

# ESTUDO PARA IDENTIFICAÇÃO DE TENDÊNCIAS TEMPORAIS DA ALTURA ANUAL DE PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE A PARTIR DE MODELOS CLIMÁTICOS

Gladstone R. Alexandre<sup>1</sup>; Márcio B. Baptista<sup>2</sup> & Mauro Naghettini<sup>3</sup>

**RESUMO** --- Os sistemas de recursos hídricos são projetados, usualmente, a partir da suposição de que a sequência temporal de dados hidrológicos seja estatisticamente estacionária. Entretanto, tal suposição pode não ser verificada quando são considerados aspectos como a mudança do uso do solo, variabilidade e mudança climática, etc. Nesses casos, os projetos baseados na estacionariedade dos eventos hidrológicos devem ser revistos, com o intuito de verificar os possíveis impactos destas alterações nas condições operacionais dos sistemas hidráulicos locais. Nesse contexto, potencializado pelas intensas polêmicas e controvérsias relativas a possíveis mudanças climáticas, o presente artigo tem como proposta principal apresentar o estudo de detecção de eventuais tendências nas séries temporais de alturas anuais de chuva na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Para isso, foram analisadas simulações dos modelos climáticos regionais ETA e PRECIS. Foram construídos mapas e gráficos temporais dos cenários simulados pelos dois modelos e, posteriormente, os cenários do *baseline* dos mesmos foram comparados com os dados de chuva observados na RMBH. A análise dos resultados obteve evidências de uma grande discrepância entre os dados simulados pelos modelos climáticos e os dados observados, sugerindo que a análise de cenários futuros gerados pelos mesmos deve ser realizada com muita cautela.

**ABSTRACT** --- Water resources systems are usually designed under the assumption of statistically stationary time series of precipitation and/or streamflow. However, such an assumption must be previously verified if changes in climate and land use are issues of interest. In these cases, designs which are based on the assumption of stationary hydrologic time series should be revised, with the particular objective of verifying the possible impacts of these changes would have on the local water infrastructure. In this context, potentiated by intense controversies about climate change, this paper describes a study for detecting eventual time trends in the series of annual rainfall heights over the Metropolitan Region of Belo Horizonte (RMBH). The climate models ETA and PRECIS have been used within the context of this research. Maps and time series plots of scenarios simulated by the two models have been constructed and compared; the so-called baseline scenarios also have been compared with rainfall data observed in RMBH. Analysis of the results showed a large discrepancy among rainfall volumes simulated by both models and observed data, thus suggesting the analysis of future scenarios generated by climate models should be regarded with caution.

**Palavras-chave:** Precipitação, modelos climáticos, mudanças climáticas.

---

<sup>1</sup>Engenheiro Civil. Pimenta de Ávila Consultoria Ltda. Av. Alameda da Serra, 210/211 – 30.140-970 – Nova Lima – MG – Brasil. Telefone: (31)3286-1711 – Fax: (31)3286-3307. E-mail: [gladstone.alexandre@pimentadeavila.com.br](mailto:gladstone.alexandre@pimentadeavila.com.br)

<sup>2</sup>Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. do Contorno, 842 – 30.110-060 – Belo Horizonte – MG – Brasil. Telefone: (31) 3238-1871 – Fax: (31)3238-1001. E-mail: [marcio.baptista@ehr.ufmg.br](mailto:marcio.baptista@ehr.ufmg.br)

<sup>3</sup>Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais Av. do Contorno, 842 – 30.110-060 – Belo Horizonte – MG – Brasil. Telefone: (31) 3238-1871 – Fax: (31)3238-1001. E-mail: [naghet@netuno.lcc.ufmg.br](mailto:naghet@netuno.lcc.ufmg.br)

## 1 INTRODUÇÃO

O estudo de mudanças em séries temporais de dados hidrológicos é de grande importância científica e prática para a gestão dos recursos hídricos. Em geral, os sistemas de recursos hídricos são projetados a partir da suposição de que a sequência de dados hidrológicos, de vazão ou de precipitação, seja estatisticamente estacionária. Em outras palavras, supõe-se que as características estatísticas essenciais dos processos hidrológicos, tais como suas medidas de posição e variabilidade, permanecem constantes ao longo do tempo. Entretanto, tal suposição pode não ser verificada quando são considerados aspectos como a *mudança de cobertura vegetal*, *variabilidade e mudança climática*. Nesses casos, os projetos baseados na estacionariedade dos eventos hidrológicos devem ser revistos, com o intuito de verificar os possíveis impactos dessas alterações no sistema hidráulico local.

Atualmente, muito se discute, na mídia e no meio científico, sobre as questões relacionadas às mudanças climáticas e os impactos associados a essas alterações no planeta. Uma questão chave nesse cenário refere-se ao entendimento desses impactos: existem evidências de mudanças climáticas em séries hidrometeorológicas? É possível distinguir *mudança climática* de *variação natural do clima*? Outras mudanças progressivas no meio ambiente, tais como urbanização e desflorestamento, podem ser associadas às mudanças climáticas globais? Para auxiliar a avaliação dessas questões, é essencial compreender o significado dos termos *mudança climática* e *variabilidade climática*. Tucci e Braga (2003) definem o primeiro termo como sendo o processo de mudança do clima ocasionado pelas atividades humanas. Já o segundo, diz respeito a um processo de variação do clima condicionado por fatores e alterações naturais no globo terrestre.

Tendo em vista a forte variabilidade natural, sobretudo nas vazões, que por vezes está associada ao uso do solo na bacia, torna-se bastante difícil detectar mudanças nas séries temporais de dados hidrológicos devidas a mudanças do clima. Apesar de parecer intuitivo que mudanças na temperatura possam acarretar alterações na evaporação e, conseqüentemente, na precipitação, essas alterações podem não se refletir no escoamento superficial. No entanto, embora haja uma grande dificuldade em se determinar com precisão essas alterações e, principalmente, a origem das mesmas, estudos de mudanças em séries hidrológicas são importantes e oportunos para auxiliar os gestores de recursos hídricos.

Em função disso, é importante que os registros hidrológicos sejam analisados criteriosamente, a fim de buscar evidências de mudanças nos dados de uma série temporal. Nesse contexto, muitos testes estatísticos podem ser utilizados para identificar eventuais alterações em séries temporais de dados hidrológicos e hidrometeorológicos.

Por outro lado, estudos com a utilização de modelos climáticos globais e regionais sugerem cenários futuros, como por exemplo, das variáveis precipitação e temperatura, que podem também auxiliar esse tipo de análise.

À luz dessas considerações, o presente artigo pretende contribuir para a avaliação das mudanças no regime anual de chuvas da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), mediante utilização de resultados sugeridos por modelos climáticos regionais.

## 2 CONTEXTO E JUSTIFICATIVAS

Observa-se com crescente frequência o aparecimento de estudos e técnicas diversas que têm como objetivo determinar a possível existência de evidências de mudanças em séries hidrológicas temporais. Esses estudos, em sua grande maioria, englobam séries pluviométricas e fluviométricas reduzidas de valores médios, máximos e mínimos. Para auxiliar esse tipo de avaliação, são utilizados modelos climáticos de circulação global e regional, bem como determinadas ferramentas estatísticas.

Em particular, em se tratando da utilização de modelos climáticos, destaca-se o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Ligado às Nações Unidas, esse painel científico procura avaliar o conhecimento existente no mundo sobre a mudança climática global (TUCCI & BRAGA, 2003). Em Fevereiro de 2007, foi divulgado o Quarto Relatório de Avaliação de Mudanças no Clima do Planeta, chamado de IPCC-AR4. Segundo o IPCC (2007), projeta-se, para até o ano de 2100, um aumento da temperatura global entre 2°C e 4,5°C. Em decorrência disso, é prevista uma alteração que influenciará fortemente o regime de chuvas no mundo. Ainda de acordo com o relatório, esse aquecimento global influenciado, muito provavelmente, pelas atividades humanas, lideradas pela queima de combustível fóssil, provocará o aumento da incidência de eventos extremos, como por exemplo, verões ou invernos excepcionalmente chuvosos ou secos. Particularmente para o Brasil, indica-se, para o futuro, um aumento de chuvas e ventos no litoral, bem como da intensidade das tempestades extratropicais, fenômeno que atinge as regiões Sul e Sudeste do país. Já para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, o estudo prevê uma redução de chuvas.

