

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**

**DOUTORADO EM ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS**

**INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS DEVIDO AO
EFEITO ESTUFA NA DRENAGEM URBANA DE UMA GRANDE
CIDADE**

**DOUTORANDA: ALESSANDRA MARIA RAMOS
ORIENTADOR: JOSÉ ROBERTO GONÇALVES DE AZEVEDO
CO-ORIENTADOR: JAIME JOAQUIM DA SILVA P. CABRAL**

**RECIFE, PE
SETEMBRO DE 2010**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ALESSANDRA MARIA RAMOS

**INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS DEVIDO AO EFEITO ESTUFA
NA DRENAGEM URBANA DE UMA GRANDE CIDADE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil.

ORIENTADOR: JOSÉ ROBERTO GONÇALVES DE AZEVEDO

CO-ORIENTADOR: JAIME JOAQUIM DA SILVA P. CABRAL

Recife - PE

Setembro de 2010

A meu esposo, André

A minha filha, Laís

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento desta pesquisa.

Aos professores Carlos de Oliveira Galvão, da UFCG, e Tarciso Cabral da Silva, da UFPB, pelas importantes contribuições feitas a este trabalho.

Ao CINDACTA III e ao Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) pela disponibilização dos dados pluviográficos, sem os quais este estudo não poderia ser realizado. Também ao mestre em meteorologia Carlos Frederico Bastarz, que nos ajudou com o serviço de digitalização dos pluviogramas *in loco*.

Aos alunos da UFPE, Carlos Augusto Moreira e Paulo Vitor Gonçalves de Azevedo, pelo importante auxílio de ambos no exaustivo trabalho de tratamento dos dados.

Ao colega Bruno Marcionilo Silva pelas planilhas eletrônicas referenciais, que deram origem a tantas outras, importantes aliadas neste trabalho.

Ao pesquisador do *Rothamsted Research*, Mikhail Semenov, por sua autorização para a utilização do gerador estocástico LARS-WG, desenvolvido por ele, neste estudo.

Aos colegas Rodolfo Luiz Bezerra Nóbrega e Renato de Oliveira Fernandes, então alunos da UFCG, com os quais compartilhei dúvidas e soluções.

Ao grande colaborador deste trabalho, José Roberto Azevedo, que esteve sempre presente e solícito, e nunca deixou de acreditar na realização deste.

A minha filhinha Laís, que mesmo sem ter consciência disto, contribuiu bastante para a minha motivação na realização deste estudo; e a meu esposo André pela compreensão e apoio constantes.

RESUMO

As Equações de Chuvas Intensas são ferramentas extremamente importantes para o dimensionamento de obras de engenharia, como vertedores de barragens de pequeno porte e sistemas de drenagem de águas pluviais. Alguns pesquisadores têm mostrado a necessidade de que essas equações sejam atualizadas e revistas periodicamente, pois eles apontam que fatores como a urbanização e o aquecimento global vêm provocando mudanças nos regimes de chuva. Estudos evidenciam uma intensificação do ciclo hidrológico, como decorrência deste aquecimento global. Como alterações climáticas, são aguardados períodos de secas castigantes e outros de chuvas mais intensas. Havendo um maior risco de cheias nas regiões para onde Modelos de Circulação Global (MCGs) projetam um aumento das intensidades de precipitação, são esperados problemas com os sistemas de drenagem dessas regiões. A vulnerabilidade da cidade do Recife-PE, freqüentemente acometida por inundações, e a possibilidade de isto vir a ser mais acentuado diante de alterações climáticas no local, motivaram o presente estudo, que se propôs a avaliar os efeitos de alterações climáticas projetadas por MCGs sobre a região no sistema de drenagem de uma microbacia urbana. Para tal, foram determinadas relações intensidade-duração-freqüência de chuvas intensas ocorridas na cidade do Recife, a partir de dados obtidos de pluviogramas da estação do aeroporto da cidade, no período de 1968 a 2007. Utilizando-se a distribuição probabilística de Gumbel para a análise de freqüência dos dados, obteve-se uma Nova Equação de Chuvas Intensas para a cidade do Recife. Ao compará-la às Equações de Chuvas atualmente utilizadas em projetos de drenagem da cidade, constatou-se que as intensidades de precipitação obtidas com a Nova Equação, para as menores durações, chegam a ser 41% maiores do que as obtidas com as Equações utilizadas. Isto sugere que os sistemas de drenagem existentes na cidade do Recife já estão, atualmente, trabalhando com sobrecarga, e que a utilização destas equações deve ser de todo evitada. Para uma análise destes sistemas com relação às mudanças climáticas, foi traçada uma metodologia em duas etapas para se obter dados de chuva simulados por MCGs em escalas temporais de maiores resoluções: a primeira consistiu na desagregação espacial e temporal das projeções de precipitação de MCGs, para a escala diária, através do gerador estocástico LARS-WG; e a segunda baseou-se na aplicação de coeficientes de

desagregação de chuva, obtidos também neste estudo, aos dados diários desagregados pelo gerador. Essa metodologia possibilitou a obtenção de curvas IDF e de Equações de Chuvas Intensas para 36 cenários diferentes de mudanças climáticas projetados para o futuro. Alguns destes cenários foram utilizados para avaliar se, com a ocorrência das alterações climáticas, haverá um aumento significativo da vulnerabilidade do sistema de drenagem de um loteamento urbano da região de estudo. Desta avaliação se concluiu que, independentemente das projeções de MCGs que indicam futuras sobrecargas em tubulações existentes, os sistemas de drenagem de Recife e de sua região metropolitana têm que ser revistos, e medidas mitigatórias precisarão ser implementadas na região na tentativa de corrigir a defasagem já existente e reduzir os efeitos que as mudanças climáticas poderão ter sobre as bacias urbanas da região.

Palavras-chave: mudanças climáticas; equação de chuvas intensas; drenagem urbana.

ABSTRACT

Rainfall intensity equations are extremely important tools for the design of engineering projects such as weirs of small dams and drainage systems. Some researchers have shown the need of periodically update and revise these equations, due to factors such as urbanization and global warming, which are already causing changes in rainfall regimes. Studies point out an intensification of the hydrological cycle, as a result of global warming. From these climate changes are expected to have periods of intense drought and rain rainstorms. If there is a greater risk of flooding in areas where General Circulation Models (GCMs) project an increase of precipitation intensities then are expected problems with the drainage systems in these regions. The vulnerability of the Recife city in Pernambuco state, frequently affected by floods, and the possibility of these become more pronounced due to local climate changes on local, motivated the present study, which aimed to evaluate the effects of climate change provided by GCMs on an urban watershed as drainage system. For this, intensity-duration-frequency rainfall relationship occurred in the Recife city were determined, from 1968 to 2007 data gathered from pluviograms at the Recife airport station. A new rainfall intensity equation for the Recife city was obtained using the Gumbel probability distribution for the data frequency analysis. When this new equation was compared with the equations currently been used for drainage projects in the City, were found that the rainfall intensities obtained from with the new equation, for smaller durations, are up to 41% higher than those obtained from the old equations. This suggests that the Recife drainage systems in the city of Recife are already currently overloaded, and that the use of these old equations should be avoided. For an analysis of these drainage systems related to climate change, a methodology was defined in two steps to obtain rainfall data simulated by GCMs in larger scales: the first step was the spatial-temporal disaggregation of the GCMs precipitation into a daily scale, using the LARS-WG stochastic generator; and the second was based on the application of rain disaggregation coefficients, also obtained in this study, applied to the daily data disaggregated by the Generator. This methodology allowed the collection of IDF curves and equations of heavy rainfall for 36 different climate changes scenarios projected for the future. Some of these scenarios were used to assess whether the occurrence of climate change, there will be a

significant increase in on the vulnerability of an urban drainage system in the study area. This assessment concluded that, regardless of the projections of GCMs, which indicate future overloads on existing pipes, the drainage systems of the in Recife and its metropolitan area have to be reviewed. Mitigation measures need to be implemented in the region in an attempt to correct the existing gap and to try to reduce the effects that climate change may have on urban watersheds in the region.

Keywords: climate change; rainfall intensity equations; urban drainage.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS	II
RESUMO.....	III
ABSTRACT	V
SUMÁRIO.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE QUADROS	XI
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES.....	XV
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Caracterização do problema	1
1.2. Objetivos.....	4
1.3. Organização do texto	4
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	6
2.1. Mudanças Climáticas Globais	6
2.2. Modelos de Circulação Global	8
2.3. Desagregação Espacial de Precipitação.....	11
2.3.1. Métodos de <i>Downscaling</i> Dinâmico	11
2.3.2. Métodos de <i>Downscaling</i> Estatístico	13
2.4. Drenagem urbana.....	15
2.5. Equações de Chuvas Intensas	20
2.6. Desagregação Temporal de Precipitação	23
3. REGIÃO DE ESTUDO	26
3.1. Delimitação da região	26
3.2. Caracterização Climática e Fisiográfica	28
3.3. Equações de Chuvas Intensas existentes para a região.....	30
3.4. Projeções de Modelos de Circulação Global para a região	32

4. METODOLOGIA	34
4.1. Aquisição e Tratamento dos Dados	35
4.2. Obtenção da Equação de Chuvas Intensas.....	37
4.2.1. Seleção das precipitações para o estabelecimento da série	37
4.2.2. Seleção e Ajuste da Distribuição de Probabilidade.....	38
4.2.3. Teste de aderência.....	41
4.2.4. Relação Intensidade-Duração-Frequência	43
4.3. Seleção dos Modelos de Circulação Global	46
4.4. Seleção dos Métodos de Desagregação	54
4.4.1. Gerador Estocástico de Tempo LARS-WG	56
4.4.2. Determinação dos Coeficientes de Desagregação de Chuva	59
4.5. Elaboração de Equações de Chuvas Intensas para Cenários projetados.....	61
4.6. Estudo de Caso	61
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	64
5.1. Base de Dados	64
5.2. Nova Equação de Chuvas Intensas obtida com a série histórica	68
5.3. Coeficientes de Desagregação de Chuva.....	82
5.4. Desagregação Espacial e Temporal da Precipitação.....	84
5.5. Equações de Chuvas Intensas obtidas para cada cenário projetado.....	87
5.6. Comparação entre a Equação de Chuvas atual e as Equações de Chuvas dos cenários projetados.....	91
5.7. Análise do comportamento de um sistema de drenagem diante dos cenários projetados.....	94
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
ANEXOS.....	126
A. Análise preliminar da influência do efeito estufa na drenagem urbana da Região Metropolitana do Recife	127
B. Projeto de Drenagem Urbana.....	145
C. Passos para a utilização do LARS-WG (versão 5.11).....	153
D. Curvas Intensidade-Duração-Frequência para Cenários de Mudanças Climáticas.....	156

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Valores adotados como precipitações mínimas a serem consideradas como chuvas intensas	38
Tabela 4.2 - Valores críticos de $D_{n,\alpha}$, por nível de significância (α), para o teste de aderência Kolmogorov–Smirnov	43
Tabela 5.1 - Séries anuais de precipitação máxima (mm), para diferentes durações, observadas durante o período 1968 a 2007	65
Tabela 5.2 - Séries anuais de precipitação máxima (mm) para diferentes durações, em ordem decrescente, considerando-se os valores mínimos adotados para chuvas intensas.....	66
Tabela 5.3 - Séries anuais de intensidade máxima de precipitação (mm/h) para diferentes durações, em ordem decrescente, considerando-se os valores mínimos adotados para chuvas intensas	67
Tabela 5.4 - Intensidade máxima de precipitação (mm/h) calculada pelo método de Gumbel e observada entre os anos de 1968 e 2007.....	68
Tabela 5.5 - Valor absoluto do teste de Kolmogorov-Smirnov ($D_{n,max}$) para o ajuste da distribuição de Gumbel, para cada duração considerada.....	69
Tabela 5.6 - Valores críticos de D para o teste de Kolmogorov–Smirnov.....	69
Tabela 5.7 - Coeficientes de Determinação resultantes do ajuste da distribuição de probabilidade de Gumbel.....	70
Tabela 5.8 - Parâmetros determinados para a Nova Equação de Chuvas Intensas da cidade do Recife.....	73
Tabela 5.9 - Intensidade máxima de precipitação (mm/h) calculada pela Nova Equação de Chuvas Intensas do Recife.....	74
Tabela 5.10 - Relações estabelecidas entre as precipitações máximas anuais de cada duração considerada e a precipitação máxima anual de 24 horas, para cada período de retorno.....	83
Tabela 5.11 - Coeficientes de desagregação de chuva obtidos para o posto do Aeroporto do Recife e os gerados pelo estudo da CETESB.....	83

