfície, além de todos os registros correlatos à confecção dos códigos de Meteorologia Aeronáutica, tais como METAR, SPECI e SYNOP (MINISTÉRIO DA DEFESA, MCA 105-2, 2011, p. 11).

Destaca-se que, são os observadores meteorológicos que identificam os tipos de nuvens e sua quantidade na abóbada celeste, assim como a ocorrência de todo e qualquer fenômeno (trovoada, chuva, chuveiro, nevoeiro, névoa seca, etc.) tanto seu início, sua intensificação ou não e seu término.

Com relação às trovoadas, o Manual de Códigos Meteorológicos do DECEA (MINISTÉRIO DA DEFESA, MCA 105-10, 2012, p. 43) define este fenômeno como sendo “a sucessão de descargas elétricas e trovões, acompanhada, geralmente, de precipitação”. O mesmo órgão faz ainda as seguintes considerações (MINISTÉRIO DA DEFESA, MCA 105-10, 2012, p. 21):

(...) uma trovoada deve ser considerada sobre a estação a partir do momento em que o primeiro trovão é ouvido, sejam relâmpagos vistos ou não, haja precipitação na estação ou não. A trovoada deve ser informada no tempo presente, caso o trovão seja ouvido durante o período normal de observação que precede a hora do informe (meteorológico). Considerar-se-á que a trovoada tenha terminado quando se ouvir o último trovão, ficando confirmada a sua fase de dissipação no espaço de 10 a 15 minutos seguintes.

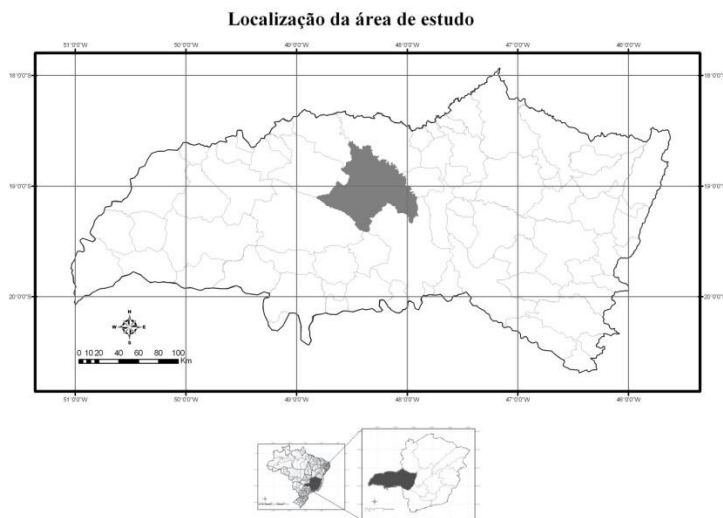
Pinto Jr. confirma este método de registro exposto acima, sendo suas considerações, as seguintes: “dias de tempestade são definidos como aqueles em que um observador num dado local registra a ocorrência de trovoada.” (PINTO JR., 1996, p. 27).

Dentro do sistema de codificação dos fenômenos para a Meteorologia Aeronáutica, a trovoada é considerada ocorrendo no aeródromo quando é percebida do ponto de observação até uma distância de 8 quilômetros, quando observada a distâncias superiores, normalmente percebidas pelo seu efeito luminoso, é considerada, então, como sua ocorrência sendo “na vizinhança” (MINISTÉRIO DA DEFESA, MCA 105-2, 2011, p. 30). Na prática, a ocorrência de trovoada no aeródromo é codificada no METAR (Meteorological Aerodrome Report ou Informe Meteorológico Regular de Aeródromo) como TS (do inglês “thunderstorm”) e a ocorrência na vizinhança de VCTS (do inglês “vicinity thunderstorm”). Por oportuno, todos os registros de trovoada analisados neste trabalho se devem exclusivamente quanto a sua ocorrência no aeródromo, ou seja, com o limite de raio de 8 quilômetros a partir do ponto de observação da EMS. Em muitos momentos anteriores ou posteriores à ocorrência de trovoada no aeródromo, é registrada a ocorrência de trovoada na vizinhança, portanto, esse registro possui tanto um caráter de iminência e/ou fortalecimento como de dissipação da trovoada (MINISTÉRIO DA DEFESA, MCA 105-2, 2011, p. 30).

Vários fatores justificam cientificamente esta opção de limitação, pois, “normalmente, pode-se escutar o trovão entre 5 a 10 quilômetros de distância do local onde ocorreu o relâmpago. Devido a diversas razões, entre elas o vento, a temperatura do ar e o relevo do solo, dificilmente se escuta o trovão a distâncias maiores que 20 quilômetros.” (PINTO JR., 1996, p. 20).

A figura 2 localiza o município de Uberlândia dentro da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba no estado de Minas Gerais:

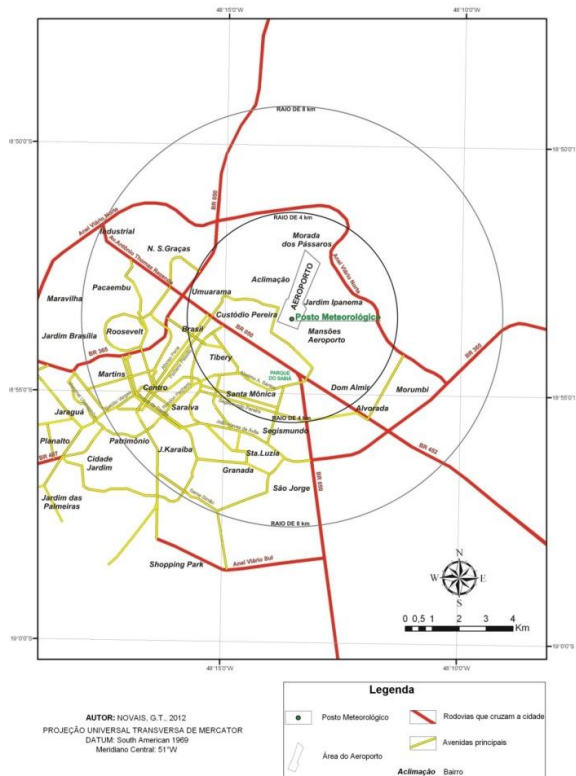
Figura 2. Localização do município de Uberlândia dentro da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e do estado de MG.



