

## 4.2 MÉTODOS

Após a coleta de dados e análise de estudos sobre o comportamento das chuvas em diversas cidades e sua variabilidade espacial, sobretudo nas regiões intertropicais, a fim de se fundamentar esta pesquisa, a organização e apresentação dos dados utilizados neste trabalho foi dividida em três etapas: a primeira refere-se à consistência e validação dos dados utilizados; a segunda preocupou-se com o melhor método de interpolação para representar espacialmente as chuvas em Belo Horizonte e a terceira e última etapa, refere-se ao instrumento de avaliação e análise da expansão da rede pluviométrica que também seguiu um roteiro como:

- a) Análise da variabilidade das chuvas em Belo Horizonte;
- b) Análise da expansão da rede para o período chuvoso de 2003/2004 e 2004/2005;
- c) Relação da distribuição das chuvas x topografia local;
- d) Estudo de caso - análise diária de janeiro de 2004.

Cada uma das etapas deste trabalho são complementares, apesar de possuírem objetivos distintos. A primeira etapa foi desenvolvida para identificar inconsistência nos dados que por ventura poderiam mascarar o resultado final, a segunda teve como objetivo encontrar a melhor representação espacial das chuvas, através do cálculo de coeficientes e correlação já aproveitando os resultados da primeira parte, enquanto a terceira etapa procurou apresentar formas diferentes de análise dos dados.



#### 4.2.2 VALIDAÇÃO CRUZADA

Para o preenchimento de falhas e a verificação da boa consistência dos dados, optou-se por um método denominado de *validação cruzada*, que segundo ANDRIOTTI (2003), é o procedimento mediante o qual cada amostra é retirada do conjunto de dados e é feita uma interpolação para avaliar seu valor. A *validação cruzada* assume que em um determinado ponto, que não tenha sido coletado os dados, o valor é estimado a partir dos dados circundantes. Após essa estimativa, o valor poderá ser re-introduzido no sistema. Esta *validação cruzada* além de ser uma maneira de preencher vazios no rol de dados com certa eficiência é uma forma de se checar as suposições sobre o modelo usado para a interpolação.

Por meio de estimação, o método procura um valor que represente o mais fielmente possível do valor verdadeiro de uma variável em um ponto, sendo a *Krigagem* e o *Inverso da Distancia ao Quadrado*, exemplos destes estimadores, utilizados nesse estudo.

Utilizando o software SURFER® 7.0, uma malha de pontos, Figura 7, denominada “grid” é criada na qual são estimados novos pontos. Segundo DAVIS (2001), a criação da “grid” não é um método adequado para lidar com linhas ou polígonos, mas é bastante eficiente para o tratamento de dados pontuais. O número de pontos estimados é arbitrário, ou seja, definido pelo usuário conforme Figura 8, que mostra o número de linhas e colunas e o método de estimação.