Tabela 5.12 - Parâmetros das Equações de Chuvas Intensas obtidas para os cenários de mudanças climáticas considerados no estudo.....	90
Tabela 5.13 - Diâmetros necessários para as tubulações do sistema de drenagem diante de cenários de mudanças climáticas projetados pelo MCG IPCM4.....	95
Tabela 5.14 - Diâmetros necessários para as tubulações do sistema de drenagem diante de cenários de mudanças climáticas projetados pelo MCG NCCCSM.....	96
Tabela 5.15 - Quantidade de tubulações que teriam sobrecarga diante de cada cenário projetado.....	98
Tabela 5.16 - Comprimentos totais das tubulações por diâmetro (em m) e modificações decorrentes de cada um dos cenários considerados.....	99
Tabela 5.17 - Quantidade de tubulações que teriam sobrecarga diante de cada cenário projetado, considerando-se a Nova Equação como referência.....	101
Tabela 5.18 - Dimensionamentos obtidos para as tubulações do sistema de drenagem através das intensidades máximas da FIDEM e da Nova Equação de Chuvas do Recife.....	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Modelos de Circulação Global considerados no Quarto Relatório do <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> - IPCC.....	47
Quadro 4.2 - Modelos de Circulação Global utilizados em um estudo preliminar	48
Quadro 4.3 - Cenários de Emissões considerados no Quarto Relatório do IPCC	51
Quadro 4.4 - Modelos de Circulação Global cujas projeções são disponibilizadas através do LARS-WG	57
Quadro 5.1 - Períodos utilizados para a obtenção das equações de chuvas intensas desenvolvidas para a cidade do Recife	77
Quadro 5.2 - Medidas mitigatórias que podem atenuar os efeitos de mudanças climáticas em bacias urbanas existentes	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Mesorregiões do Estado de Pernambuco e Municípios da Região Metropolitana do Recife.....	27
Figura 3.2 - Médias mensais de precipitação (em mm) e médias mensais de precipitação máxima ocorrida em 24 horas (em mm) para a cidade do Recife, com base no posto do Curado (zona oeste do Recife), para o período de 1961 a 1990.....	29
Figura 3.3 - Variações médias mensais de precipitação simuladas por MCGs para a Região Metropolitana do Recife, para o período de 2010 a 2039 (em %).....	33
Figura 3.4 - Variações médias mensais de precipitação simuladas por MCGs para a Região Metropolitana do Recife, para o período de 2040 a 2069 (em %).....	33
Figura 4.1 - Fluxograma da Metodologia empregada para a elaboração da Tese	34
Figura 4.2 - Parte da Tela do programa utilizado para a leitura computacional dos pluviogramas	36
Figura 4.3 - Variações médias mensais de temperatura simuladas por MCGs sobre a Região Metropolitana do Recife, para o período de 2040 a 2069 (em °C)	49
Figura 4.4 - Variações médias mensais de precipitação simuladas por MCGs sobre a Região Metropolitana do Recife, para o período de 2040 a 2069 (em %).....	50
Figura 4.5 - Emissões fósseis de CO ₂ , CH ₄ e SO ₂ para três cenários de emissões do SRES (A1B, A2, e B1), concentrações de CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O, forçamento radiativo e temperatura média global baseados na simulação de 19 MCGs.....	53
Figura 4.6 – Croqui do loteamento urbano fictício	62
Figura 5.1 - Curvas intensidade-duração-freqüência derivadas dos dados do posto do Aeroporto.....	71
Figuras 5.2 - Retas de regressão resultantes do processo de linearização das curvas intensidade-duração-freqüência.....	72
Figuras 5.3 - Regressão linear que dá origem aos parâmetros <i>a</i> e <i>b</i>	72

Figura 5.4 - Curvas intensidade-duração-freqüência geradas pela Nova Equação de Chuvas Intensas do Recife.....	75
Figura 5.5 - Curvas intensidade-duração-freqüência geradas pela Nova Equação de Chuvas Intensas do Recife, em escala bi-logaritmica.....	76
Figura 5.6 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 2 anos.....	78
Figura 5.7 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 5 anos.....	79
Figura 5.8 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 10 anos.....	79
Figura 5.9 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 15 anos.....	80
Figura 5.10 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 20 anos.....	80
Figura 5.11 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 25 anos.....	81
Figura 5.12 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 50 anos.....	81
Figura 5.13 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 100 anos.....	82
Figura 5.14 - Precipitação máxima para a duração de 24 horas obtida de equações de chuvas intensas originadas por séries oriundas de um mesmo cenário (HadCM3 A1B 2011-2030) e de sementes diferentes, por período de retorno.....	86
Figura 5.15 - Mudanças projetadas para a precipitação máxima por duração considerada de chuva, com base na série histórica, oriundas de um mesmo cenário (HadCM3 A1B 2011-2030) e de sementes diferentes, para o período de retorno de 2 anos.....	86
Figura 5.16 - Diagramas comparativos entre os resultados da Nova Equação de Chuvas (Série Observada) e os resultados da Equação da <i>baseline</i> - LARS-WG (Série Simulada), para os períodos de retorno de a) 2 anos, b) 5 anos, c) 10 anos, d) 15 anos, e) 20 anos, f) 25 anos, g) 50 anos e h) 100 anos.....	88

Figura 5.17 - Mudanças projetadas pelo modelo de circulação global HadCM3 para cada período de 20 anos – com relação à <i>baseline</i> – considerando as durações de 5 minutos e de 24 horas e os períodos de retorno de 2 e de 10 anos	91
Figura 5.18 - Mudanças projetadas pelo modelo de circulação global IPCM4 para cada período de 20 anos – com relação à <i>baseline</i> – considerando as durações de 5 minutos e de 24 horas e os períodos de retorno de 2 e de 10 anos.....	92
Figura 5.19 - Mudanças projetadas pelo modelo de circulação global MPEH5 para cada período de 20 anos – com relação à <i>baseline</i> – considerando as durações de 5 minutos e de 24 horas e os períodos de retorno de 2 e de 10 anos	93
Figura 5.20 - Mudanças projetadas pelo modelo de circulação global NCCCSM para cada período de 20 anos – com relação à <i>baseline</i> – considerando as durações de 5 minutos e de 24 horas e os períodos de retorno de 2 e de 10 anos	94
Figura 5.21 - Mudanças projetadas pelo modelo de circulação global NCCCSM para cada período de 20 anos – com relação às Equações de Chuvas Intensas da FIDEM – considerando as durações de 5 minutos e de 24 horas e os períodos de retorno de 2 e de 10 anos	100

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

CCCSN	- <i>Canadian Climate Change Scenarios Network</i>
CCSP	- <i>Climate Change Science Program</i>
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CH ₄	- Metano
CMR	- Coeficiente de Massa Residual
CO ₂	- Dióxido de Carbono
CPTEC	- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DDC	- <i>Data Distribution Centre</i>
FCTH	- Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica
FIDEM	- Fundação de Desenvolvimento Municipal
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICEA	- Instituto de Controle do Espaço Aéreo
IDF	- Intensidade-duração-freqüência
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	- <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LARS-WG	- <i>Long Ashton Research Station Weather Generator</i>
MCG	- Modelo de Circulação Global
MCGA	- Modelo de Circulação Global Atmosférica
MCGAO	- Modelo de Circulação Global com acoplamento Atmosfera-Oceano
MCGO	- Modelo de Circulação Global Oceânico
MCR	- Modelo Climático Regional
N ₂ O	- Óxido Nitroso
PMSP	- Prefeitura Municipal de São Paulo
RD	- Razão de Desvios
RMR	- Região Metropolitana do Recife
RNA	- Rede Neural Artificial
SDSM	- <i>Statistical Down-Scaling Model</i>
SEPLAN/PE	- Secretaria de Planejamento do Estado de Pernambuco
SO ₂	- Óxido Sulfuroso
SRES	- <i>Special Report on Emission Scenarios</i>
WMO	- <i>World Meteorological Organization</i>
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical

1. INTRODUÇÃO

1.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A enorme dependência da população mundial a fontes não renováveis de energia, intensificada a partir da Revolução Industrial, tem acarretado a emissão de grandes quantidades de dióxido de carbono (CO_2) no meio ambiente. Conseqüentemente, o teor de CO_2 na atmosfera tem aumentado progressivamente, provocando, juntamente com outros gases, o que os especialistas denominaram de “efeito estufa”.

O aumento da concentração desses gases vem gerando um aquecimento maior do planeta a cada ano. Especialistas prevêm que esse aquecimento implicará em uma intensificação do ciclo hidrológico, que afetará o regime das precipitações pluviométricas, aumentando-as ou diminuindo-as. Os impactos das alterações climáticas poderão ter várias repercussões: no escoamento dos rios; no volume e disponibilidade das águas superficiais ou subterrâneas; na qualidade das águas; na ocorrência de cheias e secas; de mudanças ambientais; e de mudanças econômicas e sociais.

A maioria dos estudos sobre eventos extremos de precipitação sugere que eles têm aumentado em frequência e intensidade durante o século XX. Ou seja: áreas mais úmidas estão se tornando ainda mais úmidas; e áreas secas, se tornam ainda mais áridas.

Neste cenário, torna-se evidente a necessidade de se melhorar a nossa capacidade de monitorar e projetar as conseqüências de mudanças nos regimes hidrológicos.

Existem algumas formas de se obter cenários futuros para essas alterações climáticas. As principais ferramentas utilizadas para tal obtenção são os Modelos de Circulação Global (MCGs). Entretanto, devido à baixa resolução horizontal da malha desses MCGs (equivalente a 2 a 5 centenas de quilômetros em regiões tropicais), variáveis relevantes às escalas local (até alguns milhares de m^2) ou de bacia hidrográfica (até cerca de 10 mil km^2) são mal representadas, ou mesmo ignoradas. Portanto, considerar simulações de precipitação desses MCGs, diretamente, em estudos para prevenção de eventos extremos, poderia ser desastroso. Este é um dos principais problemas para se

realizar a aplicação dos cenários simulados pelos MCGs na área de Recursos Hídricos: a diferença entre a escala para a qual são realizadas as simulações, e a escala da região onde se deseja empregá-las. Para a resolução desse problema, tem-se utilizado técnicas de transferência da informação meteorológica da escala global para a escala regional ou local, as chamadas técnicas de *downscaling* ou desagregação espacial.

Com a intensificação esperada do ciclo hidrológico, são aguardados períodos de secas castigantes e outros de chuvas mais intensas. Havendo um maior risco de cheias nas regiões para onde os MCGs projetam um aumento das intensidades de precipitação, são esperados problemas com os sistemas de drenagem dessas regiões.

Atualmente, para o dimensionamento dos sistemas de drenagem de uma cidade, ainda não são considerados os possíveis efeitos de mudanças climáticas. Esses sistemas têm sido tradicionalmente concebidos utilizando-se observações históricas e assumindo-se condições climáticas estacionárias, o que vem se mostrando ser um grande equívoco.

É importante ressaltar que as alterações climáticas não estão determinando apenas modificações dos valores médios do escoamento, mas também dos seus valores extremos, provocando alterações dos regimes de cheias e secas. Um aumento da intensidade da precipitação é esperado, o que provavelmente acarretaria uma intensificação das cheias, também em consequência das mudanças climáticas (IPCC, 2007a). Portanto, é necessário que sejam considerados os reflexos que as mudanças climáticas, e a consequente intensificação da precipitação, têm e/ou terão sobre as infra-estruturas de drenagem urbana das cidades.

Para se proporcionar a avaliação do sistema de drenagem urbana de uma região em relação às alterações do clima, são necessárias informações em escalas temporais de maiores resoluções, diárias e sub-diárias, que proporcionem a obtenção das curvas intensidade-duração-freqüência, e a consequente verificação da ocorrência ou não de mudança do padrão da chuva.

O meio científico já reconhece que os Modelos de Circulação Global fornecem boas projeções em escala de tempo mensal, apesar de apresentarem pouca confiança nas simulações de cenários para períodos menores do que um mês, especialmente para variáveis como a precipitação. Portanto, os resultados diários de um MCG não são adequados para uso direto em modelos baseados em processos físicos e em análise de eventos extremos. Para essa adequação deve-se fazer uso de técnicas de desagregação temporal, semelhantes às técnicas de *downscaling* utilizadas para desagregação espacial.

A cidade do Recife, capital do Estado de Pernambuco, é uma cidade litorânea, fortemente urbanizada, e que é constantemente acometida por inundações provocadas pelas águas pluviais. Toda a sua região metropolitana apresenta um significativo histórico de grandes enchentes. Trata-se de uma região vulnerável a inundações e que poderá vir a ter grandes problemas com a intensificação do ciclo hidrológico associada às mudanças climáticas.

A vulnerabilidade da cidade em questão e a possibilidade de isto vir a ser mais acentuado diante de alterações climáticas no local motivaram o presente estudo, que se propõe a avaliar os efeitos de alterações climáticas, provocadas pelo aquecimento global, no sistema de drenagem de uma microbacia urbana de uma grande cidade, projetadas por MCGs sobre a região.

Para isto, foi traçada uma metodologia para a desagregação de dados de precipitação simulados por quatro diferentes MCGs – nos três cenários de emissão considerados pelo IPCC em seu Quarto Relatório – para a escala de dados de durações inferiores a um dia (sub-diários).

Para a realização de parte desse processo de desagregação, foi utilizado um gerador estocástico de tempo (LARS-WG), que possibilita a desagregação espacial e temporal da precipitação para dados diários.