Fonte: NOVAIS, 2011.

A figura 3 exibe o ponto de observação da EMS do Aeroporto de Uberlândia, localizado à nordeste do município, juntamente com seu raio de atuação, bem como os principais bairros circundantes:

Figura 3. Localização da EMS, raio de abrangência de observação das trovoadas e bairros circundantes ao Aeroporto de Uberlândia.



Fonte: NOVAIS, 2012.

Formação das Cumulonimbus e das trovoadas

Segundo Pinto Jr. (2005, p. 18), apesar de as trovoadas estarem associadas às nuvens de tempestades, estas, classificadas de Cumulonimbus (CB) de acordo com o Atlas Internacional de Nuvens, este fenômeno pode também ocorrer em outros tipos de nuvens, como em tempestades de neve, tempestades de areia e em erupções vulcânicas. Contudo, na localidade de análise deste trabalho, a ocorrência do fenômeno de trovoadas se dá nas Cumulonimbus apenas.

Os elementos essenciais que alimentam as condições para a formação dos CBs são: a) presença de umidade na atmosfera e sua evaporação à superfície terrestre, tanto dos solos quanto de todas as superfícies aquáticas, o qual é um dos fatores que gera o movimento de convecção; b) instabilidade atmosférica, ou seja, como o ar quente e o ar frio possuem densidades diferentes, o ar quente ao adquirir umidade tende a ascender, na medida em que é resfriado na atmosfera ele tende a descer, efetuando um processo contínuo de troca; c) e ainda o levantamento, seja ele orográfico, frontal, de brisa marítima ou terrestre (COMANDO DA AERONÁUTICA, 2003, p. 4).

A formação de um CB normalmente ocorre em estágios, originando-se através das nuvens Cumulus, estas que podem desenvolver-se ao ponto de se tornarem Cumulus Congestus (também conhecidas como Towering Cumulus – TCU) e ainda sim se desenvolverem mais dando origem ao CB. Estes estágios são conhecidos, respectivamente, como (SONNEMAKER, 1991, p. 82): 1) estágio de Cumulus; 2) estágio de maturidade. 3) Após estes dois estágios tem-se o estágio de dissipação, onde a precipitação gradualmente se cessa, as correntes descendentes predominam, porém com menor intensidade, os ventos de rajada se enfraquecem e as turbulências se tornam menos intensas. Ocorrem ainda grandes expansões laterais da nuvem e seu topo exhibe o formato direcionado e alongado, tomando a forma de uma “bigorna” (SONNEMAKER, 1991, p. 61).

Cumulus são nuvens de estágio baixo, geralmente densas e de contorno e base bem definidos, desenvolvem-se em sentido vertical em forma de montículos, domos ou torres; são constituídas majoritariamente por gotículas de água (PRETOR-PINEY, 2008, p. 22). Elas ocorrem em alturas que variam de 300 a no máximo 1500 metros, porém, em raras ocasiões são observadas em torno de até 1800 metros de altura no Aeroporto de Uberlândia.

As Cumulus Congestus, ou TCU, são as próprias nuvens Cumulus, porém com maior desenvolvimento vertical, portanto, possuem sua base em níveis baixos. No entanto, devido

sua capacidade de ascensão na atmosfera são consideradas como nuvens de grande desenvolvimento vertical, pois podem atingir os estágios das nuvens médias e altas; são constituídas por gotículas de água e podem conter também partículas de gelo em sua porção superior (VAREJÃO-SILVA, 2006, p. 376). A Meteorologia Aeronáutica considera 750m a altura mínima da base de um TCU.

As nuvens Cumulus Congestus podem evoluir ainda mais, dando origem à nuvem CB, ou se dissipar, o que depende de diversas condições atmosféricas reinantes num determinado local e/ou dos sistemas atuantes. Dessa forma, a formação de um CB sempre é precedida pelo estágio de Cumulus Congestus.

As trovoadas podem ser definidas de acordo com sua origem, dessa forma, elas possuem dois modos principais das quais se originam, são eles: trovoadas de massas de ar e as frontais, também conhecidas como dinâmicas (SONNEMAKER, 1991, p. 83).

As chamadas trovoadas de massas de ar são formadas no interior de uma mesma massa de ar, quente e úmida, ou seja, uma parcela da atmosfera que possua características semelhantes de temperatura, umidade e pressão. Normalmente ocorrem de forma isolada ou esparsa. São divididas em (SONNEMAKER, 1991, p. 83):

- Trovoadas convectivas: são originadas devido a processos convectivos, onde determinada massa de ar quente e úmida se eleva na atmosfera devido sua baixa densidade e às condições de instabilidade da troposfera;
- Trovoadas orográficas: originadas por condições orográficas, onde uma parcela de ar úmido e instável é forçada a ascender através de um terreno montanhoso;
- Trovoadas advectivas: ocorrem devido ao movimento horizontal de ar quente e úmido sob uma determinada área de ar instável, ou advecção de ar frio sobre áreas onde se encontram ar quente; é a menos comum das três.