Em outro estudo, publicado em Julho de 2007, na revista *Nature*, Zhang *et al.* (2007), afirmaram, também, que a mudança no regime de chuvas observada em todo o mundo ao longo do último século é consequência do aquecimento global, causado, sobretudo, pela ação antrópica. Além disso, esse trabalho alerta para a tendência de áreas secas ficarem mais secas e áreas chuvosas, mais chuvosas.

O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, juntamente com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), assumiram a tarefa de produzir os cenários contrastantes de

mudanças climáticas sugeridos pelo IPCC (A2-altas emissões e B2-baixas emissões de gases de efeito estufa) para o Brasil e América do Sul, como parte das atividades do Programa Nacional de Mudança Climática do Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil. Segundo Marengo *et al.* (2007), com o aquecimento global, algumas regiões do Brasil e da América do Sul terão seus índices de temperatura e chuva aumentados, e, em outras, diminuídos. De acordo com esses autores, juntamente com a mudança ou não dos padrões pluviiais anuais, as chuvas isoladas poderão ser mais intensas e os temporais mais frequentes.

Apesar dessas evidências de mudanças em séries hidrológicas, não se pode afirmar, de forma conclusiva, que tais alterações se devem às mudanças climáticas ou às modificações de uso do solo ou à variabilidade climática natural. De fato, esse é um tema que causa polêmica e controvérsias entre climatologistas de todo o mundo (GALVIN, 2008; MOLION, 2008; CHAPMAN, 2008; entre outros).

Sendo assim, diante desse cenário de especulações e incertezas quanto aos impactos causados pelas mudanças climáticas em séries hidrológicas e hidrometeorológicas, o presente trabalho visa a contribuir com a análise de tendências do regime anual de chuvas na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), utilizando para tal, resultados simulados por modelos climáticos.

### **3 MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS E REGIONAIS**

As previsões climáticas são realizadas a partir da utilização de modelos cuja estrutura matemática é bastante complexa. Tendo isso em vista, computadores com alta capacidade de processamento e armazenamento (*supercomputadores*) são utilizados para essa finalidade. Em se tratando de mudanças climáticas, esses modelos são utilizados como ferramentas para projeções de futuras mudanças do clima, como consequência de futuros cenários de forçantes climáticas, correspondentes aos gases de efeito estufa e aerossóis (TUCCI & BRAGA, 2003).

Essas simulações da circulação atmosférica são realizadas a partir de modelos climáticos globais e regionais, nos quais se inserem, particularmente, os trabalhos desenvolvidos pelo IPCC e CPTEC.

De acordo com o Centro de Distribuição de Dados do IPCC – *The IPCC Data Distribution Centre* (IPCC-DDC), os estudos descritos em IPCC (2007) partiram da análise de 23 Modelos de Circulação Global Atmosféricos (MCGAs), sendo que a resolução espacial dos mesmos é definida por pontos de grade que podem chegar a centenas de quilômetros. Em razão da baixa resolução espacial oferecida por esses modelos, a possibilidade deles simularem/preverem com exatidão satisfatória alguma variação, por exemplo, da temperatura ou precipitação, em escala regional, torna-se limitada. Dessa forma, para melhorar as previsões em escala regional, são utilizadas técnicas de transferência da informação gerada pelos MCGAs em larga escala, para escalas

menores, chamadas técnicas de “*downscaling dinâmico*”, a partir de Modelos Climáticos Regionais - MCR (AMBRIZZI *et al.*, 2007).

Em geral, as saídas desses modelos climáticos, sejam globais ou regionais, contêm informações sobre os quatro cenários (A1, A2, B1 e B2) estabelecidos no Relatório Especial sobre Cenários de Emissão - *Special Report on Emission Scenarios* (SRES). Em termos de emissões de gases de efeito estufa, os cenários A1FI, A2 e A1B são considerados os mais “pessimistas” (taxas mais elevadas de gases na atmosfera), enquanto que os cenários B2, A1T e B1 são os mais “otimistas” (taxas mais baixas de gases na atmosfera).

Os dados obtidos por esses modelos climáticos globais e regionais podem ser visualizados e processados a partir do *software Grid Analysis and Display System* (GrADS). Em se tratando de visualização, este é o *software* mais utilizado na área de pesquisa em meteorologia em todo o mundo e uma de suas vantagens é a distribuição gratuita pela internet para os diversos tipos de ambientes computacionais (CHAVES & RODRIGUEZ, 2001).

Com relação a esses resultados obtidos pelos modelos climáticos, Randall *et al.* (2007) atestam a importância desses dados simulados serem comparados com os dados observados, com o intuito de verificar possíveis problemas nas simulações. Dessa forma, é imprescindível que os dados observados também passem por uma avaliação preliminar a fim de evitar erros nessa avaliação.

#### **4 DEFINIÇÃO METODOLÓGICA PARA O ESTUDO DE TENDÊNCIAS TEMPORAIS NAS SÉRIES DE ALTURAS ANUAIS DE CHUVAS**

Os trabalhos foram desenvolvidos em duas etapas distintas: a primeira correspondeu à avaliação das simulações dos modelos climáticos regionais ETA e PRECIS para os totais anuais de precipitação; a segunda etapa, por sua vez, propôs verificar a similaridade entre os dados de chuva observados na RMBH e simulados pelos modelos climáticos regionais.

##### **4.1 Processamento e Visualização dos Dados dos Modelos Climáticos ETA e PRECIS**

Foram obtidos, junto ao CPTEC, os resultados simulados pelos modelos climáticos regionais ETA e PRECIS (*Providing Regional Climates for Impact Studies*) para a variável altura diária de precipitação (mm/dia). Essas simulações correspondem a três cenários distintos:

- **Baseline:** cenário correspondente ao período de 1960 a 1990, que serviu para calibração dos modelos;
- **Cenário B2:** cenário correspondente a emissão de taxas menos elevadas de gases de efeito estufa na atmosfera para o período de 2070 a 2100;
- **Cenário A2:** cenário correspondente a emissão de taxas mais elevadas de gases de efeito estufa na atmosfera para o período de 2070 a 2100.

Esses arquivos disponibilizados pelo CPTEC, em formato binário, necessitaram de um programa específico para o processamento e visualização dos resultados simulados pelos modelos ETA e PRECIS. Com essa finalidade, foi utilizado, nesse trabalho, o *software* GrADS, que, conforme menção anterior, é o programa mais utilizado na área de meteorologia para este tipo de avaliação.

Com o processamento dos dados no *software* GrADS, foram construídos mapas de precipitação anual para os três cenários mencionados anteriormente. A partir desses mapas, determinou-se a média regional das tendências de precipitação anual para cada ano dos períodos mencionados. Dessa maneira, foram construídos gráficos temporais regionais de precipitação anual dos modelos ETA e PRECIS.

#### **4.2 Análise Comparativa entre as Séries Observadas de Chuva e as Séries Simuladas pelos Modelos Climáticos Regionais**

Nessa etapa, foi realizada uma comparação entre os dados de chuva anual observados na RMBH com os valores simulados pelos modelos climáticos regionais ETA e PRECIS na região.

Antes da análise dos dados observados de chuva, os mesmos passaram por uma avaliação preliminar, de modo a evitar a propagação de erros sistemáticos ao longo do estudo comparativo. Essa avaliação preliminar contemplou o preenchimento das eventuais falhas nas séries utilizando o *Método de Ponderação Regional com Base em Regressões Lineares*, descrito por Tucci (2001). Após o preenchimento das falhas, as séries de precipitação foram consistidas utilizando o *Método de Dupla Massa*, tal como descrito em Tucci (2001).

Posteriormente, foi feita uma comparação entre os resultados regionais simulados pelos modelos climáticos com a média de precipitação anual das vinte estações pluviométricas selecionadas para o presente estudo, buscando identificar a relação entre os dados medidos na RMBH e os valores simulados pelos modelos climáticos. Em seguida, foram obtidos, a partir dos mapas de precipitação do modelo PRECIS, os dados de precipitação anual para as cinco estações pluviométricas selecionadas como representativas do regime pluviométrico da RMBH. Assim, foram construídos gráficos temporais comparando os dados medidos nessas estações com os valores simulados no cenário *baseline* do modelo climático PRECIS, fazendo, ao final, uma avaliação da similaridade destes resultados.

## **5 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE**

A seleção da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) para desenvolvimento do estudo é justificada, fundamentalmente, pela ausência de estudos de tendências no regime anual de chuvas da região. Além disso, trata-se de uma área que, aparentemente, demonstra estar sendo

afetada por eventos extremos de chuva cada vez mais frequentes, demandando o maior aprofundamento de estudos dessa natureza.

Nos itens a seguir, descreve-se a aplicação das etapas metodológicas precedentemente apresentadas no estudo relativo à RMBH.

