

Gláucio André de Carvalho

Geoprocessamento aplicado à ocorrência dos relâmpagos na Região Metropolitana de Belo Horizonte: Uma análise geográfica

X Curso de Especialização em Geoprocessamento
2007



UFMG
Instituto de Geociências
Departamento de Cartografia
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha
Belo Horizonte
cartog@igc.ufmg.br

GLÁUCIO ANDRÉ DE CARVALHO

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À OCORRÊNCIA DOS
RELÂMPAGOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO
HORIZONTE: UMA ANÁLISE GEOGRÁFICA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de especialista em Geoprocessamento, Curso de Especialização em Geoprocessamento, Departamento de Cartografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. Christian Rezende Freitas

**BELO HORIZONTE
2007**

Carvalho, Gláucio André de

Geoprocessamento aplicado à ocorrência dos relâmpagos na Região Metropolitana de Belo Horizonte: Uma análise geográfica / Gláucio André de Carvalho - Belo Horizonte, 2007.

ix, 55 p.: il.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento de Cartografia, 2007.

Orientador: Prof. Christian Rezende Freitas

1. Geoprocessamento 2. Descargas atmosféricas 3. Climatologia I. Título

“As dificuldades, como as montanhas, aplainam-se quando avançamos por elas”

Emile Lola

DEDICATÓRIA

O esforço empreendido na busca do conhecimento e os frutos deste, dedico em especial a Deus, aos meus pais que sempre me incentivaram pelas melhores oportunidades, a minha irmã Giselle presente em todas as minhas escolhas e a minha querida Alexandra que enriquece minha vida e enche de amor o meu coração.

AGRADECIMENTOS

A realização deste não poderia ser bem sucedida sem a ajuda e colaboração de algumas pessoas.

Agradeço a CEMIG / MGtempo pelo fornecimento dos dados de descargas atmosféricas e normais climatológicas.

Ao Mestre Carlos Wagner pelas valiosas sugestões e amizade, sempre disposto a ajudar.

A professora Ana Clara pelo apoio e atenção nos momentos que mais precisava.

Em especial ao meu orientador Christian Rezende que sem dúvida foi o grande colaborador desse projeto. Obrigado pela paciência, boa vontade e por sempre estar presente em todas as etapas dessa caminhada, você é um exemplo de professor.

Não poderia esquecer dos colegas da PUC Leo e Gizelle pelas brincadeiras no decorrer dessa jornada e o meu grande amigo Renato “Barrichello” companheiro de luta!

Muito obrigado a todos!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação de uma descarga elétrica atmosférica nuvem-solo negativa.....	15
Figura 2: SLT – Sistema de Localização de Tempestade.....	16
Figura 3: Localização dos sensores da RINDAT.....	17
Figura 4: Situações que podem dar origem a trovoadas.....	19
Figura 5: Representação dos estágios do ciclo de vida de uma nuvem <i>cumulonimbus</i>	20
Figura 6: Atuação das ZCAS.....	21
Figura 7: Formação de uma frente fria.....	22
Figura 8: Estrutura de um SIG	26
Figura 9: Modelo digital de Terreno (MDT) – RMBH.....	33
Figura 10: Mosaico – RMBH.....	35
Figura 11: Estrutura de um SIG	46
Gráfico 1 – Normais climatológicas – RMBH.....	32
Mapa 1 - Localização da área de estudo.....	30
Mapa 2 – Espacialização dos pontos de descargas atmosféricas.....	31
Mapa 3 – Densidade descargas atmosféricas RMBH – Período Chuvoso 2004 – 2005.....	36
Mapa 4 – Densidade descargas atmosféricas RMBH – Período Chuvoso 2005 – 2006.....	37
Mapa 5 – Densidade descargas atmosféricas RMBH – Período Chuvoso 2006 – 2007.....	38
Mapa 6 – Normal Climatológica RMBH – Precipitação	40
Mapa 7 – Normal Climatológica RMBH – Umidade	41
Mapa 8 – Normal Climatológica RMBH – Temperatura máxima.....	42
Mapa 9 – Hipsométrico RMBH	43
Mapa 10 – Uso e ocupação do solo - RMBH	45
Mapa 11 – Síntese das densidade descargas atmosféricas RMBH – Períodos Chuvosos 2004 – 2005, 2005 – 2006 e 2006 -2007.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Canais do sensor CCD/CBERS	28
Tabela 2 – Assinatura das descargas atmosféricas x precipitação.....	49
Tabela 3 – Assinatura das descargas atmosféricas x temperatura média máxima.....	49
Tabela 4 – Assinatura das descargas atmosféricas x umidade.....	50
Tabela 5 – Assinatura das descargas atmosféricas x hipsometria.....	51
Tabela 6 – Assinatura das descargas atmosféricas x uso e ocupação do solo.....	52

LISTA DE SIGLAS

CB - Cumulonimbus

CBERS - (China Brazil Earth Resources Satellite)

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais

FPA - Frente Polar Atlântica

GPS -Global Positioning System

ICM - (*Iterative Conditional Mode*)

MDT – Modelo Digital de Terreno

RINDAT - Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

SCM - Sistemas Convectivos de Mesoescala

SIG – Sistemas de Informação geográfica

SLT - Sistema de localização de tempestades

TVVT - Taxa de variação vertical de temperatura

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivos específicos.....	13
3. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	14
3.1 Sistema de detecção de relâmpagos.....	15
3.2 Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas	16
3.3 Climatologia dos relâmpagos	17
3.3.1 <i>Sistemas convectivos de mesoescala.....</i>	<i>19</i>
3.3.2 <i>Frentes frias e a Zona de Convergência do Atlântico Sul.....</i>	<i>20</i>
3.4 estudos relacionados.....	22
4. GEOPROCESSAMENTO	24
4.1 SIG	24
4.2 Raster e Vetores	26
4.3 Sensoriamento Remoto.....	26
4.4 Análise de distribuição espacial	28
4.4.1 <i>Krigagem</i>	<i>28</i>
4.4.2 <i>Kernel.....</i>	<i>29</i>
5. ESTUDO DE CASO	30
5.1 Área de estudo.....	30
5.2 Coleta de dados	31
5.2.1 <i>Descargas atmosféricas</i>	<i>31</i>
5.2.2 <i>Normais Climatológicas</i>	<i>32</i>
5.2.3 <i>Modelo Digital de Terreno (MD).....</i>	<i>33</i>
5.2.1 <i>Imagens de satélite.....</i>	<i>34</i>
6. TRATAMENTO DOS DADOS	36
6.1 Densidade das descargas atmosféricas	36
6.2 Krigagem das Normais Climatológicas	39
6.3 Hipsometria.....	43
6.4 Uso e ocupação do solo	44
7. ANÁLISE DOS RESULTADOS	46
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERÊNCIAS	54

RESUMO

Esta pesquisa apresenta um estudo das técnicas de geoprocessamento como ferramenta de análise da ocorrência de descargas atmosféricas na Região Metropolitana de Minas Gerais em função das variáveis ambientais considerando os períodos chuvosos 2004-2005, 2005-2006 e 2006-2007. Através desse estudo foi possível conhecer quais são as áreas da RMBH mais atingidas pelo fenômeno, além de identificar quais feições geográficas estão mais presentes nesses locais. Foram utilizados dados de descargas atmosféricas do SLT- Sistema de Localização de Tempestade da CEMIG sendo que esses foram relacionados com dados de precipitação, umidade e temperatura máxima (Normais Climatológicas), topografia e uso e ocupação do solo da RMBH. Esses dados permitiram mostrar que não há apenas um fator predominante sobre as características dos relâmpagos, mas um conjunto de fatores geográficos que atuam simultaneamente, cada um com sua parcela de contribuição. De acordo com o local, os relâmpagos podem ser mais fortemente influenciados por fatores meteorológicos, pela topografia local, pela presença de centros urbanos, dentre outros.

1 INTRODUÇÃO

Desde os tempos antigos, descargas atmosféricas ou os relâmpagos, como também são chamados, têm sido vistos como um dos fenômenos mais intrigantes e poderosos da natureza. O medo que se tinha (e ainda se tem) de sua intensa luminosidade e principalmente do estrondo que os acompanha fez com que nossos ancestrais, por não conseguirem explicá-los, os associassem a manifestações divinas. Em 1752 Benjamin Franklin (1706-1790) iniciou os primeiros estudos sobre o fenômeno, no qual demonstrou a natureza elétrica das descargas atmosféricas.

O estudo de relâmpagos no Brasil teve início no final da década de 80, com medidas de campo elétrico a bordo de balões estratosféricos e no solo, utilizando contadores de descargas e principalmente um sistema de detecção de relâmpagos. O Brasil é um dos países de maior incidência de relâmpagos no mundo.

Segundo Pinto Jr. (1996), cerca de 100 milhões de descargas atmosféricas atingem anualmente os solos brasileiros, causando uma média de 200 mortes, além de grandes prejuízos materiais, como colapso na rede de energia elétrica, interferências na rádio transmissão, acidentes na aviação, embarcações marítimas, plataformas de petróleo, dentre outros. Apesar disso, este assunto ainda é pouco estudado e merece, portanto, ser analisado, levando esse conhecimento não só ao meio acadêmico, mas também à população.

As técnicas de geoprocessamento podem ser aplicadas em qualquer estudo de tratamento da informação geográfica. O fornecimento e tratamento de dados, a elaboração de mapas, tabelas e banco de dados através de um SIG gera novos tipos de informações, relatórios e análises de acordo com a necessidade do usuário.

O Geoprocessamento, portanto, tem um papel fundamental na realização dessa pesquisa, pois através de suas técnicas e ferramentas utilizadas será possível fazer associações / sínteses e correlações entre diferentes variáveis ambientais e o comportamento das descargas atmosféricas.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo é procurar identificar as feições geográficas que estão mais presentes nos locais de maior concentração das descargas atmosféricas. Foi definida como área de estudo a Região Metropolitana de Belo Horizonte durante os períodos chuvosos 2004-2005, 2005-2006 e 2006-2007 utilizando o método de assinatura em geoprocessamento.

A escolha da região de estudo se deve ao fato da RMBH apresentar uma ampla área coberta pelo sistema de detecção de raios, com boa eficiência e características geográficas diversificadas em relação às condições meteorológicas, à topografia, vegetação e à ocupação urbana.

2.1 Objetivos específicos

- Mapear a distribuição espacial das descargas atmosféricas na Região Metropolitana de Belo Horizonte – Períodos chuvosos 2004 -2005; 2005 -2006 e 2006 -2007;
- Identificar as regiões de maior concentração de descargas atmosféricas na região de estudo;
- Investigar a influência dos aspectos meteorológicos, da altitude e do uso e ocupação do solo sobre as descargas atmosféricas.

3 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

As descargas atmosféricas ou relâmpagos, como também são chamados consistem numa corrente elétrica muito intensa que ocorre na atmosfera com duração de meio segundo e trajetória com comprimento de 5-10 quilômetros. Tal fenômeno é consequência do rápido movimento de elétrons de um lugar para outro. Os elétrons movem-se tão rápido que eles fazem o ar ao seu redor iluminar-se, resultando em um clarão, e aquecer-se, resultando em um som (trovão).

Um relâmpago é tipicamente associado a nuvens *cumulonimbus* ou de tempestade, embora possa ocorrer em associação com vulcões ativos, tempestades de neve ou, mesmo, tempestades de poeira. Dentro das tempestades, diferentes partículas de gelo tornam-se carregadas através de colisões. Acredita-se que as partículas pequenas tendem a adquirir carga positiva, enquanto que as maiores adquirem predominantemente cargas negativas. Estas partículas tendem, então, a se separar sobre a influência de correntes de ar ascendentes e descendentes e da gravidade, de tal modo que a parte superior da nuvem adquira uma carga líquida positiva e a parte inferior uma carga líquida negativa. A separação de carga produz então um enorme campo elétrico tanto dentro da nuvem como entre a nuvem e o solo. Quando este campo, eventualmente, quebra a resistência elétrica do ar, um relâmpago tem início. (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Em termos gerais, existem dois tipos de relâmpagos: relâmpagos na nuvem e relâmpagos no solo. Relâmpagos na nuvem originam-se dentro das nuvens *cumulonimbus*, normalmente na região onde gotículas de água transformam-se em gelo, e propagam-se dentro da nuvem (relâmpagos intranuvem), fora da nuvem, rumo a outra nuvem (relâmpagos nuvem-nuvem) ou numa direção qualquer no ar (descargas para o ar). Já os relâmpagos no solo, por sua vez, podem originar-se na mesma ou em outras regiões dentro da nuvem *cumulonimbus* (relâmpagos nuvem-solo) ou no solo, abaixo ou perto da tempestade (relâmpagos solo-nuvem). Mais de 99 % dos relâmpagos no solo são relâmpagos nuvem-solo. Relâmpagos solo-nuvem são relativamente raros e, geralmente, ocorrem do topo de montanhas ou estruturas altas, ou ainda podem ser gerados por foguetes lançados em direção as tempestades. (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Cerca de 90 % dos relâmpagos nuvem-solo que ocorrem em nosso planeta são negativos. Esta percentagem, entretanto, pode mudar substancialmente em determinadas tempestades. Cerca

de 70 % do total de relâmpagos são relâmpagos na nuvem. Embora eles sejam a maioria dos relâmpagos, eles são menos conhecidos que os relâmpagos no solo, em parte porque eles são menos perigosos, em parte porque eles são escondidos pela nuvem. (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

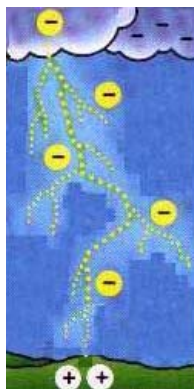


Figura 1 - Representação de uma descarga elétrica atmosférica nuvem-solo negativa.
Fonte: <http://www.lightning.dge.inpe.br>

3.1 Sistema de detecção de relâmpagos

O sistema de detecção de relâmpagos é formado por um conjunto de antenas receptoras com a finalidade de localizar e determinar as características das descargas de retorno em uma dada região.

O primeiro sistema a operar na América do Sul foi instalado pela CEMIG em 1988, possuindo quatro estações detectoras. O sistema foi ampliado em 1995 para seis estações, e atualmente conta com oito estações. Estas estações detectoras estão localizadas no estado de Minas Gerais, exceto uma em Cachoeira Paulista-SP, e a estação central está localizada em Belo Horizonte.

Ao longo desses anos, o SLT sofreu inúmeros aprimoramentos tecnológicos, aliados a um aumento significativo da cobertura da rede de sensores, sendo capaz então de fornecer dados muito mais precisos e confiáveis de uma área continental bem maior. Isso motivou a realização de novos estudos das características dos relâmpagos na região sudeste do Brasil visando complementar os primeiros resultados obtidos nos trabalhos anteriores.