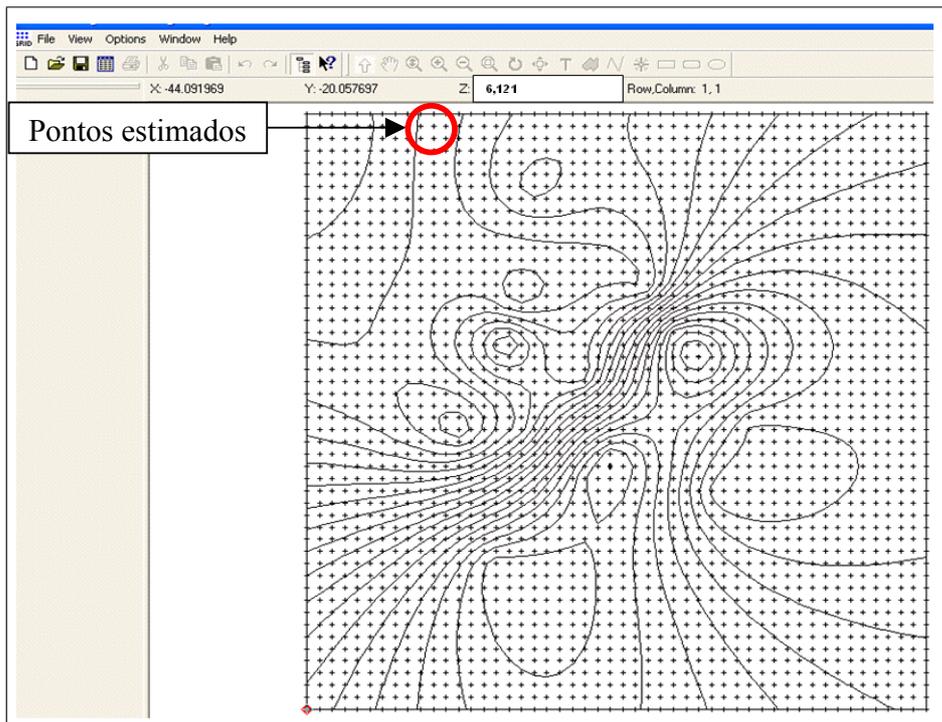


Figura 7. Pontos estimados pelo método da “grid file”.

The image shows a dialog box titled 'Grid Data - D:\antigo hd 10\Carlos Wagner\Mestrado\Dissert...'. It contains the following sections:

- Data Columns (15 data points):** X: Column B: Long, Y: Column C: Lat, Z: Column E: chuva. Buttons: Filter Data..., View Data, Statistics.
- Gridding Method:** Kriging. Button: Advanced Options... Cross Validate...
- Output Grid File:** D:\antigo hd 10\Carlos Wagner\Mestrado\Dissertação\Metodologia\Pontos de
- Grid Line Geometry:**

	Minimum	Maximum	Spacing	# of Lines
X Direction:	-44.0837485	-43.8877778	0.00399940204	50
Y Direction:	-19.985551	-19.77403978	0.00431655551	50

Buttons: OK, Cancel, Grid Report (checked).

Figura 8. Formatação do número de linhas e colunas para estimação pontuais.

A partir deste momento, o cruzamento dos dados reais com os estimados torna-se possível, uma vez que são exportado para outro software de Geoprocessamento, o MAPINFO® 5.0, de forma que se possa processar o cruzamento entre os valores reais com os valores estimados, e desta forma validando e preenchendo os dados das estações inconsistentes.

Dentro do MAPINFO® 5.0, todas as estações recebem um BUFFER (raio de cobertura) de 500 metros, Figura 9, onde, cada ponto estimado acima, que se encontrasse dentro deste BUFFER, estaria associado ao cálculo para encontrar o valor estimado da estação.