As trovoadas derivadas de sistemas frontais podem ocorrer em qualquer época do ano e a qualquer hora do dia, são geralmente intensas, de maior duração e extensas horizontalmente. São elas (SONNEMAKER, 1991, p. 83):

- Trovoadas frontais: ocorrem associadas a sistemas frontais frios, quentes e oclusos.
- Trovoadas de linha de instabilidade: ocorrem na dianteira das frentes, ou seja, nas linhas e áreas pré-frontais.

São estas origens e definições que irão definir a forma de como os CBs irão se apresentar no tempo e espaço, podendo ocorrer das seguintes formas (DECEA, 200-, p. 2):

- **isolados**: quando numa determinada área há ocorrência isolada da nuvem;

- **multicélulas:** quando numa determinada área há a presença de várias células de CB, porém, não apresentam uma disposição organizada;
- **em linhas de instabilidade:** é formado pela presença de várias células de CBs alinhados, comum quando ocorrem os sistemas frontais, precedendo-os;
- **supercélulas:** quando ocorrem formações conjuntas em áreas muito extensas, são capazes de se manterem sozinhas em atividade por diversas horas.

Este trabalho não pretende adentrar nas características elétricas da estrutura dos CBs, porém, informações aprofundadas neste campo, podem ser encontradas nas obras do pesquisador Dr. Osmar Pinto Jr., os quais são grandes referências.

Informações básicas sobre as trovoadas

As condições de tempo ocasionadas pelas trovoadas são severas, tanto ao longo da camada da troposfera quanto em superfície, podendo ocorrer, em maior ou menor grau de severidade, os seguintes elementos (SONNEMAKER, 1991, p. 84): turbulência, chuvas torrenciais, granizo, gelo, saraiva, rajadas de vento, raios, relâmpagos, tornados e trombas d'água.

Para a aviação, a presença das trovoadas é um limitador do espaço aéreo, sendo que o voo dentro de uma nuvem CB é considerado de extremo risco, devido possuir fortes correntes de ventos ascendentes e descendentes, com gelo, granizo, além da ocorrência de relâmpagos (DECEA, 200-, p. 1). As operações aéreas de pousos e decolagens são afetadas também pelas cortantes de vento geradas por estas nuvens, à superfície ou próximas a ela, pois em seu entorno ocorrem fortes correntes de ventos ascendentes e descendentes, gerando grandes riscos a estas operações (DECEA, 200-, p. 1).

Discussão e análise dos resultados

Optou-se neste trabalho por exibir os totais das ocorrências de trovoadas em horas e minutos, devido os dados obtidos serem muito pontuais, ao contrário do tradicional índice ceráunico, que leva em consideração apenas a quantidade de dias. No entanto, ao final da análise, os dados foram também dispostos neste mesmo índice.

A distribuição das trovoadas ao longo de qualquer um dos anos desta pesquisa mostra que é possível dividi-los em duas temporadas. Uma primeira temporada, que vai de janeiro a

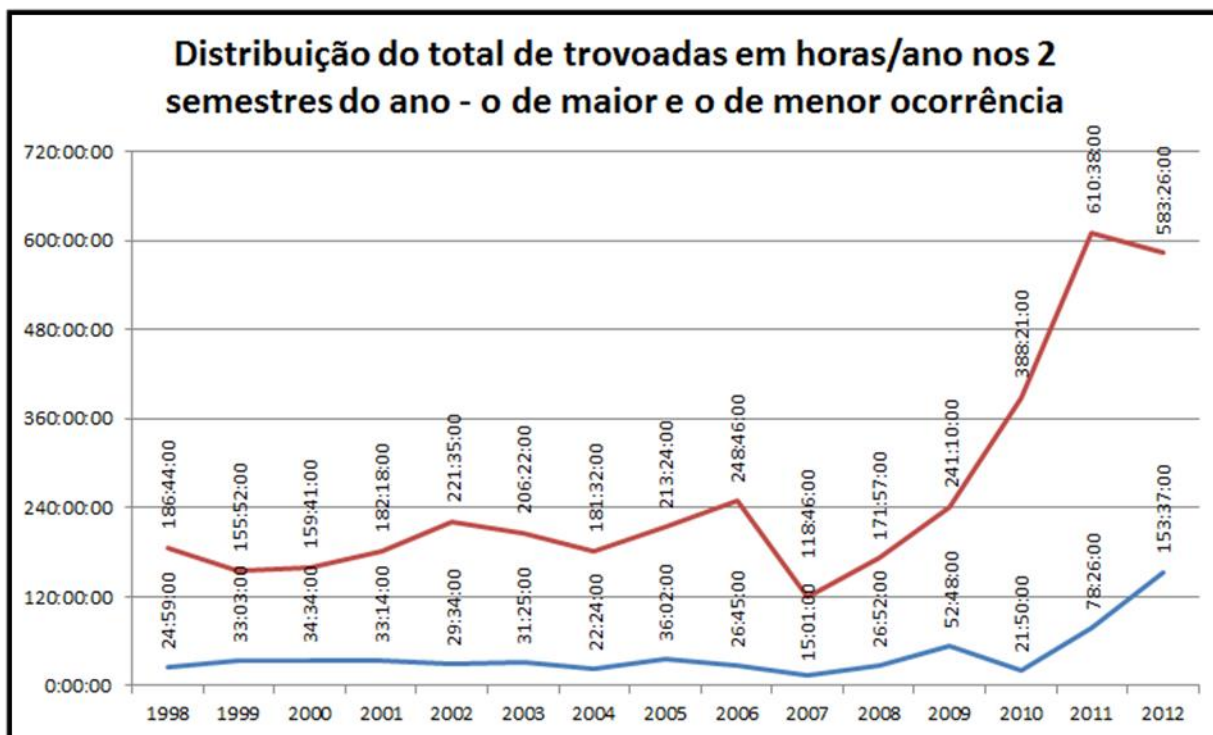
março e de outubro a dezembro de um mesmo ano, onde se encontram altos índices de trovoadas, o que corresponde aproximadamente às estações de verão e primavera respectivamente. E uma segunda temporada que vai de abril a setembro, com índices menores, correspondente às estações de outono e inverno, aproximadamente. Esse comportamento se enquadra a qualquer modelo climatológico proposto para o município, pois as ocorrências de trovoada acompanham os períodos secos e chuvosos na sua intensificação ou escassez. Como apresentado por Novais (2011, p. 158), Uberlândia possui de 4 a 5 meses secos (maio-agosto e eventualmente setembro), sendo seu período chuvoso de outubro a março, com maior concentração pluviométrica no verão (dezembro a fevereiro), o que faz uma relação direta com o fenômeno das trovoadas.