A eficiência de detecção da rede como um todo é determinada por vários fatores, entre eles a eficiência de detecção individual dos sensores, o número médio de sensores que contribuem para as soluções, a distribuição geográfica dos sensores (relacionada com a geometria da rede)

e a distribuição dos picos de corrente (relacionada com as condições geográficas e meteorológicas locais), a qual apresenta uma significativa influência. Além disso, todos os sensores possuem circuitos receptores do sinal de *Global Positioning System* (GPS).

As estações detectam as descargas que ocorrem entre a nuvem e a terra e transmitem as informações (data, horário, longitude, latitude, etc.) via Embratel ou sistema de microondas da CEMIG para a estação central que repassa, em tempo real, para os diversos usuários. Esses dados podem ser visualizados através de terminais de vídeo, em mapas (layers) diversos, conforme o interesse dos analistas.

Os relâmpagos são mostrados nos vídeos por pontos coloridos, sendo que cada cor corresponde a um determinado intervalo de tempo de ocorrência (hora), permitindo assim a observação da evolução da tempestade.

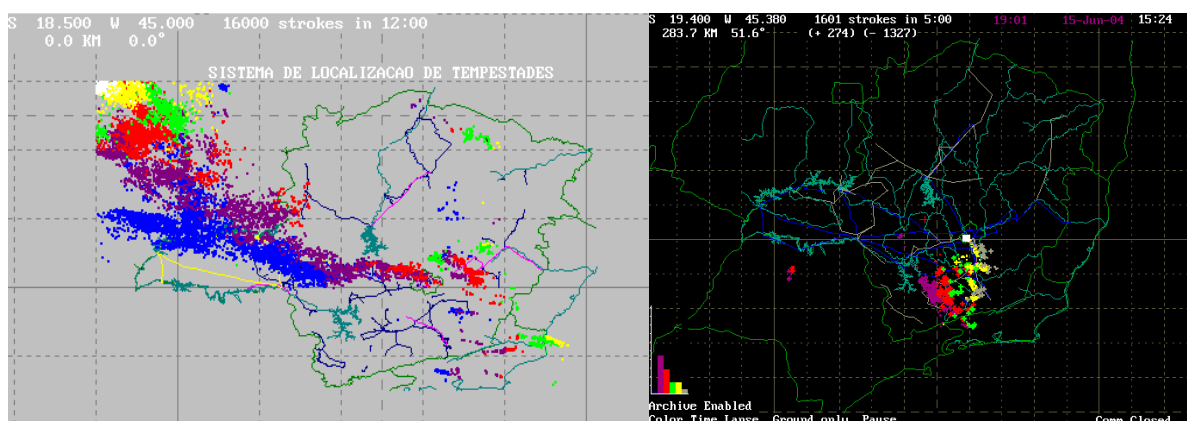


Figura 2 – SLT – Sistema de Localização de Tempestade

Fonte: Cemig

3.2 Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas

A Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas (RINDAT) é um sistema de detecção de relâmpagos de larga escala (ou sistema de localização de tempestades) implantado no Brasil (RINDAT, 2004), que consiste num complexo instrumento de medida utilizado para detectar relâmpagos que envolvem o solo (nuvem-solo ou solo-nuvem), e identificar com precisão os locais onde os raios tocam a superfície. Isto é feito por uma rede de sensores remotos que detectam a radiação eletromagnética emitida pelos relâmpagos, analisam os sinais recebidos, por intermédio de algoritmos específicos, e eliminam aqueles

cujas fontes não sejam descargas atmosféricas. Cada sensor que tenha detectado um evento válido envia os dados obtidos para uma Central de Processamento. Esta, por sua vez, analisa os dados informados a fim de assegurar que esses sejam de um mesmo evento e, em seguida, calcula a localização exata do ponto de impacto daquele raio. Além da localização, o sistema pode inferir várias outras grandezas do evento: pico de corrente da descarga de retorno, multiplicidade, polaridade da corrente da descarga, dentre outras (GAI, 1999).



Figura 3 – Localização dos sensores da RINDAT

Fonte: www.rindat.com.br

3.3 Climatologia dos relâmpagos

Para entender melhor o fenômeno das descargas atmosféricas é preciso analisar os principais elementos climáticos que favorecem sua ocorrência. Tais características serão abordadas tendo como base o conceito da Climatologia geográfica.

A Climatologia geográfica é uma área da geografia que tem por objetivo estudar os impactos dos elementos climáticos sobre a população. O estudo geográfico dos climas caracteriza a Climatologia geográfica, que passou por várias concepções teóricas até chegar aos dias atuais. Ao contrário das ciências meteorológicas, a climatologia geográfica além de dar atenção à gênese dos fenômenos meteorológicos, estuda também sua repercussão e correlação espacial. Desta forma, ela se ocupa da investigação do comportamento do tempo e do clima visando

uma integração com os demais fatos ocorridos em outras esferas e, sobretudo, com a sociedade. Por isso, a abordagem utilizada nessa pesquisa será aquela calcada no caráter geográfico do clima, mais precisamente das descargas atmosféricas.

Segundo Zavattini (2000), a preocupação geográfica com o clima está mais revestida de caráter qualitativo, interessando ao geógrafo analisar a distribuição espaço-temporal dos elementos climáticos, buscando assim desvendar a climatologia de uma determinada região.

Estudos de Climatologia geográfica aparecem como sendo mais sistêmicos do que aqueles relativos a Meteorologia, pois os estudos geográficos dos climas, ao contrário da Meteorologia, não se preocupa somente com a atmosfera, estes se voltam tanto para os aspectos físicos da área investigada quanto aos humanos e sociais. Tal fato é justificado pela característica peculiar da Geografia frente às demais ciências, ou seja, a incorporação da natureza e sociedade em suas análises.

A partir dessa análise, serão abordados os fenômenos meteorológicos/climáticos como precipitação, sistemas convectivos de meso-escala, as frentes frias e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que estão diretamente ligados à atividade dos relâmpagos.

As precipitações podem estar associadas a diferentes fenômenos atmosféricos sob diferentes escalas de desenvolvimento temporal e espacial e podem ser classificadas em:

Frontais: são causadas pelo encontro de uma massa fria com outra quente (e úmida), típicas das latitudes médias, como as de inverno no Brasil Meridional que caminham desde o Sul (Argentina) e se dissipam no caminho podendo, eventualmente, chegar até o estado da Bahia.

Orográficas: são também chamadas de chuvas de serra e ocorrem quando os ventos úmidos se elevam e se resfriam pelo encontro de uma barreira montanhosa, como é normal nas encostas voltadas para o mar.

Convectivas: são também chamadas de chuvas de verão na região Sudeste do Brasil e são provocadas pela intensa evapotranspiração de superfícies úmidas e aquecidas (como florestas, cidades e oceanos tropicais). O ar ascende em parcelas de ar que se resfriam de forma praticamente adiabática (sem trocar calor com o meio exterior) durante sua ascensão.

Fenômenos convectivos são bem comuns no verão brasileiro e têm favorecido uma grande ocorrência de descargas atmosféricas, como é o caso da Região Metropolitana de Belo Horizonte.



Figura 4 – Situações que podem dar origem a trovoadas

Fonte: www.google.com.br

3.3.1 *Sistemas convectivos de mesoescala*

Pode-se definir os Sistemas Convectivos de Mesoescala como sendo aglomerados de nuvens *cumulonimbus* (Cb) que produzem uma área de precipitação, de aproximadamente, 100km ou mais, numa escala horizontal, com tempo de vida de tipicamente 06 a 12 horas (Cotton e Anthes, 1989; Houze, 1993).

Geralmente, as chuvas intensas estão associadas com sistemas convectivos caracterizados por intensos fluxos verticais de calor e umidade. Seus movimentos são regidos por leis dinâmicas que podem ser hidrostáticas ou não. A convecção profunda, característica de sistemas convectivos intensos, tem como principais ingredientes o aquecimento da superfície, ambiente favorável ao movimento vertical do ar (taxa de variação vertical de temperatura - TVVT - do ambiente condicionalmente instável) e grande quantidade de umidade em baixos níveis. Além do levantamento necessário à convecção, tais processos podem influenciar a propagação do sistema e a estrutura de sistemas convectivos de mesoescala (SCM).

A nuvem *cumulonimbus*, também conhecida como nuvem de tempestade, é uma nuvem em forma de torre, que se expande lateralmente no topo, assumindo a configuração de uma “bigorna”. A base de um *Cumulonimbus* pode situar-se entre 300 e 3.000m de altura, dependendo da umidade relativa do ar próximo ao solo. Esta nuvem apresenta uma considerável extensão vertical, cujo topo usualmente atinge alturas entre 9.000 e 18.000 m. As nuvens com topos mais altos localizam-se nos trópicos ou, também, nas latitudes médias

durante o verão. Durante o processo de desenvolvimento, as velocidades verticais dentro da nuvem podem atingir valores de aproximadamente 100km/h. O grande desenvolvimento das *cumulonimbus*, e conseqüentemente das tempestades locais, encontra-se associado à presença de ar quente, úmido e instável. Estas nuvens apresentam características como: descargas elétricas atmosféricas, trovões, ventos fortes, súbitas variações de temperatura e ocasionalmente, podem transformar-se em tornados (Vianello e Alves, 1991).

Durante o verão o aquecimento da superfície em conjunto com a maior disponibilidade de vapor d'água, propicia que grandes nuvens do tipo *cumulonimbus* apareçam e com isto a maior ocorrência de relâmpagos.

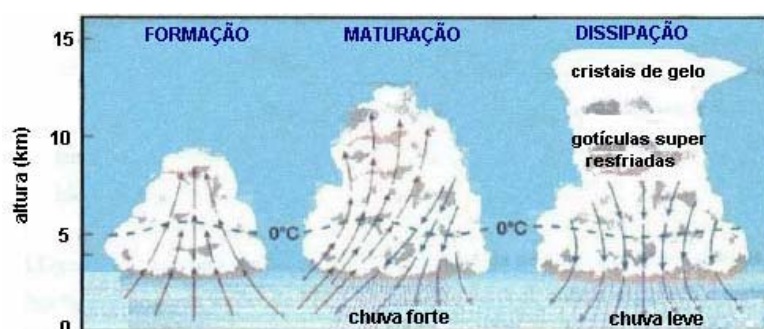


Figura 5 - Representação dos estágios do ciclo de vida de uma nuvem *Cumulonimbus*.
Fonte: Adaptada de Faria (2002).

3.3.2 Frentes frias e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

A RMBH, devido à sua localização geográfica, sofre a influência de fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais, como a Frente Polar Atlântica (FPA) e o anticiclone subtropical do Atlântico Sul, que atuam no inverno. Já no verão a predominância são os sistemas convectivos associados ao aquecimento continental, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), caracterizando assim duas estações bem definidas uma seca (inverno) e outra chuvosa (verão).

Segundo Parmezani et al (1998), a ZCAS é um importante fator de determinação da atividade convectiva sobre a região sudeste. A ZCAS pode ser definida como uma região de convergência de vento, de umidade em baixos níveis e divergência em altos níveis. A ZCAS consiste de uma faixa persistente de nebulosidade vinda no sentido noroeste/sudeste, que permanece estacionária na região pelo menos 4 dias, provocando grandes acumulações de

precipitação, sendo bastante caracterizadas nos meses de verão. Ela intensifica a atividade convectiva sobre a região provocando o surgimento de nuvens de tempestades que podem dar origem aos relâmpagos sobre esta região.

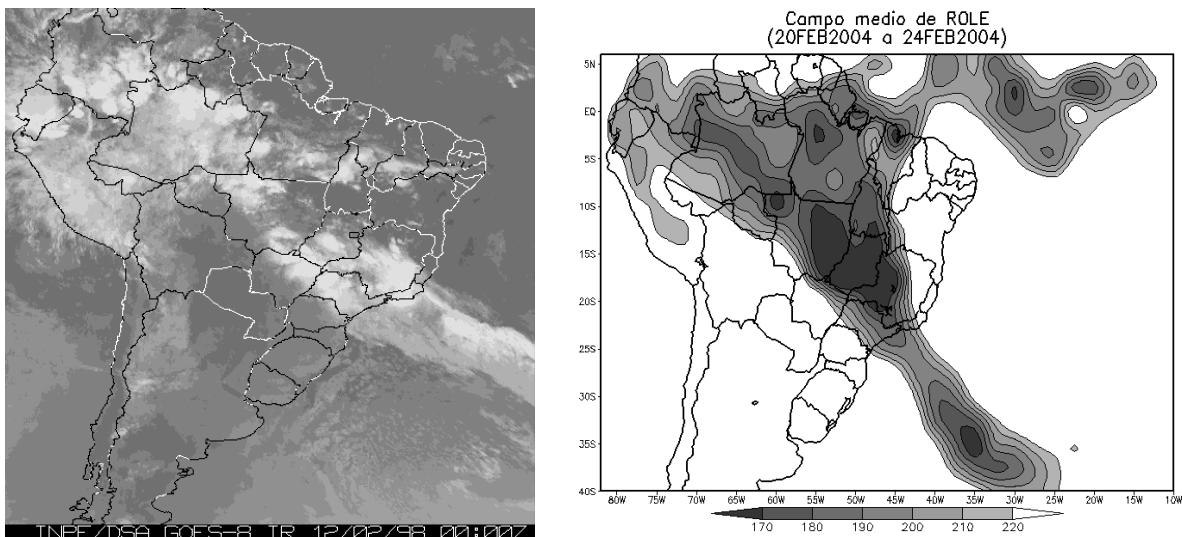


Figura 6 - Atuação e configuração das ZCAS
 Fonte:www.inpe.br

As mudanças nas condições meteorológicas observadas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil estão geralmente associadas à passagem, formação ou intensificação de frentes frias, sistemas meteorológicos típicos de latitudes médias e atuantes no litoral brasileiro em todas as épocas do ano (Kousky, 1979 e Satyamurty et al., 1998).

Uma frente fria é uma região em que uma corrente de ar frio e seco do sul vence a massa de ar quente e úmido, intrometendo-se por baixo dela e fazendo-a subir. Ventos violentos resultam, freqüentemente acompanhados de relâmpagos e trovões. Essas frentes, que se deslocam para o norte, são seguidas por tempo mais frio e seco que muitas vezes precede ondas de frio.