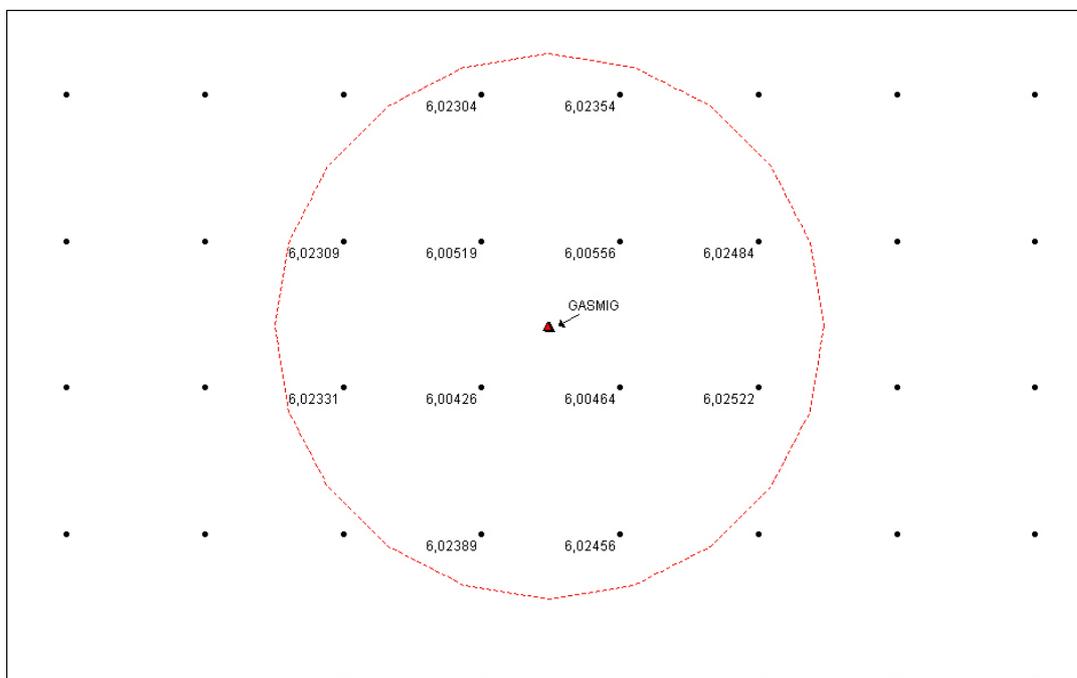


Figura 9. BUFFER utilizado para captura dos valores médios da estação no dia 06/12/2003  
– Valor estimado 6,1 mm de chuva.

Finalmente, os novos valores encontrados pela validação cruzada compõem um gráfico comparativo com os valores reais observados em campo, de forma que se verifique a variação entre os mesmos. Neste estudo optou-se por dois métodos de interpolação, onde se desejava checar uma melhor forma de se atingir os objetivos propostos conforme já mencionado anteriormente, sendo a *Krigagem* e o *Inverso da Distância ao Quadrado*.

As Figuras 10 e 11 representam os gráficos com os valores observados e os valores estimados através deste método de criação de “grid” para o dia 05 e 06 de dezembro de 2003, os quais tiveram falhas em seus dados na estação da Gasmig. Pode-se notar que entre os dados observados e os estimados tanto pela *Krigagem* quanto *pelo Inverso da Distância ao Quadrado* há uma pequena variação entre eles, mostrando que o interpolador utilizado espacializa de forma satisfatória. No entanto, a estimativa obtida pelo *Inverso da Distância ao Quadrado* responde mais a realidade dos valores observados como pode-se observar na estação leste na Figura 10 e na estação Nordeste na Figura 11.

Figura 10. Gráfico comparativo entre as chuvas observadas e estimadas no dia 05/12/2003

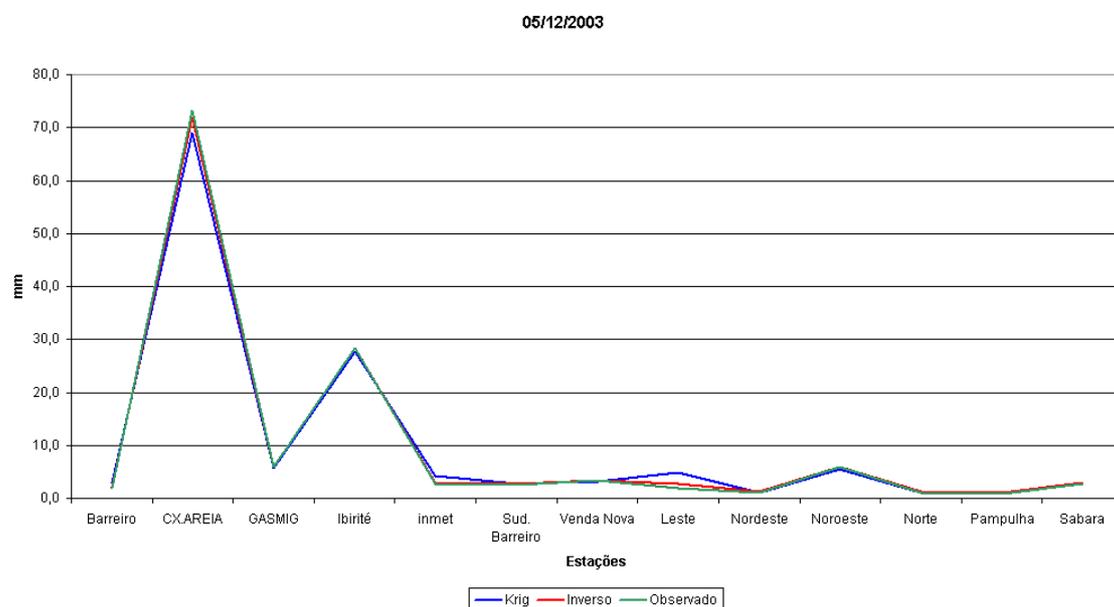
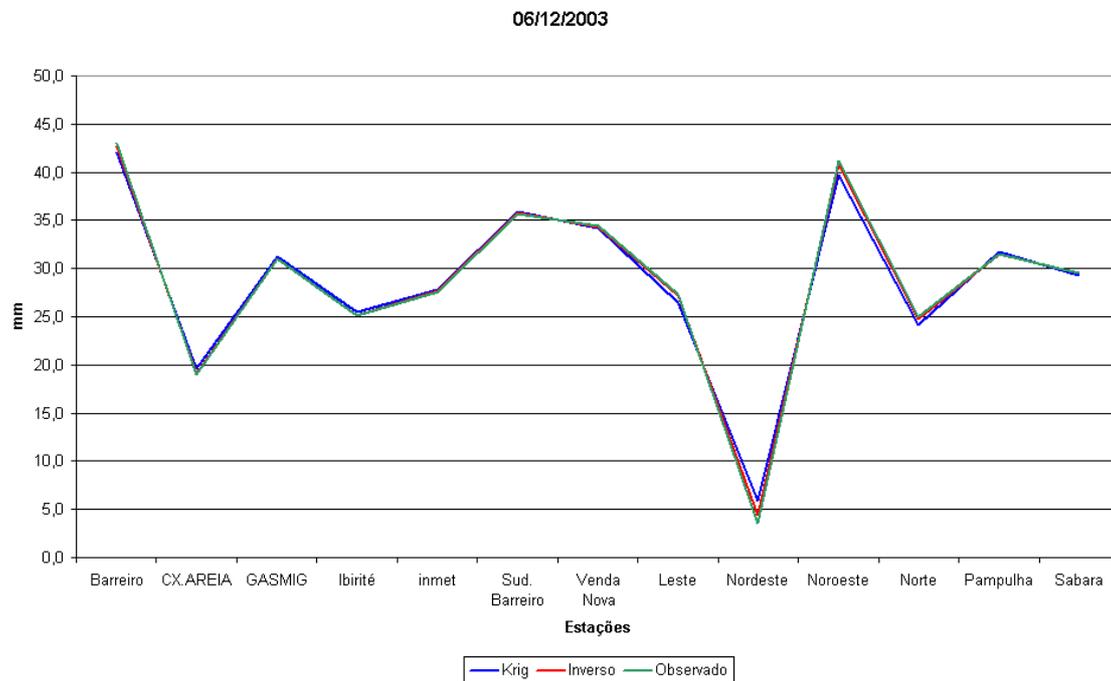


