

## **Mapeamento temporal e espacial da precipitação pluviométrica da região metropolitana de Goiânia**

Murilo Raphael Dias Cardoso<sup>1 2</sup>  
Francisco Fernando Noronha Marcuzzo<sup>1</sup>  
Denise Christina de Rezende Melo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CPRM - Serviço Geológico do Brasil  
Rua 148, n. 485 - Setor Marista  
CEP 74170-110 – Goiânia - GO, Brasil  
fmarcuzzo@go.cprm.gov.br

<sup>2</sup>UFG - Universidade Federal de Goiás  
Campus Samambaia (Campus II)  
CEP 74001-970 – Caixa Postal: 131 – Goiânia – GO, Brasil  
muriloshinobi@gmail.com

**Abstract** - Rainfall is the most important climatological variable in Tropical climates for presenting great variation between dry and wet periods, seasonality characteristic of this kind of weather. The metropolitan area of Goiânia is the subject of considerable increase in its population in recent years due mainly to the economic rise that the state of Goiás has had with public incentive policies to attract new companies and operation of the replacement of Cerrado vegetation by remaining natural grassland and agriculture. The counties selected were those at a distance of 60 km of the municipal limits of metropolitan Goiânia. This study aimed to map the rainfall in metropolitan Goiânia and its surroundings. The study area of this study was defined by its quantitative coverage of rainfall stations. To this end we used data from 21 rainfall stations with 35 years of observations. These data were processed in a GIS and interpolated using the method of Kriging interpolation mathematics. The rains in the metropolitan area of Goiânia and its surroundings were concentrated in the annual examination in the municipality of Piracanjuba. In other regions within the study area rainfall is evenly spatially varying mostly between 1400 mm and 1600 mm. In the monthly analysis of rainfall can be noted on the spatial pattern where the highest values focus themselves in a central band that covers the entire study area from east to west.

**Keywords:** Water Resources, GIS, remote sensing

### **1. Introdução**

A precipitação pluviométrica é a variável climatológica mais importante em regiões de clima Tropical por apresentar grande variação entre os períodos seco e úmido, sazonalidade característica desse tipo de clima. Entender a dinâmica espacial e temporal deste fenômeno é relevante para o planejamento urbano, pois as chuvas influenciam na infra-estrutura e nos recursos naturais dentro das cidades, podendo ocorrer, entre outros eventos, enchentes, erosões e danificações das obras. Esse crescimento populacional desordenado e exacerbado trás conseqüências maléficas ao meio urbano que não suporta esse inchaço súbito por não apresentar infra-estrutura compatível. Sendo assim, o processo de avanço urbano sobre APPs (Áreas de Preservação Permanente) em beiras de rios e nascentes e o entupimento dos sistemas de drenagem são intensificados tornando o meio urbano cada vez mais suscetível as erosões e as enchentes. Segundo Pompêo (2000), as enchentes são fenômenos naturais que ocorrem periodicamente nos cursos d' água devido a chuvas de magnitude elevada. A erosão é um processo que se traduz na desagregação, transporte e deposição do solo, subsolo e rocha em decomposição, pelas águas, ventos ou geleiras. A intensidade da chuva, o tipo de solo e

sua condição quanto ao conteúdo de umidade presente e sua permeabilidade, são também fatores contribuintes da maior importância (Hirataka et al., 2003).

É fato aceito de que se realmente houver efeito da urbanização sobre as chuvas ele se dará no sentido de aumentar não somente o volume precipitado como também as intensidades máximas, sobretudo a medida que as durações diminuam (Silveira, 1997). Segundo Huff (1977), tal efeito ocorre em áreas urbanas por um reforço do processo convectivo e pela aparição de um maior número de células pluviosas, o que favoreceriam a fusão destas células, intensificando as precipitações. As causas do aumento da precipitação podem ser por um motivo local, a urbanização, ou uma causa climática de escala global (Xavier et al., 1994).

## 2. Metodologia

### 2.1. Localização e Caracterização Geral da Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho foi definida pela sua abrangência quantitativa das estações pluviométricas (**Figura 2**). Os municípios escolhidos foram os que estavam a uma distância de 60 km dos limites municipais da região metropolitana de Goiânia (**Figura 1**). Essa metodologia na delimitação da área de estudo foi desenvolvida a fim de se ter uma maior quantidade de dados melhor espacializados para que houvesse mais qualidade e confiabilidade na interpolação matemática realizada em um SIG.