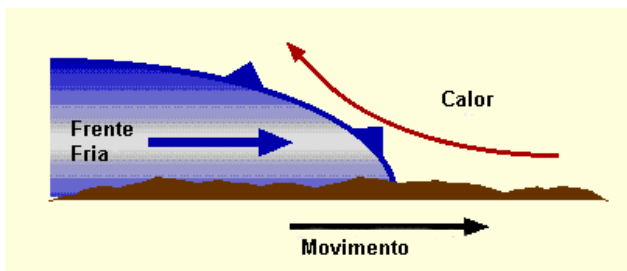


Figura 7 – Formação de uma frente fria.
 Fonte:www.inpe.br

Conforme Guedes e Machado (1997) o período de maior atividade de relâmpagos sobre todo o território brasileiro ocorre entre os meses de janeiro e março, em função de um forte aumento da atividade convectiva sobre o continente. Neste período a instabilidade atmosférica é intensificada devido à presença de bandas de nebulosidade convectivas que se originam tanto nos interiores continentais quanto em algumas regiões costeiras, principalmente na costa norte-nordeste brasileira. Além disto, os sistemas frontais que atingem as regiões sul e sudeste do país tem sua atividade convectiva intensificada em função da presença de maior quantidade de umidade e calor na atmosfera.

As instabilidades geradas por fenômenos de mesoescala são frequentes nesta área e época do ano, associadas a perturbações locais que intensificam a atividade convectiva e favorecem o aumento do número de ocorrência de relâmpagos.

3.4 Estudos relacionados

Pinto Jr. (1996), afirma em suas pesquisas que o Brasil, devido à sua proximidade do Equador geográfico e por sua grande extensão territorial, é um dos países com maior ocorrência de descargas atmosféricas no mundo. Aproximadamente 100 milhões de descargas atmosféricas atingem os solos brasileiros, causando uma média de 200 mortes por ano.

Ao estudar a climatologia das descargas atmosféricas, Reis (2005) verificou que a média anual de descargas em Minas Gerais é de um milhão e cinqüenta mil. No estado forma-se um cinturão com alta incidência de descargas, passando pela região da Zona da Mata, Campo das Vertentes e Região Metropolitana de Belo Horizonte. Reis (2005) também concluiu que a topografia pode influenciar na organização das nuvens *cumulonimbus* em algumas regiões do estado.

Coelho (2003) trabalhou a espacialização de descargas atmosféricas em Belo Horizonte – período 2000 a 2002 identificando as principais áreas de concentração do fenômeno no município.

Estudos de Orville e Silver (1997), citados por Gomes (2002), apresentaram as influências das características geográficas sobre os relâmpagos ocorridos nos Estados Unidos no período de

1989 a 1995. Os resultados das pesquisas desses dados começaram a revelar a influência das características geográficas na distribuição dos relâmpagos nuvem-solo, afetando principalmente a sua quantidade e a sua intensidade, tais como: latitude, a altitude, as condições meteorológicas e climáticas, a presença de centros urbanos, as queimadas e a poluição.

Orville e Huffines (2000), citados por Gomes (2002), afirmam em seus estudos que a urbanização interfere na concentração dos relâmpagos. Pesquisas realizadas durante um período de dez anos (1989-1998) nos Estados Unidos, mostraram significantes variações geográficas dos mesmos quanto à densidade. Verificaram altas densidades de relâmpagos atribuídas aos efeitos urbanos e industriais, manifestadas nas áreas de Houston e Dallas no Texas e nas proximidades da refinaria de Lake Charles em Louisiana.

4 GEOPROCESSAMENTO

Geoprocessamento é o conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação (ROSA, 1995).

Rocha preconiza que o geoprocessamento é uma tecnologia transdisciplinar. O geoprocessamento:

é uma tecnologia transdisciplinar, que, através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados. (ROCHA, 2002, p. 210)

Os sistemas computacionais que geram o geoprocessamento são denominados SIGs, Sistemas de Informações Georreferenciados ou Sistemas de Informações Geográficas também conhecidos como GIS, na literatura internacional.

Para Silva a utilização da informática é crucial nos SIGs.

Os SIGs necessitam usar o meio digital, portanto o uso intensivo da informática é imprescindível; deve existir uma base de dados integrada, os quais precisam estar georreferenciados e com controle de erro; devem conter funções de análises destes dados que variem da álgebra cumulativa (operações tipo soma, subtração, multiplicação, divisão, etc.) até a álgebra não cumulativa (operações lógicas). (SILVA, 1999, p. 45)

4.1 SIG

O SIG é uma tecnologia de integração por reunir, em uma única base de dados, informações representando vários aspectos do estudo de uma região; permite a entrada de mapas digitais, imagens de satélite, fotografias aéreas e bancos de dados; combina dados de diferentes fontes, gerando novos tipos de informações, mapas, relatórios e documentos gráficos de diversos tipos de acordo com os objetivos do usuário.

De acordo com Assad e Sano (1998) os SIGs podem ser aplicados em diversas situações.

[...] Devido à sua ampla gama de aplicações, onde estão incluídos temas como agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionária (água, energia e telefonia), há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG:

- Como ferramenta para produção de mapas;
- Como suporte para análise espacial de fenômenos; ou

- Como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamentos e recuperação da informação espacial. (ASSAD e SANO, 1998, p. 6)

Os bancos de dados geográficos armazenam dados relacionados com a localização das entidades e dos dados alfanuméricos.

Os SIGs têm como suporte: a Ciência da Computação, o Gerenciamento das Informações, a Cartografia, a Geodésia, o Sensoriamento Remoto, o Processamento Digital de Imagens e a Geografia” (SILVA, 1999, p.36).

A Ciência da computação fornece os meios para coletar, armazenar, manipular, transformar e exibir os dados; o Gerenciamento das Informações manipula os bancos de dados; a Cartografia tem em vista a elaboração de cartas / mapas e plantas; a Geodésia, ao estudar as dimensões e a forma da Terra, determina a exata localização dos pontos sobre a sua superfície; o Sensoriamento Remoto é a tecnologia que permite obter dados da superfície terrestre através da energia refletida ou emitida pela Terra; o Processamento Digital de Imagens (PDI) visa corrigir distorções nas imagens originais para melhorar a identificação de objetos existentes na superfície terrestre e a Geografia é a ciência que, além de estudar os aspectos físicos da Terra, estuda também as relações humanas, levando-se em conta sua produção econômica, migração e o meio ambiente. A forma de tratar as feições geográficas se faz pela representação em mapas.

A razão de ser de um SIG é de servir de instrumento para análise geográfica. São operações de análise: reclassificação, superposição, ponderação, medidas (área, distância e perímetro), tabulação cruzada, operadores de distância, análise de redes, análises estatísticas e consulta à base de dados.

Na estrutura geral de um SIG, podem ser identificados os seguintes componentes, como demonstram Assad e Sano:

- Interface com o usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Consulta, análise espacial e processamento de imagens;
- Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos). (ASSAD e SANO, 1998, p. 8)

A figura 1 mostra de forma esquemática a estrutura de um SIG.

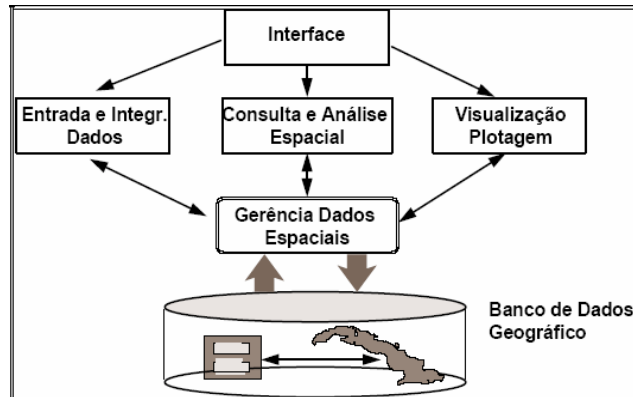


Figura 8 – Estrutura de um SIG

Fonte: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap1-intro.pdf>

4.2 Raster e Vetores

Os mapas podem ser representados em estrutura ou formato vetorial e em estrutura ou formato raster. Ao fazer uma análise da estrutura raster, Rocha esclarece que neste formato:

[...] tem-se uma matriz de células, às quais estão associados valores que permitem reconhecer os objetos sob a forma de imagem digital. Cada uma das células, denominada pixel, é endereçável por meio de suas coordenadas (linha, coluna). É possível associar o par de coordenadas da matriz (coluna, linha) a um par de coordenadas espaciais (x, y) ou (longitude, latitude). Cada um dos pixels está associado a valores. Estes valores serão sempre números inteiros e limitados, geralmente entre 0 e 255. Os valores são utilizados para definir uma cor para apresentação na tela ou para impressão [...]. (ROCHA, 2002, p. 55)

Na estrutura vetorial, os dados geográficos são representados por pontos, linhas ou áreas através de pares de coordenadas (x, y) ou (longitude, latitude). Os pontos são representados por apenas um par. Linhas e áreas são representadas por seqüências de pares de coordenadas.

Enquanto as estruturas raster são convenientemente utilizadas quando várias operações matemáticas em vários planos são requeridas, as estruturas vetoriais são ótimas para o gerenciamento dos bancos de dados.

4.3 Sensoriamento Remoto

Para Eastman (1998, p. 19), “o termo sensoriamento remoto vem sendo associado mais especificamente com a indicação de interações entre os materiais da superfície terrestre e a energia eletromagnética”.

De acordo com Novo (1998) sensoriamento remoto é a utilização de sensores, de equipamentos de processamento e transmissão de dados, entre outros, para estudar o ambiente terrestre, através do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e a matéria contida na Terra. Em uma segunda definição, Novo (1998, p. 205) admite que “sensoriamento remoto é a ciência que transforma os dados de radiância de uma cena em informações sobre os objetos que a compõem”.

No Brasil, os sistemas orbitais mais utilizados são os satélites Landsat, SPOT e CBERS. Para a pesquisa em questão, foram usadas imagens do satélite CBERS-2, com resolução espacial de 20m, do ano de 2007. Optou-se pelo CBERS por ser um satélite de recurso terrestre muito conhecido, acessível e bastante utilizado em nosso país.

Os sensores do satélite CBERS são óticos e dependem da luz do sol, obtendo, portanto, imagens somente durante o dia.

De acordo com Epiphanyo (2005), o primeiro satélite CBERS foi lançado em outubro de 1999 e operou até julho de 2003. O segundo CBERS foi lançado em 21 de outubro de 2003. Em 2006 foi lançado o CBERS-2B e o CBERS-3 só será lançado em 2008.

As imagens do CBERS 2 são obtidas às 10h30 da manhã. Há quatro estações terrenas de recepção do CBERS: Beijing, Wulumuqui e Nanning na China e Cuiabá no Brasil.

Ao fazer uma análise do CBERS, Dias *et al* (2003) esclarecem que o CBERS possui múltiplos sensores com resoluções espaciais e frequência de observação variadas, como o imageador de visada larga (WFI), a câmera CCD de alta resolução espacial e o varredor multiespectral infravermelho (IR-MSS).

A resolução espacial do sensor WFI, do sensor CCD e do IR-MSS são, respectivamente, 260m, 20m e 180m. Com cinco bandas espectrais, o sensor CCD opera nas faixas do azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e pancromático, conforme está demonstrado na tabela 1.

<i>Banda</i>	<i>Resolução Espectral (μm)</i>	<i>Localização da Faixa</i>
1	0,45 – 0,52	Azul
2	0,52 – 0,59	Verde
3	0,63 – 0,69	Vermelho
4	0,77 – 0,89	Infravermelho próximo
5	0,51 – 0,73	Pancromático

Tabela 1: Canais do sensor CCD/CBERS

Fonte: Adaptada de Epiphany (2005).

Para melhor interpretar uma imagem, faz-se uma associação de imagens de três bandas.

Levando-se em conta as imagens do satélite CBERS, oriundas do sensor CCD, dentro do espectro eletromagnético, definimos como os melhores comprimentos de onda para o sensoriamento remoto da pesquisa em questão o verde, vermelho e o infravermelho próximo correspondentes às bandas 2, 3 e 4, respectivamente.

4.4 Análise de distribuição espacial

Para melhor representar a distribuição espacial das descargas atmosféricas utilizou-se os métodos de Krigagem e Kernel.

4.4.1 Krigagem

A Krigagem foi desenvolvida por Daniel G. Krig que, segundo Coelho (2003) trata-se de um processo de estimação por médias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, enquanto considerado como interdependente por uma função denominada de semi-variograma.

A Krigagem é considerada uma boa metodologia de interpolação de dados. Ela utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações. Utilizando o princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas, a krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos

menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados.

4.4.5 Kernel

De acordo com Bailey e Gatrell (1995), o estimador de Kernel foi originalmente desenvolvido para obter a estimativa de densidade de probabilidade univariada ou multivariada de uma amostra observada. Estimar a intensidade de um padrão de pontos é como estimar uma densidade de probabilidade bivariada. Pode-se adaptar a estimativa bivariada de Kernel para se obter uma estimativa de intensidade do padrão de pontos.

Quando se estima o kernel sobre uma grade de localizações pode-se pensar em uma função tridimensional que visita cada ponto dessa grade. Calculam-se as distâncias de cada ponto aos eventos observados dentro da região de influência limitada pela distância. Essas distâncias contribuem para o cálculo da intensidade estimada no ponto. Seu objetivo é obter uma estimativa suavizada da densidade de eventos por unidade de área, uma propriedade de grande relevância para a análise do comportamento dos mais variados fenômenos espaciais.

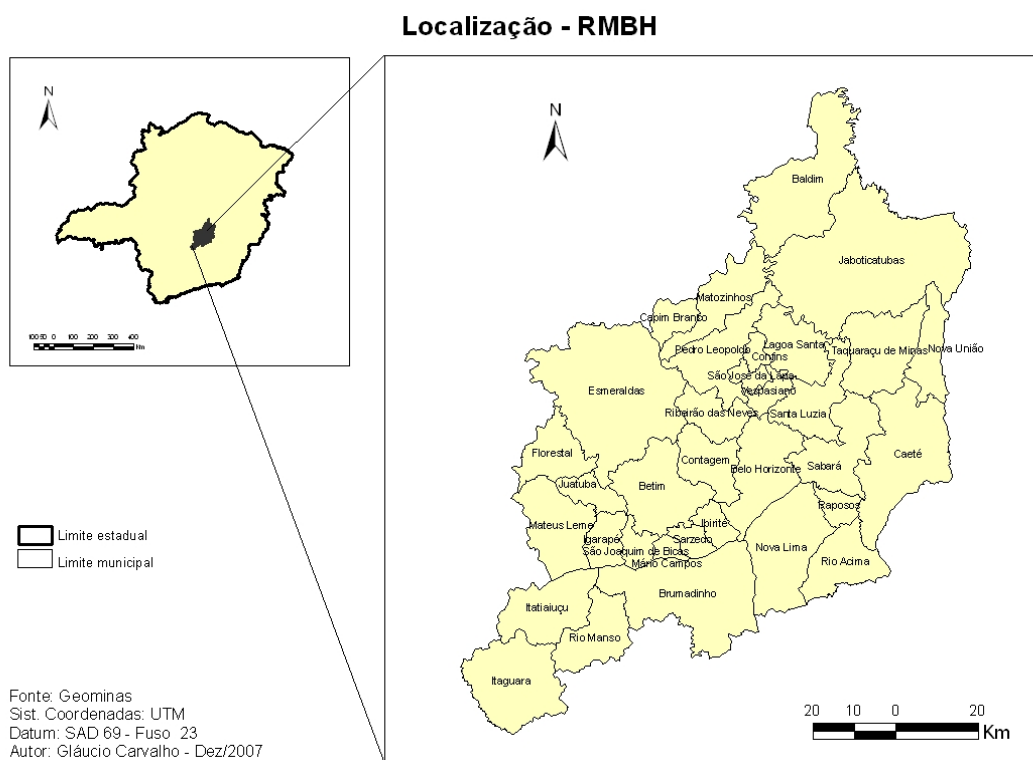
5 ESTUDO DE CASO

5.1 Área de estudo

A área selecionada para este estudo corresponde a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) que se estende por uma área de 9.459 Km², onde residem cerca de 5,1 milhões de habitantes, distribuídos ao longo dos 34 municípios que a compõem. (IBGE 2007)

A mancha urbana da RMBH se concentra nos municípios mais próximos da metrópole Belo Horizonte como é o caso de Contagem, Betim e Santa Luzia, onde ocorreu um processo intenso e diversificado de mudança e intervenção antrópica no meio natural, em função do desenvolvimento e expansão urbano-industrial intensificados com o crescimento da Metrópole.