Figura 11. Gráfico comparativo entre as chuvas observadas e a estimada no dia 06/12/2003



#### 4.2.3 ESPACIALIZAÇÃO SUPERFICIAL DOS DADOS

Mesmo que o foco do trabalho seja a capital mineira, alguns pontos fora dos limites da cidade constituíram parte deste estudo, primeiro porque atendem a série de dados do período analisado e segundo, se fazem importantes pelo fato de que a espacialização se deu através da interpolação dos pontos de coletas, onde os mesmos sofrem e causam efeitos aos quais não se pode desconsiderar.

Os softwares mais utilizados para a geração de mapas disponibilizam vários métodos de geração de “*grids*” para o seu operador, portanto a escolha do método é uma etapa importantíssima no processo de geração de mapas. Dois métodos de interpolação para a geração dos mapas de isolinhas foram pesquisados, sendo os mesmos trabalhados na primeira etapa deste estudo.

A técnica do *Inverso da Distância ao Quadrado* têm sido utilizada em larga escala nos modelos de geração de superfície, e é um método puramente matemático conforme avalia ANDRIOTTI (2003) que não leva em conta a variabilidade dos dados. O método da *Krigagem*, desenvolvida por Daniel G. Krig, é 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. Segundo COELHO (2003), o objetivo da *krigagem* é buscar o melhor conjunto de ponderadores, de tal modo que a variância do erro seja a mínima possível.

Os resultados da primeira etapa mostraram que os valores estimados pelo *Inverso da Distância ao Quadrado* foram mais próximos da realidade, porém todos os trabalhos aqui desenvolvidos optaram pela a técnica da *Krigagem* por alguns motivos que se seguem:

- I. Os resultados obtidos pela *Krigagem*, não se distanciaram tanto da realidade, tanto um quanto outro método pode ser utilizados para estimar os valores;
- II. A *Krigagem* conforme ANDRIOTTI (2003) é um dos métodos mais flexíveis e úteis para “grids” de qualquer tipo de dados. É um método muito recomendável para a geração de “grids”;
- III. Trabalhos anteriores que influenciaram muito o desenvolvimento desta pesquisa como o de MOREIRA (2002) e REIS et al (2004) utilizaram a *Krigagem* para a espacialização de seus dados, permitindo assim a comparação dos resultados aqui encontrados com os demais anteriores.