A segunda parte do processo de desagregação foi realizada através da determinação e utilização de coeficientes que relacionam chuvas de diferentes durações. Estes foram usados para desagregar as séries sintéticas de dados diários de chuva, fornecidas pelo gerador estocástico, em dados sub-diários.

Uma vez obtidos dados de chuva, para diferentes cenários, em uma resolução espacial e temporal maior do que as simulações fornecidas por MCGs, curvas intensidade-duração-freqüência e Equações de Chuvas Intensas foram estabelecidas para todos os cenários projetados. De posse dessas curvas e dessas equações, foi realizado um estudo de caso, onde se estabeleceu um paralelo entre a vazão de projeto para o dimensionamento de um sistema de drenagem de águas pluviais em um loteamento urbano nos dias atuais, e a vazão de projeto para este mesmo loteamento em cada um dos cenários considerados no futuro. Isto proporcionou uma análise sobre os efeitos que as mudanças climáticas, e a conseqüente intensificação da precipitação, têm e/ou terão sobre os sistemas de drenagem urbana da região.

1.2. OBJETIVOS

O presente trabalho de pesquisa tem como objetivo geral avaliar os impactos decorrentes de alterações climáticas, provocadas pelo aquecimento global, em sistemas de drenagem de bacias urbanas susceptíveis a freqüentes inundações, com base em projeções de Modelos de Circulação Global.

Dentre os objetivos específicos necessários para se atingir o objetivo geral, podem ser citados:

- 1º) Obter e tratar dados pluviográficos da região;
- 2º) Determinar relações entre chuvas de durações diferentes (coeficientes de desagregação de chuva) para a região de estudo;
- 3º) Definir uma metodologia consistente para obter dados de chuva simulados por Modelos de Circulação Global em escalas temporais de maiores resoluções;
- 4º) Estabelecer a relação entre a intensidade, a duração e a freqüência da precipitação para cada cenário projetado;
- 5º) Avaliar se, com a ocorrência das alterações climáticas, haverá um aumento significativo da vulnerabilidade do sistema de drenagem existente em um loteamento urbano fictício da região de estudo.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Após a contextualização do presente trabalho de pesquisa neste capítulo introdutório, seguem breves descrições dos demais capítulos componentes do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica e a revisão bibliográfica de trabalhos correlacionados ao tema proposto, enfocando os principais assuntos abordados no estudo.

No Capítulo 3, é apresentada a região de estudo com uma caracterização climática e fisiográfica da região, e com projeções de Modelos de Circulação Global para a mesma.

A metodologia utilizada no trabalho é descrita em detalhes no Capítulo 4.

O Capítulo 5 é reservado à apresentação e discussão dos resultados da aplicação da metodologia.

As conclusões do estudo e as recomendações para outros trabalhos estão expostas no Capítulo 6.

Na seqüência, são listadas todas as referências bibliográficas citadas no texto.

Por fim, são apresentados alguns anexos complementares à compreensão do estudo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

Com o advento da Revolução Industrial, em meados do século XVIII, intensificou-se a exploração de fontes não renováveis de energia. Todo o desenvolvimento tecnológico subsequente se deu sobre estas fontes, realimentando cada vez mais as necessidades destas energias. Chegou-se então aos dias de hoje, onde no ano de 2006, segundo informações do Departamento de Energia dos Estados Unidos (IEO, 2009), o consumo mundial de energia primária proveniente de fontes não renováveis (petróleo, carvão, gás natural e nuclear) correspondeu a cerca de 92% do total, cabendo apenas 8% às fontes renováveis.

Esta enorme dependência de fontes não renováveis de energia tem acarretado, além da preocupação permanente com o esgotamento destas fontes, a emissão de grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Em 2006, foram emitidas 29 bilhões de toneladas desse gás em todo o mundo, e os números projetados para 2015 e 2030, se as leis e políticas atuais permanecerem as mesmas, são de 33,1 bilhões e de 40,4 bilhões, respectivamente (IEO, 2009). Como consequência, o teor de dióxido de carbono na atmosfera tem aumentado progressivamente, provocando, juntamente com outros gases (como o metano, o óxido nitroso e o clorofluorcarbono), o que os especialistas denominaram de “efeito estufa”. Segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia (2004), somente no ano de 1994, o Brasil emitiu 1,03 bilhão de toneladas de dióxido de carbono na atmosfera, e possuía, naquele momento, uma participação em torno de 3% de todas as emissões de gases de efeito estufa no mundo, sendo conferidos ao desmatamento e à agropecuária a maior parte das emissões brasileiras.

Os gases responsáveis pelo efeito estufa absorvem parte das radiações infravermelhas que a terra irradia para o espaço, provocando uma retenção de calor. O aumento da concentração desses gases vem gerando um aquecimento maior do planeta a cada ano. Segundo o último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2007a*), isto resultou em

uma elevação de 0,74°C na temperatura média da superfície terrestre em 100 anos (1906-2005), com destaque para os últimos 50 anos, que apresentaram um aumento de 0,13°C a cada década, em média. Ainda de acordo com o IPCC (2007a), os aumentos globais da concentração de dióxido de carbono se devem principalmente ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra. Já os aumentos da concentração de metano e óxido nitroso são devidos principalmente à agropecuária.

É inegável que esse efeito estufa é responsável, em grande parte, pelas alterações climáticas globais que vêm afetando o regime das precipitações pluviométricas, aumentando-as ou diminuindo-as. Os impactos das alterações climáticas podem ter várias repercussões: no escoamento dos rios; no volume e disponibilidade das águas superficiais ou subterrâneas; na qualidade das águas; na ocorrência de cheias e secas; de mudanças ambientais; e de mudanças econômicas e sociais.

Segundo o IPCC (2007a), o aquecimento global previsto para o decorrer deste século resultará em mudanças climáticas e ambientais generalizadas: ondas de calor extremas e mais frequentes; aumento da frequência de chuvas de grande intensidade; ciclones tropicais (tufões e furacões) mais intensos; diminuição do gelo marinho tanto no Ártico quanto na Antártida; e a conseqüente elevação do nível do mar. A estes impactos sobre a quantidade da água, há que se acrescentar os impactos sobre a qualidade, devidos a variações das disponibilidades de água, ao aumento da temperatura e à subida do nível médio do mar, sendo esta última considerada, por Marengo e Soares (2003), como uma conseqüência notável das alterações climáticas no século passado, visto que se constatou um aumento de dez centímetros no nível do mar em apenas um século devido ao derretimento de geleiras nos pólos.

A maioria dos estudos sobre eventos extremos de precipitação sugerem que eles têm aumentado em frequência e intensidade durante o século XX. Os primeiros a documentarem essas mudanças, segundo Groisman *et al.* (2005), foram os pesquisadores Iwashina e Yamamoto (1993), em um estudo com dados de estações do Japão e dos Estados Unidos.

Dore (2005), que realizou uma revisão da literatura sobre mudança dos padrões de precipitação em dados observados, constatou que em regiões onde a precipitação total aumentou, provavelmente tenha havido acentuados aumentos na intensidade da precipitação. Sendo o inverso também verdadeiro. Ou seja: áreas mais úmidas estão se tornando ainda mais úmidas; e áreas secas, se tornam ainda mais áridas.

Huntington (2006) mostrou, em seu estudo, evidências de uma intensificação contínua, em curso e futura, do ciclo hidrológico na Terra, e enfatizou a necessidade de se melhorar a nossa capacidade de monitorar e projetar as conseqüências de mudanças nos regimes hidrológicos.

A possibilidade de se estimar, com alguma antecedência, as mudanças climáticas globais que possam ocorrer, desperta em todo o mundo o interesse por este tipo de informação, que poderia ser utilizada para minimizar as conseqüências negativas dessas mudanças.

Existem algumas formas de se obter cenários futuros para essas alterações climáticas. Segundo o IPCC (2007a), as principais ferramentas utilizadas para a compreensão e explicação das variações climáticas passadas, e para projeções futuras, são os Modelos de Circulação Global.

2.2. MODELOS DE CIRCULAÇÃO GLOBAL

Os modelos climáticos mais largamente usados para a simulação de cenários futuros são os Modelos de Circulação Global. Esses modelos apresentam uma malha horizontal com resolução de 2 a 5 graus de latitude-longitude, e são divididos verticalmente em 15 a 40 camadas. Como variáveis de saída, eles fornecem, entre outras, temperatura do ar, velocidade do vento em várias direções, cobertura de nuvens, precipitação, umidade do solo, cobertura de neve, radiação solar, pressão e temperatura na superfície do mar (Becker, 1997).

Esses modelos climáticos podem ser Modelos de Circulação Global Atmosférica (MCGAs), Modelos de Circulação Global Oceânico (MCGOs), ou Modelos de Circulação Global com acoplamento Atmosfera-Oceano (MCGAOs).

Os modelos atmosféricos começaram a ser produzidos em 1961, na Universidade da Califórnia, em Los Angeles. Os primeiros modelos oceânicos foram desenvolvidos no Laboratório Geofísico de Dinâmica dos Fluidos (*Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* – GFDL), na Universidade de Princeton, também na década de 60. O acoplamento atmosfera-oceano foi realizado uma década mais tarde. E foi no início dos anos 70 que, segundo o Programa de Ciência da Mudança do Clima dos Estados Unidos (*Climate*

Change Science Program – CCSP, 2008), os modelos climáticos começaram a ser utilizados na investigação sobre o dióxido de carbono e do clima. Paralelamente ao que ocorria nos Estados Unidos neste período, grandes centros da Europa e da Ásia também desenvolviam seus modelos climáticos. A história do desenvolvimento dos modelos climáticos pode ser vista, de modo detalhado, em CCSP (2008).

Os mais completos modelos climáticos são os Modelos de Circulação Global com acoplamento Atmosfera-Oceano ou MCGAOs, que aqui, neste estudo, são simplificadamente indicados como MCGs. Eles incluem componentes dinâmicos que descrevem processos da atmosfera, dos oceanos, da superfície terrestre e do gelo marinho.

Vários MCGs foram identificados e descritos no último relatório do IPCC (2007a). Estes diferem quanto à resolução espacial, aos processos físicos que representam, aos parâmetros envolvidos, e ao nível de exigência computacional para as simulações (IPCC, 1997). Mais detalhes sobre os MCGs considerados pelo IPCC podem ser vistos no Capítulo 4 do presente estudo.

A contínua evolução destes MCGs ao longo das últimas décadas tem sido ativada por um considerável aumento da capacidade computacional. Este progresso computacional tem permitido um aumento correspondente da complexidade dos modelos, melhorando, inclusive a resolução espacial dos mesmos. Entretanto, muitos dos principais processos que controlam a sensibilidade climática dependem de escalas espaciais de alta resolução para serem considerados. Devido à baixa resolução horizontal da malha desses MCGs (equivalente a 2 a 5 centenas de quilômetros em regiões tropicais), variáveis relevantes às escalas local (até alguns milhares de m^2) ou de bacia hidrográfica (até cerca de 10 mil km^2) são mal representadas, ou mesmo ignoradas. Conforme Wilby *et al.* (2004), isto é especialmente verdade para as regiões de topografia complexa, localidades costeiras e ilhas, e nas regiões que possuem grande heterogeneidade na cobertura do solo.

Em resumo, os modernos MCGs simulam variáveis para a escala global, como temperatura e precipitação, com considerável precisão. No entanto, não possuem o mesmo desempenho na simulação dessas variáveis para a escala regional ou local, principalmente quando se trata da precipitação (CCSP, 2008). A ocorrência de chuvas intensas, por exemplo, é uma importante característica climática para certos impactos, mas esses eventos são muitas vezes localizados em uma escala de maior resolução em comparação à célula da malha de um MCG. Em muitas situações reais, uma área do tamanho de uma célula pode enfrentar inundações em uns pontos enquanto outros não recebem chuva. Como resultado,

a precipitação gerada para a célula tende a ser mais freqüente (mesmo nos pontos em que não houve ocorrência de chuva), e os valores maiores são geralmente menores do que aqueles observados na escala local.

Dai (2006) realizou um estudo onde analisou 18 MCGs e comparou os resultados de suas simulações a dados observados da região global entre as latitudes 50°N e 50°S. Ele constatou que os modelos analisados reproduziram bem o percentual de contribuição (com relação à precipitação total) e a freqüência para a precipitação da categoria moderada (10 a 20 mm/dia), mas superestimaram a contribuição e a freqüência para chuvas de menor intensidade (< 10 mm/dia) e, o pior, subestimaram as de maior intensidade (> 20 mm/dia). Segundo os dados observados, 7% da precipitação total seriam oriundas de chuvas muito intensas, de 50 mm ou mais por dia, em contraste com apenas 0 a 2% simulados pelos MCGs.