Contudo, o padrão de urbanização da RMBH ainda é bem diversificado e a região possui uma das maiores áreas verdes comparadas as demais regiões metropolitanas do País.



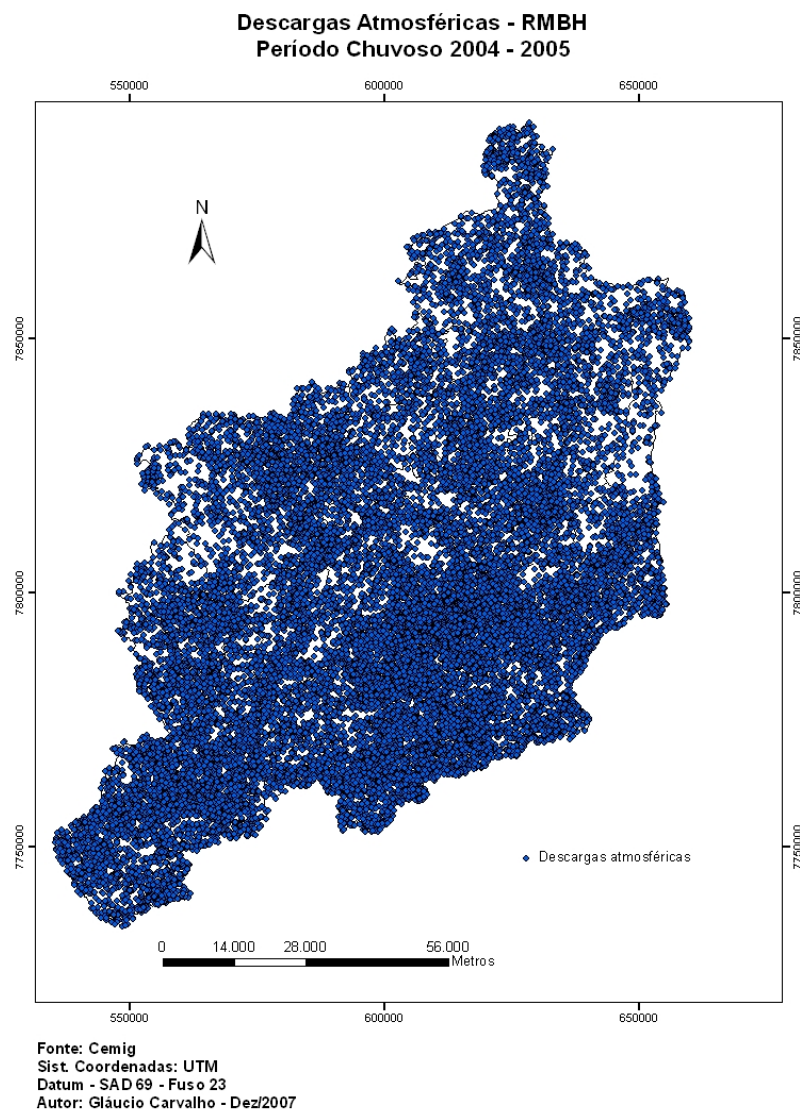
Mapa 1 - Localização da área de estudo

5.2 Coleta de dados

5.2.1 Descargas atmosféricas

As informações sobre descargas atmosféricas foram provenientes do banco de dados do Sistema de Localização de Tempestade (SLT) – Cemig. São dados pontuais com atributos diversos (longitude, latitude, ano, mês, dia, hora, minuto, segundo, milésimo e intensidade em kAmp) em formato ASCII. Os períodos escolhidos foram os três últimos períodos chuvosos da RMBH 2004 -2005, 2005-2006 e 2006 - 2007.

As descargas foram mapeadas pontualmente sobre a área de estudo possibilitando um primeiro contato visual com a espacialização das mesmas conforme mapa 2:



Mapa 2 – Espacialização dos pontos de descargas atmosféricas na RMBH

5.2.2 Normais Climatológicas

As “Normais Climatológicas” são obtidas através do cálculo das médias de parâmetros meteorológicos, obedecendo a critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Essas médias referem-se a períodos padronizados de 30 (trinta) anos, sucessivamente, de 1901 a 1930, 1931 a 1960 e 1961 a 1990.

Como no Brasil somente a partir de 1910 a atividade de observação meteorológica passou a ser feita de forma sistemática o primeiro período padrão possível de ser calculado foi o de 1931 a 1960, porém através de um esforço o INMET conseguiu compilar um período de 30 (trinta) anos, onde foram calculadas as médias para o período de 1912 a 1942, para algumas estações meteorológicas que possuíam dados deste período.

Nesta pesquisa foram escolhidas três variáveis das normais climatológicas da RMBH: precipitação, umidade e temperatura média máxima. Tal escolha deve-se ao fato de as mesmas apresentarem relacionamentos mais diretos com a ocorrência de relâmpagos.

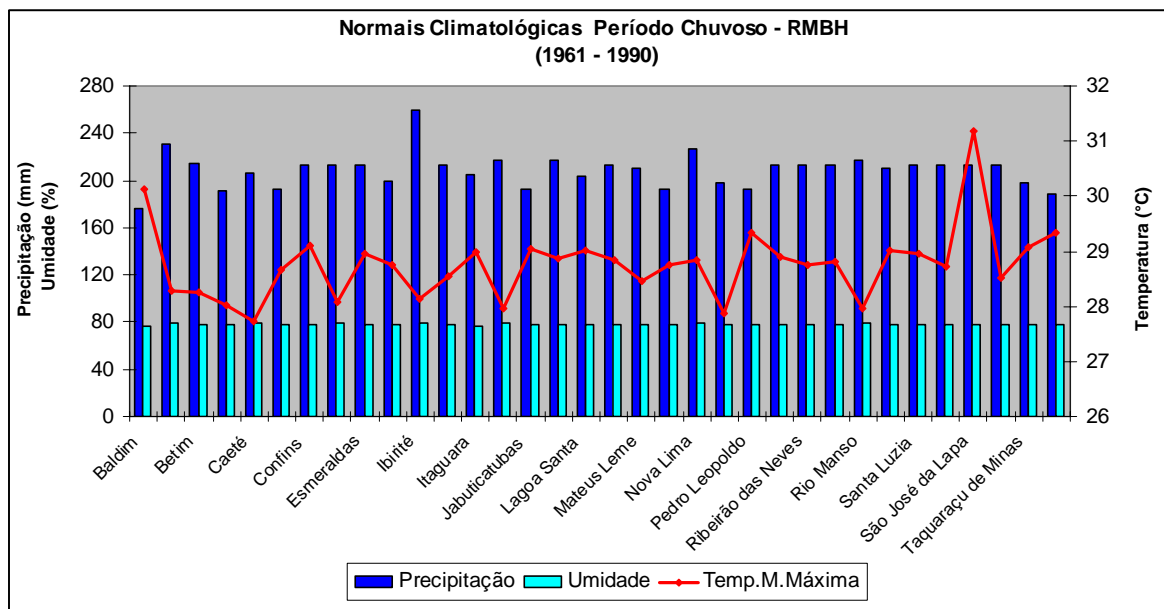


Gráfico 1 – Normais climatológicas – RMBH

Fonte: Cemig /MGtempo

5.2.3 Modelo Digital de Terreno (MDT)

Segundo Rocha (2002), o processo de geração de um modelo digital de terreno consta em três etapas: Aquisição de dados; edição de dados e geração do Modelo Digital de Terreno.

Para esta pesquisa a aquisição de dados foi realizada através das curvas de nível em escala 1:50.000 e 1:100.000 do Geominas contendo os 34 municípios da RMBH em formato digital. Na edição de dados foi feita a preparação e o tratamento destes para geração de um modelo preciso e confiável.

Para a construção do Modelo Digital de Terreno (MDT) utilizou-se o software ArcView 9.2 usando o aplicativo *3D Analyst – Modelagem 3D – TIN* que a partir de triangulações automáticas interpola as informações altimétricas fornecidas .

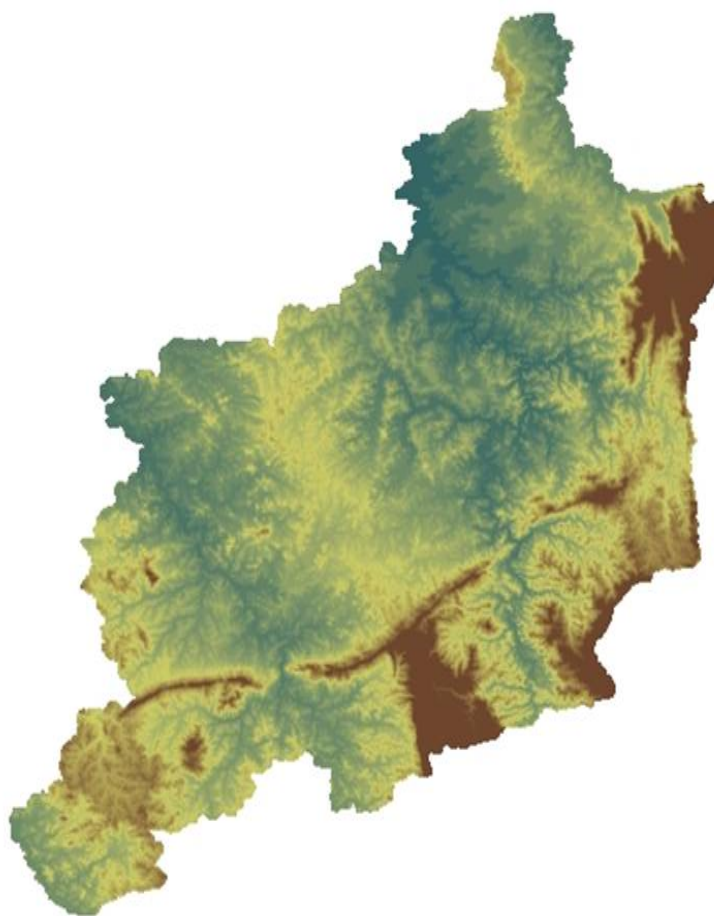


Figura 9 – Modelo digital de Terreno (MDT) – RMBH
Fonte: Geominas

5.2.4 Imagem de satélite

Neste trabalho, utilizou-se 5 cenas das imagens do sensor CCD (20m de resolução) do CBERS para abrangência total da Região Metropolitana de Minas Gerais.

A aquisição de imagens pode ser feita pela Internet, em que o usuário faz o *download* gratuito das imagens a partir do endereço do próprio catálogo.

Efetuuou-se a correção geométrica das 5 cenas, em 3 bandas (2,3 e 4, correspondentes ao verde, vermelho e infravermelho próximo, respectivamente) do CBERS 2, sensor CCD, utilizando o SPRING 4.1.1. As cenas trabalhadas foram a 152/121, 152/122, 152/123, 153/122 e 153/123, todas obtidas gratuitamente através de *download* na Internet.

No processo de georreferenciamento utilizou-se pontos de controle da drenagem da RMBH obtidos em cartas topográficas na escala 1:50.000 e 1:1000000 Todos convertidos para o Datum SAD-69.

As 5 cenas foram corrigidas separadamente e só depois foram justapostas em um mosaico único num projeto SPRING. Como as cenas apresentavam diferenciação radiométrica relevante, necessitou-se minimizar as diferenças encontradas, para que o mosaico final apresentasse uma maior uniformidade. Esta equalização foi feita manualmente, cena a cena. Recortou-se então o mosaico pelo limite da RMBH, área de interesse para aplicação nesta pesquisa. Este resultado foi exportado em formato GeoTIF, composição colorida 4G2B3R.