Os softwares utilizados na geração de mapas de isolinhas foram o ArcView ® 9.0 e o SURFER® 7.0 .

#### 4.2.4 INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO

Para investigar a importância da expansão da rede pluviométrica na cidade de Belo Horizonte optou-se por uma série de análises que seguiram uma rotina pré-determinada. O fato de se analisar primeiramente o coeficiente da variabilidade espacial da chuva e não a expansão propriamente dita, se deu em virtude de se identificar regiões com maiores ou menores variações entre as estações e a estação do Inmet, que foi tomada como padrão. Desta forma, poderia se avaliar, em um primeiro momento, se a localização dos pluviômetros satisfazia a expansão da rede, para, em um segundo momento, avaliar o comportamento da rede em relação a distribuição espacial.

##### **a) ANÁLISE DA VARIABILIDADE DAS CHUVAS EM BELO HORIZONTE**

Inicialmente, quando se procura conhecer a distribuição espacial das chuvas, um questionamento é qual a variabilidade desta no espaço estudado. A proposta aqui desenvolvida foi relacionar o grau de variabilidade mensal de cada estação pluviométrica deste estudo em relação ao posto do Inmet, ou seja, quanto por cento cada estação variou tanto para cima quanto para baixo em relação ao pluviômetro do Inmet, que como já mencionado serviu como padrão.

Para a identificação deste coeficiente utilizou-se um método simples. Para cada mês estudado foi utilizada a seguinte fórmula:

$CV = ((VE / VI * 100)$  onde,

CV = Coeficiente de variação

VE = Valor mensal de cada estação

VI = Valor do INMET

Os resultados obtidos representam a percentagem de variação de cada posto, ou seja, a partir desta simples fórmula foi possível identificar o grau de variação de cada estação em relação ao posto do Inmet, sendo exportados em um segundo momento para um software de Geoprocessamento que permitiu a espacialização e geração de isolinhas de coeficiente de variação.

O período analisado neste tópico compreendeu todos os meses deste estudo, sendo de novembro de 2003 a março de 2005. A Figura 12 abaixo representa um exemplo de mapa obtido através desta metodologia.