## 5.1 Descrição da Área de Estudo

A RMBH, drenada pelas sub-bacias dos rios das Velhas e Paraopeba, afluentes da margem direita do rio São Francisco, está localizada geograficamente entre as latitudes 19°00' e 20°30' sul e longitudes 43°15' e 44°45' oeste, na porção central do Estado de Minas Gerais, como indicado na Figura 1. Segundo o censo demográfico de 2007, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, a região abrange uma área de 9.459,10 km<sup>2</sup>, sendo constituída por 34 municípios, com uma população estimada em cerca de cinco milhões de habitantes.

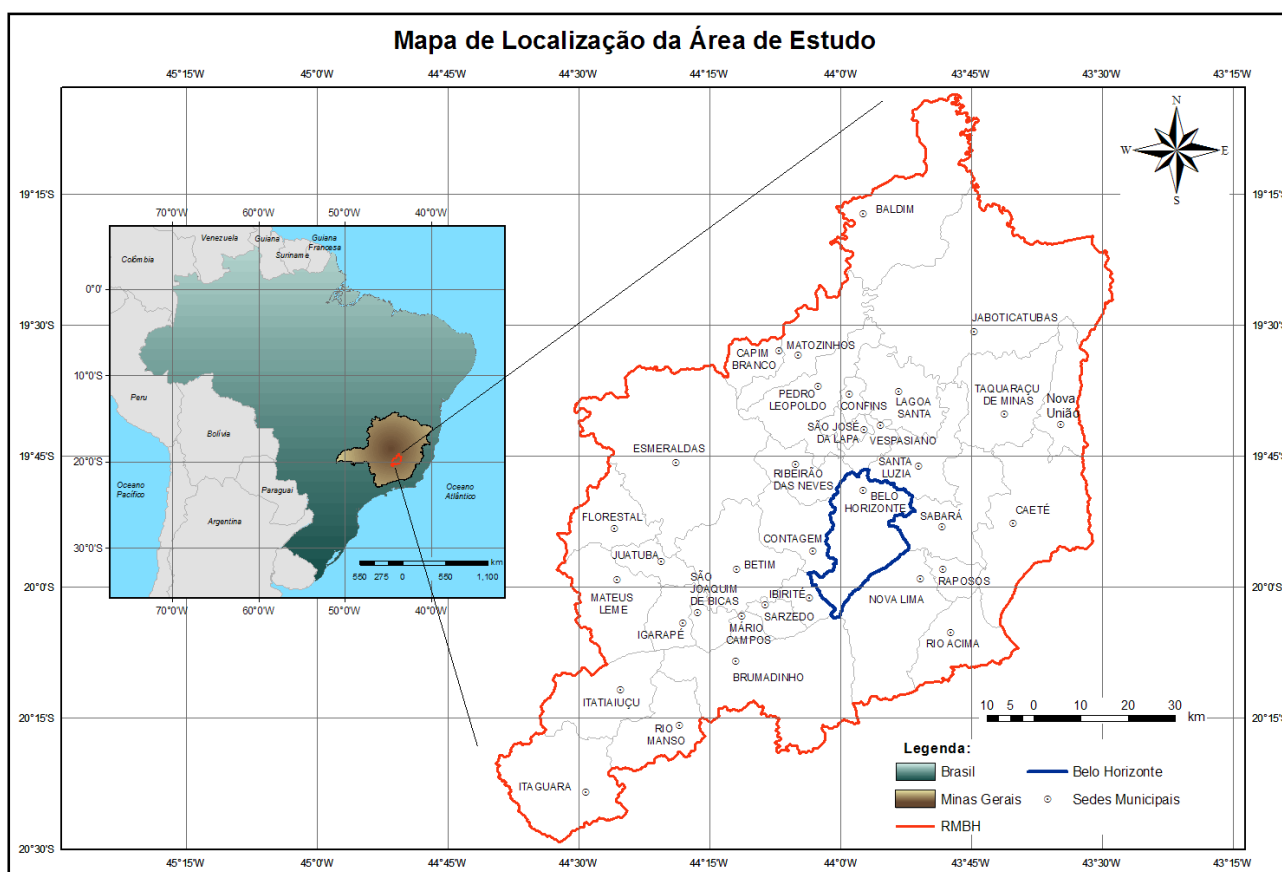


Figura 1 – Mapa de Localização da Área de Estudo

De acordo com a classificação climática do IBGE, a RMBH está inserida em uma área de transição climática, na qual são indicadas as classificações *Clima Tropical Brasil Central Subquente* e *Clima Tropical Brasil Central Mesotérmico Brando*.

Segundo Quadro e Abreu (1994) *apud* Santos (2002), a RMBH encontra-se, durante todo o ano, sob o domínio do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, sendo que durante os meses de

maior atividade convectiva, a Zona de Convergência do Atlântico Sul é um dos principais mecanismos para produção de chuvas nessa região.

Com relação ao regime de chuvas, a RMBH pode ser considerada uma região chuvosa, com precipitação média anual girando em torno de 1500 mm. A distribuição da precipitação durante o ano é bem definida, sendo o período mais chuvoso compreendido entre outubro e março.

## 5.2 Seleção e Tratamento Preliminar dos Dados de Chuva na RMBH

Foram selecionadas 20 estações pluviométricas na RMBH com, pelo menos, 50 anos de registros, destacando-se a estação Mineração Morro Velho (01943000) com 149 anos de dados. Na Tabela 1, apresentam-se a localização e o período de dados das estações utilizadas, enquanto que na Figura 2, mostra-se o mapa de localização dessas estações pluviométricas. Das estações listadas na Tabela 1, 18 séries pluviométricas estão disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA), enquanto que as outras duas (01943054 e 01944052) foram obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Tabela 1 – Estações Pluviométricas Utilizadas no Estudo

Nº	Código	Nome da Estação	Tipo*	Município	Período
1	01943000	Mineração Morro Velho	P	Nova Lima	1855 - 2003
2	01943004	Jaboticatubas	P	Jaboticatubas	1942 - 2007
3	01943006	Sabará	P	Sabará	1942 - 2007
4	01943009	Vespasiano	P/R	Vespasiano	1942 - 2007
5	01943010	Caeté	P/R	Caeté	1942 - 2007
6	01943022	Caixa de Areia	P/R	Belo Horizonte	1941 - 2007
7	01943023	Taquaraçu	P	Taquaraçu de Minas	1942 - 2007
8	01943024	José de Melo	P	Nova União	1944 - 2007
9	01943035	Vau da Lagoa	P/R	Santana do Riacho	1956 - 2007
10	01943054	Lourdes	P/C	Belo Horizonte	1955 - 2005
11	01944004	Ponte Nova do Paraopeba	P/R	Juatuba	1942 - 2007
12	01944007	Fazenda Escola Florestal	P	Florestal	1942 - 2007
13	01944009	Pedro Leopoldo	P/R	Pedro Leopoldo	1942 - 2007
14	01944048	Mateus Leme	E	Mateus Leme	1942 - 2001
15	01944052	Sete Lagoas	P/R/E/C	Sete Lagoas	1955 - 2005
16	01944055	Betim-COPASA	P	Betim	1942 - 2007
17	02043002	Lagoa Grande (MMV)	P/R	Nova Lima	1941 - 2007
18	02043004	Rio do Peixe (MMV)	P	Nova Lima	1941 - 2007
19	02044008	Melo Franco	P	Brumadinho	1941 - 2007
20	02044012	Ibirité	P	Ibirité	1945 - 2007

\*P: estação com pluviômetro; R: estação com pluviógrafo; E: estação com tanque evaporimétrico