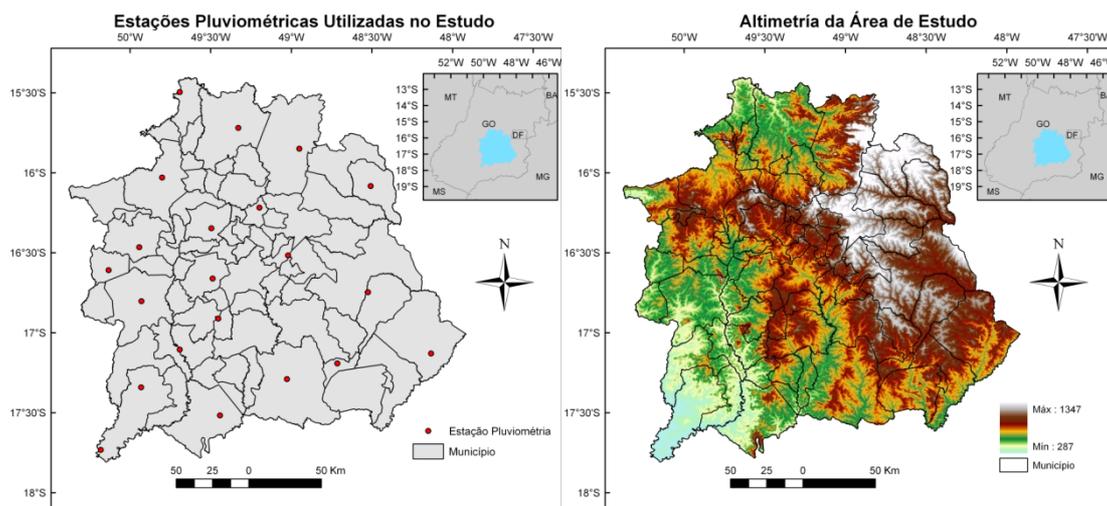
A região delimitada para esse estudo ocupa uma área de 43.645,5 km<sup>2</sup>, cerca de 12,5% da área total do estado de Goiás, e abrange 71 municípios com uma população de 2.957.538 (IBGE, 2008), aproximadamente 50% da população total do estado, o que significa uma densidade demográfica de 68 pessoas por Km<sup>2</sup>. Essa região, localizada dentro do bioma Cerrado, é a que apresenta menor INR (Índice Normalizado de Remanescentes) no estado de Goiás, de -1 a -0,78. Esse índice varia de -1 a 1 e quanto mais próximo de 1 maior a presença de remanescentes, o que significa que a cobertura vegetal nativa é quase inexistente no local (Ferreira et al., 2008). A maioria da área rural da região tem sua cobertura vegetal convertida agricultura, cerca de 12% em pastagem, 77%, além de contar com 6,4% de remanescentes do Cerrado (Savana) (PROBIO, 2004).



**Figura 1.** Localização geográfica da área de estudo e identificação dos municípios (Fonte das informações usadas para confecção do mapa: IBGE).

## 2.2. Dados utilizados no estudo

Foram utilizados, neste estudo, dados de precipitação mensal de 21 estações pluviométricas distribuídas na dentro da área de estudo. Nota-se que a maioria das estações estão localizadas na região centro-oeste e que há grande defasagem no nordeste, leste e sudeste (Figura 2). Vale salientar que a região metropolitana de Goiânia conta apenas com 4 estações pluviométricas, o que é muito pouco para se ter confiabilidade na análise quando comparada a realidade, por isso faz-se necessário a utilização das estações vizinhas mais próximas da região metropolitana de Goiânia. Os dados foram obtidos da Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional de Águas (ANA) e o período de dados correspondem a 35 anos (1974 à 2008).



**Figura 2.** Estações pluviométricas utilizadas no estudo e Altimetria da área de estudo (Fonte das informações usadas para confecção do mapa: IBGE, ANA e NASA).