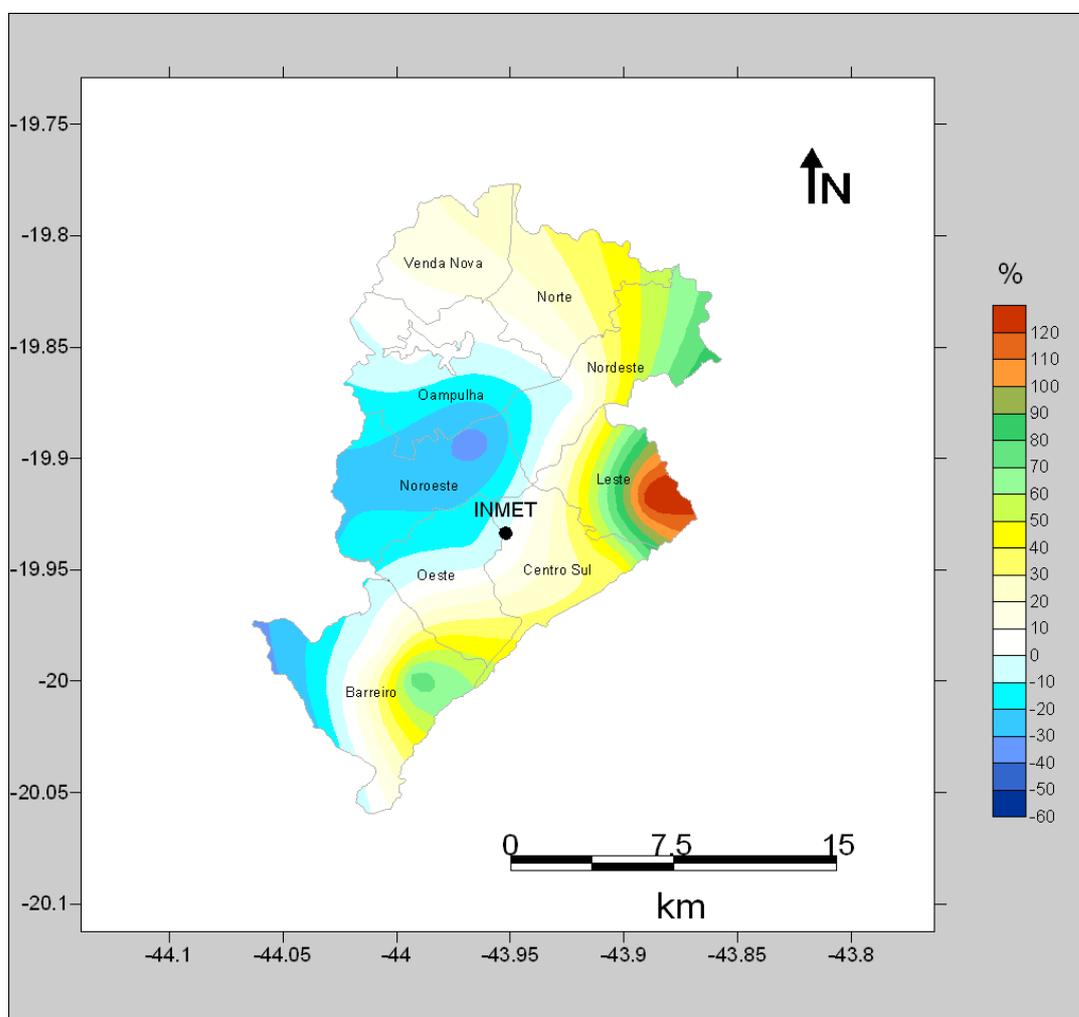


Figura 12. Coeficiente de variação para o mês de março de 2004.

**b) ANÁLISE DA EXPANSÃO DA REDE PARA O PERÍODO CHUVOSO DE 2003/2004 E 2004/2005.**

Com o propósito de identificar o ganho que a expansão da rede pluviométrica traria à análise de precipitação dentro de um centro urbano como a cidade de Belo Horizonte, uma das formas de se avaliar este objetivo foi elaborar mapas de isolinhas mostrando a espacialização das chuvas com diferentes números de pluviômetros, ou seja, foram desenvolvidos vários mapas com 6, 11, e 14 pluviômetros para o mesmo período de análise.

Exemplos de mapas de isolinhas mostrando a variabilidade da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte, em relação ao número de pluviômetros, estão representadas nas Figuras 13, 14 e 15. Onde se observa a distribuição das chuvas para o mês de Janeiro de 2004 com 6 pluviômetros (estações mais antigas), com 11 pluviômetros, e 14 pluviômetros, completando o total das estações instaladas.

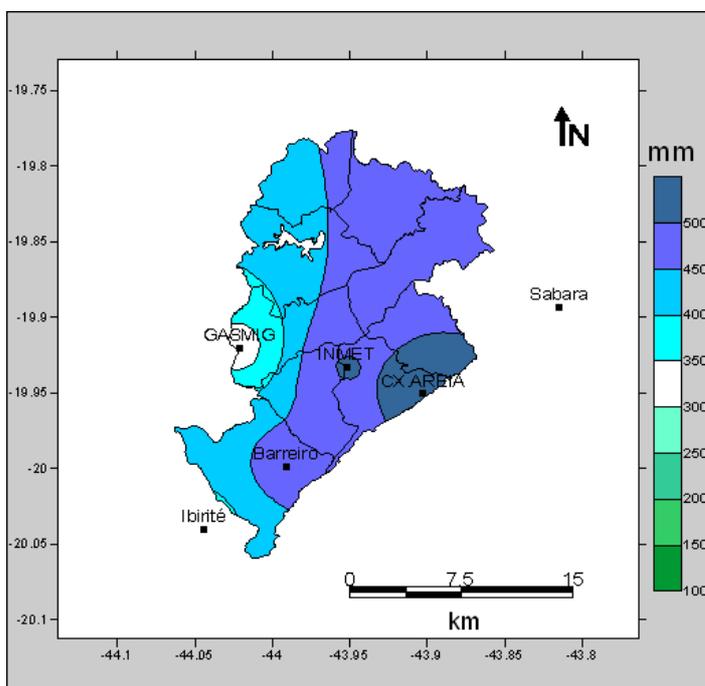


Figura 13. Distribuição espacial das chuvas para Belo Horizonte com 6 pluviômetros, janeiro de 2004.