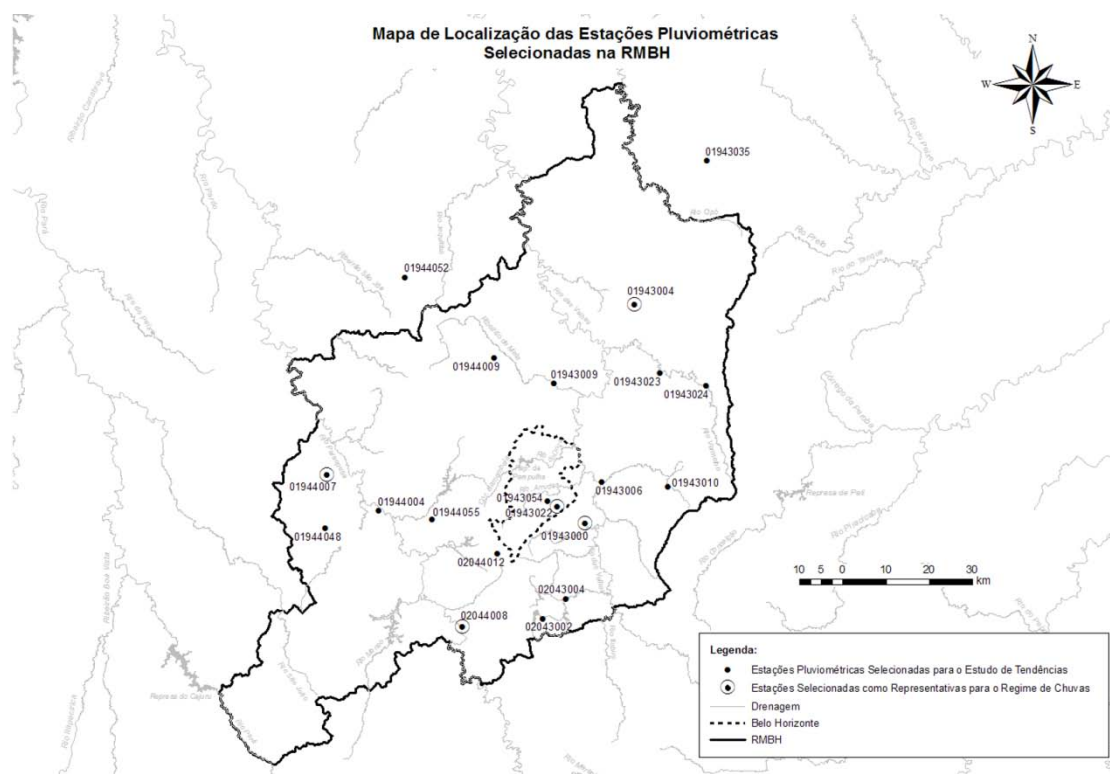


Figura 2 – Mapa de Localização das Estações Pluviométricas Seleccionadas na RMBH

Os períodos faltosos foram preenchidos pelo *Método de Ponderação Regional com Base em Regressões Lineares* e a consistência dos dados foi realizada mediante a aplicação do *Método de Dupla Massa*. Das 20 estações listadas na Tabela 1, as seguintes 5 estações foram escolhidas como representativas do regime anual de chuvas da RMBH para a análise comparativa entre os dados observados na RMBH e os valores simulados pelo modelo climático PRECIS, que são indicadas, também, na Figura 2: Mineração Morro Velho as (01943000), Jaboticatubas (01943004), Caixa de Areia (01943022), Fazenda Escola Florestal (01944007) e Melo Franco (02044008).

### 5.3 Processamento e Visualização dos Dados dos Modelos ETA e PRECIS

Com o processamento dos dados no programa GrADS, foram construídos mapas de precipitação total anual para a RMBH, referentes aos três cenários de simulações dos modelos ETA e PRECIS. Como exemplo, apresenta-se, na Figura 3, um desses mapas do modelo PRECIS para o ano de 2070 e cenário A2.

Na Figura 3, são indicadas, ainda, as cinco estações selecionadas como representativas do regime pluviométrico da RMBH, que servirão, posteriormente, para a análise comparativa entre os dados observados na região e os valores simulados pelo modelo PRECIS. A identificação da RMBH e das estações de precipitação nos mapas foi feita mediante utilização do programa AutoCAD.

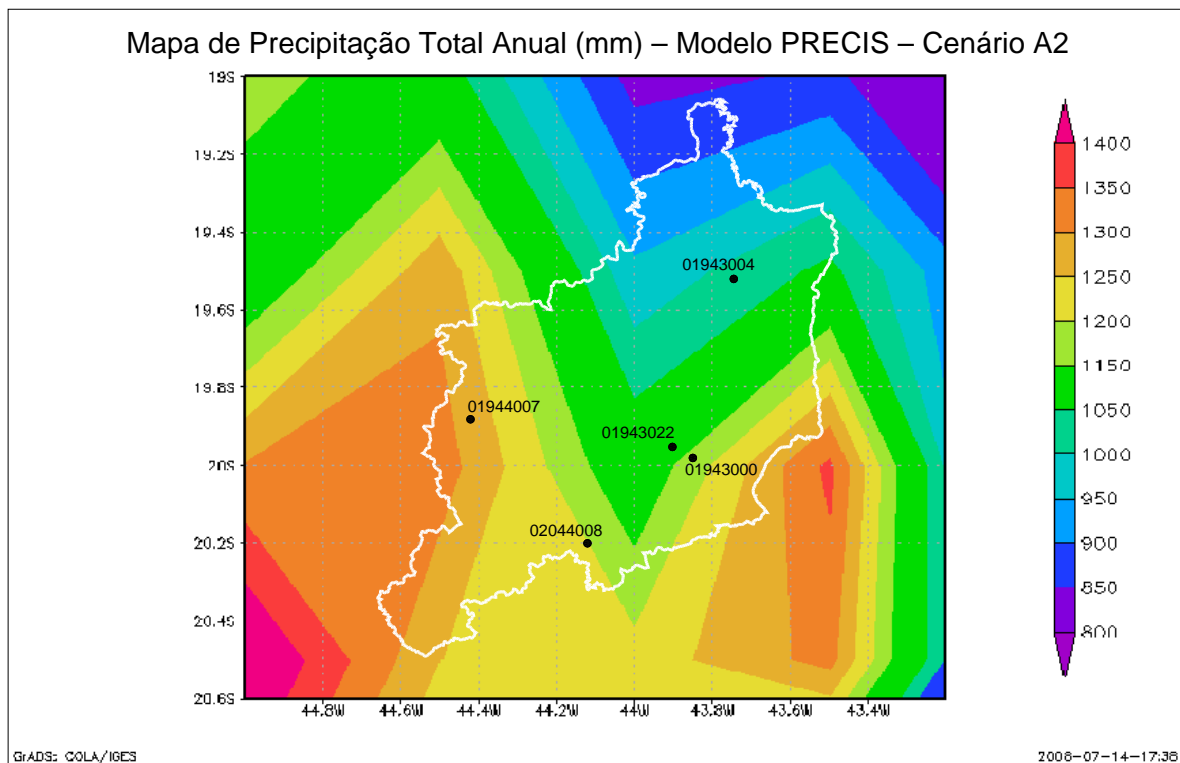


Figura 3 – Mapa de Precipitação Total Anual do Modelo PRECIS: Cenário A2 – Ano 2070

Em seguida, com a média das precipitações totais anuais de cada um desses mapas foram obtidas, a partir do *software* GrADS, as séries temporais para os cenários dos dois modelos, como mostra a Figura 4.

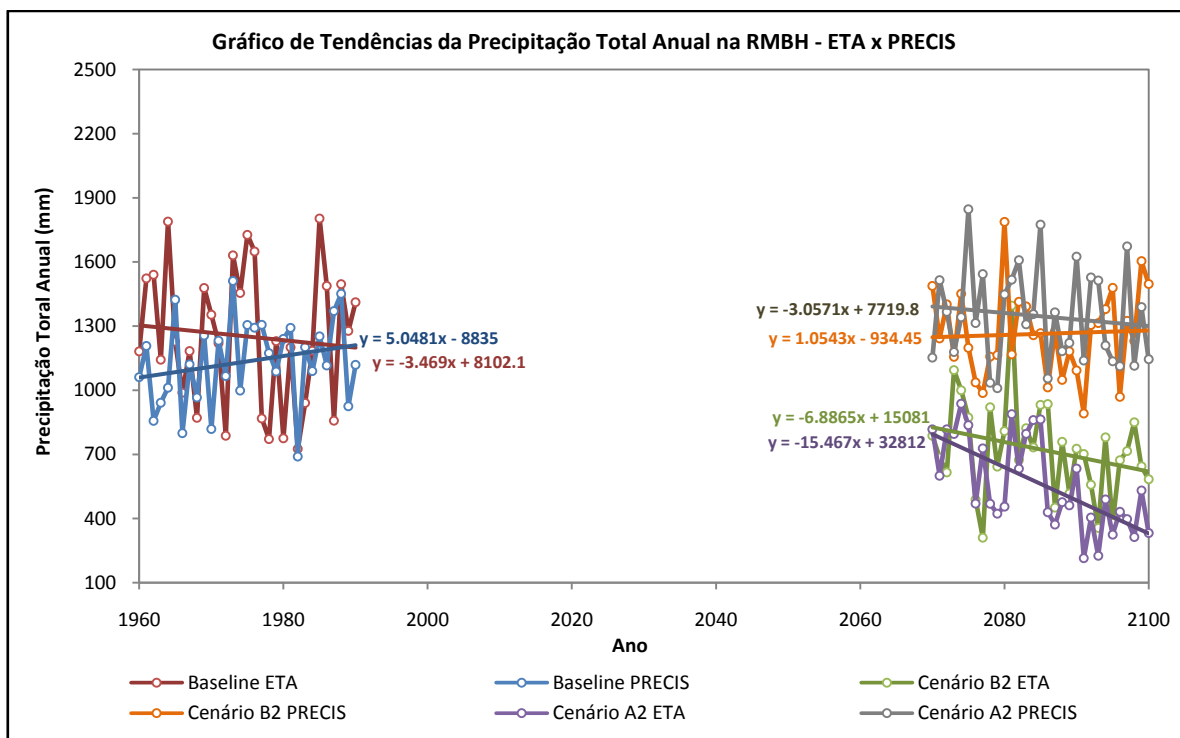


Figura 4 – Gráficos de Tendências da Precipitação Total Anual na RMBH dos Modelos ETA e PRECIS

Na sequência, faz-se, na Tabela 2, um cotejo comparativo entre as médias de longo termo da precipitação anual para cada uma das situações apresentadas na Figura 4.