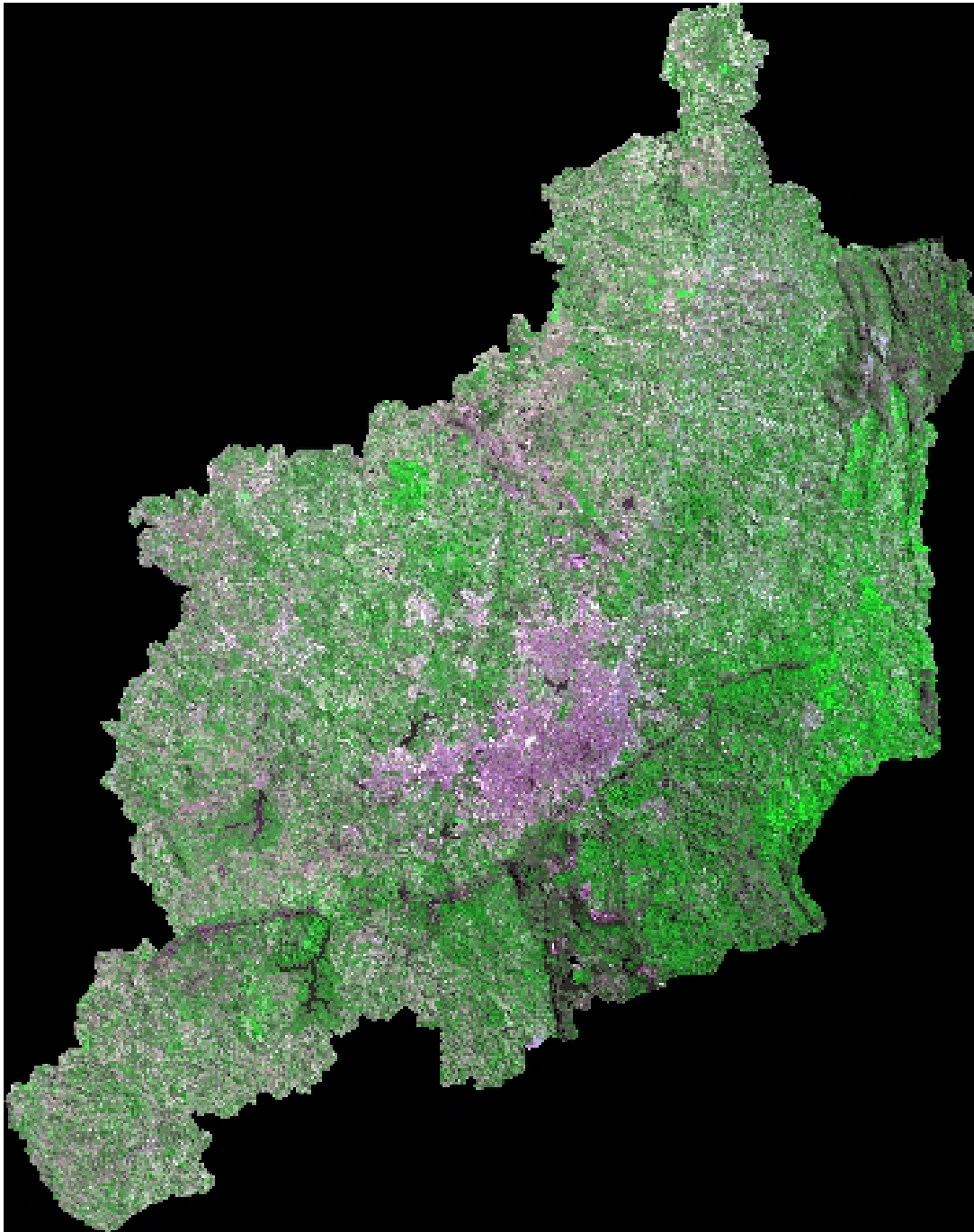


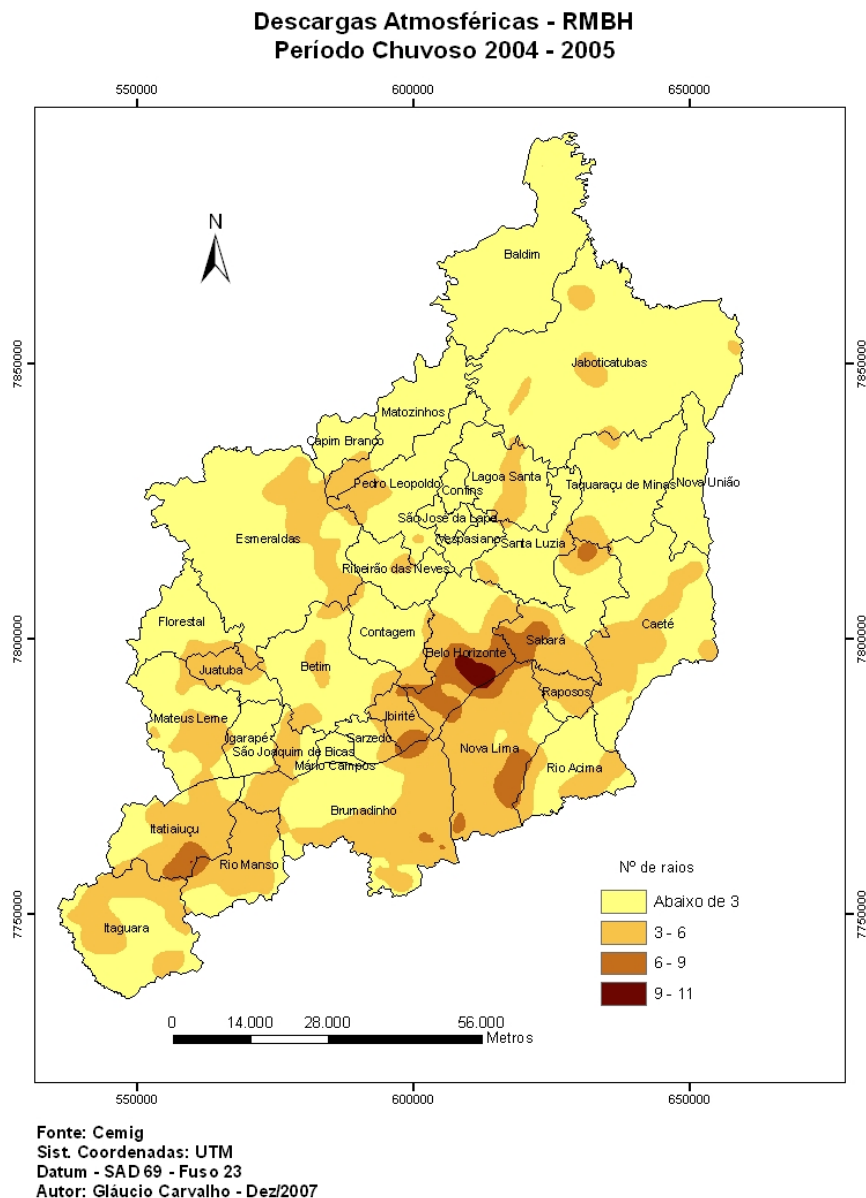
Figura 10 – Mosaico – RMBH
Fonte: CBERS

6 TRATAMENTO DOS DADOS

6.1 Densidade das descargas atmosféricas

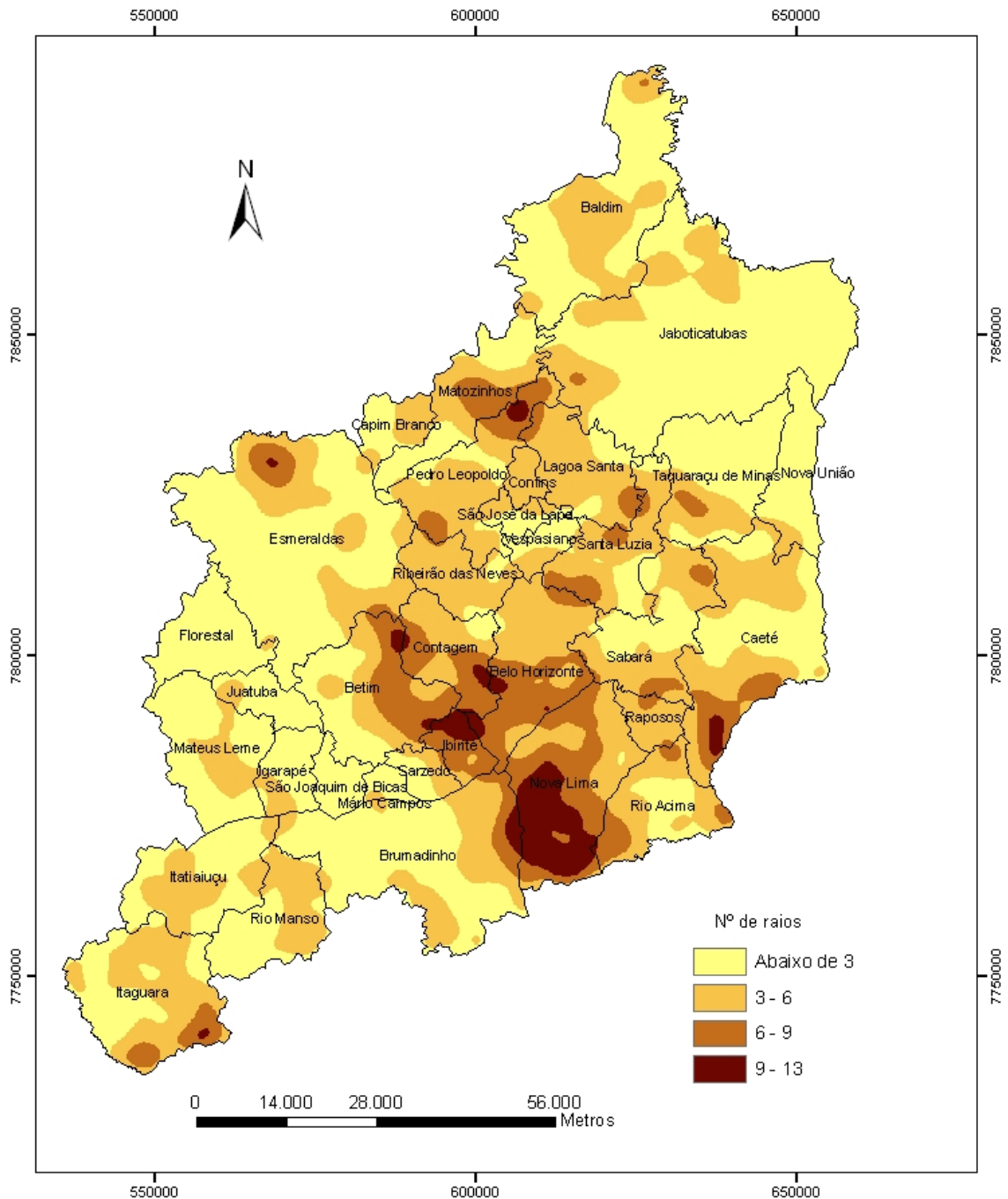
Para elaboração dos mapas de densidade das descargas atmosféricas foi preciso transformar o grande número de dados pontuais em isolinhas capazes de representar espacialmente a distribuição do fenômeno. A densidade é a medida correta para tratamento de descargas atmosféricas, pois retrata melhor a distribuição do fenômeno no espaço geográfico.

Desta forma, utilizou - se a extensão *Spatial Analyst* do programa ArcView 9.2 , índice de Kernel.



Mapa 3 – Densidade descargas atmosféricas RMBH – Período Chuvoso 2004 – 2005

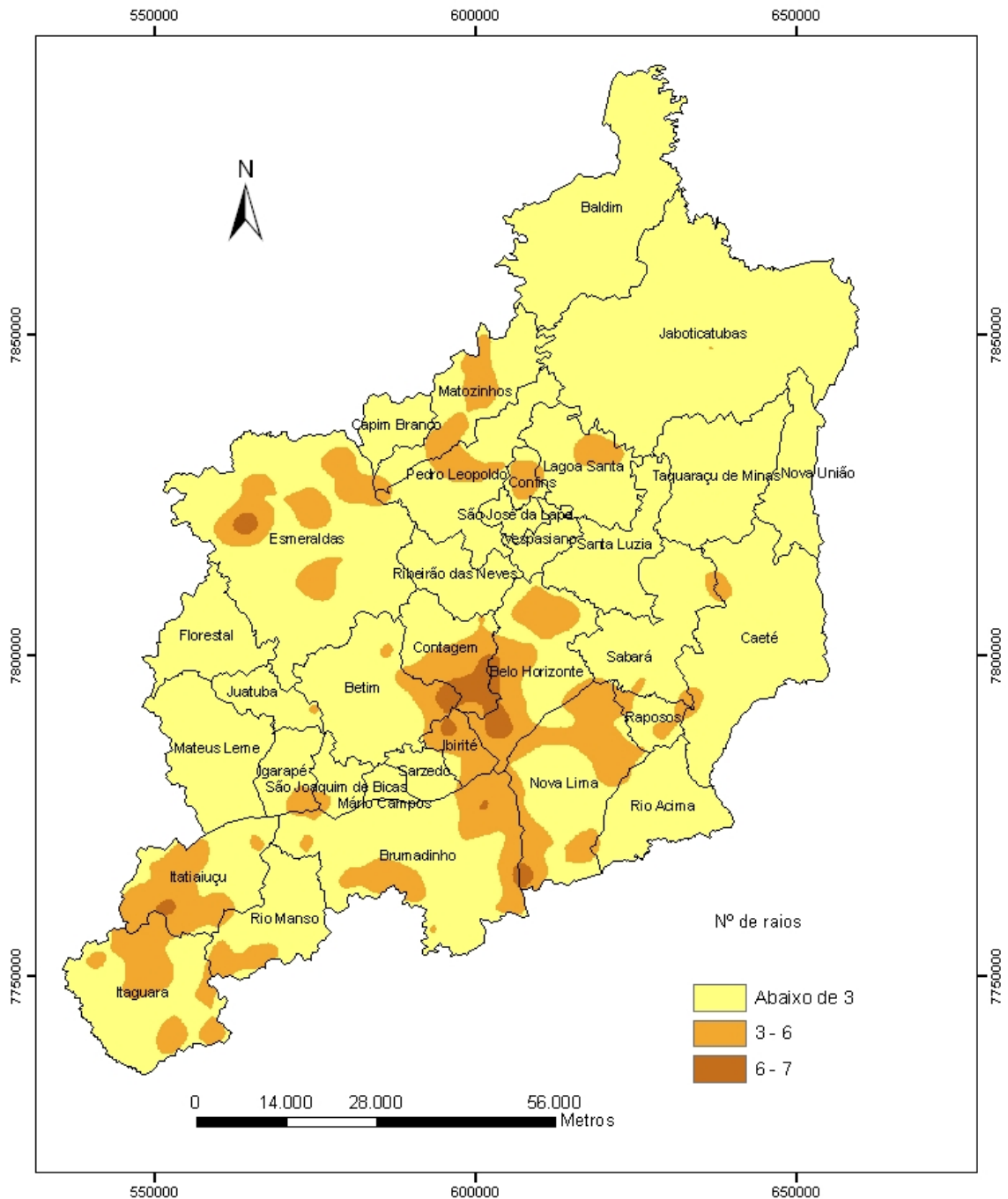
Descargas Atmosféricas - RMBH Período Chuvoso 2005 - 2006



Fonte: Cemig
Sist. Coordenadas: UTM
Datum - SAD 69 - Fus 23
Autor: Gláucio Carvalho - Dez/2007

Mapa 4 – Densidade descargas atmosféricas RMBH – Período Chuvoso 2005 – 2006

Descargas Atmosféricas - RMBH Período Chuvoso 2006 - 2007



Fonte: Cemig
Sist. Coordenadas: UTM
Datum: SAD 69 - Fus 23
Autor: Gláucio Carvalho - Dez/2007

Mapa 5 – Densidade descargas atmosféricas RMBH – Período Chuvoso 2006 – 2007

Os mapas de densidade de descargas atmosféricas 3,4 e 5 mostraram que a distribuição do fenômeno sofre variação de acordo com o período chuvoso, o que demonstra que o número e a localização dos relâmpagos está diretamente ligada à intensidade e a distribuição das chuvas, ou seja, os períodos de maior índice pluviométrico são aqueles propícios a um maior número de descargas. Pode-se observar também em todos os períodos de análise a presença de núcleos espalhados pela região de estudo, o que caracteriza o fenômeno dos relâmpagos associados às chuvas convectivas que são chuvas de formação local, geralmente de fim de tarde e caracterizadas por tempestades severas.