A figura 4 exhibe estes dois períodos semestrais entre os anos de 1998 e 2012, sendo possível perceber notável aumento de horas de ocorrência do fenômeno nos anos de 2011 e 2012 em ambos os períodos.

Figura 4. Distribuição do total de trovoadas em horas/ano nos semestres de maior e de menor ocorrência.

Linha avermelhada: totais dos meses de janeiro a março e de outubro a dezembro/ano.

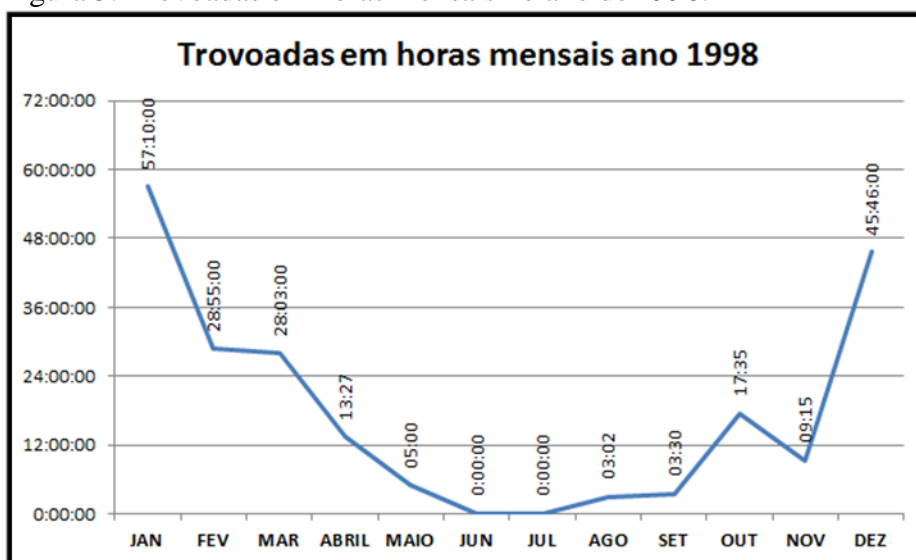
Linha azulada: totais dos meses de abril a setembro/ano.



Fonte: RIBEIRO, 2013

Em todos os anos, como é típico da própria climatologia da localidade, o comportamento das trovoadas irá compor graficamente, com ligeiras alternâncias, uma espécie de parábola, pois há dois pontos equidistantes, que correspondem aos extremos dos anos, os meses de janeiro-fevereiro e novembro-dezembro, com seus valores máximos de trovoadas em horas. A figura 5 exemplifica esta consideração para o ano de 1998, que é o primeiro da análise:

Figura 5. Trovoadas em horas mensais no ano de 1998.



Fonte: RIBEIRO, 2013.

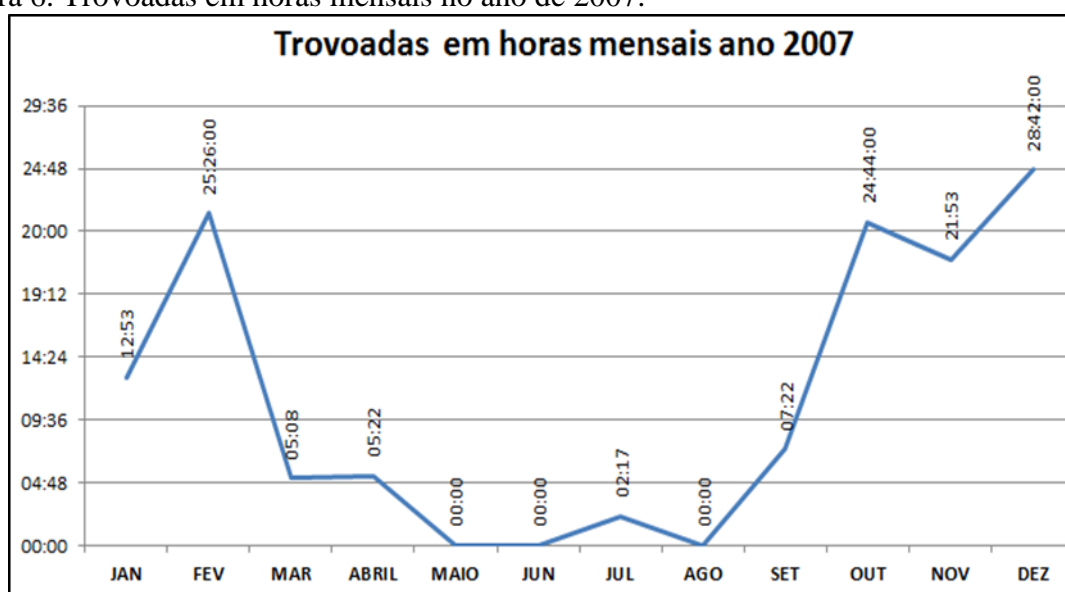
A quantidade de ocorrências de trovoadas em horas mantém-se com estabilidade ao longo dos anos de 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, ou seja, com poucas variações entre os anos, exibindo um comportamento semelhante entre eles. A média deste período é do valor de 225h e 21min. No ano de 2007, que possui o total de 133h e 47min de trovoadas, há um declínio na ocorrência do fenômeno em 41% em relação à média dos anos de 1998 a 2006, que foram os anos que se comportaram semelhantemente. O ano seguinte, 2008, os valores voltam a se comportar semelhante à média ocorrida de 1998 a 2006, com o total de 198h e 49min totais, ao passo que nos anos seguintes os valores totais do fenômeno em horas aumentaram expressivamente.