Tabela 2 – Médias da Precipitação Total Anual (mm) na RMBH para os Modelos ETA e PRECIS

Cenários	Média da Precipitação Total Anual na RMBH (mm)	
	ETA	PRECIS
Baseline	1250,90	1134,89
B2	722,70	1263,72
A2	562,30	1345,78

Observa-se, a partir da Figura 4 e da Tabela 2, uma grande divergência entre os dados do modelo ETA e do modelo PRECIS, sobretudo para os cenários futuros de precipitação. Esse fato já havia sido observado por Ambrizzi *et al.* (2007), quando foram constatados acréscimos de precipitação em determinados modelos e decréscimos em outros.

No caso do modelo ETA, sugerem-se cenários futuros de precipitação que podem ser comparados a cenários típicos de regiões semi-áridas, uma vez que a situação mais pessimista (cenário A2) indica para a RMBH uma precipitação média anual de, aproximadamente, 560 mm. Já os resultados apresentados pelo modelo PRECIS, mostram maior coerência com o regime de chuvas anual observado na RMBH.

Mesmo assim, é possível constatar que os cenários *baseline* sugeridos pelos dois modelos apontam desvios significativos em relação ao que é observado na região, tendo em vista que a precipitação média anual na RMBH gira em torno dos 1500 mm, como mencionado anteriormente. Essa constatação torna evidente o nível de incerteza inerente aos modelos climáticos, sugerindo que os resultados obtidos com tais ferramentas devem ser interpretados com muita cautela.

Dessa forma, infere-se que a grande divergência observada entre os cenários futuros dos modelos ETA e PRECIS pode ser um reflexo da dificuldade que os mesmos apresentaram em reproduzir, de maneira mais adequada, o período base das simulações de precipitação anual (1960-1990) na RMBH.

#### **5.4 Análise Comparativa entre os Dados Observados na RMBH com os Valores Simulados pelos Modelos ETA e PRECIS**

A questão levantada no tópico anterior, referente à diferença entre os dados de precipitação observados na RMBH com os valores simulados pelos modelos ETA e PRECIS, será tratada, aqui, com mais detalhes.

Inicialmente, foi feita uma análise regional, isto é, foram obtidas as médias de precipitação anual das vinte estações pluviométricas selecionadas neste estudo para o período do cenário *baseline* (1960-1990). Assim, foi construída a série temporal da média dos dados observados na

RMBH, que foi comparada com os gráficos já apresentados na Figura 4, resultando nas Figuras 5 e 6.

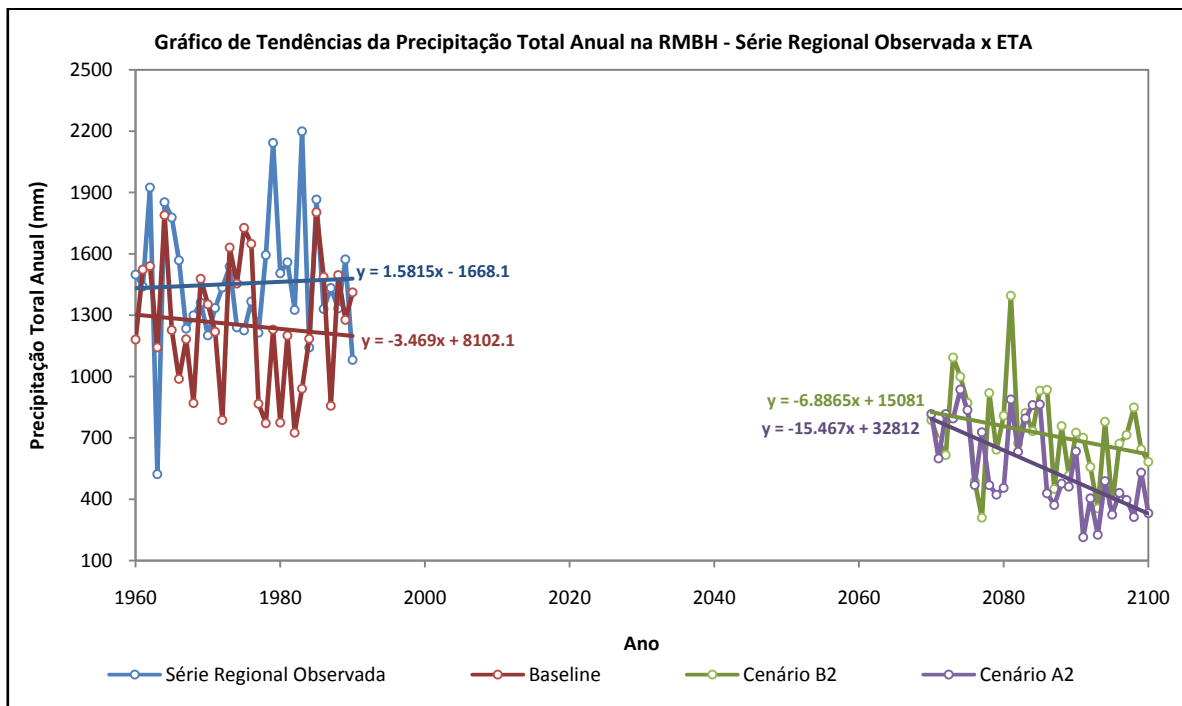


Figura 5 – Gráficos de Tendências da Precipitação Total Anual na RMBH: Série Regional Observada x ETA

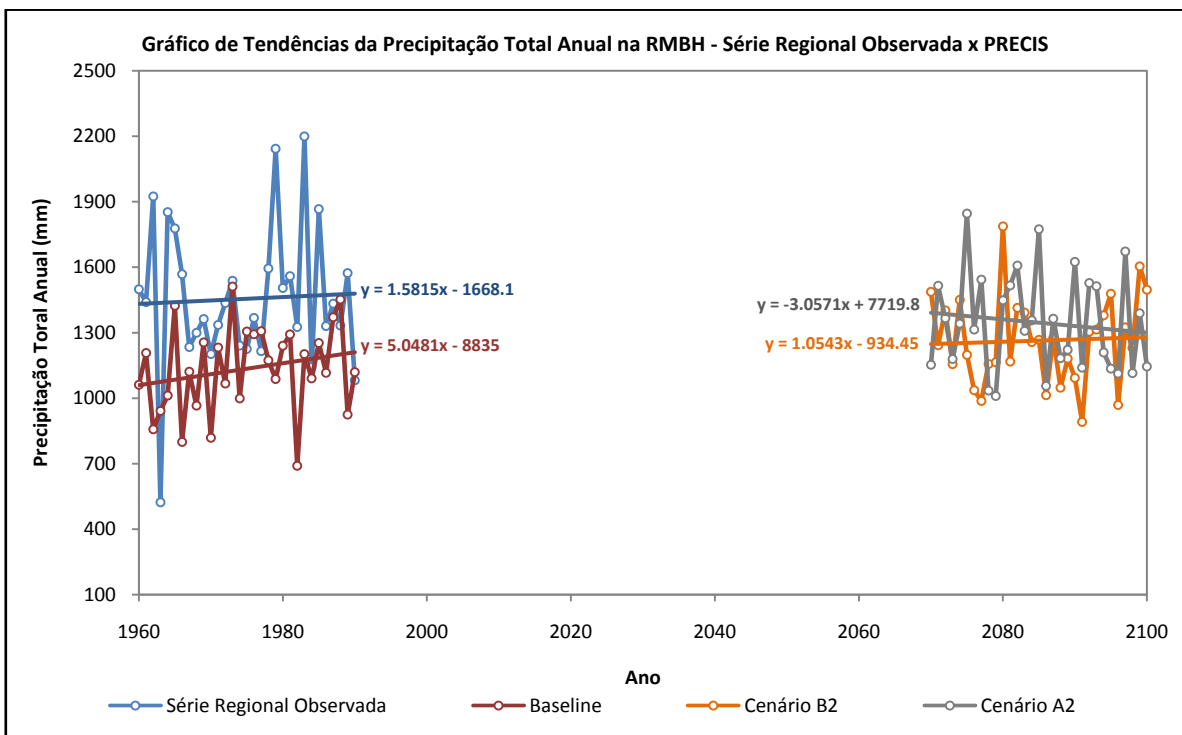


Figura 6 – Gráficos de Tendências da Precipitação Total Anual na RMBH: Série Regional Observada x PRECIS

Já na Tabela 3, apresenta-se um cotejo comparativo entre as médias de longo termo das séries temporais apresentadas nas Figuras 5 e 6.