## 2.3. Método de interpolação matemática dos dados pluviométricos

### *Interpolação matemática pelo método da Krigagem*

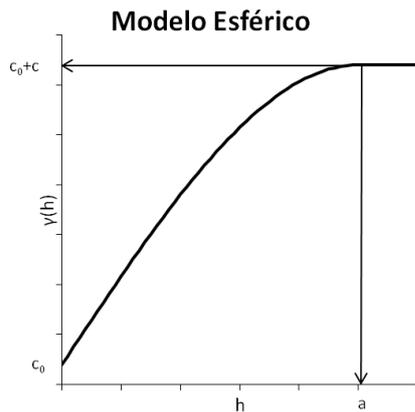
No método da Krigagem a variação espacial é quantificada por um semivariograma. O semivariograma é um gráfico de dispersão da semivariância versus distância dos pontos amostrados, sendo que a semivariância é uma medida de dispersão, a metade da variância. O semivariograma serve para analisar a dependência espacial entre as amostras. O semivariograma é calculado a partir dos pontos amostrados usando a seguinte equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^s \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2 \quad (1)$$

em que,  $h$  - é uma distância;  $n$  é o numero de pontos amostrados separados pela distância  $h$ ,  $\gamma(h)$  - é a semivariância para a distância  $h$ ,  $s$  - é a quantidade de pares de pontos separada pela distância  $h$ ,  $z(x)$  - é o valor da amostra na localidade  $x$ , e  $z(x+h)$  é o valor da amostra na localidade separada da localidade  $x$  pela distância  $h$ . Computacionalmente utiliza-se para  $h$  uma faixa de distâncias para melhorar o desempenho.

Para se determinar os pesos dos pontos amostrados é necessário ajustar o semivariograma usando um modelo que depende do problema.

Abaixo está o modelo matemático que foi usado para ajustar a semivariância, sua forma e sua fórmula matemática.



**Figura 3.** Modelo Esférico de Semivariograma

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left( \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right), & \text{se } 0 < h \leq a \\ c_0 + c, & \text{se } h > a \end{cases} \quad (2)$$

$$\gamma(0) = c_0$$

em que,  $a$  – é a distancia a partir da qual não há mais correlação espacial entre as variáveis, e, portanto não há aumento no semivariograma;  $c_0$  -, chamado de nugget, é o valor de  $\gamma$  para distâncias iguais a zero, que indica as variações para distâncias muito pequenas, devido a erros de medição ou a variações de pequena escala, e  $c_0 + c$  – chamado de sill, é o valor médio da semivariância além da distância  $a$ , o valor de  $c$  também é chamado de partial sill.

Para o cálculo da interpolação do valor de um ponto através do método da krigagem, utiliza-se a seguinte equação matemática:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (3)$$

em que,  $Z(x)$  - é o valor do ponto que se deseja interpolar;  $n$  - é a quantidade de pontos amostrados cujos valores serão usados na interpolação do ponto  $x$ ;  $Z(x_i)$  - é o valor do ponto amostrado; e  $\omega_i$  é o valor do peso do valor de  $Z(x_i)$  sobre o ponto  $x$ .

Para se determinar os pesos  $\omega_i$  o método de krigagem utilizado, que foi a krigagem ordinária, deve resolver o seguinte sistema matemático:

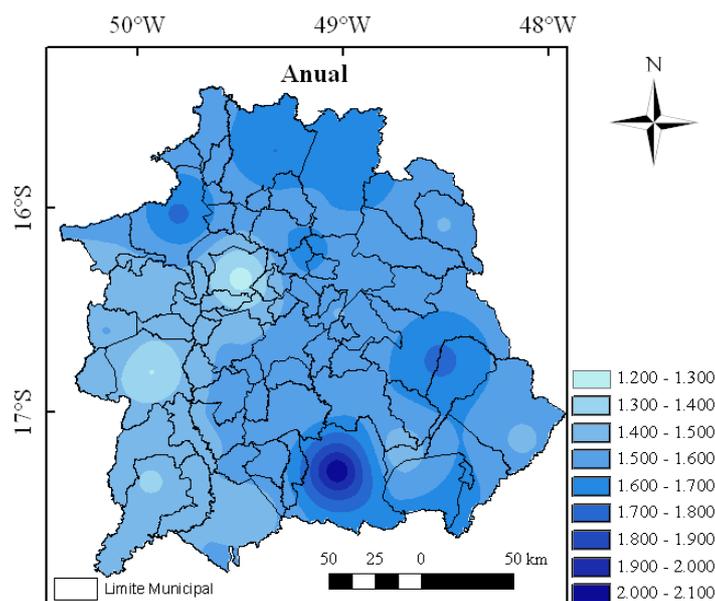
$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N \omega_i \gamma(h_{ij}) + \mu &= \gamma(h_j), \quad j = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^N \omega_i &= 1 \end{aligned} \quad (4)$$