A partir de 2009 os totais de horas de trovoadas passam a se elevar a cada ano, chegando ao total de 737h e 03min no ano de 2012, o último do período de análise. A média dos anos de maior ocorrência, os anos de 2009, 2010, 2011 e 2012 (4 anos ao todo), está em torno de 532h e 34min, contra 225h e 21min dos anos de 1998 a 2006 (9 anos ao todo). Isso

mostra que nestes 4 anos (de 2009 a 2012) ocorreu mais que o dobro da quantidade de horas de trovoadas dos 9 anos anteriores (de 1998 a 2006), ou pouco mais que 57% a mais no valor de ocorrências desses 4 anos sobre os 9 anos anteriores.

O ano de 2007 é o recordista com a menor ocorrência do fenômeno, com o total de 133h e 47min, onde constam três meses (maio, junho e agosto) sem qualquer ocorrência de trovoadas, sendo dezembro o seu mês com maior valor total em horas de ocorrência, com 28h e 42min. A figura 6 exibe os totais mensais para este ano.

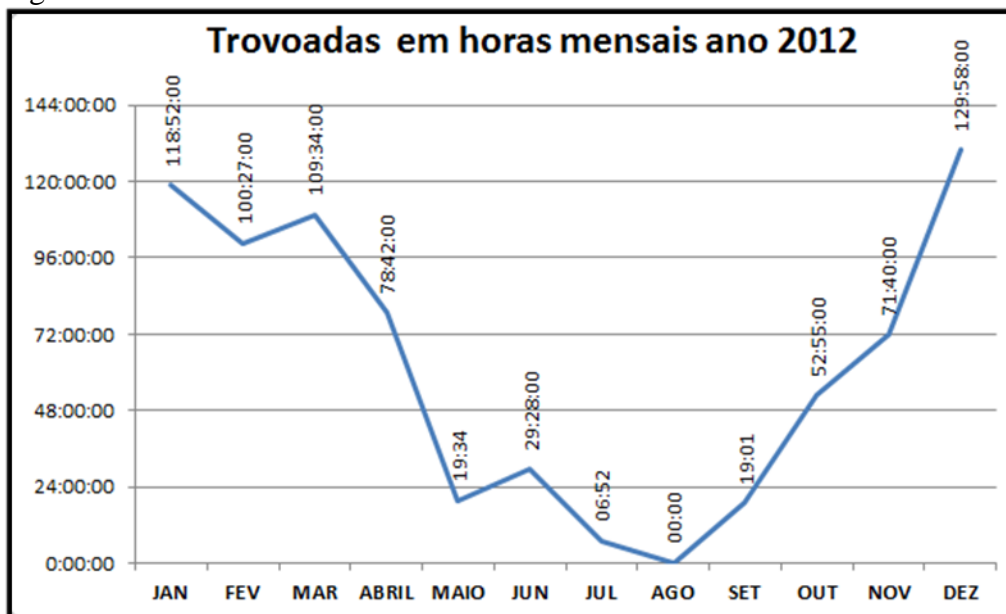
Figura 6. Trovoadas em horas mensais no ano de 2007.



Fonte: RIBEIRO, 2013.

Quanto ao ano de maior ocorrência total de trovoadas em horas, os dados apontam ser 2012, com o total de 737h e 03min. Apenas o total do ano de 2012 é suficiente para superar a os totais de 1998, 1999 e 2000 juntos. Este ano possui agosto como o único mês com a ausência do fenômeno e dezembro seu mês de maior ocorrência, com o acumulado de 129h e 58min. A figura 7 exibe esta distribuição anual para 2012.

Figura 7. Trovoadas em horas mensais no ano de 2012.