Considerar esses cenários, diretamente, em estudos para prevenção de eventos extremos, poderia ser desastroso. Isso expõe a necessidade de se realizar a transferência das informações geradas em escala global para escalas regional e/ou local, que caracteriza um dos principais problemas para se realizar a aplicação de cenários simulados pelos MCGs na área de Recursos Hídricos: a diferença entre a escala para a qual são realizadas as simulações, e a escala da região onde se deseja empregá-las. Para solucionar esse problema da diferença entre as escalas, faz-se uso de técnicas de transferência da informação meteorológica da escala global para a escala regional ou local, as chamadas técnicas de *downscaling* ou desagregação espacial (Wilby *et al.*, 1998).

A maioria dos modelos que avaliam impactos produzidos por mudanças climáticas operam numa escala espacial de 1 a 100 km de resolução. Portanto, as informações sobre possíveis alterações climáticas têm de ser transferidas para a mesma escala de resolução, a fim de que possam ser usadas como dados de entrada por esses modelos (Semenov e Barrow, 1997; Schubert, 1998).

Dai (2006) atribui as discordâncias encontradas em seu trabalho à resolução espacial dos MCGs analisados, e sugere a desagregação espacial como solução para o problema, enquanto os modelos não são capazes de fornecer resultados ainda mais precisos.

2.3. DESAGREGAÇÃO ESPACIAL DE PRECIPITAÇÃO

Diante das limitações na resolução espacial dos MCGs, constata-se a necessidade da aplicação de técnicas de desagregação espacial para a obtenção de variáveis meteorológicas em uma escala de resolução maior.

Basicamente, são duas as formas de desagregação que podem ser usadas para solucionar o problema da diferença entre escalas espaciais (Hewitson e Crane, 1996): (i) por meio do “aninhamento” de modelos numéricos semelhantes aos MCGs, porém com resolução mais fina, utilizando condições iniciais e de contorno advindos de um MCG; (ii) e através da utilização de métodos empíricos, que desagregam estatisticamente a projeção do clima fornecida pelo MCG para a escala desejada.

2.3.1. Métodos de *Downscaling* Dinâmico

A desagregação de variáveis meteorológicas pelo primeiro método supracitado consiste na utilização de “aninhamento” de modelos numéricos. São modelos climáticos de mesoescala, ditos regionais, que, inicializados com os resultados de um MCG, descrevem melhor as condições climáticas de uma região. Esses modelos podem apresentar, ainda, a peculiaridade de possuir várias grades de espaçamentos diferentes, que podem ser aninhadas, proporcionando resultados de alta resolução (Pielke *et al.*, 1992).

Os Modelos Climáticos Regionais (MCRs) mostram uma melhoria substancial na modelagem espacial de padrões do tempo comparados aos MCGs, devido à resolução espacial mais fina (20 a 50 km). No entanto, uma reprodução exata de algumas variáveis meteorológicas, incluindo eventos extremos, continua a ser problemática. Segundo Mearns *et al.* (1995), uma boa concordância entre um modelo regional e os dados observados em relação à precipitação média diária, por exemplo, geralmente resulta da compensação de erros nos campos de intensidade e frequência (esta alta demais e aquela baixa demais). Fowler *et al.* (2005) mostrou, em seu estudo, que o modelo regional HadRM3H superestima a precipitação média nos meses de inverno e primavera, especialmente em grandes altitudes, mas subestima a precipitação no verão e no outono, no Reino Unido. Conclusões semelhantes foram obtidas por Alves *et al.* (2004), ao analisarem as previsões sazonais geradas pelo modelo ETA – modelo regional utilizado operacionalmente pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) – sobre o Brasil, em 2003.

Eles também mostraram que os totais pluviométricos gerados pelo modelo nos meses de verão foram subestimados, e nos meses de inverno, onde grande parte do Brasil Central encontra-se no período de estiagem, foram superestimados. Apesar disto, ficou evidente neste estudo que, em praticamente todas as regiões analisadas, o modelo regional mostrou maior semelhança com as observações do que o modelo global utilizado como condição de contorno.

A habilidade desses modelos em reproduzir características regionais do clima tem sido testada mediante simulações em várias regiões do mundo.

Previsões climáticas sobre a América do Sul utilizando o modelo ETA têm sido produzidas desde 2001. Segundo Chan *et al.* (2004), estas previsões têm apresentado potencial para indicação das condições sazonais, o que dificultaria a aplicação das simulações em estudos hidrológicos. Ainda conforme os autores, com a utilização do modelo ETA, a região Amazônica apresenta índices de acerto de previsão de precipitação maiores do que outras regiões do País, e que, de uma forma geral, os erros de previsão de precipitação seriam de pequena magnitude, com exceção para os encontrados nas previsões para o Nordeste do Brasil. Deve-se ressaltar que os resultados deste estudo referem-se a simulações para a escala sazonal, ou seja, para a estação chuvosa.

Alves *et al.* (2000) realizaram um estudo comparativo também entre a precipitação sazonal simulada pelo modelo ETA e a observada sobre todo o Brasil, e concluíram que uma das características do modelo é a de não simular bem a ocorrência de dias com chuva forte para os períodos analisados. Quando comparadas às observações, as simulações de chuva do modelo tenderam a subestimar os eventos extremos.

Em um estudo sobre mudanças climáticas em algumas regiões específicas do Brasil (a Amazônia, o Pantanal, o Nordeste e o Sul-Paraná), conduzido por Ambrizzi *et al.* (2007), foram utilizados três modelos regionais (ETA, RegCM3 e HadRM3P), cujas simulações tiveram as mesmas condições de contorno do modelo global HadCM3, um dos MCGs considerados pelo IPCC em seus relatórios. Uma comparação entre os resultados fornecidos por cada modelo regional, para o clima presente, gerou muitas conclusões, dentre as quais as mais notáveis foram as diferenças com relação à precipitação. O modelo ETA apresentou uma tendência de “secar” a Zona de Convergência do Atlântico Sul (fenômeno da circulação de verão que provoca chuvas do sul da Amazônia até o sudeste do Brasil) e o sul do Brasil durante o verão e o outono, o que não foi observado com os modelos HadRM3P e RegCM3. Por outro lado, o HadRM3P colocou uma área de muita

chuva no oeste da Amazônia, perto do Peru-Ecuador, durante as mesmas épocas do ano, o que não apareceu nos modelos ETA e RegCM3.

A utilização de modelos regionais para a realização de *downscaling* necessita de tempo e grande capacidade computacional para a execução dos modelos, e ainda possui o agravante de que as simulações dos modelos de maiores resoluções podem ser contaminadas por erros nas condições limites simuladas pela baixa resolução do MCG (Frederick *et al.*, 1997). Como se tais fatos não bastassem, segundo Ambrizzi *et al.* (2007), de maneira geral, os estudos até então realizados sobre a habilidade dos modelos regionais em simular variáveis para diversas regiões do mundo, mostram que o desempenho desses modelos varia conforme a estação do ano, topografia e localização da região de estudo em relação às circulações que determinam as variáveis prognósticas.

2.3.2. Métodos de *Downscaling* Estatístico

A desagregação de saídas de um MCG para uma resolução espacial maior através de métodos estatísticos parte da suposição de que relações empíricas estáveis podem ser estabelecidas entre processos atmosféricos que ocorrem em escalas espaciais e/ou temporais diferentes (Wilby *et al.*, 1998).

De acordo com o IPCC (2007a), estudos que realizaram *downscaling* estatístico tendem a mostrar um aquecimento de grande escala semelhante ao dos modelos dinâmicos. Entretanto, os primeiros apresentaram detalhes regionais em uma escala de maior resolução, mostrando a influência de fatores como a distância à costa e a altitude.

Algumas das principais vantagens do emprego desses métodos são: a de oferecer soluções em curto espaço de tempo; de poder fornecer variáveis climáticas em escala pontual a partir de saídas de um MCG; e de não necessitar de grande poder computacional; constituindo soluções viáveis para os pesquisadores da área. A principal limitação deste tipo de abordagem é que o modelo de desagregação fica restrito a uma região e às séries de dados utilizadas, além do fato de se exigir séries de dados observados suficientemente longas para se permitir que o método seja bem calibrado e validado (IPCC, 2007a).

Conforme Wilby *et al.* (2004), os métodos de *downscaling* estatístico consistem no desenvolvimento de relações entre variáveis atmosféricas de escala global, as denominadas preditoras, e as variáveis locais, as chamadas premitandas. Ainda segundo os autores, esses

métodos são classificados em três categorias: (i) os modelos de regressão, que buscam representar relações lineares ou não lineares entre preditores e preditandos (por exemplo, regressão múltipla e redes neurais artificiais); (ii) os geradores de tempo, que são modelos estocásticos (por exemplo, LARS-WG e CLIMABR); e (iii) os sistemas de classificação do tempo, que utilizam variáveis lingüísticas, relacionando “classes de tempo” com o clima local (por exemplo, lógica *Fuzzy*).

Wilby *et al.* (2004), e recentemente Fowler *et al.* (2007), realizaram o estado da arte sobre os métodos de *downscaling*, coletando preciosas informações sobre estudos que compararam diferentes métodos estatísticos e sobre aqueles que fizeram comparações entre o desempenho destes e o de métodos dinâmicos.

Uma das afirmações realizadas por Fowler *et al.* (2007) é de que, embora o método das redes neurais artificiais – um dos métodos estatísticos mais utilizados, nos últimos anos, como instrumento de desagregação espacial – mostre um adequado desempenho com relação a precipitações mensais (Cavazos, 1997; Ramos, 2000; Schoof e Pryor, 2001, *apud* Fowler *et al.*, 2007), tem apresentado, repetidamente, um fraco desempenho na desagregação de precipitação diária, em particular na ocorrência de dias mais chuvosos. Haylock *et al.* (2006) confirmam o exposto quando dizem que esta técnica subestima os extremos de precipitação.

Wilby *et al.* (2004) discutiram as vantagens e limitações de cada tipo de *downscaling* estatístico. Com relação aos eventos extremos, um dos aspectos que mais interessam ao presente estudo, eles afirmaram que um dos pontos fracos dos métodos de regressão, em geral, é a má representação de eventos extremos, ao contrário do que os autores alegaram como um dos pontos fortes dos geradores estocásticos de tempo: a produção de longas simulações para extremos.

2.4. DRENAGEM URBANA

A drenagem urbana ou pluvial consiste no controle do escoamento das águas de chuva para se evitar os seus efeitos adversos que podem representar sérios prejuízos à saúde, segurança e bem estar da sociedade.

O sistema tradicional de drenagem urbana deve ser considerado como composto por dois sistemas distintos que devem ser planejados e projetados sob critérios diferenciados (Prefeitura Municipal de São Paulo – PMSP, 1999): o sistema inicial de drenagem, também denominado de microdrenagem; e o sistema de macrodrenagem.

Segundo o manual de diretrizes básicas para projetos de drenagem do município de São Paulo (PMSP, 1999), o sistema de microdrenagem é aquele composto pelos pavimentos das ruas, guias e sarjetas, bocas de lobo (conhecido como bueiros em algumas regiões), rede de galerias de águas pluviais e, também, canais de pequenas dimensões. Esse sistema é dimensionado para o escoamento de vazões de dois a dez anos de período de retorno. Por sua vez, o sistema de macrodrenagem é constituído, em geral, por canais de maiores dimensões, projetados para vazões de vinte e cinco a cem anos de período de retorno.

De acordo com Fendrich (2002), a microdrenagem convencional tem como premissa básica, a rápida remoção do escoamento superficial, transferindo as águas pluviais das sarjetas às tubulações de concreto da rede de galerias. No entanto, segundo Tucci (1995), “a melhor drenagem é aquela que drena o escoamento sem produzir impactos nem no local, nem a jusante”. De acordo com o autor, quando um loteamento é projetado, os municípios exigem apenas que o projeto de esgotos pluviais seja eficiente no sentido de drenar a água do loteamento. Quando o poder público não controla essa urbanização, ou não amplia a capacidade da macrodrenagem, a ocorrência das enchentes aumenta, com perdas sociais e econômicas. Normalmente, o impacto do aumento da vazão máxima sobre o restante da bacia não é avaliado pelo projetista ou exigido pelo município. A combinação do impacto dos diferentes loteamentos produzirá aumento da ocorrência de enchentes à jusante.

Nas inundações devido à urbanização, que ocorrem nas cidades, denominadas também de alagamentos, as águas são acumuladas no leito das ruas e nos perímetros urbanos por fortes precipitações, geralmente, devido a sistemas de drenagem deficientes, ou a sistemas parcialmente ou totalmente bloqueados por lixo.

Os efeitos principais da urbanização, com relação às inundações, são (Tucci, 1995): o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico de cheia e o aumento do volume do escoamento superficial.

As inundações devido à mencionada urbanização relacionam-se com a redução da infiltração natural nos solos urbanos, a qual é provocada por (Carlon, 2005):

- a) compactação e impermeabilização do solo;
- b) pavimentação de ruas e construção de calçadas, reduzindo a superfície de infiltração;
- c) construção adensada de edificações, que contribuem para reduzir o solo exposto e concentrar o escoamento das águas;
- d) desmatamento de encostas e assoreamento dos rios que se desenvolvem no espaço urbano;
- e) acumulação de detritos em galerias pluviais, canais de drenagem e cursos d'água;
- f) insuficiência da rede de galerias pluviais.