em que,  $\omega_i$  - é o peso para cada ponto;  $\mu$  - é uma variável temporária;  $\gamma(h)$  - é o valor de semivariância para pontos separados por uma distância  $h$ ;  $h_{ij}$  - é a distância entre os pontos  $x_i$  e  $x_j$ ;  $h_j$  - é a distância entre o ponto que se deseja calcular o valor  $x$  e o ponto  $x_j$ . Na krigagem ordinária a soma dos pesos é igual a um, e, portanto a equação 5 se resume à:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i) \quad (5)$$

### 3. Resultados e Discussão

O mapeamento da precipitação pluviométrica na região metropolitana de Goiânia e seu entorno utilizando dados de 21 estações pluviométricas com um recorte temporal de 35 anos demonstrou que a região tem uma variação de chuvas anuais entre 1200 mm e 2100 mm levando em consideração a média anual da precipitação para o período analisado. Na região do município de Goiânia a precipitação fica entre 1400 mm e 1500 mm (Figura 4). Os maiores valores de precipitação estão localizados no município de Piracanjuba. Os menores valores de precipitação estão localizados na região do município de Inhumas e Palmeiras de Goiás. Não é possível relacionar os maiores e os menores valores de precipitação com a altimetria da região, pois os maiores valores de precipitação se localizam em regiões de menor altitude do que os menores valores de precipitação que se localizam em regiões mais altas (Figura 2).