Tabela 3 – Médias da Precipitação Total Anual (mm) para os Resultados dos Modelos Climáticos Regionais e para os Dados Observados na RMBH

Modelos Climáticos Regionais			Dados Observados na RMBH
Cenário	ETA	PRECIS	
Baseline	1250,9	1134,89	1455,41
B2	722,7	1263,72	-
A2	562,3	1345,78	-

De acordo com os resultados apresentados nas Figuras 5 e 6 e na Tabela 3, é possível verificar grande discrepância entre os dados simulados pelos modelos climáticos regionais e os dados observados na RMBH no período de 1960-1990 (*Baseline*). Isso demonstra a dificuldade que os modelos encontraram em representar o clima presente da região, o que reforça a constatação feita anteriormente. Cabe ressaltar ainda que até mesmo o cenário mais pessimista do modelo PRECIS (cenário A2) sugeriu precipitações inferiores às observadas na RMBH atualmente. Esse fato deve estar associado, provavelmente, aos erros apresentados no período de calibração dos modelos (1960-1990).

Em sequência, foi desenvolvida uma análise mais pontual do modelo climático PRECIS, comparando os resultados simulados pelo mesmo com os dados observados nas cinco estações selecionadas como representativas para a RMBH (Mineração Morro Velho-01943000, Jaboticatubas-01943004, Caixa de Areia-01943022, Fazenda Escola Florestal-01944007 e Melo Franco-02044008) indicadas no exemplo da Figura 1. Para esse estudo, os dados dos três cenários do modelo climático regional para os pontos de localização das cinco estações pluviométricas foram obtidos por meio de interpolação linear no programa AutoCAD.

Dessa forma, foram obtidas séries temporais de precipitação anual, das quais algumas estão ilustradas nas Figuras 7 a 8, como exemplos, por meio dos gráficos da Estação Mineração Morro Velho (01943000) e Estação Caixa de Areia (01943022).

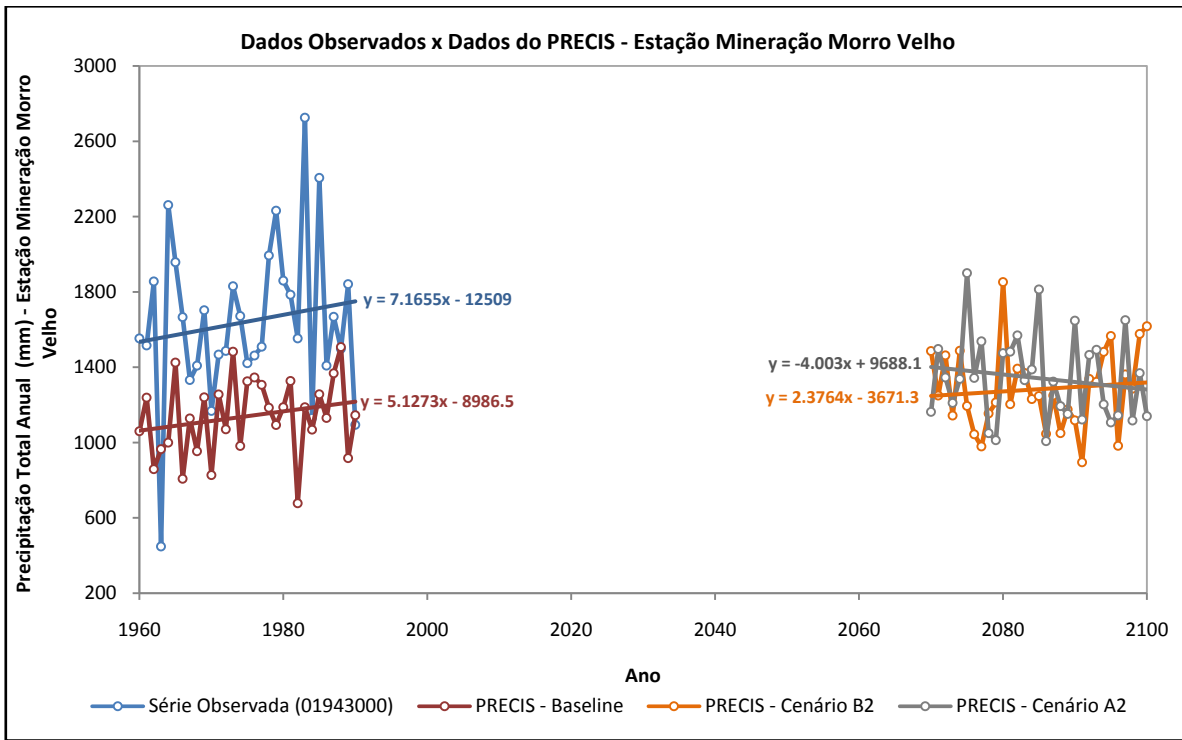


Figura 7 – Gráficos de Tendências da Precipitação Total Anual na RMBH dos Dados Observados x Dados do PRECIS: Estação Mineração Morro Velho

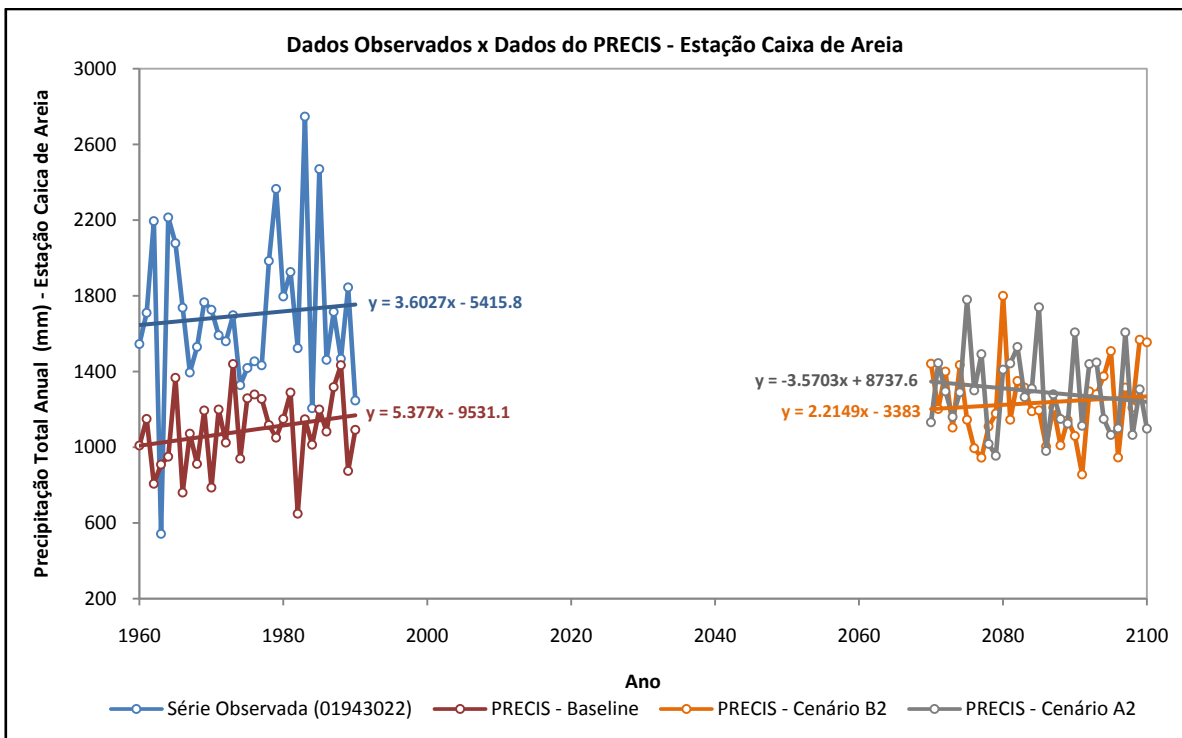


Figura 8 – Gráficos de Tendências da Precipitação Total Anual na RMBH dos Dados Observados x Dados do PRECIS: Estação Caixa de Areia

Como síntese, apresenta-se, na Tabela 4, as médias de longo termo das séries temporais construídas para as cinco estações selecionadas como representativas do regime anual de chuvas da RMBH.