Em cidades litorâneas, que se desenvolvem em cotas baixas, como Recife, a incidência de marés altas contribui para agravar o problema.

Um conceito importante aliado ao de drenagem urbana é o de precipitações máximas ou chuvas intensas. Estas são definidas como aquelas chuvas cujas intensidades ultrapassam um determinado valor mínimo. A determinação dessas intensidades é de fundamental importância em drenagem urbana, pois, em muitas metodologias, as vazões de projeto são obtidas indiretamente por modelos de transformação chuva-vazão. Como, normalmente, se admite que o período de retorno da precipitação seja considerado igual ao do hidrograma que ela gera, a escolha da tormenta de projeto e seu período de retorno definirão o risco da obra (Zahed Filho e Marcellini, 1995). Também para o Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (CETESB, 1980), o tempo de retorno utilizado na microdrenagem varia de dois a dez anos. Para áreas pouco densas e residenciais, utilizam-se dois anos e, para áreas comerciais, onde as perdas podem ser maiores, pode-se escolher até dez anos. Mais detalhes sobre chuvas intensas são fornecidos na Seção 2.5.

O controle das enchentes urbanas é um processo permanente, que deve ser mantido pelas comunidades, visando à redução do custo social e econômico dos impactos. Existem algumas medidas para se efetuar esse controle, dentre elas, o uso de áreas de infiltração para receber a água de áreas impermeáveis e recuperar a capacidade de infiltração da bacia;

os pavimentos permeáveis; e a construção de reservatórios de detenção e de retenção. As detenções são reservatórios urbanos mantidos secos com uso do espaço integrado à paisagem urbana, enquanto que as retenções são reservatórios com lâmina de água utilizados não somente para controle do pico e volume do escoamento, como também da qualidade da água. De acordo com Tucci (2003), a maior dificuldade no projeto e implementação desses reservatórios tem sido a quantidade de lixo transportada pela drenagem que acaba por obstruir a entrada desses reservatórios.

Segundo Lira *et al.* (2007), os alagamentos em diversos bairros da cidade do Recife estão cada vez mais freqüentes devido ao adensamento populacional e a conseqüente impermeabilização do solo, acarretando a ineficiência dos sistemas de drenagem. Diante de problemas observados em um bairro específico da cidade, os autores iniciaram a implementação de medidas estruturais e não-estruturais de controle de enchentes. As medidas estruturais propostas para a área compreendem a construção de obras de engenharia para retardamento do fluxo, como microrreservatórios de retenção. As medidas não estruturais adotadas foram a introdução de normas visando o disciplinamento do uso e ocupação do solo, e o estabelecimento de um programa de educação ambiental objetivando a conscientização da comunidade do bairro para a manutenção do sistema de drenagem do local.

A principal medida não-estrutural de combate às enchentes urbanas é a legislação para controle dos futuros desenvolvimentos. Essa legislação pode ser incorporada ao Plano Diretor Urbano ou em decretos municipais específicos. Uma ferramenta importante para se implementar medidas sustentáveis em uma cidade é o Plano Diretor de Drenagem Urbana. Esse Plano se baseia em preceitos onde os principais são os seguintes (Tucci, 2003): (a) os novos desenvolvimentos não podem aumentar a vazão máxima de jusante; (b) o planejamento e controle dos impactos existentes devem ser elaborados considerando a bacia como um todo; (c) o horizonte de planejamento deve ser integrado ao Plano Diretor da cidade; e (d) o controle dos efluentes deve ser avaliado de forma integrada com o esgotamento sanitário e os resíduos sólidos.

As obras e o controle público da drenagem têm sido realizados por uma visão local e setorializada dos problemas, gerando mais impactos do que os pré-existentes e desperdiçando os poucos recursos existentes nas cidades. A defasagem técnica dos profissionais e a falta de regulamentação da transferência de impactos dentro das cidades,

além do limitado conhecimento dos decisores sobre o assunto, são as principais causas dessas perdas.

Segundo He *et al.* (2006), nos dias atuais, a excedência da capacidade de um sistema de drenagem existente é um problema que ocorre freqüentemente em zonas urbanas, e pode ser devido ao maior desenvolvimento da região, à variabilidade climática (atribuída a causas naturais) e, possivelmente, às mudanças climáticas.

Como está exposto na Seção 2.1, especialistas prevêm que uma maior quantidade de energia armazenada na atmosfera, em razão do aquecimento global, implicará em uma intensificação do ciclo hidrológico, acarretando profundas assimetrias espaciais e temporais da precipitação nas diferentes regiões do globo. Isto deverá provocar períodos de secas castigantes e outros de chuvas intensas. Diante disto, havendo um maior risco de cheias nas regiões para onde os MCGs projetam um aumento das intensidades de precipitação, são esperados problemas com os sistemas de drenagem dessas regiões.

Atualmente, para o dimensionamento dos sistemas de drenagem de uma cidade, ainda não são considerados os possíveis efeitos de mudanças climáticas. É importante ressaltar que as alterações climáticas não estão determinando apenas modificações dos valores médios do escoamento, mas também dos seus valores extremos, provocando alterações dos regimes de cheias e secas, segundo alguns pesquisadores (Frei *et al.*, 1998; Groisman *et al.*, 1999; Katz *et al.*, 2002; Dore, 2005; Alexander *et al.*, 2006).

A simulação de cenários é uma das principais etapas no planejamento da drenagem urbana. As simulações deveriam, em tese, abranger diferentes cenários de ocupação da bacia, referidos à urbanização presente e futura; diferentes padrões de uso e ocupação do solo; e possíveis alterações climáticas.

Segundo Kawaguchi *et al.* (1999), *apud* Marsalek (2000), a análise de dados de intensidade de chuva no Japão indicou um aumento em intensidades da precipitação, em torno de 20 mm/h. Enquanto muitas seções dos sistemas de drenagem existentes poderiam acomodar esta mudança, em outras, conduziria a falhas no sistema e possíveis danos. As reduções das intensidades de chuva, esperadas em outras regiões, não teriam sérios impactos, mas reduziriam essencialmente a eficiência econômica dos existentes, ou daqueles sistemas de drenagem que ainda serão projetados.

Em síntese, estudos evidenciam uma tendência geral para um acréscimo da precipitação na época úmida, como decorrência de alterações climáticas. Além disto, é esperado também um aumento da intensidade da precipitação, o que provavelmente,

acarretaria uma intensificação das cheias, também em consequência das alterações climáticas (IPCC, 2007a). É de se esperar ainda que as inundações provocadas por essas cheias, nos trechos dos rios em regiões costeiras, possam ser agravadas pela subida do nível do mar, associada às alterações climáticas (Senior *et al.*, 2002). Portanto, é necessário que sejam considerados os reflexos que as mudanças climáticas, e a consequente intensificação da precipitação, têm e/ou terão sobre os sistemas de drenagem urbana das cidades.

Niemczynowicz (1989) apresentou um dos estudos mais antigos sobre o tema em questão, visualizando cenários de alterações da intensidade de precipitação em decorrência das mudanças climáticas, e os impactos que estas poderiam ter sobre os sistemas unificados de águas residuárias (escoamento de águas pluviais e de esgotos). Mais recentemente, um estudo semelhante foi realizado por Watt *et al.* (2003), que consideraram um cenário de acréscimo de chuva de 15% e avaliaram os efeitos decorrentes, estimando medidas e custos necessários para a adaptação da infra-estrutura de drenagem de uma região do Canadá às tais mudanças climáticas.

Utilizando saídas de um MCG (HadAM3H), desagregadas por um modelo regional (RCAO), Semadeni-Davies *et al.* (2008) descreveram os impactos nos sistemas de drenagem urbana causados por cenários de mudanças do clima e da urbanização na cidade de Helsingborg, na Suécia, através dos quais constataram que o crescimento da cidade e o aumento da precipitação estão agravando os já existentes problemas de drenagem.

Berggren (2007), desejando investigar como as mudanças climáticas poderiam afetar os sistemas de drenagem de uma região também da Suécia, fez o *downscaling* estatístico de dados de chuva fornecidos por um modelo regional (RCA3), com as condições de contorno de um MCG (ECHAM4). Os resultados foram empregados em um modelo de simulação de drenagem urbana, de onde a autora concluiu que os eventos futuros de precipitação irão aumentar a frequência das inundações e também a duração destas, indicando a possibilidade da ocorrência de danos na região, o que requer medidas de prevenção e adaptação.

Moreira e Corte-Real (2008) apresentaram um conjunto de medidas de adaptação que deveriam ser implementadas no planejamento e dimensionamento de sistemas urbanos de água, de modo a manter a eficiência desses sistemas diante das mudanças climáticas. Como uma dessas medidas, eles recomendaram a introdução de um coeficiente de segurança em curvas intensidade-duração-frequência (IDF), para o dimensionamento de

sistemas “resistentes” às alterações climáticas, compensando, assim, os possíveis aumentos advindos em situações meteorológicas extremas.

As curvas IDF e as Equações de Chuvas Intensas são ferramentas bastante utilizadas na determinação da vazão de projeto para dimensionamento de sistemas de drenagem de águas pluviais. Estas curvas são determinadas com base em séries de registros pluviográficos de chuvas intensas (Bertoni e Tucci, 1997). Mais informações a respeito das curvas IDF e das Equações de Chuvas Intensas são fornecidas na seção a seguir.

2.5. EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS

A vazão de projeto, necessária para o dimensionamento de estruturas e obras hidráulicas, inclusive de sistemas de drenagem urbana, pode ser estabelecida com base em dados disponíveis de vazão ou de intensidade de precipitação. Muitos locais, no entanto, não dispõem de registros fluviométricos, nos quais a estimativa da vazão de projeto passa a ser realizada com base nas séries históricas de dados de chuva de pequena duração e alta intensidade (Fendrich, 1999).

Segundo Bertoni e Tucci (1997), a precipitação máxima, ou chuva intensa, é entendida como a ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial críticas para uma área ou bacia hidrográfica.

A caracterização das chuvas intensas para a utilização prática nos projetos de drenagem, de modo geral, é realizada através da relação entre a intensidade, a duração e a frequência das chuvas. Essas características variam de um local para outro, e só podem ser determinadas mediante análise estatística de uma longa série de observações (Garcez, 1974). Segundo Fendrich *et al.* (1991), *apud* Back (1996), essas três características de precipitação variam conforme a latitude, a longitude, o tipo de cobertura do solo e a época do ano, sendo, portanto, específicas para cada região.

A relação entre a intensidade, a duração e a frequência das chuvas é expressa, graficamente, através das curvas intensidade-duração-frequência (IDF). Este tipo de curva é determinado com base em séries de registros pluviográficos de chuvas intensas (Bertoni e Tucci, 1997), e apesar de sua determinação constituir um trabalho exaustivo, tem sido realizada para várias regiões do País (Back, 1996; Vieira *et al.*, 1998; Costa e Brito, 1999;

Figueiredo, 1999; Silva *et al.*, 1999; Aragão *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2003; Fendrich, 2003; Longo *et al.*, 2006; Back, 2006; Oliveira *et al.*, 2008; dentre outros). O estudo pioneiro sobre chuvas intensas no Brasil foi realizado por Pfafstetter (1957), que utilizou séries de valores máximos de precipitação de 98 postos pluviográficos distribuídos em diversas regiões do País, para a construção de curvas IDF, utilizando a distribuição de valores extremos do tipo I. Essa distribuição, também conhecida como distribuição de Gumbel, tem tido grande aplicação para o estudo de eventos extremos e é utilizada de forma generalizada nos trabalhos de chuvas intensas (Costa *et al.*, 2007).

Segundo Bertoni e Tucci (1997), as curvas IDF também podem ser ajustadas a equações genéricas, que fornecem relações matemáticas entre a intensidade, a duração e a frequência das precipitações. Essas equações são denominadas de Equações de Chuvas Intensas, e são geralmente expressas por relações do tipo:

$$i = \frac{aT^b}{(t+c)^d} \quad (2.1)$$

onde:

i = intensidade da chuva (mm/h);

T = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (minutos);

a, b, c, d = parâmetros adimensionais relativos à localidade.

Em todo o País, dados pluviográficos são mais escassos do que dados pluviométricos. Aliados a isto, existem também outros dois problemas: por um lado, a dificuldade em se realizar a leitura dos pluviogramas; e por outro, o fato de que aparelhos modernos, como *data loggers*, ainda não são tão usuais no Brasil, e quando o são, em sua maioria, possuem séries curtas de leituras, inferiores a 15 anos de extensão (Zuffo, 2004). Por esses motivos, muitos estudos já foram realizados com o intuito de determinar relações entre chuvas de diferentes durações, que possibilitariam a utilização de dados pluviométricos em substituição aos dados pluviográficos para a elaboração de novas equações de chuvas e/ou a atualização das já existentes (CETESB, 1980). Em locais onde não se dispõe de pluviógrafos, o procedimento adotado, normalmente, consiste em estabelecer a chuva máxima esperada com duração de um dia e, a partir de relações estabelecidas em outras regiões, estimar-se a chuva para uma duração inferior. Segundo

Nali *et al.* (2007), os métodos de Chow-Gumbel e de Bell constituem alternativas que permitem avaliar as chuvas intensas, a partir da aplicação de coeficientes universais de conversão em chuvas máximas anuais de um dia.