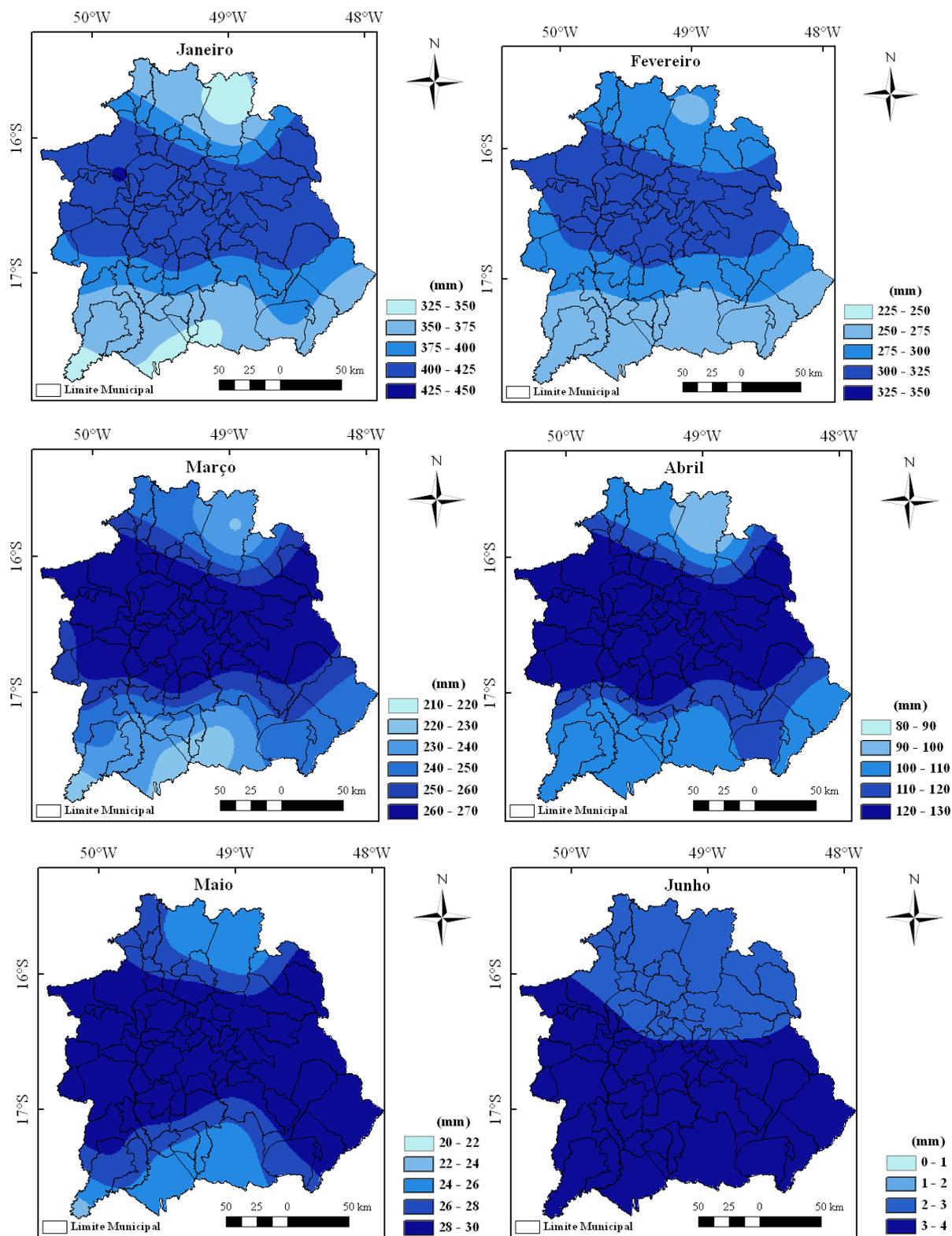


**Figura 4.** Distribuição espacial das chuva anual na área de estudo – (média de 1974 à 2008)

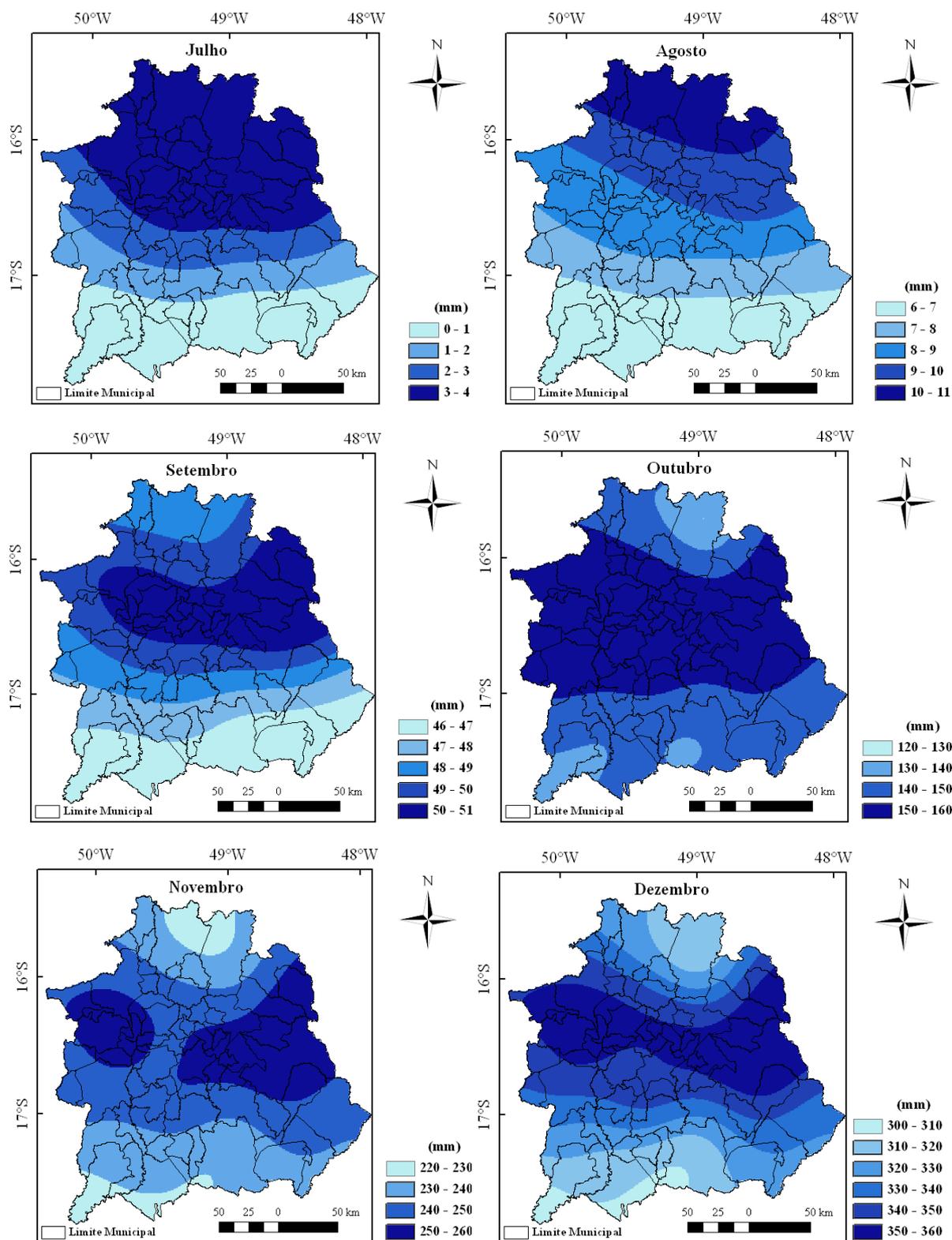
No estudo das chuvas quanto a sua distribuição mensal pode-se observar que os maiores valores de precipitação pluviométrica se encontram nos meses de janeiro e dezembro e os menores valores se encontram em junho, julho e agosto.