Observa-se que há uma grande concentração das descargas atmosféricas localizadas em Belo Horizonte, e seus municípios limítrofes. Tal região foi a de maior concentração nos três períodos chuvosos, média de 7 a 13 relâmpagos no total dos 3 períodos chuvosos analisados o que demonstra possível influência da urbanização sobre o fenômeno. Já os valores mínimos com média abaixo de 3 relâmpagos abrangem uma vasta área da região de estudo.

Vale ressaltar o resultado do período chuvoso 2005-2006 que apresentou maior densidade de descargas atmosféricas, em média 13 descargas, além dessa maior concentração houve também uma nova configuração espacial. Nesse período, a região de Belo Horizonte não deixou de ser uma região muito atingida, porém as regiões com maiores índices foram ao norte de Ibirité e Pedro Leopoldo, sul de Caeté e principalmente sudoeste de Nova Lima.

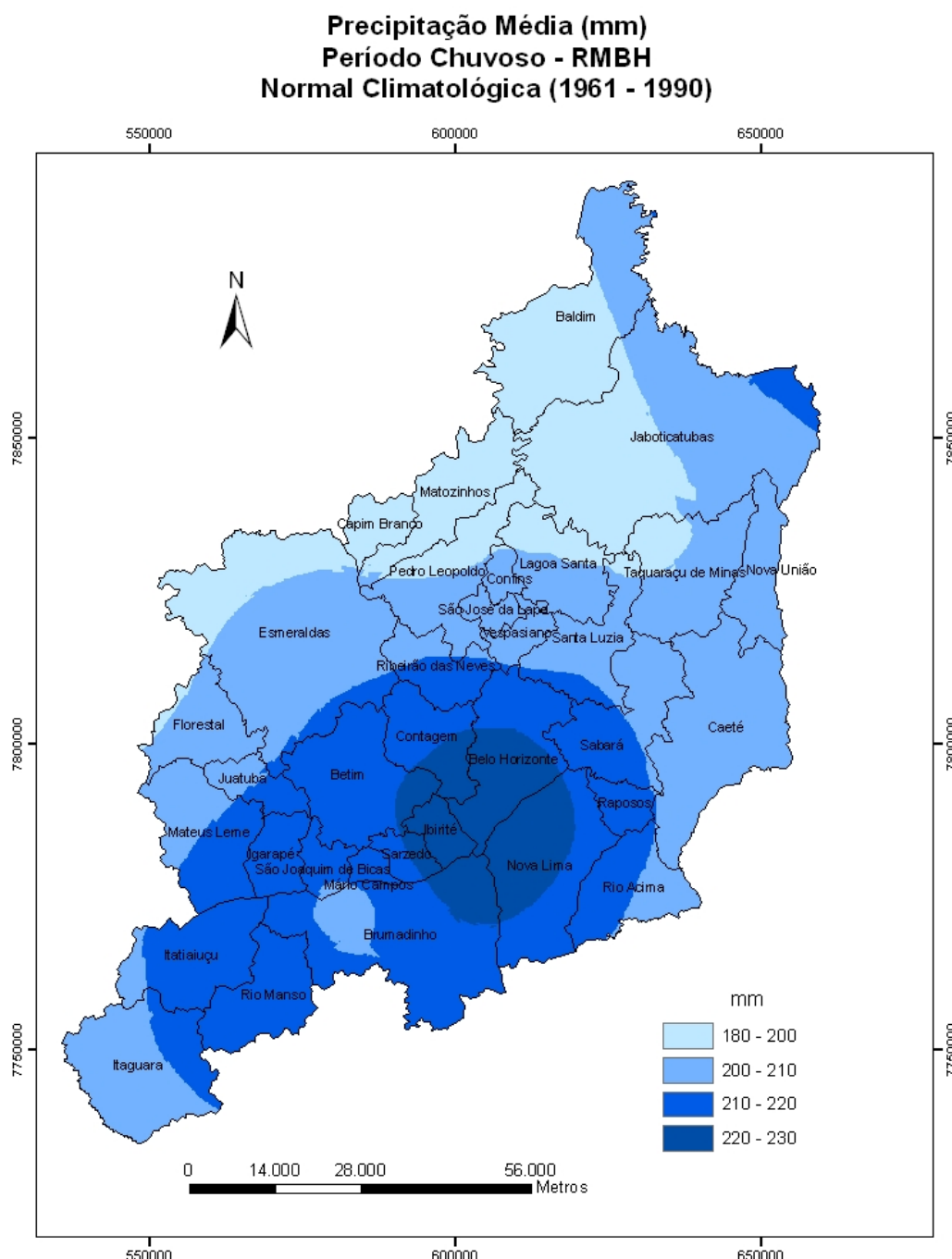
6.2 Krigagem das Normais Climatológicas

Para espacialização das Normais Climatológicas foi necessário transformar os dados antes pontuais em isolinhas capazes de representar a distribuição das variáveis utilizadas: precipitação, umidade e temperatura máxima. A krigagem é um método de interpolação muito utilizado em análises ambientais e principalmente climatológicas gerando resultados satisfatórios.

Desta forma utilizou-se a ferramenta *Geostatistical Analyst - Geostatistical Wizard* do programa ArcView 9.2.

Conforme análise do mapa 6 a distribuição da precipitação climatológica da RMBH período chuvoso varia em média de 200 a 230 mm. Os maiores índices pluviométricos estão

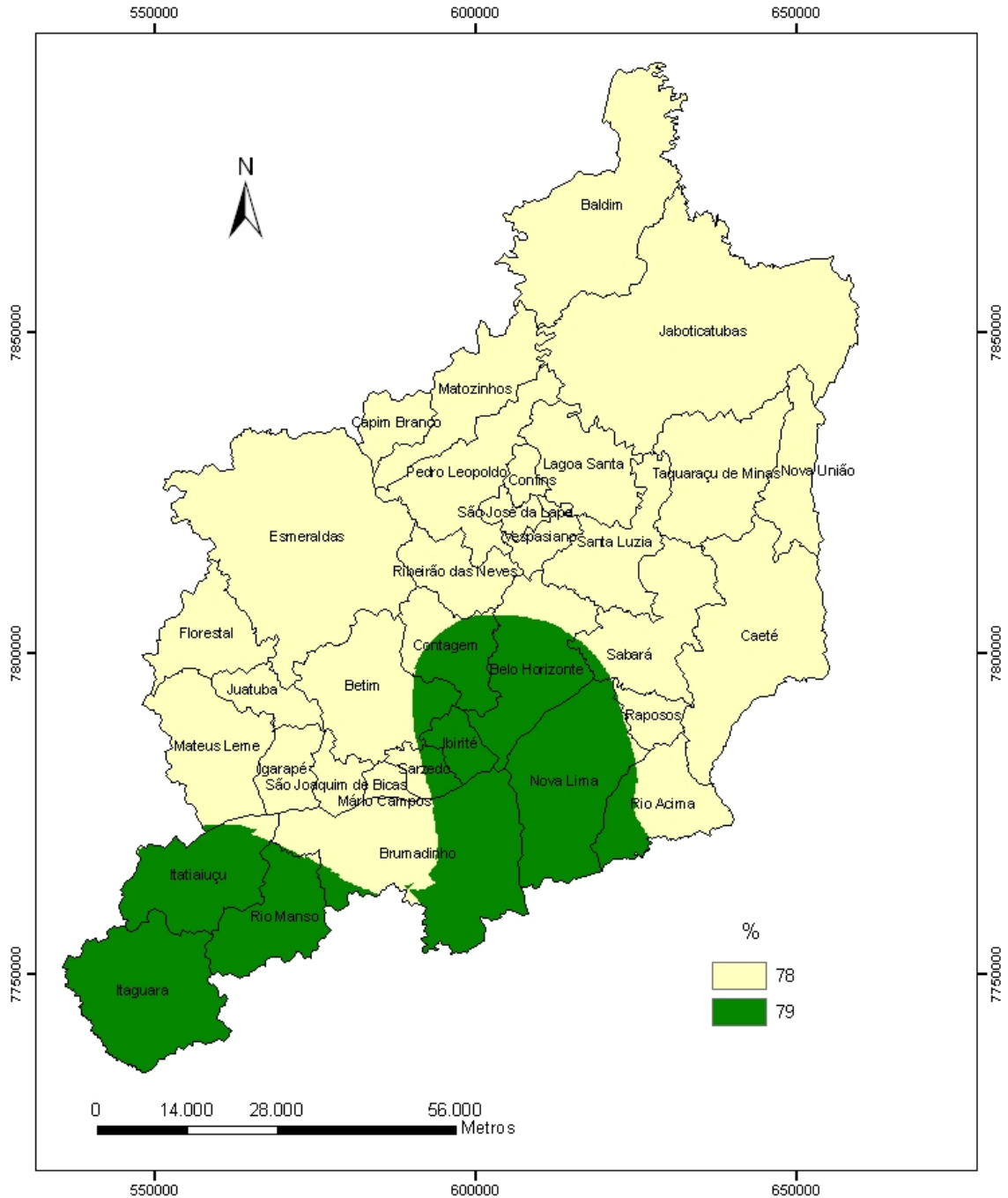
localizados na área central da região que compreende as porções mais urbanizadas, com média de 230 mm. A medida que vai se afastando dos grandes centros urbanos o índice pluviométrico vai diminuindo em média cerca de 10 mm, conforme porção noroeste da RMBH, que possui precipitação média período chuvoso na faixa de 180 a 200 mm.



Fonte: Cemig
Sist. Coordenadas: UTM
Datum - SAD 69 - Fuso 23
Autor: Gláucio Carvalho - Dez/2007

Mapa 6 – Normal Climatológica RMBH – Precipitação

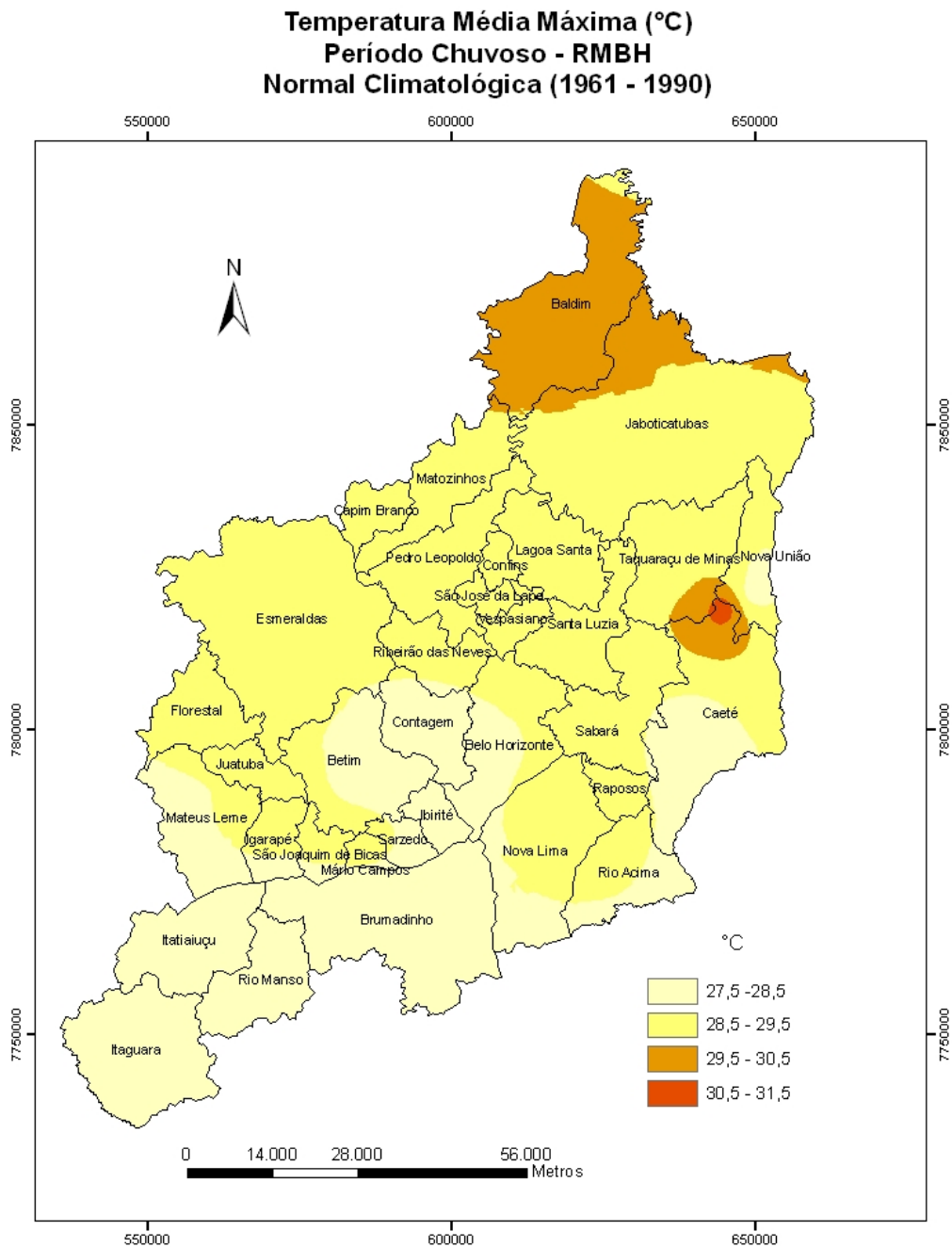
**Umidade Média (%)
Período Chuvoso - RMBH
Normal Climatológica (1961-1990)**



Fonte: Cemig
Sist. Coordenadas: UTM
Datum - SAD 69 - Fuso 23
Autor: Gláucio Carvalho - Dez/2007

Mapa 7 – Normal Climatológica RMBH – Umidade

Constata-se a partir do mapa 7 que a umidade média climatológica do período chuvoso na RMBH é em torno de 77,5 a 79 % apresentando uma diferença percentual muito pequena cerca de 1,5 %. Desta forma tal variável não apresenta indícios quantitativos sobre o fenômeno, mas reforça as condições climáticas favoráveis à formação de nuvens convectivas o que permite a atividade de relâmpagos.