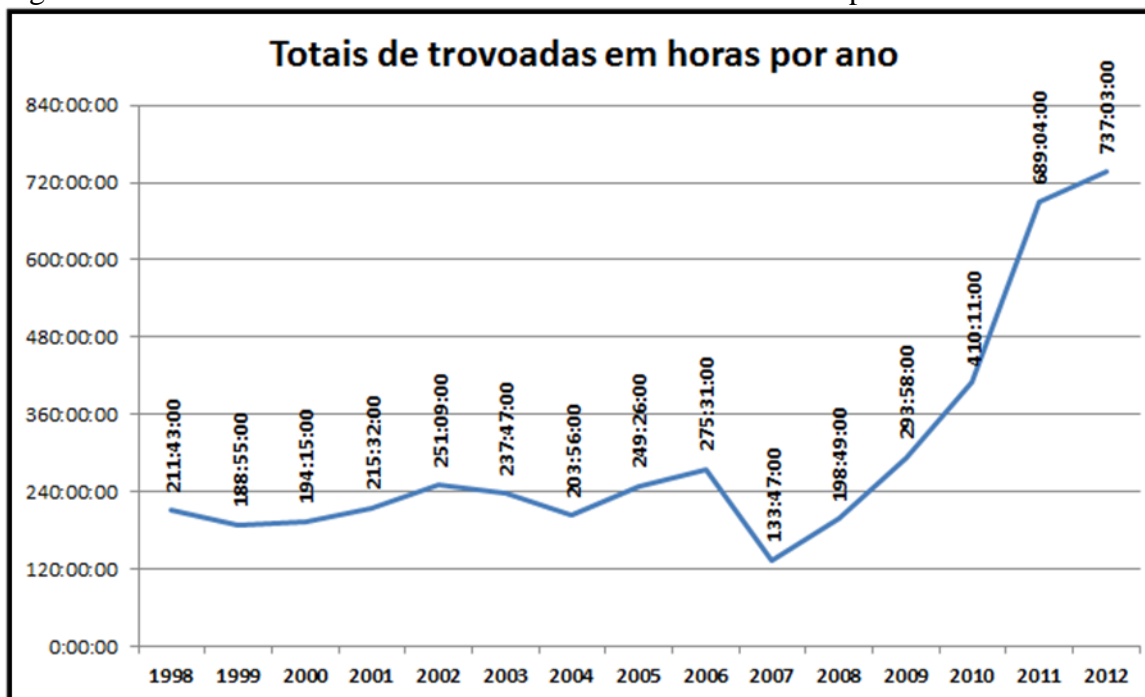


Fonte: RIBEIRO, 2013.

O ano de 2012 representa um aumento de 82% sobre o ano de menor ocorrência, que foi 2007. Como ano recorde em maior ocorrência, ele representa uma superioridade de 20% sobre a média dos anos onde houve comportamento semelhante, ou seja, de 1998 a 2006.

A figura 8 exibe a distribuição em horas e minutos totais de ocorrência deste fenômeno a cada ano do período selecionado, onde se pode perceber o aumento acentuado nos totais a partir de 2010.

Figura 8. Totais das ocorrências de trovoadas em horas e minutos por ano.



Fonte: RIBEIRO, 2013.

O índice ceráunico, como já mencionado, é definido como a quantidade de dias de trovoada, por ano, em determinado lugar (BOHN, 200-, p. 2).

Estes mesmos totais já exibidos, quando convertidos para este índice, podem ser visualizados da seguinte forma:

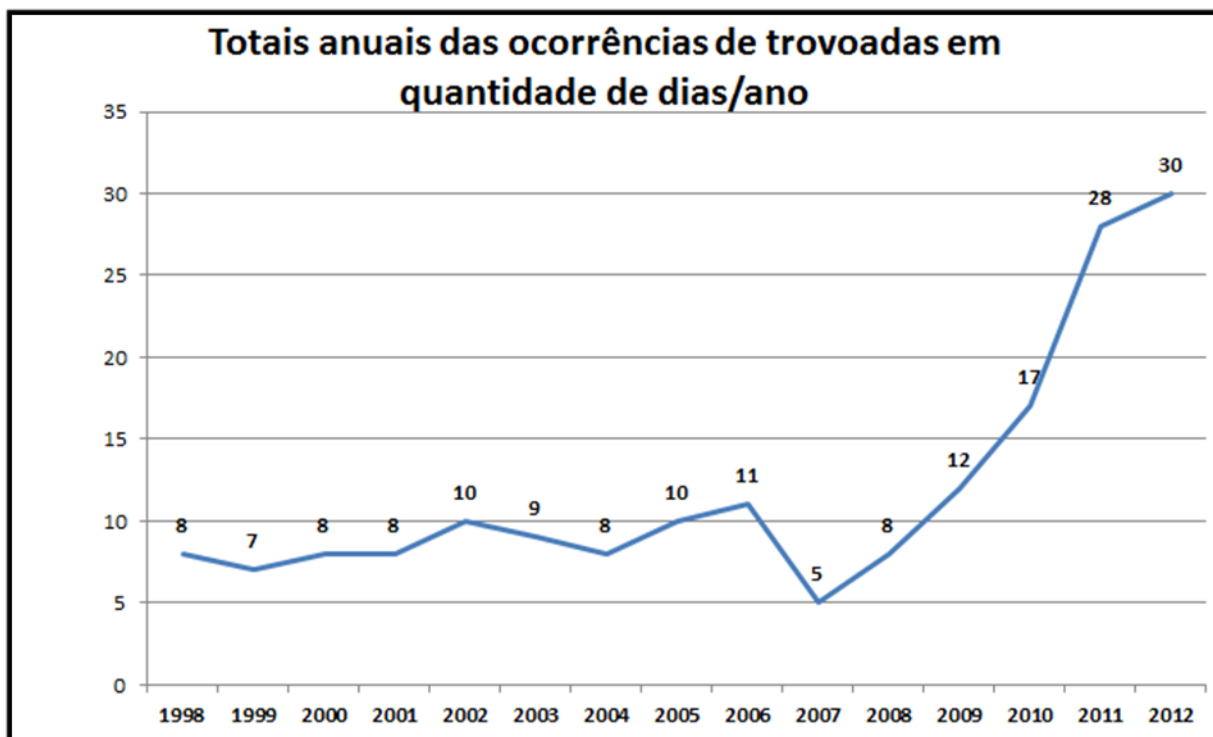
Tabela 1 - Totais das ocorrências de trovoadas em dias, horas e minutos por ano.

ANO	TOTAL ANUAL EM DIAS, HORAS E MINUTOS:
1998	08 dias, 19 horas e 43 minutos
1999	07 dias, 20 horas e 55 minutos
2000	08 dias, 02 horas e 15 minutos
2001	08 dias, 23 horas e 32 minutos
2002	10 dias, 11 horas e 09 minutos
2003	09 dias, 21 horas e 47 minutos
2004	08 dias, 11 horas e 56 minutos
2005	10 dias, 09 horas e 26 minutos
2006	11 dias, 11 horas e 31 minutos
2007	05 dias, 13 horas e 47 minutos
2008	08 dias, 06 horas e 49 minutos
2009	12 dias, 05 horas e 58 minutos
2010	17 dias, 02 horas e 11 minutos
2011	28 dias, 17 horas e 04 minutos
2012	30 dias, 17 horas e 03 minutos

Organização: RIBEIRO, 2013.