A estimativa e o uso das curvas IDF dependem da hipótese de estacionariedade das séries de precipitação, ou seja, de que a intensidade e a frequência de eventos extremos hidrológicos permanecerão inalteradas ao longo do tempo.

Mas, e as equações de chuvas intensas são eternas? A essa pergunta, Zuffo (2004) respondeu que, definitivamente, as equações de chuvas não são eternas. Em seu estudo, o autor mostrou a necessidade de revisões periódicas e atualizações nas equações de chuvas para evitar o subdimensionamento de obras hidráulicas destinadas à proteção contras as cheias. Entretanto, ele atribuiu as mudanças ocorridas na intensidade de precipitação – que refletiu em um aumento das precipitações extremas – observadas após um período de 25 anos, ao crescimento urbano da cidade de Campinas, interior do Estado de São Paulo. Alguns estudos sugerem que observações deste tipo não estão relacionadas apenas à urbanização de uma região, mas também, e principalmente, aos efeitos das mudanças climáticas. Em um estudo mais recente, Mailhot *et al.* (2007) também derruba a hipótese de estacionariedade das séries de precipitação. No entanto, os autores atribuem a não-estacionariedade aos efeitos das mudanças climáticas.

Prodanovic e Simonovic (2007) realizaram uma análise estatística das precipitações de diferentes durações para uma região do Canadá, e desenvolveram novas curvas IDF sob condições de mudanças climáticas, a partir de dados horários de chuva. Jakob *et al.* (2003) já afirmavam que as alterações climáticas de longo prazo podem levar a tendências que exigiria novo cálculo de curvas IDF, a intervalos regulares.

Kiely (1999) utilizou técnicas estatísticas para investigar modificações nas séries temporais de precipitação em uma região da Irlanda. Ele mostrou que uma proporção muito maior de eventos extremos tem ocorrido desde 1975, o que o levou a comparar curvas IDF obtidas para o período disponível (1940-1993) e para o período pós-1975. O autor constatou que a curva para o período de retorno de 30 anos, relativa ao período 1940-1993, é ligeiramente inferior à curva para o período de retorno de 10 anos, relativa ao período pós-1975. Em outras palavras, o que costumava a ser uma tempestade com período de retorno de 30 anos, passou a ter um período de retorno de, aproximadamente, 10 anos, representando problemas para o controle das cheias. Coulibaly e Shi (2005) fizeram projeções, com base em um MCG específico, de que um sistema de drenagem construído

nos dias atuais para chuvas com período de retorno de 50 anos, no Canadá, será capaz de suportar tempestades de período de retorno de apenas 20 anos, por volta do ano 2050.

Dore (2005) afirmou, com base em seu estudo, não ter dúvidas de que o padrão de mudança verificado em dados observados de precipitação é a “assinatura” das mudanças climáticas globais.

As análises de tendências para a precipitação, segundo o último relatório do IPCC (2007a), mostraram aumento nos eventos intensos para a maioria das estações observadas, com algum acréscimo na ocorrência de inundações. Este resultado foi atribuído tanto para regiões onde a precipitação total aumentou quanto para regiões onde a precipitação total diminuiu, implicando em mudanças na distribuição da frequência. O nível de confiança dado para essas conclusões foi razoavelmente alto.

Mudanças na amplitude, natureza e distribuição espacial das precipitações extremas podem originar sérios problemas sociais e econômicos. São conseqüências preocupantes. De acordo com Fowler *et al.* (2005), o governo do Reino Unido gasta anualmente, em excesso, 300 milhões de libras com a defesa contra inundações, e eles dizem que este valor provavelmente duplicará com os impactos das mudanças climáticas. Ainda segundo os autores, inundações no inverno de 2000/2001 do Reino Unido e no verão de 2002 na Europa produziram créditos de seguros de 1 bilhão de libras e de 19 bilhões de euros, respectivamente, e levaram o setor de seguros a reavaliar sua posição em relação às inundações.

2.6. DESAGREGAÇÃO TEMPORAL DE PRECIPITAÇÃO

Os sistemas de drenagem de águas pluviais têm sido tradicionalmente concebidos utilizando-se observações históricas e assumindo-se condições climáticas estacionárias. Foi exposto no item anterior que isso é um grande equívoco.

Para se avaliar os possíveis efeitos que as alterações climáticas têm ou terão sobre o sistema de drenagem urbana de uma região, são necessárias informações em escalas temporais de maiores resoluções, diárias e sub-diárias, que proporcionem a obtenção das curvas intensidade-duração-frequência (IDF), e a conseqüente verificação da ocorrência, ou não, de mudança do padrão da chuva.

É reconhecido no meio científico que os Modelos de Circulação Global fornecem boas projeções em escala de tempo mensal. Entretanto, embora sejam executados em uma melhor resolução (até 15 minutos), há pouca confiança nas simulações de cenários para períodos menores do que um mês, especialmente para variáveis como a precipitação (Prudhomme *et al.*, 2002). De acordo com Semenov (2007), a resolução espacial grosseira dos MCGs e a grande incerteza de suas saídas em escala diária, sobretudo para a precipitação, indicam que os resultados diários de um MCG não são adequados para uso direto em modelos baseados em processos físicos e em análise de eventos extremos.

Para adequar a escala temporal da precipitação e, portanto, proporcionar a avaliação do sistema de drenagem de uma região em relação às mudanças climáticas, deve-se fazer uso de técnicas de desagregação temporal, semelhantes às técnicas de *downscaling* utilizadas para desagregação espacial (Seção 2.3). Da mesma forma que considerada para estas, a principal hipótese a ser assumida nos métodos de desagregação temporal é de que as relações encontradas entre as diferentes escalas não serão alteradas no futuro, com as tais mudanças climáticas (Zhang, 2005).

No Canadá, alguns pesquisadores têm se empenhado em encontrar soluções e estabelecer metodologias para adequar os sistemas de drenagem de regiões do País aos cenários de aumento da intensidade da precipitação oriundos das mudanças climáticas. He *et al.* (2006) estabeleceram relações empíricas entre os dados de chuva de um MCG e dados históricos, buscando subsídios para futuros projetos de sistemas de drenagem. Wey (2006) realizou a desagregação temporal, através de um gerador estocástico de tempo, de dados de chuva diários para produzir dados horários e utilizá-los em modelos hidrológicos, com o objetivo de analisar as cheias em uma bacia do Canadá. Prodanovic e Simonovic (2007), buscando informações para propor modificações em projetos de sistemas de drenagem de uma região também no Canadá, realizaram a desagregação temporal de dados de precipitação fornecidos por um MCG, resultando em dados horários de chuva, e proporcionando o desenvolvimento de novas curvas IDF sob condições de mudanças climáticas. Os autores também fizeram uso de um gerador estocástico de tempo para a desagregação temporal.

Segundo Barrow *et al.* (1996), cenários com alta resolução temporal podem ser conseguidos através da utilização de geradores estocásticos de tempo. Mais recentemente, Zhang *et al.* (2004) desenvolveram um método para desagregar projeções mensais de um MCG em séries diárias de precipitação e temperatura, utilizando também um gerador

estocástico de tempo. Zhang (2005) afirmou em seu estudo que esses geradores de tempo têm sido largamente utilizados nos Estados Unidos para gerar séries temporais diárias a partir de projeções mensais de MCGs.

Burton *et al.* (2008) endossaram a adoção do método desenvolvendo uma metodologia de *downscaling* baseada em um gerador estocástico de precipitação que proporciona a desagregação espacial e temporal de cenários de mudanças climáticas.

Ainda segundo Burton *et al.* (2008), os modelos climáticos regionais não são indicados como ferramentas de desagregação temporal de dados de chuva para uso em estudos de impacto hidrológico. Os autores alegaram que, além destes modelos apresentarem ruídos (*bias*) em suas saídas que precisam ser corrigidos, apresentam deficiências para representar os extremos mais intensos.

Sobre os métodos de *downscaling* estatístico, Wilby *et al.* (2004) afirmaram que um dos pontos fracos dos métodos de regressão, em geral, é a má representação de eventos extremos, ao contrário do que os autores alegam como um dos pontos fortes dos geradores estocásticos de tempo: a produção de longas simulações para extremos.

De acordo com Hansen e Ines (2005), a necessidade de preservar propriedades estatísticas-chaves das séries históricas diárias justifica a utilização de um modelo estocástico de tempo em aplicações como a previsão de impactos na produção vegetal, em vista dos cenários de mudanças climáticas.

3. REGIÃO DE ESTUDO

3.1. DELIMITAÇÃO DA REGIÃO

O município de Recife, localizado entre as latitudes Sul 07° 56' e 08° 09' e entre as longitudes Oeste 34° 51' e 35° 01', é a capital do Estado de Pernambuco e uma das grandes metrópoles do País. Com uma área de 217 km², e com uma população de 1,56 milhões de habitantes em 2009 (IBGE, 2010), é uma cidade litorânea, fortemente urbanizada, e que é constantemente acometida por inundações provocadas pelas águas pluviais.

Segundo o Plano Diretor de Recife (2004), as características peculiares da cidade quanto a sua geomorfologia, aliadas a um processo de urbanização realizado à custa da ocupação do espaço natural das águas, apontam para uma crescente dificuldade de escoamento das águas pluviais no território municipal e em seus arredores. Esta circunstância sobrecarrega as estruturas do sistema de drenagem e provoca, em muitos casos, inundações indesejáveis, às vezes com longa duração, nas áreas mais baixas da cidade. Também de acordo com o Plano Diretor, a efetividade do sistema de macrodrenagem ainda é diminuída pela deficiência do sistema de microdrenagem a montante, pelos problemas de assoreamento e deslizamento dos morros e pelas naturais condições da cidade situada ao nível do mar.

O Estado de Pernambuco, e mais especificamente a Região Metropolitana do Recife (RMR), apresenta um significativo histórico de grandes enchentes, como historia em seu site, Pernambuco de A/Z (2009), o jornalista Marcos Cirano. Trata-se de uma região vulnerável a inundações e que poderá vir a ter grandes problemas com a intensificação do ciclo hidrológico associada às mudanças climáticas, sendo esta intensificação considerada como certa por muitos especialistas (Huntington, 2006).

A vulnerabilidade da região em questão, e a possibilidade de isto vir a ser mais acentuado diante de alterações climáticas na região, motivaram este estudo.

Criada pela Lei Complementar Federal nº. 14, de 8 de junho de 1973, a Região Metropolitana do Recife (RMR) é composta, atualmente, por quatorze municípios (Figura 3.1), a citar: Abreu e Lima, Araçoiaba, Cabo de Santo Agostinho, Camaragibe, Igarassu, Ilha de Itamaracá, Ipojuca, Itapissuma, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, Recife e São Lourenço da Mata. Corresponde a uma área de 2.768,45 km² e, segundo estimativas do IBGE (2010), possui uma população de aproximadamente 3,8 milhões de habitantes. É a maior aglomeração urbana do Nordeste e a quinta maior do Brasil.

Dos quatorze municípios metropolitanos, dez municípios possuem população inferior a 200.000 habitantes. Os outros quatro municípios – Recife, Jaboatão dos Guararapes, Olinda e Paulista – constituem os maiores núcleos urbanos (IBGE, 2010).

A Região Metropolitana do Recife está situada na Zona Costeira do Estado de Pernambuco, e limitada pelas coordenadas geográficas de latitude 7°41'09"S e 8°35'22"S, e de longitude 34°48'47"W e 35°16'09"W, segundo Carvalho *et al.* (2003).