Tabela 4 – Médias da Precipitação Total Anual (mm) dos Dados Observados e dos Dados do Modelo PRECIS: Estações Pluviométricas Representativas do Regime Pluviométrico da RMBH

Estação	Dados Observados na RMBH	Dados do Modelo PRECIS		
		Baseline	B2	A2
1943000	1642,51	1139,99	1283,41	1341,98
1943004	1277,33	1061,88	1185,44	1250,72
1943022	1699,57	1088,38	1235,04	1293,54
1944007	1402,86	1164,91	1316,16	1413,56
2044008	1318,31	1078,76	1242,49	1314,12

Como observado nas Figuras 7 e 8 e na Tabela 4, os dados observados das estações selecionadas como representativas do regime de chuvas da RMBH em relação aos resultados simulados pelo modelo PRECIS (*baseline*) apresentam discordâncias similares às verificadas na comparação dos dados regionais observados na RMBH com os dados do modelo climático regional. Isso mostra que os resultados analisados regionalmente na RMBH não sofreram alterações significativas quando analisados de forma local.

Com relação aos cenários futuros, cabe ressaltar que as estações Jaboticatubas (01943004), Fazenda Escola Florestal (01944007) e Melo Franco (02044008) indicaram, apenas para o cenário mais crítico (cenário A2), precipitações que podem ser comparadas às observadas nestas três estações. Para as demais situações, o modelo PRECIS subestimou, consideravelmente, as chuvas observadas no período de 1960-1990. Entretanto, como já mencionado anteriormente, essas imprecisões constatadas nos cenários futuros devem estar associadas à dificuldade que o modelo apresentou em representar, de forma mais adequada, as alturas anuais de chuvas observadas na RMBH.

## 6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A comparação inicial realizada entre os valores de precipitação total anual simulados pelos modelos climáticos ETA e PRECIS indicou, de forma clara, o grau de incerteza inerente a essas simulações para a variável chuva. De modo geral, enquanto o modelo PRECIS projetava tendências positivas na precipitação anual, o modelo ETA descrevia diminuições substanciais nos totais anuais de chuva da RMBH. Já no caso da temperatura média anual, os resultados dos dois modelos foram mais coerentes, sendo que em ambos foram apresentadas tendências positivas.

Pôde ser constatado, ainda, que os modelos climáticos regionais ETA e PRECIS demonstraram pouca destreza em representar o clima atual da RMBH. Isso pode ser atestado pela grande discrepância indicada entre os dados observados na região com os valores processados pelo *baseline* do modelo climático PRECIS, seja no caso da precipitação ou da temperatura.

O gráfico de dispersão entre a média dos dados simulados e a média dos dados observados, apresentado na Figura 9, demonstra de forma mais clara essa discrepância entre os dados medidos na RMBH e os valores simulados pelos modelos climáticos regionais.

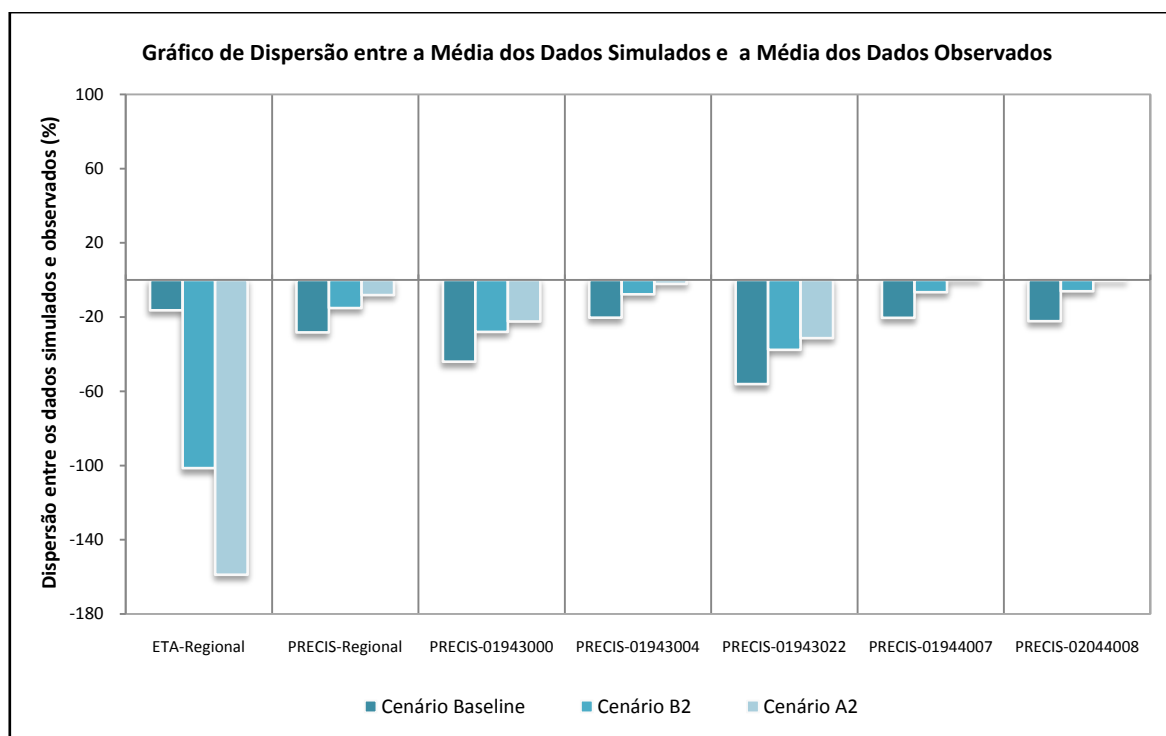


Figura 9 – Gráfico de Dispersão entre a Média dos Dados Simulados e a Média dos Dados Observados

Diante desses resultados indicados na Figura 9, pode-se comprovar que, de maneira geral, as simulações realizadas pelo modelo ETA apresentaram maiores variações entre os dados de chuva simulados e observados.

Apesar da dispersão dos dados no período de *baseline* do modelo ETA (-16,35%) ter sido inferior à do modelo PRECIS (-28,24%), as simulações para os cenários futuros do modelo ETA geraram uma variabilidade muito maior em relação aos dados medidos do que os cenários futuros simulados pelo cenário PRECIS. Nota-se, por exemplo, que o cenário A2, simulado pelo modelo ETA, produziu variações de -158,83%, enquanto que para esse mesmo cenário o modelo PRECIS indicou variações de -8,15%. Dessa forma, os resultados processados pelo modelo ETA sugerem que o regime de chuvas da RMBH, no final desse século, estará sob condições semelhantes às observadas em regiões semi-áridas.

Já as dispersões encontradas entre os valores simulados pelo modelo PRECIS e os dados observados das cinco estações selecionadas como representativas para o regime pluviométrico da RMBH, são, em geral, semelhantes às verificadas entre os valores simulados pelo modelo PRECIS e os dados regionais observados. Dentre essas cinco estações, as maiores dispersões observadas



foram nas estações Mineração Morro Velho (01943000) e Caixa de Areia (01943022), particularmente para o cenário *baseline*, cujas variações foram de -44,08% e -56,16%, respectivamente.

## 7 CONCLUSÕES

Na análise dos modelos climáticos ETA e PRECIS, pôde-se perceber que os totais de precipitação anual simulados por esses modelos apresentaram uma grande divergência, sobretudo nos cenários futuros B2 e A2. Em particular, os cenários futuros simulados pelo modelo ETA indicaram fortes tendências negativas, sugerindo drásticas alterações no regime anual de chuvas na RMBH.