Fonte: Cemig
Sist. Coordenadas: UTM
Datum - SAD 69 - Fuso 23
Autor: Gláucio Carvalho - Dez/2007

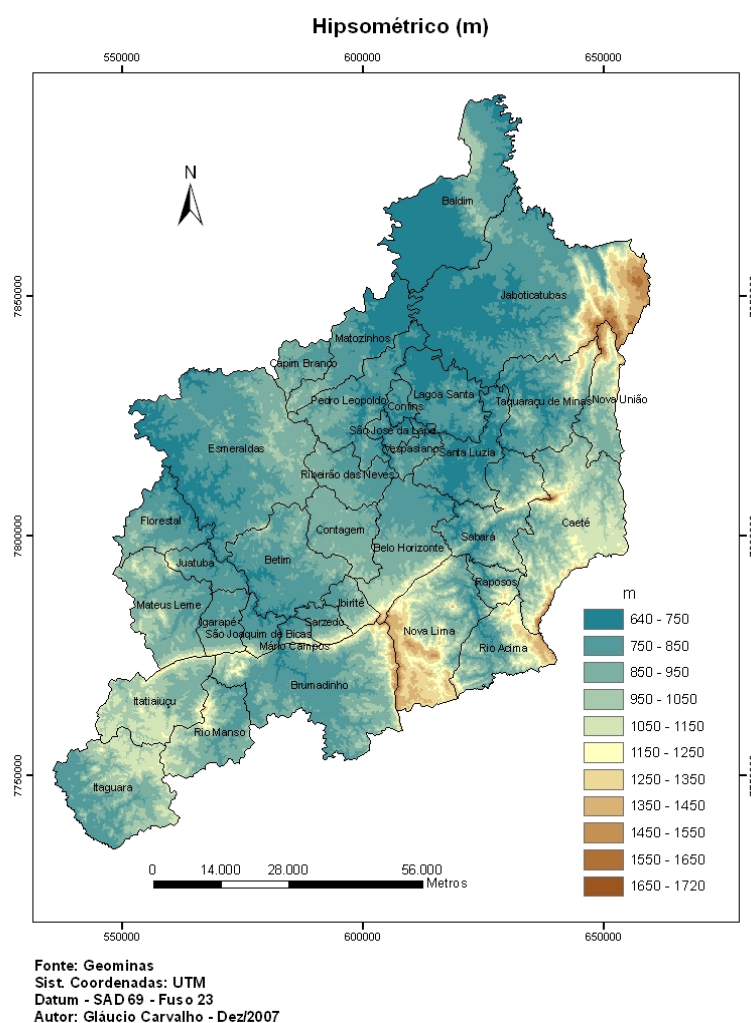
Mapa 8 – Normal Climatológica RMBH – Temperatura Máxima

De acordo com o mapa 8, quase toda área da RMBH possui a temperatura média máxima climatológica período chuvoso variando entre 27,5 a 29,5 °C, com exceção de uma área situada ao extremo norte da RMBH e nordeste de BH, na qual as temperaturas atingiram 30,5 a 31,5 °C.

6.3 Hipsometria

A hipsometria preocupa-se em estudar as interrelações existentes em determinada unidade horizontal de espaço no tocante à sua distribuição em relação às cotas altitudinais, indicando a proporção ocupada por determinada área da superfície terrestre em relação às variações altimétricas a partir de determinada isoipsa base.

A partir do TIN gerado anteriormente, foi criado também no ArcView 9.2 o mapa hipsométrico com suas respectivas classes.



Mapa 9 – Hipsométrico - RMBH

A RMBH possui grande parte da sua altitude variando entre 750 a 1050 m. A altitude máxima chega a 1720 m e é delimitada principalmente por parte da serra do Espinhaço, serra da Piedade, serra da Moeda e serra do Curral.

6.4 Uso e ocupação do solo

Com a imagem de satélite corrigida, realçada e georreferenciada passou-se ao processo de classificação da imagem para geração do mapa de uso e ocupação do solo da RMBH.

O processo de classificação escolhido foi baseado em pixel com amostras definidas visualmente a partir de classes já previamente definidas.

As classes utilizadas foram: água, campo, cerrado, mata, afloramento, solo exposto e área urbana. Essas categorias foram escolhidas segundo o objetivo da pesquisa.

A classificação foi realizada utilizando o classificador MaxVer-ICM, o algoritmo de máxima verossimilhança seguido do chamado ICM (*Iterative Conditional Mode*), procedimento contextual que classifica cada pixel da imagem já classificada utilizando tanto o valor do pixel quanto de sua vizinhança (Besag 1986), com limiar de aceitação de 99%. Foram selecionadas amostras de treinamento na imagem ao longo de todo trecho, tendo – se obtido desempenho médio de 98%.

Após a classificação foram realizados manualmente processos de refinamento principalmente quanto a classe mancha urbana.

7 ANALISE DOS DADOS

A proposta de análise dessa pesquisa foi identificar quais feições geográficas são mais presentes nas áreas de maior concentração de descargas atmosféricas na RMBH. Para se chegar ao processo de assinatura foi necessário as seguintes etapas:

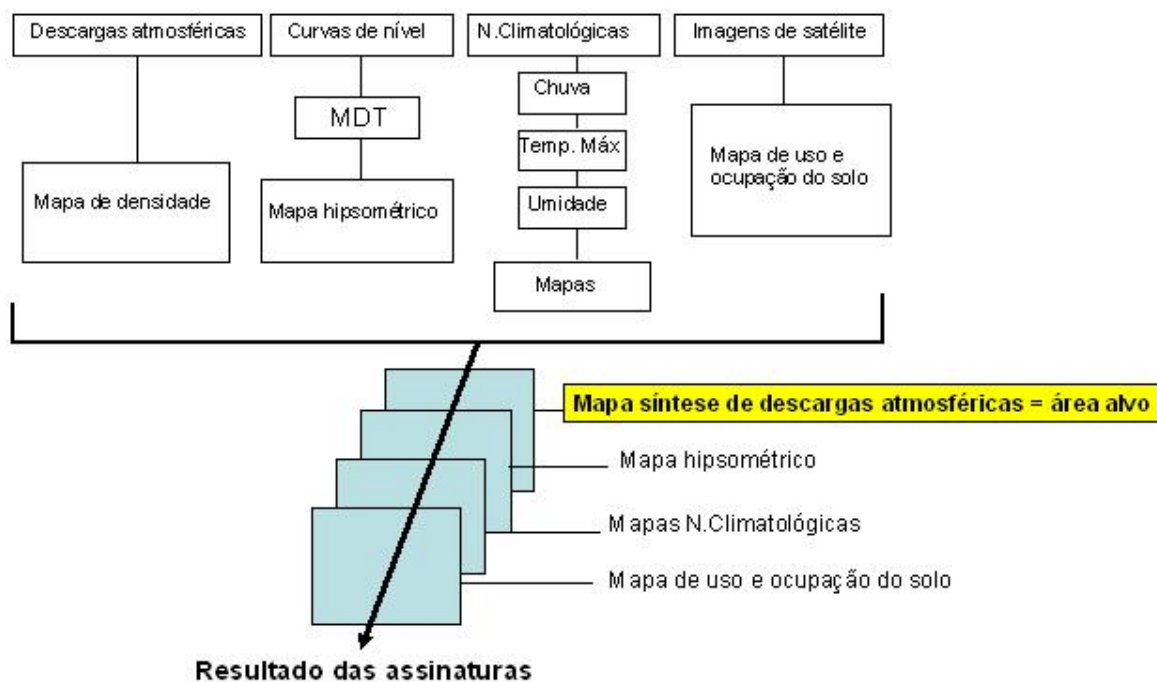


Figura 11 – Esquema do processo de assinatura

A assinatura é um poderoso instrumento de análise, na medida que estabelece um amplo espaço onde variáveis ambientais, aparentemente sem nenhuma conexão entre si num primeiro momento, venham constituir elos de uma cadeia explicativa de um fenômeno ambiental.

“É importante ressaltar que com o procedimento de assinatura faz-se uso do SGI como um hiperespaço heurístico. Neste espaço é possível se informar empiricamente sobre possíveis associações causais entre variáveis ambientais. No estágio de conhecimento precário existente sobre processos ambientais (seqüências de eventos que são responsáveis pela evolução do ambiente) é imperativo que se façam inferências sobre problemas ambientais a partir de ocorrências territoriais conjuntas de fenômenos” (XAVIER DA SILVA, 2001).

Para implementação da assinatura de um fenômeno ambiental, é preciso definir uma “área alvo”, que tanto pode ser uma classe de ocorrência ou um polígono que represente uma área de interesse.

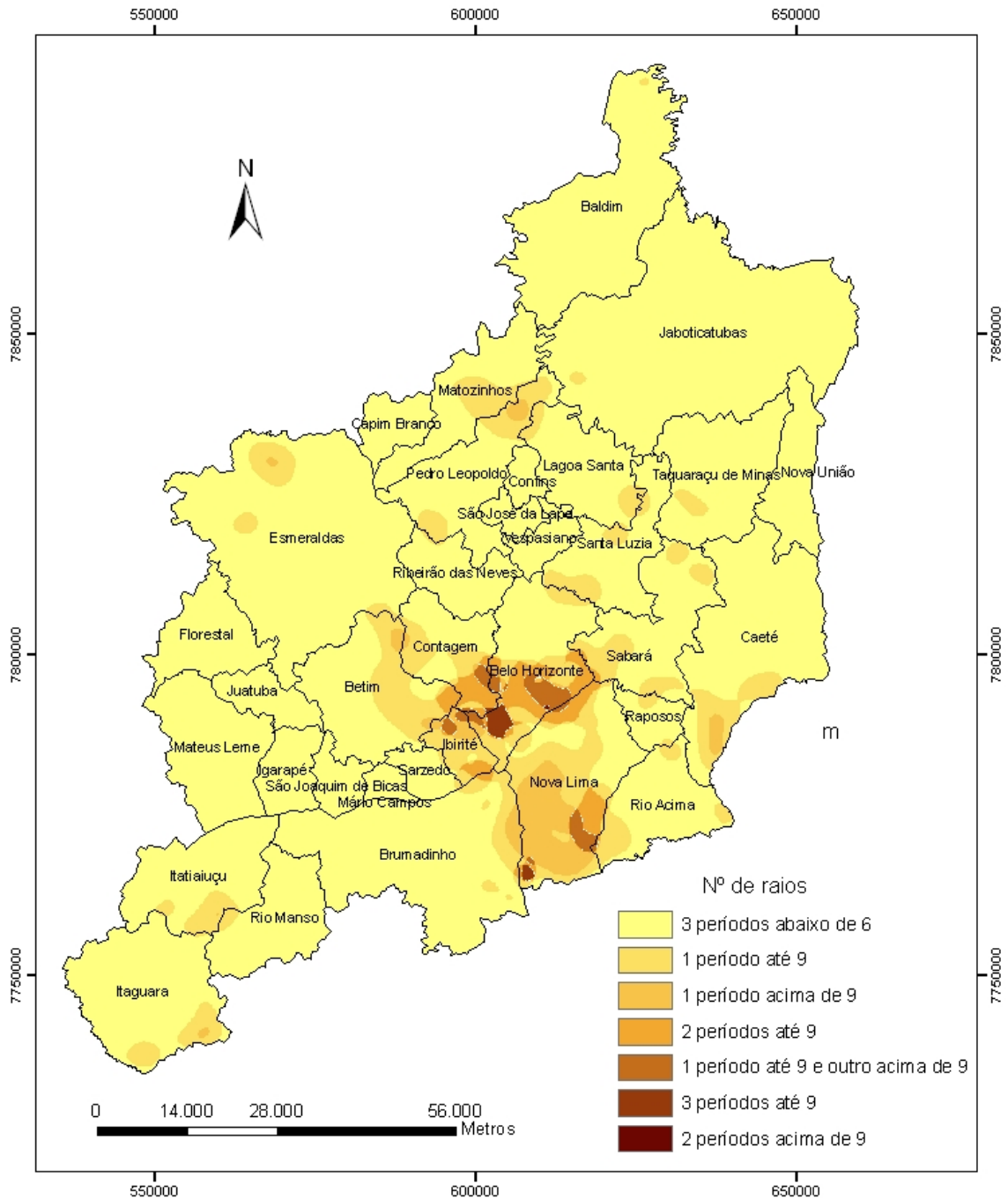
A “área alvo”, que representa a porção territorial que se quer extrair a assinatura ambiental é definida pela sua forma geométrica, representada por um conjunto de pixels com os mesmos atributos ou um polígono que delimita a área de ocorrência a ser analisada. A “área alvo” é, então, confrontada com as classes de todos os níveis temáticos que fazem parte da base de análise, gerando um relatório que define em que percentagens estas classes foram coincidentes com a área alvo (% da categoria), e qual a percentagem da área alvo (% da área delimitada para a assinatura ambiental) coincidiu com as classes de ocorrência analisadas.

Nessa pesquisa definiu-se como área alvo às regiões com as maiores ocorrências de descargas atmosféricas extraídas do mapa síntese. O mapa síntese foi gerado a partir de uma álgebra dos três mapas de períodos chuvosos apresentados anteriormente.

O termo “Álgebra de Mapas” denota um conjunto de operações sobre dados geográficos, que se referem a um conjunto de objetos que compõem uma região de estudo. Estas operações são aplicadas a todos os elementos do conjunto e incluem procedimentos como sobreposição e reclassificação.

A álgebra de mapas utiliza expressões do tipo matemático para combinar layers raster utilizando operadores aritméticos, relativos, booleanos ou lógicos. As operações de Álgebra de Mapas permitem ao usuário modelar diferentes problemas e obter novas informações, a partir de um conjunto de dados já existentes.

Mapa síntese
Densidade descargas atmosféricas - RMBH
Períodos Chuvosos 2004 - 2005, 2005 - 2006 e 2006 - 2007



Fonte: Cemig
 Sist. Coordenadas: UTM
 Datum - SAD 69 - Fuso 23
 Autor: Gláucio Carvalho - Dez/2007

Mapa 11 – Síntese das densidade descargas atmosféricas RMBH – Períodos Chuvosos 2004 – 2005, 2005 – 2006 e 2006 -2007

Para elaboração das tabelas que permitam a identificação da ocorrência das descargas atmosféricas em relação as variáveis ambientais escolhidas

A tabela dos índices de ocorrência, passa a ser um importante instrumento para definir o quanto cada fenômeno ambiental está correlacionado com outro, definindo um resultado orientador das relações estabelecidas que servem de base para as análises.

Para realização do processo de assinatura foi utilizado o ArcView 9.2 *Arc Tollbox – Spatial Analyst Tolls – Zonal Tabulate Área* que gerou os resultados apresentados nas tabelas abaixo.

A análise do processo de assinatura teve como região alvo escolhida a classe 6. Tal escolha se deve ao fato dessa classe ser a mais representativa na concentração de raios, pois representa áreas em que os três períodos chuvosos analisados, tiveram até 9 raios, o que reforça o objetivo principal da pesquisa.