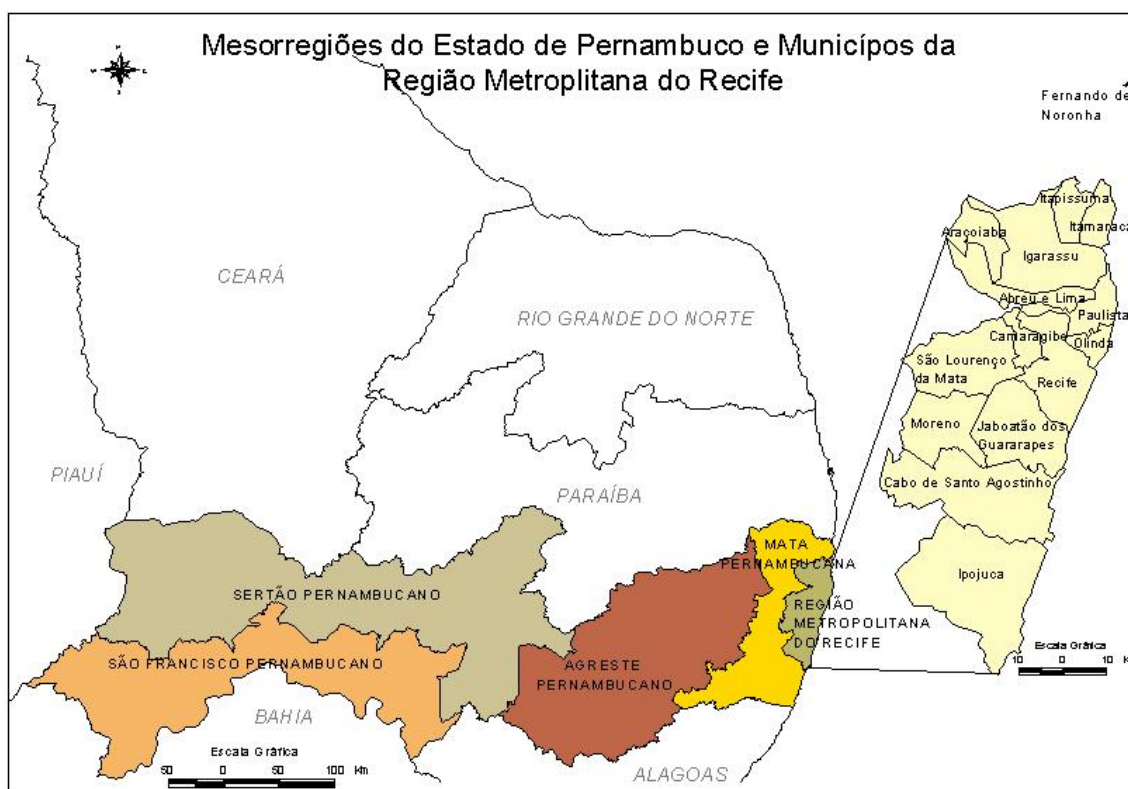


Figura 3.1 - Mesorregiões do Estado de Pernambuco e Municípios da Região Metropolitana do Recife (Góes *et al.*, 2006)

3.2. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E FISIAGRÁFICA

A precipitação pluviométrica no Nordeste do Brasil é resultante do acoplamento de diversos sistemas atmosféricos de várias escalas, quase periódicos, que podem ser modificados pelas características fisiográficas da região e por anomalias atmosféricas de escala global, que modificam frequência, distribuição espacial e intensidade dos sistemas atmosféricos (Silva *et al.*, 2010).

A Região Metropolitana do Recife está sob influência, ao longo da maior parte do ano, da massa Tropical Atlântica, caracterizada como uma massa tropical quente e úmida. Essa influência sofre perturbações derivadas da circulação atmosférica secundária. Tais perturbações, que alteram as condições de tempo dominante, estão associadas ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para o sul, ocorrência de Vórtices Ciclônicos de alta troposfera, avanços da Frente Polar Atlântica, bem como aos Cavados que formam Sistemas Ondulatórios de Leste; todas caracterizadas pela instabilidade e por índices moderados a fortes de precipitação pluviométrica (Tubelis e Nascimento, 1992, *apud* Girão *et al.*, 2008). Segundo Aragão *et al.* (2006), os principais sistemas atmosféricos que produzem chuvas de moderadas a fortes sobre o litoral de Pernambuco, e conseqüentemente sobre a cidade do Recife, são os Sistemas Ondulatórios de Leste, as frentes frias do sul e a ZCIT.

De acordo com Anjos (2000), a precipitação no Recife é tipicamente dividida em dois regimes: o período do outono-inverno que responde por 77,8% do total anual médio de 2.450,2 mm, com picos máximos no trimestre maio-junho-julho; e o da primavera-verão que responde por apenas 22,2%, destacando os meses de outubro, novembro e dezembro como os mais secos do período (Figura 3.2).

Os meses de junho e julho constituem-se nos meses de maior precipitação na faixa oriental de Pernambuco, tendo como causas – de acordo com Girão *et al.* (2008) – as eventuais invasões da Frente Polar Atlântica e, principalmente, instabilidades provocadas pelos Sistemas Ondulatórios de Leste ou Ondas de Leste.

Ainda segundo Girão *et al.* (2008), a ocorrência de precipitações pluviométricas no Recife ao longo do verão até meados do outono deve-se a movimentos ciclônicos da alta troposfera, os chamados Vórtices Ciclônicos, que em anos considerados úmidos também ocorrem durante a primavera e em fins do outono, com mais frequência nos meses de janeiro e fevereiro.

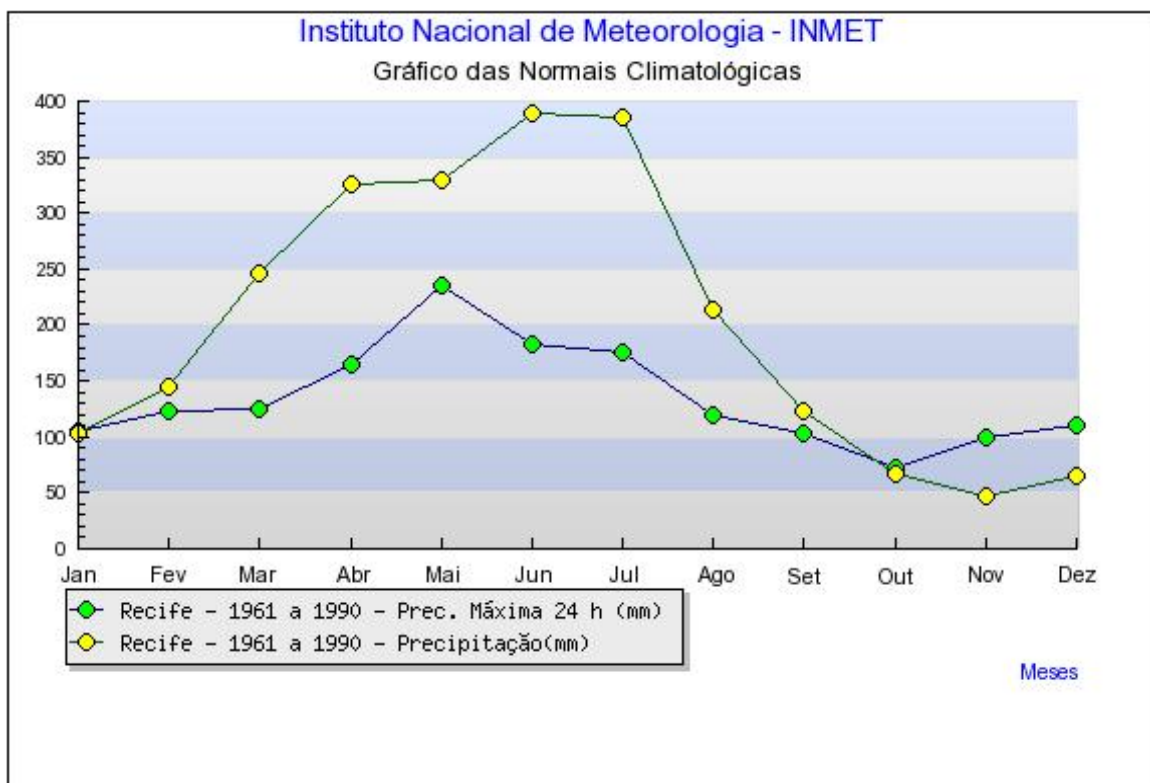


Figura 3.2 - Médias mensais de precipitação (em mm) e médias mensais de precipitação máxima ocorrida em 24 horas (em mm) para a cidade do Recife, com base no posto do Curado (zona oeste do Recife), para o período de 1961 a 1990 (extraído de INMET, 2010)

A ZCIT pode deslocar-se atingindo o Recife no período compreendido entre meados da primavera a meados de outono (novembro-maio), provocando chuvas intensas e abundantes, geralmente acompanhadas de trovoadas (Souza e Lacerda, 1998, *apud* Girão *et al.*, 2008).

Na escala global, os fenômenos que mais influenciam a precipitação sob a RMR são o La Niña e o El Niño. Estes fenômenos se constituem em fases distintas – fria e quente, respectivamente - de um movimento oscilatório referente à temperatura da borda oriental do oceano Pacífico tropical, resultante da interação dinâmica entre o oceano e a atmosfera na zona intertropical do planeta.

Apenas para exemplificar, o ano de 2000, considerado de atuação da La Niña, foi o mais chuvoso desde que se iniciaram os registros de chuva na região pelo INMET, segundo Girão *et al.* (2008), com um total pluviométrico de 3.900,75 mm. O ano de 2001, considerado seco e decorrente da prevalência do fenômeno El Niño, foi um dos anos mais secos em termos de precipitação, registrando um total pluviométrico de apenas 1.579,00 mm.

Os dados de evaporação disponíveis para a área indicam uma evaporação média de 1.860 mm para o posto de Curado, em Recife (período de registro de 13 anos), e de 1.222 mm para o posto de Olinda (período de registro de 32 anos) (SEPLAN/PE, 1997, *apud* Góes, 2009).

Segundo dados do INMET (2010), a temperatura média na cidade do Recife varia entre 24°C (nos meses de julho e agosto) e 26,5°C (nos meses de dezembro a março) – tendo por base o período de 1961 a 1990 – com temperaturas máximas absolutas podendo atingir até 35°C.

A umidade relativa do ar é alta, variando entre 79,2% e 90,7% nos meses mais chuvosos, entre abril e julho, chegando a atingir 100% em alguns municípios, como é o caso do Recife (FIDEM, 2003).

Geologicamente, a RMR é constituída por rochas do embasamento cristalino e por rochas sedimentares sobrepostas, pertencentes às Bacias Sedimentares do Cabo e Pernambuco-Paraíba, além dos sedimentos de cobertura da Formação Barreiras e sedimentos recentes da Planície do Recife (Góes, 2009)

Quanto ao relevo, estão individualizadas seis tipologias básicas na região (FIDEM, 2003): serras, morros altos, tabuleiros, morros baixos, colinas e planícies costeiras. A vegetação é típica de Mata Atlântica e ecossistemas a ela associados, como é o caso dos manguezais e da restinga, que foram desmatados em quase sua totalidade no decorrer do processo de expansão urbana (Carmo Filho, 2005). Hoje, a cobertura vegetal da RMR é representada de forma acentuada por canaviais.

3.3. EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS EXISTENTES PARA A REGIÃO

Em 1957, Otto Pfafstetter publicou o pioneiro trabalho intitulado *Chuvvas Intensas no Brasil* (Pfafstetter, 1957). Trabalhando com pluviogramas, determinou a equação IDF para 98 postos pluviográficos em diferentes localidades do País, dentre estas, uma equação para o posto de Olinda, da cidade homônima, onde utilizou uma série pluviográfica de 29 anos, correspondente ao período de 1926 a 1954, que gerou a Equação 3.1:

$$P = T^{\alpha + \frac{\beta}{T^{0,25}}} [0,5t + 35 \log(1 + 10t)] \quad (3.1)$$

onde:

T = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (horas);

P = altura de precipitação de duração t (mm);

α , β = parâmetros atribuídos conforme a duração t :

Para $t = 5$ min, $\beta = 0,04$; para $t > 5$ min, $\beta = 0,20$

t	5 min	15 min	30 min	1 h	2 h	4 h	8 h	14 h	24 h
α	0,108	0,122	0,136	0,156	0,166	0,174	0,176	0,174	0,170

Nas últimas três décadas, outras equações de chuvas têm sido utilizadas para projetos de sistemas de drenagem nas cidades que compõem a Região Metropolitana do Recife. Estas equações foram desenvolvidas no contexto do Plano Diretor de Macrodrenagem da Região Metropolitana do Recife, encomendado pela Fundação de Desenvolvimento Municipal (FIDEM, 1979). A determinação destas equações (Equações 3.2 e 3.3) foi realizada a partir de registros pluviográficos de 15 anos do posto de Olinda (1926-1933, 1936, 1937, 1939, 1941-1943, 1954) e de 10 anos do posto do Curado (1960, 1961, 1963, 1970-1976). O procedimento proposto é o de se considerar o maior valor fornecido entre as duas equações expostas a seguir:

$$i_1 = \frac{456,768 \times (T - 1,5)^{0,117} \times (1 - 4,54 \times 10^{-21} \times t^8)}{(t + 6)^{0,58111}} \quad (3.2)$$

$$i_2 = \frac{72,153 \times (T - 1,75)^{0,173}}{\left(\frac{t}{60} + 1\right)^{0,74826}} \quad (3.3)$$

onde:

T = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (minutos);

i_1 , i_2 = intensidade da chuva (mm/hora).

3.4. PROJEÇÕES DE MODELOS DE CIRCULAÇÃO GLOBAL PARA A REGIÃO

Ramos *et al.* (2006) elaboraram um artigo que consistiu em analisar os resultados de simulações de temperatura e precipitação realizadas por alguns modelos de circulação global para a Região Metropolitana do Recife. Foram utilizadas projeções de 6 MCGs distintos, que ao serem submetidos a condições variadas originaram 12 cenários diferentes.