A espacialização das chuvas nos cinco primeiros meses do ano, janeiro, fevereiro, março, abril e maio se dispõem de forma similar variando apenas os valores. Todos os cinco meses apresentam uma faixa central que cobre a área de estudos de leste a oeste (Figura 5). No mês de junho, mês que não é anormal a ausência das chuvas, a espacialização da precipitação pluviométrica se divide entre norte e sul da área de estudos.

No segundo semestre (Figura 6) as chuvas se espacializam de forma gradativa nos dois primeiros meses, julho e agosto, com os valores de precipitação diminuindo no sentido norte-sul. No mês de setembro reaparece a faixa central com valores mais altos de precipitação, como nos cinco primeiros meses, porém de forma mais discreta. Em outubro essa faixa central com os maiores valores de precipitação para este mês aparece, mas de forma mais nítida do que no mês anterior. Os dois últimos meses do ano, novembro e dezembro, os maiores valores de precipitação ocorrem na faixa central de leste a oeste da área de estudo e diminui gradativamente para norte e para sul.



**Figura 5.** Distribuição espacial das chuvas no primeiro semestre na área de estudo – (média de 1974 à 2008)



**Figura 6.** Distribuição espacial das chuvas no segundo semestre na área de estudo – (média de 1974 à 2008)

## Conclusões

As chuvas na região metropolitana de Goiânia e seu entorno se concentraram, na análise anual, na região do município de Piracanjuba. Nas demais regiões dentro da área de estudos as chuvas se especializaram de maneira homogênea variando na sua maioria entre 1400 mm e

1600 mm. Na análise mensal das chuvas pode-se notar um padrão na espacialização onde os maiores valores se concentram em uma faixa central que cobre toda a área de estudos de leste a oeste.

### **Referências**

FERREIRA, M. E.; FERREIRA Jr., L. G.; FERREIRA, N. C.. **Cobertura vegetal remanescente em Goiás: Distribuição, viabilidade ecológica e monitoramento**. In: A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado. Org. Laerte Guimarães Ferreira Jr. Ed. UFG. Goiânia-GO. p.169-185. 2008.

HIRATAKANA, A.; KATAYAMA, B. Y.; TAKATA, E.; XIMENES, K.; TANIGUCHI, M. S.; LEMMI, R. T.; MIYATA, R.. **Erosão em Áreas Urbanas**. PHD. 2537. p. 1-10. 2003.

HUFF, F. A.. **Urban effects on storm rainfall in midwestern United States**. Proceedings of the Amsterdam Symposium. IAHS. n. 123, p. 12-19. 1977.

POMPÊO, C. A.. **Drenagem Urbana Sustentável**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 5, n. 1, p. 15-24. 2003.

SILVEIRA, A. L. L. da. **Provável Efeito Urbano das Relações IDF das Chuvas de Porto Alegre**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 2. n. 2. Pág. 92-107, 1997.

XAVIER, T. de M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, M. A. F. da S.; **Evolução da precipitação diária num ambiente urbano: o caso da cidade de São Paulo**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.9(1), p. 44-53, 1994.