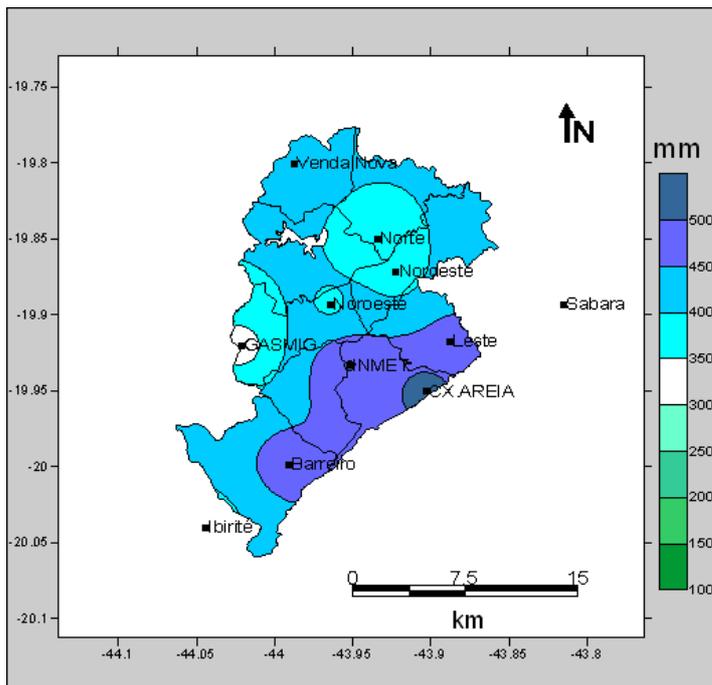


Figura 14. Distribuição espacial das chuvas para Belo Horizonte com 11 pluviômetros, janeiro de 2004.

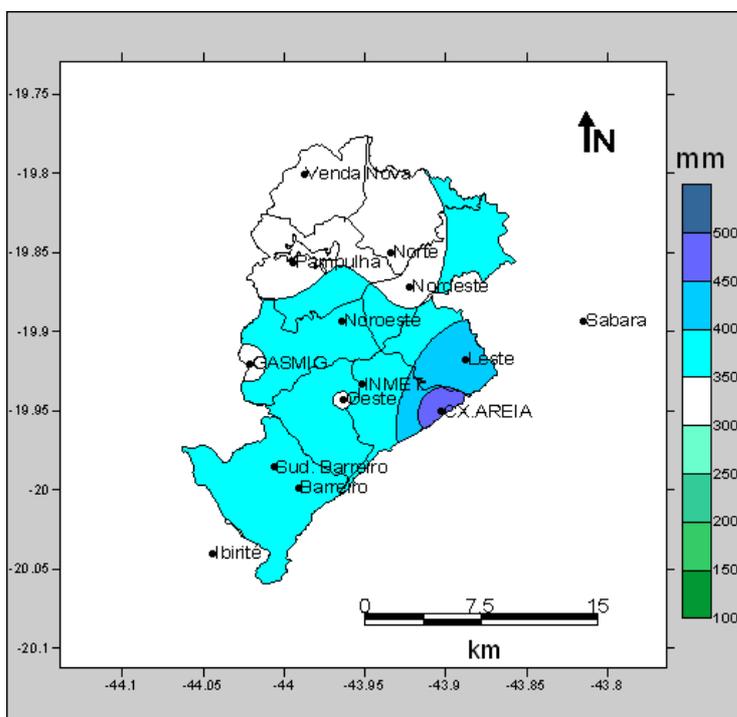


Figura 15. Distribuição espacial das chuvas para Belo Horizonte com 14 pluviômetros, janeiro de 2004.