Portanto, ao aplicar este método, normalmente desprezam-se as horas e minutos excedentes, e consideram-se apenas a quantidade de dias. Dessa forma, é possível se obter o seguinte gráfico:

Figura 9. Índice ceráunico de Uberlândia medido pela EMS-1 do Aeroporto de Uberlândia dos anos de 1998 a 2012.



Fonte: RIBEIRO, 2013.

Quanto aos períodos do dia em que ocorrem as trovoadas, optou-se nesta avaliação dividi-los em 4 turnos, são eles (em horário local):

- 1º período do dia ou turno: das 00:00 as 06:00;
- 2º período do dia ou turno: das 06:00 as 12:00;
- 3º período do dia ou turno: das 12:00 as 18:00;
- 4º período do dia ou turno: das 18:00 as 00:00.

Foi possível efetuar um percentual de ocorrências de trovoadas apenas entre os anos de 1998 a 2010, o qual foram obtidos através de dados em Excel fornecidos pela INFRAERO, já os anos de 2011 e 2012 ficaram de fora deste percentual devido se encontrarem nos softwares da Estação Meteorológica de Superfície do Aeroporto de Uberlândia em formato e padrão o qual não se permitiu uma visualização por estes turnos/dias.

Dentro do total de 3.005 registros de trovoadas entre 1998 e 2010, o fenômeno ficou distribuído da seguinte forma:

Tabela 1 - Total de ocorrências por turnos entre 1998 e 2010.

Período do dia	Total de ocorrências	Percentual
1º turno:	433	14,40%
2º turno:	123	4,09%
3º turno:	1426	47,45%
4º turno:	1023	34,04%

Organização: RIBEIRO, 2013.

Para o período mais ativo das trovoadas, como mencionado, que vai de janeiro a março e de outubro a dezembro de um mesmo ano, os totais e proporções entre 1998 a 2010 são os seguintes:

Tabela 2 - Total de ocorrências por turnos entre 1998 e 2010, no período de maior atividade.

Período do dia	Total de ocorrências	Percentual
1º turno:	360	13,90%
2º turno:	103	3,97%
3º turno:	1242	47,97%
4º turno:	884	34,14%

Organização: RIBEIRO, 2013.

Já para o período anual com menos atividade, que se refere aos meses de abril a setembro, entre 1998 a 2010, tem-se os seguintes resultados:

Tabela 3 - Total de ocorrências por turnos entre 1998 e 2010, no período de menor atividade.

Período do dia	Total de ocorrências	Percentual
1º turno:	73	17,54%
2º turno:	20	4,80%
3º turno:	184	44,23%
4º turno:	139	33,41%

Organização: RIBEIRO, 2013.

Dessa forma, os dados, nos três modos de exposição, exibem que o turno de maior atividade das trovoadas é o que se determinou como 3º, com mais de 44% das ocorrências totais. Em segundo lugar tem-se o 4º turno com 33% ou mais das ocorrências. O 1º turno se estabelece na terceira posição apresentando-se com índices relativos a 13% ou mais das ocorrências totais. Já o 2º turno se mostrou com a menor atividade, não atingindo nem 5% nas três exibições do comportamento deste fenômeno.

Considerações finais

Faz-se necessário compreender, espacialmente e em frequência, a distribuição das trovoadas nas cidades, tendo em vista que cidades como Uberlândia estão em contínuo crescimento e expansão de seu sistema urbano.

Dentro de um contexto climático prolongado, talvez, esse aumento possa não ser tão representativo, porém, no contexto atual, e inclusive, considerando-se o aumento e a expansão urbana do município em questão, é nítido o aumento da ocorrência das trovoadas a partir do ano de 2010, tendo seu ápice, até então, no ano de 2012.

Alguns fatores podem ser apontados como contribuintes a este aumento, tais como urbanização, mudanças no uso e ocupação do solo e o aumento nos níveis de poluição do ar, o que pode vir a refletir em interferências no clima numa micro ou meso escala, como, por exemplo, a formação de ilhas de calor, ou ainda, pode haver associação com as épocas de El Niño e La Niña para a intensificação ou não das trovoadas (REIS, 2005, p. 154).

Este tema pode e deve apresentar maior exploração e monitoramento futuros, tendo em vista que as trovoadas, as quais muitas vezes se apresentam acompanhadas de chuvas torrenciais, interferem diretamente nas diversas atividades humanas.

Estudar detalhadamente as influências e o comportamento climático, nos âmbitos regional e local, se faz necessário, sendo que a estrutura da Meteorologia Aeronáutica no Brasil se apresenta como forte contribuinte devido seu monitoramento ininterrupto.

Referências

BENEDETTI, Marcelo Muniz. et al. Resistência do solo à penetração em um latossolo vermelho distrófico típico sob diferentes usos. Goiânia: Centro Científico Conhecer, **Enciclopédia Biosfera**, vol. 6, N. 11, p.01 a 09, 2010. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2010c/resistencia%20do%20solo.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2012.

BOHN, Adolar Ricardo. **Projeto de Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil, 22 p. [200-]. Disponível em: <<http://www.centralmat.com.br/Artigos/Mais/projetoSPDA.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2013.
COMANDO DA AERONÁUTICA. Instituto do Controle do Espaço Aéreo (ICEA). Operação de estação meteorológica de superfície e de centro meteorológico de aeródromo classe II. MET-005. **Meteorologia Geral – Meteoros**. São José dos Campos, 2003, 15 p.