Síntese dos raios - Área alvo		Precipitação (mm)			
Cod	Classes	186 - 200	200 - 210	210 - 220	220 - 233
		%			
1	3 períodos abaixo de 6 raios	21,1	47,0	30,0	1,9
2	1 período ate 9 raios	1,6	21,5	36,9	27,4
3	1 período acima de 9 raios	0,1	7,2	35,2	52,1
4	2 períodos até 9 raios	0,0	0,0	26,0	74,0
5	1 período até 9 e outro acima de 9	0,0	0,0	25,7	74,3
6	3 períodos até 9 raios	0,0	0,0	19,3	80,7
7	2 períodos acima de 9 raios	0,0	0,0	0,0	100,0

Tabela 2 – Assinatura das descargas atmosféricas x precipitação

Síntese dos raios - Área alvo		Temperatura máxima (°C)			
Cod	Classes	27,5 - 28,5	28,5 - 29,5	29,5 - 30,5	30,5 - 31,0
		%			
1	3 períodos abaixo de 6 raios	29,2	59,6	11,1	0,1
2	1 período ate 9 raios	53,4	46,6	0,0	0,0
3	1 período acima de 9 raios	73,5	26,5	0,0	0,0
4	2 períodos até 9 raios	60,0	40,0	0,0	0,0
5	1 período até 9 e outro acima de 9	70,7	29,3	0,0	0,0
6	3 períodos até 9 raios	100,0	0,0	0,0	0,0
7	2 períodos acima de 9 raios	0,0	100,0	0,0	0,0

Tabela 3 – Assinatura das descargas atmosféricas x temperatura média máxima

Síntese dos raios - Área alvo		Umidade (%)	
Cod	Classes	77,3 - 78,5	78,5 - 79,0
		%	
1	3 períodos abaixo de 6 raios	81,5	18,5
2	1 período até 9 raios	52,6	47,4
3	1 período acima de 9 raios	16,1	83,9
4	2 períodos até 9 raios	0,0	100,0
5	1 período até 9 e outro acima de 9	0,0	100,0
6	3 períodos até 9 raios	0,0	100,0
7	2 períodos acima de 9 raios	0,0	100,0

Tabela 4 – Assinatura das descargas atmosféricas x umidade

As assinaturas expressas nas tabelas 2, 3 e 4 juntas fazem parte da influência dos aspectos meteorológicos sobre os relâmpagos. Nessa análise utilizaram-se os dados das Normais Climatológicas da RMBH média do período chuvoso (1961 – 1990). As variáveis escolhidas foram à precipitação, a temperatura máxima e a umidade.

Os resultados apresentados mostram que as áreas da RMBH de maior concentração de raios são aquelas que apresentam condições climáticas favoráveis a ocorrência do fenômeno. Tal fato é evidenciado principalmente na variável precipitação em que mais de 80% da área de maior ocorrência de raios está na faixa das maiores médias pluviométricas entre 220 a 233 mm.

Esse resultado concorda com o estudo de Orville e Huffines (2001) citado por Gomes (2002) em que as médias das densidades anuais de descargas atmosféricas mais elevadas, em média 9 relâmpagos/km²/ano, foram identificadas na Flórida, entre o Lake Okeechobee e a costa leste da Flórida e foram atribuídas à convergência de fatores meteorológicos.

Podemos constatar, portanto que há uma grande correlação entre os aspectos meteorológicos e a atividade de descargas atmosféricas, como já era esperado.

Síntese dos raios - Área alvo		Hipsometria (m)		
Cod	Classes	640 - 750	750 - 850	850 - 950
		%		
1	3 períodos abaixo de 6 raios	18,5	35,2	23,1
2	1 período até 9 raios	10,9	25,7	23,3
3	1 período acima de 9 raios	2,1	7,5	9,4
4	2 períodos até 9 raios	0,0	5,6	45,7
5	1 período até 9 e outro acima de 9	0,0	3,6	36,9
6	3 períodos até 9 raios	0,0	0,0	19,5

7	2 períodos acima de 9 raios	0,0	0,0	0,0
Cod	Classes	950 - 1050	1050 - 1150	1150 - 1250
1	3 períodos abaixo de 6 raios	11,4	6,1	2,1
2	1 período até 9 raios	15,8	10,9	5,2
3	1 período acima de 9 raios	9,8	6,1	13,4
4	2 períodos até 9 raios	24,5	14,0	5,6
5	1 período até 9 e outro acima de 9	23,0	10,3	13,5
6	3 períodos até 9 raios	60,8	0,4	0,0
7	2 períodos acima de 9 raios	1,5	98,5	0,0
Cod	Classes	1250 - 1350	1350 - 1450	1450 - 1550
1	3 períodos abaixo de 6 raios	1,6	1,1	0,7
2	1 período até 9 raios	4,2	3,0	0,9
3	1 período acima de 9 raios	30,1	17,0	4,4
4	2 períodos até 9 raios	3,3	1,1	0,2
5	1 período até 9 e outro acima de 9	9,4	2,9	0,4
6	3 períodos até 9 raios	3,3	15,2	0,8
7	2 períodos acima de 9 raios	0,0	0,0	0,0
Cod	Classes	1550 - 1650	1650 - 1720	
1	3 períodos abaixo de 6 raios	0,3	0,0	
2	1 período até 9 raios	0,2	0,0	
3	1 período acima de 9 raios	0,1	0,0	
4	2 períodos até 9 raios	0,0	0,0	
5	1 período até 9 e outro acima de 9	0,0	0,0	
6	3 períodos até 9 raios	0,0	0,0	
7	2 períodos acima de 9 raios	0,0	0,0	

Tabela 5 – Assinatura das descargas atmosféricas x hipsometria

Observou-se a partir do resultado de assinatura da tabela 5 que a altitude exerce influência diferenciada sobre as descargas atmosféricas. As áreas que variam entre 950 a 1050 m são as mais afetadas pelo fenômeno, cerca de 60%. Na classe analisada com altitudes acima de 1450 m a influência da topografia praticamente não se manifestou.

A topografia atua como um dos agentes moduladores da atividade de relâmpagos à medida que contribui para a formação de nuvens o que favorece a atividade de descargas atmosféricas, mas conforme resultado apresentado, o comportamento das descargas x altitude é bem diferenciado. Portanto constata-se que a altitude nem sempre exerce influência na atividade de relâmpagos, portanto, não pode ser considerada um fator predominante.

Síntese dos raios - Área alvo		Uso e ocupação do solo			
Cod	Classes	Campo	S.exposto	Cerrado	M.urbana
		%			
1	3 períodos abaixo de 6 raios	27,8	5,7	26,6	6,1
2	1 período até 9 raios	16,9	3,9	27,3	17,4

3	1 período acima de 9 raios	6,1	2,1	41,9	12,9
4	2 períodos até 9 raios	1,1	0,2	19,6	56,9
5	1 período até 9 e outro acima de 9	0,6	0,1	19,3	64,1
6	3 períodos até 9 raios	0,3	0,0	11,6	76,8
7	2 períodos acima de 9 raios	0,0	0,0	0,0	99,6
Cod	Classes	Mata	Afloramento	Água	
1	3 períodos abaixo de 6 raios	28,9	4,5	0,3	
2	1 período até 9 raios	32,4	1,4	0,7	
3	1 período acima de 9 raios	31,8	4,7	0,6	
4	2 períodos até 9 raios	21,5	0,5	0,2	
5	1 período até 9 e outro acima de 9	14,4	1,2	0,2	
6	3 períodos até 9 raios	7,3	0,0	4,0	
7	2 períodos acima de 9 raios	0,4	0,0	0,0	

Tabela 6 – Assinatura das descargas atmosféricas x uso e ocupação do solo

Conforme resultado da assinatura da tabela 6, as regiões de maior concentração de relâmpagos estão localizadas dentro da mancha urbana, mais de 76%. Tal região é representada principalmente pelos centros urbanos de Belo Horizonte, Contagem, Betim e Santa Luzia e Ibirité.

A influência da urbanização sobre a atividade dos relâmpagos pode ser explicada pelos efeitos da formação de ilhas de calor próprios das grandes metrópoles e do aumento da poluição nesses centros urbanos. A ilha de calor urbana corresponde a uma área na qual a temperatura da superfície é mais elevada que as áreas circunvizinhas, devido à redução da evaporação, ao aumento das áreas impermeabilizadas pela pavimentação de ruas e avenidas, ao aumento da concentração de construções, às propriedades térmicas dos edifícios e dos materiais utilizados nas pavimentações que apresentam grande condutibilidade térmica.

A formação de ilhas de calor causa o aumento do fluxo do calor sensível das superfícies e do calor latente da atmosfera, contribuindo para o aumento do número de nuvens de tempestade e dos níveis de precipitação.

O resultado dessa correlação entre descargas atmosféricas e a mancha urbana da RMBH está de acordo com estudos realizados por Gomes (2002) e Ackerman et al. (2000) também citado por Gomes (2002), no qual constataram que os centros urbanos e industriais lançam vários poluentes na atmosfera, aerossóis, que atuam como núcleos de condensação na formação das nuvens o que favorece a ocorrência de relâmpagos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A finalidade dessa pesquisa foi utilizar técnicas de geoprocessamento capazes de espacializar as áreas de maior concentração de relâmpagos dentro da RMBH e identificar quais feições geográficas estão mais presentes nessas áreas.

Diante dos resultados e análises apresentadas, não há apenas um fator predominante sobre as características dos relâmpagos, mas um conjunto de fatores geográficos que atuam simultaneamente cada um com sua parcela de contribuição. De acordo com o local os relâmpagos podem ser mais fortemente influenciados por fatores meteorológicos, pela topografia local, pela presença de centros urbanos dentre outros.

Os resultados encontrados através das técnicas utilizadas reforçam os estudos já realizados o que demonstra a aplicabilidade e as vantagens de se utilizar o geoprocessamento.

Apesar dos resultados da pesquisa terem sido satisfatórios, deve-se ressaltar as limitações e as dificuldades que ainda existem para a realização de análises sobre as descargas atmosféricas. O número de dados climatológicos ainda é reduzido, faltam estudos e dados disponíveis sobre microclima e a aplicação de técnicas de densidade deixam abertas várias subjetividades quanto às análises desenvolvidas.

Por se trabalhar com variáveis muito complexas e difíceis de serem modeladas como é o caso dos dados meteorológicos e climáticos, os resultados encontrados nessa pesquisa têm como principal abordagem a metodologia aplicada. A partir das técnicas apresentadas, novos trabalhos mais detalhados poderão ser desenvolvidos cuja finalidade esteja mais ligada à origem e o comportamento desse fenômeno natural, tão comum na nossa região e que ainda possui fontes inesgotáveis de estudo.

O uso do geoprocessamento foi imprescindível em todas as etapas desenvolvidas na pesquisa. Jamais seria possível trabalhar essa gama de dados sobre uma área tão grande e em pouco tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKERMAN, A. S.; Toon, O. B.; STEVENS, D. E.; HEYMSFIELD, A. J.; RAMANATHAN, V.; WELTON, E. J. Reduction of tropical cloudiness by cool. **Science**, v. 280 n. 5160, p. 1
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas: aplicações na Agricultura**. 2. ed. ver. e ampl. Brasília: Embrapa - SPI. 1998.
- BAILEY, T. C. & GATRELL, A. C., 1995. **Interactive Spatial Data Analysis**. Essex: Longman.
- BESAG, J., 1986, On the statistical analysis of dirty pictures (with discussion). **Journal of the Royal Statistical Society B**, 48 (3), 259-302.
- COELHO, C. W. G. A., **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas de maior ocorrência de descargas atmosféricas em Belo Horizonte – período 2000 A 2002 Belo Horizonte, 2003**. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia.
- COTTON, W. R.; ANTHES, R. A. **Storm and Cloud Dynamics**. Academic Press., 883p., 1989.
- DIAS, N. W. *et al.* Introdução: desenvolvimento sustentável. In: _____. **Sensoriamento Remoto: aplicações para preservação, conservação e desenvolvimento sustentável da Amazônia**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003. p.1-16. 1 CD-ROM.
- EASTMAN, J. R. **IDRISI for Windows versão 2: manual do usuário – introdução e exercícios tutoriais**. Porto Alegre: UFRGS, 1998.
- EPIPHANIO, J. C. N. CBERS – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 16-21 abr. 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 915-922. 1 CD-ROM.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- GOMES, M. A. S. S. **Estudo dos relâmpagos na Região Sudeste do Brasil em função das características geográficas**. São José dos Campos: INPE, 2002.
- Global Atmospheric Inc (GAI). **LP2000 – Lightning Processor User's Guide**. Tucson, 1999.
- HOUZE JR., R. A. **Cloud Dynamics**. Academic Press., 570p., 1993.
- NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

ORVILLE, R. E.; HUFFINES, G. **Eleven years of cloud-to-ground lightning in the Continental United States**, 1989-1999: Large Scale and Small Scale Results, n.13, May, 2000.

ORVILLE, R. E.; SILVER, A. C. Lightning ground flash density in the contiguous United States: 1992-1995. **Monthly Weather Review**. v.105, n.4, p. 631- 638, Abr., 1997.

PARMEZANI, J.M.; SOUZA, J.R.S.; RIBEIRO, G.E.: **“Associação de ZCAS com os fenômenos El Niño e La niña**. São José dos Campos, SP, 1998.

PINTO JR, O., e IARA, R.C. Pinto, **Relâmpagos**, São Jose do Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.

PINTO JR, O PINTO, I. R. C. A. **Tempestades e relâmpagos no Brasil** – São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

REAP, R. M. Evaluation of cloud-to-ground lightning data from the Western United States for the 1983-84 summer seasons. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 25, n. 6, p. 785-799, June 1986.

REIS, R. J., **Mapeando a climatologia das descargas atmosféricas em Minas Gerais, utilizando dados de 1989 a 2002 - uma análise exploratória**. Tese de Doutorado, 2005. Programa de Pós-graduação em Geografia Tratamento da Informação Espacial, PUC – MINAS.

Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas (RINDAT). Disponível em: <www.rindat.com.br>. Acesso em: 18 out 2007.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. 2. ed. ver. atual. e ampl. Juiz de Fora: Ed. do Autor. 2002.

ROSA, R. **O uso de SIG's para o zoneamento: uma abordagem metodológica**. 1995. 212f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SILVA, A. de B. **Sistemas de informações geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Ed. da Unicamp, 1999.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Universidade Federal de Viçosa. Imprensa Universitária. Viçosa- Minas Gerais, 449p., 1991.

XAVER da SILVA, JORGE. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Ed. do autor. Rio de Janeiro, 2001, 227p.

ZAVATTINI, J. A. **O paradigma da análise rítmica e a climatologia geográfica brasileira**. GEOGRAFIA, Rio Claro, v. 26, n. 3, p. 25 – 43, Dez. 2000.