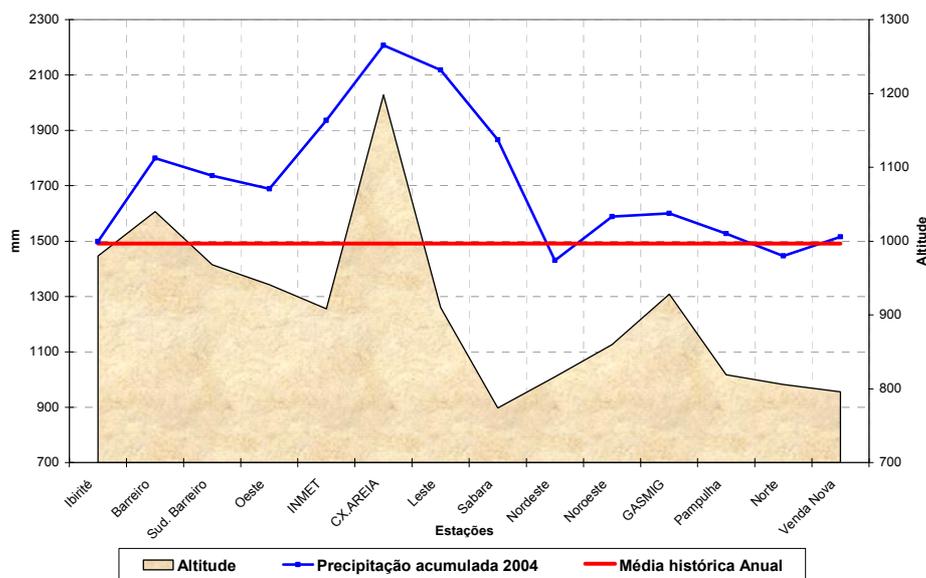
### c) RELAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS E A TOPOGRAFIA LOCAL

Procurando ampliar a compreensão dos efeitos da topografia local, sobre o comportamento das chuvas em Belo Horizonte, foram elaborados além de mapa hipsométrico, digitalizado a partir de cartas do IBGE de 1:50 000, gráficos representando as altitudes de cada posto de coleta relacionado-as com a chuva observada mensal e com a média histórica.

A preocupação maior neste tópico será principalmente com a influência da Serra do Curral, considerado um marco geográfico de expressivo significado simbólico para a região, que conforme XAVIER e OLIVEIRA (1996), constitui um verdadeiro documento da biodiversidade e da geodiversidade, de divisor de águas, de clima, de vegetação e geologia.

A Figura 16 abaixo representa o comportamento das chuvas em relação à média histórica de trinta anos do InMET comparando com as diferentes altitudes dos postos de coletas para o período do ano de 2004.

Figura 16. Gráfico comparativo das chuvas observadas, médias históricas e altimetria dos pluviômetros.



**d) ESTUDO DE CASO – ANÁLISE DIÁRIA DE JANEIRO DE 2004.**

Para a investigação da variabilidade espacial diária das chuvas sobre a influência de outros mecanismos produtores de tempo em Belo Horizonte, foi proposta a análise rítmica, adaptada em função dos objetivos que pretende-se atingir e balizada em um conjunto de procedimentos dos experimentos teórico-metodológicos de MONTEIRO (1969 E 1971) apud ASSIS (2001) e TARIFA (1975).

O período escolhido para a análise, o mês de janeiro de 2004, justifica-se pelos seguintes motivos:

- O mês de janeiro historicamente é um mês com totais pluviométricos elevados;
- Neste mês, os quatorze pluviômetros já estavam instalados e;
- Pelo fato de ter havido um atraso na estação chuvosa de Belo Horizonte (VIANELLO 2004), que resultou em um total pluviométrico ainda mais elevado neste mês.

Foram utilizados nesta etapa do trabalho histogramas com observações diárias dos totais pluviométricos das 14 estações distribuídas pelo município de Belo Horizonte e nas áreas limítrofes, além de gráficos com dados diários da estação climatológica do INMET de temperatura (°C), pressão atmosférica (mb), velocidade do vento (m/s), direção do vento em três horários diferentes e nebulosidade (décimos) além de imagens de satélites do INPE e mapas de distribuição espacial diárias das chuvas em Belo Horizonte.

Com base nestes dados, foi desenvolvida uma análise exploratória visando obter uma descrição do comportamento das chuvas no mês de Janeiro de 2004, influenciados ou não por outros elementos climáticos produtores de tempo, além de se ratificar o ganho da expansão da rede pluviométrica.