_____. Instituto do Controle do Espaço Aéreo (ICEA). Operação de estação meteorológica de superfície e de centro meteorológico de aeródromo classe II. MET-005. **Meteorologia Geral – Nebulosidade – Nuvens**. São José dos Campos, 2003, 27 p.

_____. Instituto do Controle do Espaço Aéreo (ICEA). Operação de estação meteorológica de superfície e de centro meteorológico de aeródromo classe II. MET-005. **Meteorologia Geral – Condições Atmosféricas Adversas ao Voo – Trovoadas**. São José dos Campos, 2003, 15 p.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO, Subdepartamento de Operações, Divisão de Meteorologia Aeronáutica. **Cuidado! Cumulonimbus na Área!**. [200-], 3 p. Disponível em: <<http://www.redemet.aer.mil.br/Artigos/cumulonimbus.pdf>>. Acesso em: 16 de nov. 2012.

DIAS, Rosilene N.; MESQUITA, Cláudia R.; VISACRO, Silvério. Aplicações de mapas de densidade de descargas atmosféricas na engenharia de proteção: avaliações e limitações. In: DÉCIMO TERCER ENCUESTRO REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ, 13., 2009, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Lightning Research Center, 7 p. 2009. Disponível em: <<http://www.labplan.ufsc.br/congressos/XIII%20Eriac/B2/B2-08.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2013.

ELAT, Grupo de Eletricidade Atmosférica. **Infográfico – Mortes por Raios**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/infografico.-.mortes.por.raios.php>>. Acesso em: 21 fev. 2013.

FACULDADE CATÓLICA DE UBERLÂNDIA. Coordenadoria de Pesquisa. Manual de normas para elaboração e formatação de trabalhos científicos. Faculdade Católica de Uberlândia, 2012, 57 p. Disponível em: <<http://www.catolicaonline.com.br/portal/wp-content/uploads/2009/12/MANUAL-DE-NORMAS-atualizada-conforme-NBR-14724-de-abril-de-2011-1-31.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2012.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Minas Gerais – Uberlândia – Infográficos: evolução populacional e pirâmide etária.** Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/populacao.php?lang=&codmun=317020&search=minas-gerais|uberlandia|infogr%E1ficos:-evolu%E7%E3o-populacional-e-pir%E2mide-et%E1ria>>. Acesso em 12 jan. 2013.

INFRAERO, Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. **Meteorologia Aeronáutica.** Disponível em: < <http://www.infraero.gov.br/index.php/br/meteorologia-aeronautica.html>>. Acesso em 27 nov. 2014.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Comando da Aeronáutica. Meteorologia, Manual de Códigos Meteorológicos (MCA 105-10), 2012, 252 p.

_____. Comando da Aeronáutica. Meteorologia, Manual de Estações Meteorológicas de Superfície (MCA 105-2), 2011, 60 p.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Teoria e clima urbano.** São Paulo: Universidade de São Paulo – Instituto de Geografia (IGEOG-USP), 1976. (Série Teses e Monografias, nº 25), 181 p.

NOVAIS, Giuliano Tostes. **Caracterização Climática da Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e do Entorno da Serra da Canastra (MG).** 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/1195>>. Acesso em: 07 nov. 2012.

OUTÃO, Antonio Ricardo Ribeiro; BARROS, Airton Bodstein de. Alternativa contra descargas atmosféricas para novos prédios da UFF. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE DEFESA CIVIL, 5, 2009, São Paulo. **Anais.** p. 1-11. Disponível em: < http://www.defesacivil.uff.br/defencil_5/Artigo_Anais_Eletronicos_Defencil_11.pdf >. Acesso em: 05 maio 2013.

PINTO JR, Osmar. **A arte da guerra contra os raios.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

PINTO JR, Osmar; PINTO, Iara de Almeida. **Relâmpagos.** São Paulo: Brasiliense, 1996.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA. Secretaria Municipal de Planejamento Urbano. Banco de Dados Integrados Volume I. 2011. 43 p. Disponível em: < http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/1428.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2013.

PRETOR-PINNEY, Gavin. **Guia do observador de nuvens.** Tradução de Cláudio Figueiredo. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2008.

REIS, Ruibram Januário dos. **Mapeando a climatologia das descargas atmosféricas em Minas Gerais, utilizando dados de 1989 a 2002 – uma análise exploratória.** 2005. 216 f. Tese (Doutorado em Geografia). PUC Minas, Belo Horizonte. 2005. Disponível em: < http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/TratInfEspacial_ReisRJ_1.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2013.

SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC. Aeródromos Públicos. Brasília: 2013. Disponível em: <

http://www.anac.gov.br/Conteudo.aspx?slCD_ORIGEM=8&ttCD_CHAVE=118>. Acesso em: 06 jun. 2013.

SILVA, Nathalie Ribeiro. **Caracterização do regime climático regional: uma análise dos parâmetros de temperatura, precipitação, balanço hídrico do Triângulo Mineiro – MG**. 2010. 59 f. Monografia (Graduação em Geografia). Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de Geografia, 2010. Disponível em: <http://www.geografiaememoria.ig.ufu.br/downloads/nathalie_ribeiro_silva.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2012.

SONNEMAKER, João Baptista. **Meteorologia**. São Paulo: Asa, 1991.

STÉFANI, Rodrigo Verardino de. **Metodologia de projeto de sistema de proteção contra descargas atmosféricas para edifício residencial**. 2011. 54 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica). São Paulo: Universidade de São Paulo. 2011. Disponível em: <www.tcc.sc.usp.br>. Acesso em: 15 fev. 2013.

VAREJÃO-SILVA, Mário Adelmo. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: versão digital, 2005. Disponível em: <http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2011.