Quando comparados com a média dos dados das 20 estações pluviométricas selecionadas neste estudo, os cenários *baseline* dos modelos ETA e PRECIS se mostraram bastante discrepantes. Esse resultado evidenciou a pouca destreza dos mesmos em representarem o regime de chuvas observado na RMBH correspondente ao período de calibração desses modelos (1960-1990).

Já os valores do cenário *baseline* do modelo PRECIS, quando contrapostos aos dados observados nas cinco estações selecionadas como representativas do regime pluvial da RMBH, também apresentaram uma grande diferença. Foram encontradas dispersões no cenário *baseline* dos dados simulados em relação aos dados observados de até -56,16% (estação Caixa de Areia-01943022).

Em síntese, os dados do *baseline* dos modelos climáticos não indicaram similaridade entre os dados de chuva medidos na RMBH, o que impossibilita, de maneira mais precisa, a definição de cenários futuros de precipitação anual decorrentes de variações climáticas. Além disso, Alexandre (2009) verificou a partir da análise de um grande conjunto de técnicas estatísticas, que as séries de precipitação anual da região não evidenciam tendências significativas. Dessa forma, com base nessas avaliações, infere-se que o regime anual de chuvas da RMBH pode ser considerado como estatisticamente estacionário.

Cabe ressaltar ainda, que os resultados fornecidos pelos modelos climáticos regionais, ora apresentados neste trabalho, corroboram as observações realizadas por diversos estudiosos em climatologia, que consideram a variável precipitação como a mais complicada para a modelagem numérica, além de ser apontada como a de menor previsibilidade.

De acordo com meteorologistas brasileiros, essa dificuldade que esses modelos matemáticos possuem de prever, adequadamente, o comportamento climático reflete-se, principalmente, na região Sudeste. Segundo esses estudiosos, o Sudeste brasileiro é considerado uma região de transição climática, o que atribui aos processos meteorológicos ocorridos nessa área um alto grau de complexidade. Dessa forma, os resultados incoerentes obtidos pelos modelos climáticos regionais

apresentados neste trabalho, sobretudo para a variável precipitação, podem estar associados a essa complexidade que envolve os processos meteorológicos, uma vez que a RMBH está inserida no chamado “vazio meteorológico” que compreende a região Sudeste.

Apesar de, nessa análise dos dados simulados pelos modelos climáticos regionais ETA e PRECIS, terem sido evidenciadas fortes divergências entre os modelos e grandes discrepâncias entre os valores simulados e os dados observados, não se pode negar a importância de tais ferramentas na avaliação do comportamento climático global e regional. Como consta na literatura, os modelos atuais levam em consideração diversas variáveis em seus cálculos, tais como a temperatura e umidade do ar, velocidade do vento, os gases presentes na atmosfera, vegetação, oceanos, etc., implicando em previsões cada vez mais sofisticadas e com índices maiores de acerto. Ainda assim, existem limitações e espaços para incerteza quanto às projeções climáticas.

Segundo um grande número de eminentes climatologistas, tais projeções acabam sendo comprometidas em decorrência das limitações desses modelos em representarem satisfatoriamente variações naturais do clima. Diante disso, verifica-se a necessidade de desenvolver modelos climáticos ainda mais sofisticados, ampliando suas resoluções espaciais e, conseqüentemente, melhorando a representatividade da variabilidade climática natural em suas simulações. De qualquer forma, os resultados obtidos por tais modelos devem ser analisados com muita cautela, procurando sempre avaliá-los mediante comparação com os dados observados da região estudada.

É notório que outros fatores, não de menor importância, além das mudanças globais do clima, podem intensificar os fenômenos relacionados, em particular, ao regime de chuvas. Outros desafios globais, tais como crescimento populacional, elevação do nível de vida, urbanização e ocupação de obras de infra-estrutura em regiões críticas (margens de rios, por exemplo) também devem ser encarados como fatores que afetam fortemente os recursos hídricos. Dessa forma, associar eventos climáticos extremos apenas às mudanças climáticas, dissociando-os de outros fatores, como os citados anteriormente, parece um contra-senso.

Merece ser esclarecido, ainda, que não representou uma expectativa desta pesquisa concluir sobre o fato de as mudanças climáticas estarem ou não afetando o regime de chuvas na RMBH. O objetivo central, como já mencionado, foi verificar tendências temporais nos totais anuais da região, sem, para isto, entrar no mérito da origem das alterações. As discussões levantadas a respeito das incertezas e controvérsias dos estudos dessa natureza serviram apenas como reflexão para esse tema tão atual e importante.

Todavia, a despeito das causas das catástrofes climáticas, ações de mitigação e adaptação devem ser executadas, sejam elas para cenários de aquecimento ou resfriamento global. Conforme amplamente descrito na literatura e sem entrar no mérito da pertinência ou não das drásticas

projeções sugeridas por estudos climáticos, a restrição de gases de efeito estufa na atmosfera deve ser vista como uma prática positiva para o meio ambiente e que visa ao bem estar da população.

Por fim, almeja-se que os estudos desenvolvidos nesta pesquisa sirvam como material de auxílio e estímulo para profissionais da área que invistam em estudos relacionados à identificação de tendências, sobretudo do regime pluvial, e aos possíveis efeitos no risco hidrológico associado aos diferentes componentes dos sistemas de recursos hídricos.

## 8 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho. Agradecemos ao CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos por ter disponibilizado os dados dos modelos climáticos regionais ETA e PRECIS. Agradecemos, ainda, à ANA – Agência Nacional de Águas e – ao INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – pela disponibilização de dados de chuva utilizados nesta pesquisa.

## 9 REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, G. R. *Estudo para Identificação de Tendências do Regime Pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a partir de Métodos Estatísticos e Modelos Climáticos*. 2009. 215 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; MARENGO, J. A.; PISNITCHENKO, I.; ALVES, L. M.; FERNANDEZ, J. P. R. *Relatório 3 - Cenários Regionalizados de Clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de Clima Futuro Usando Três Modelos Regionais*. São Paulo: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2007. 108 p. Disponível em: <[http://www.cptec.inpe.br/mudancas\\_climaticas/](http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/)>. Acesso em: 29 de jul. 2008.

CHAPMAN, P. *Sorry to ruin the fun, but an ice age cometh. The Australian – Online Newspaper of the Year*, 2008. Disponível em: <<http://www.theaustralian.news.com.au/story/0,25197,23583376-5013480,00.html>>. Acesso em: 07 dez. 2008.

CHAVES, R. R.; RODRIGUEZ, D. A. *Apostila de GrADS*. Apostila do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001, 21 p.

GALVIN, C. *On AGU's Position statement, "human impacts on climate"*. *Eos Trans. AGU*, v. 89, n. 46, p. 459-460, 2008.

MOLION, L. C. B. *Desmistificando o aquecimento global*. 2008. Disponível em: <<http://www.msia.org.br/c---t/542.html>>. Acesso em: 07 dez. 2008.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *The Physical Science Basis - Contribution of Working Group I for the Fourth Assessment Report (AR4)*. Paris: Summary for Policymakers

(SPM), WMO/UNEP, 2007. 18 p. Disponível em: <<http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>>. Acesso em: 02 set. 2007.

IPCC-DDC (The IPCC Data Distribution Centre). Disponível em: <[http://www.ipcc-data.org/ar4/gcm\\_data.html](http://www.ipcc-data.org/ar4/gcm_data.html)>. Acesso em 29 de jul. 2008.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A., SALATI, E.; AMBRIZZI, T. Sumário Técnico: *Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI*. São Paulo: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2007. 50 p. Disponível em: <[http://www.cptec.inpe.br/mudancas\\_climaticas/](http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/)>. Acesso em: 02 set. 2007.

QUADRO, M.F.L.; ABREU, M.L. *Estudos de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul sobre a América do Sul*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, *Anais II*..Belo Horizonte, 1994.

RANDALL, D. A.; WOOD, R. A.; BONY, S.; COLMAN, R.; FICHEFET, T.; FYFE, J.; KATTSOV, V.; PITMAN, A.; SHUKLA, J.; SRINIVASAN, J.; STOUFFER, R. J.; SUMI, A.; TAYLOR, K. E. Climate Models and Their Evaluation. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS,; AVERYT, M. K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (Ed.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. p. 589-662.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia Ciência e Aplicação*, 2<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Editora Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. 943 p.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. *Clima e Recursos Hídricos no Brasil*, 1<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: ABRH, 2003. 348 p.

ZHANG, X.; ZWIERS, F. W.; HEGERL, G. C.; LAMBERT, F. H.; GILLET, N.; SOLOMON, S.; STOTT, P.; NOZAWA, T. *Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends*. *Nature*, v. 448, p. 461-465, 2007.