A base de dados históricos considerada pelos autores nas simulações foi de médias mensais correspondentes ao período de 1961 a 1990. Ressalte-se que, atualmente, os MCGs disponibilizam seus dados como médias mensais e médias diárias. Entretanto, segundo Prudhomme *et al.* (2002), há pouca confiança nas simulações de cenários para períodos menores do que um mês, especialmente para variáveis como a precipitação. Por isso, os autores fizeram uso de médias mensais.

Os MCGs foram executados gerando conjuntos de previsões para três cenários diferentes, representando períodos de 30 anos: 2010-2039, 2040-2069, e 2070-2099.

Os resultados das previsões de variação de precipitação dos MCGs para a Região Metropolitana do Recife, para os cenários futuros 2010-2039 e 2040-2069, estão expostos nas Figuras 3.3 e 3.4, respectivamente. Os resultados foram expressos em percentuais de variação em torno da média de chuva da base histórica (1961-1990), e como se pode constatar, são bastante diferentes. O artigo de Ramos *et al.* (2006) pode ser visto, na íntegra, no Anexo A, ao final do presente estudo. Na Seção 4.3, adiante, são tecidos mais detalhes sobre o estudo em questão, sobre os MCGs e os seus resultados.

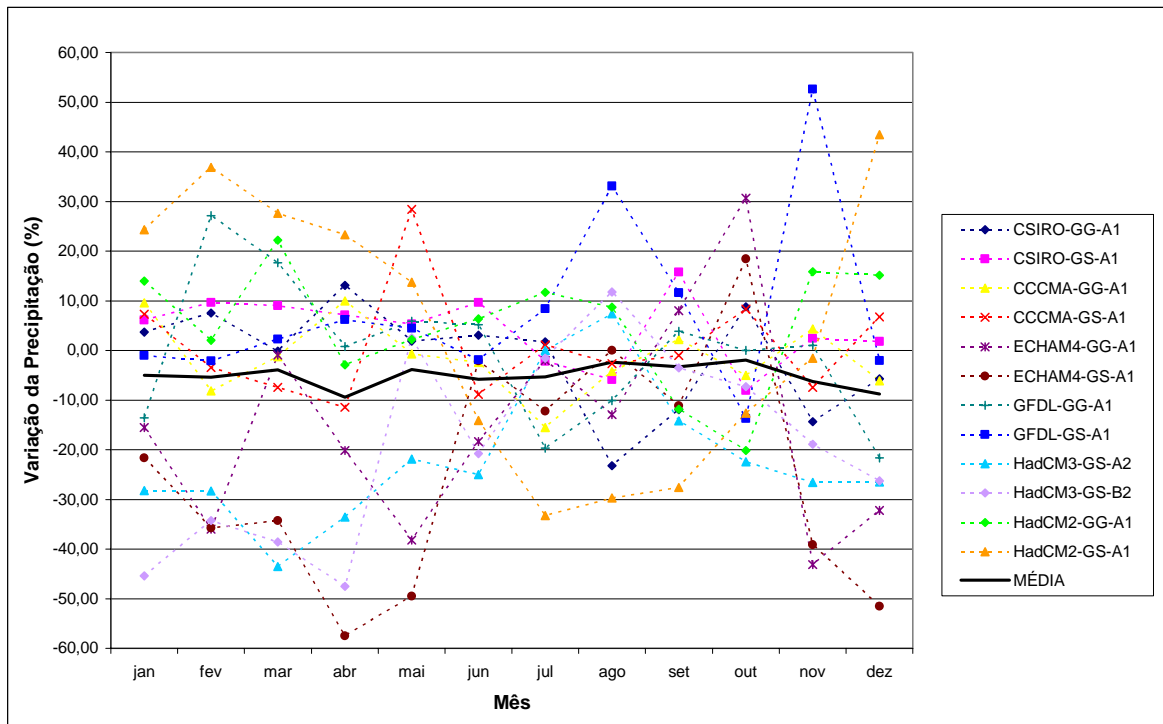


Figura 3.3 - Variações médias mensais de precipitação simuladas por MCGs para a Região Metropolitana do Recife, para o período de 2010 a 2039 (em %) (Ramos *et al.*, 2006)

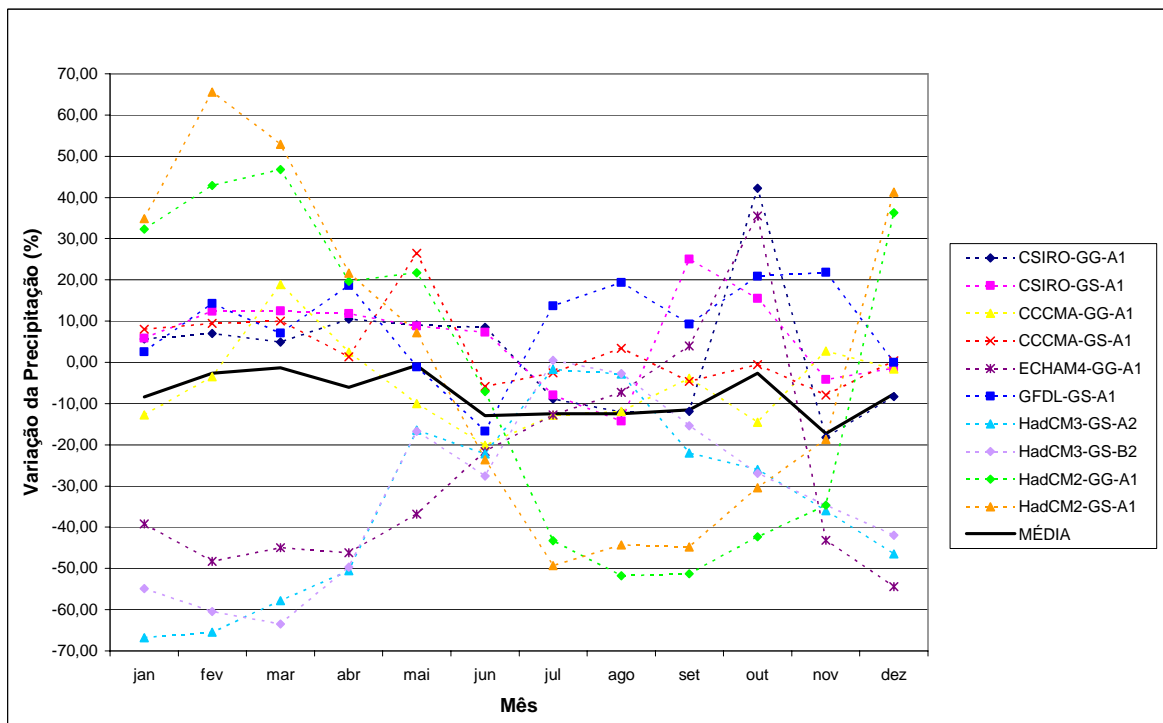


Figura 3.4 - Variações médias mensais de precipitação simuladas por MCGs para a Região Metropolitana do Recife, para o período de 2040 a 2069 (em %) (Ramos *et al.*, 2006)

4. METODOLOGIA

A Figura 4.1 sintetiza toda a metodologia a ser adotada para a construção do presente estudo. O detalhamento das etapas deste fluxograma está exposto nas seções posteriores.

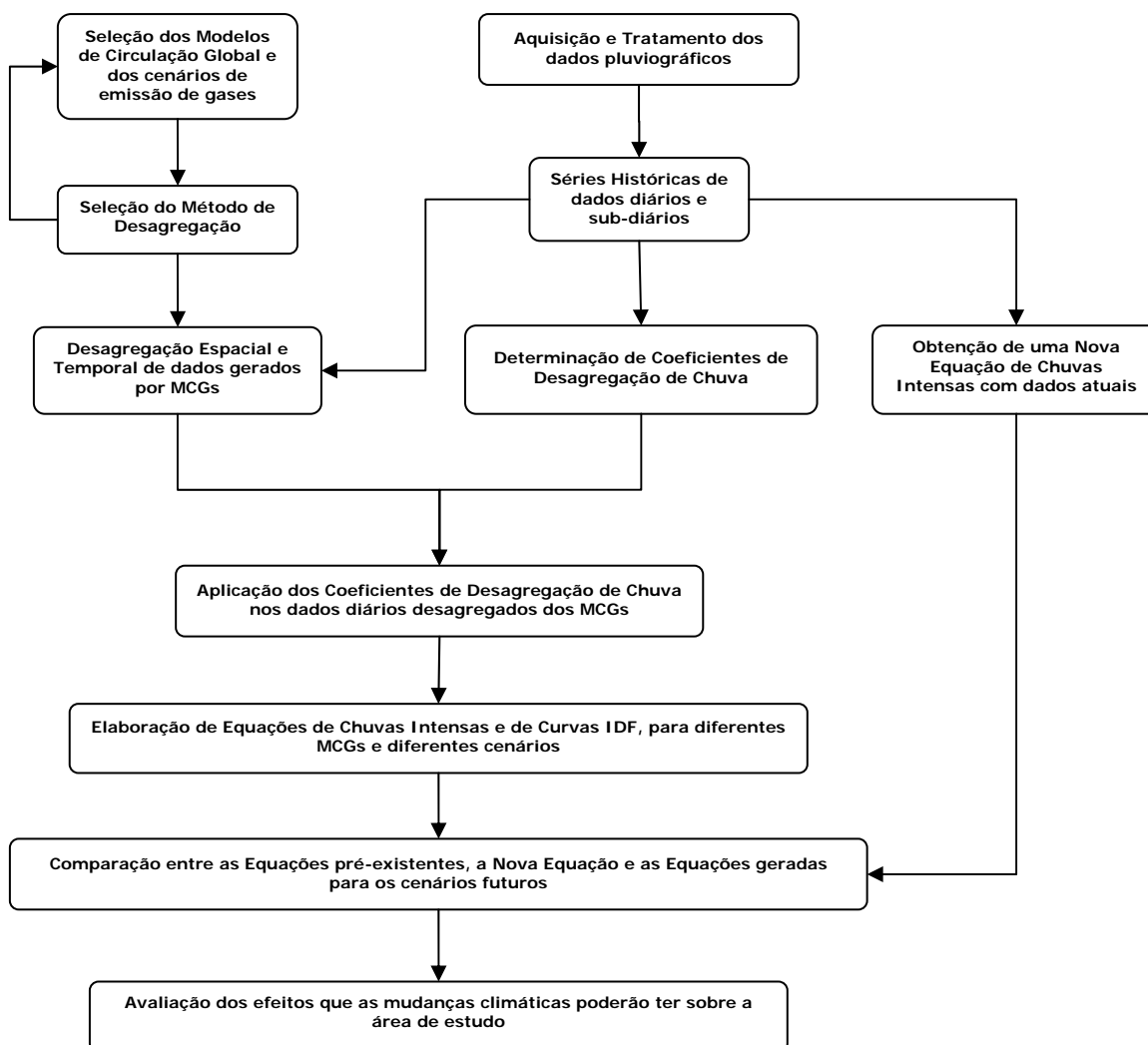


Figura 4.1 - Fluxograma da Metodologia empregada para a elaboração da Tese

4.1. AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados utilizados neste estudo foram extraídos dos pluviogramas do posto instalado no Aeroporto Internacional dos Guararapes, da cidade do Recife. O posto é mantido e operado pelo Terceiro Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (Cindacta III), instalado nas imediações do aeroporto.

O citado posto pluviográfico foi selecionado com base na extensão da sua série e na qualidade de seus dados. Ele foi implantado em 1961 e, nos quarenta e seis anos de registro, apresenta lacunas, principalmente na primeira década de existência, que não puderam ser recuperadas. O período de dados considerado de fato neste estudo é de 40 anos (1968 a 2007).

O período entre a solicitação e a aquisição dos dados pluviográficos demandou muito tempo (aproximadamente um ano e meio), uma vez que os mesmos ficam armazenados no Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) – organização do Comando da Aeronáutica que tem por finalidade capacitar recursos humanos e realizar pesquisas e desenvolvimentos no âmbito do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (ICEA, 2009) – localizado em São José dos Campos, São Paulo, para onde são enviados os pluviogramas a cada quatro meses de coleta, e de onde não podem ser retirados. Isso exigiu um trabalho de “escaneamento” dos pluviogramas *in loco*, dentro da própria instituição.

Os pluviogramas foram escaneados em uma resolução compatível para serem lidos por um programa computacional criado por Azevedo e Grandelle (2009). Neste programa, em plataforma Delphi, a imagem do pluviograma, em um arquivo com formato BMP ou JPG, é submetida ao observador, que tem a opção de detectar e eliminar erros na leitura computacional dos dados (Figura 4.2). A área de trabalho da imagem pode ser selecionada, e o traço do pluviograma pode ser acompanhado através da seleção em pontos de mudança de direção do traço (alteração da intensidade), indicando a ocorrência da chuva, e quantificando esse valor. Essa interferência do usuário é extremamente importante, visto que o traçado automático está muito susceptível a erros diante de pluviogramas com registros pouco legíveis, borrados ou com descontinuidade do traço registrado, situações observadas em muitos dos pluviogramas adquiridos para o posto em questão.

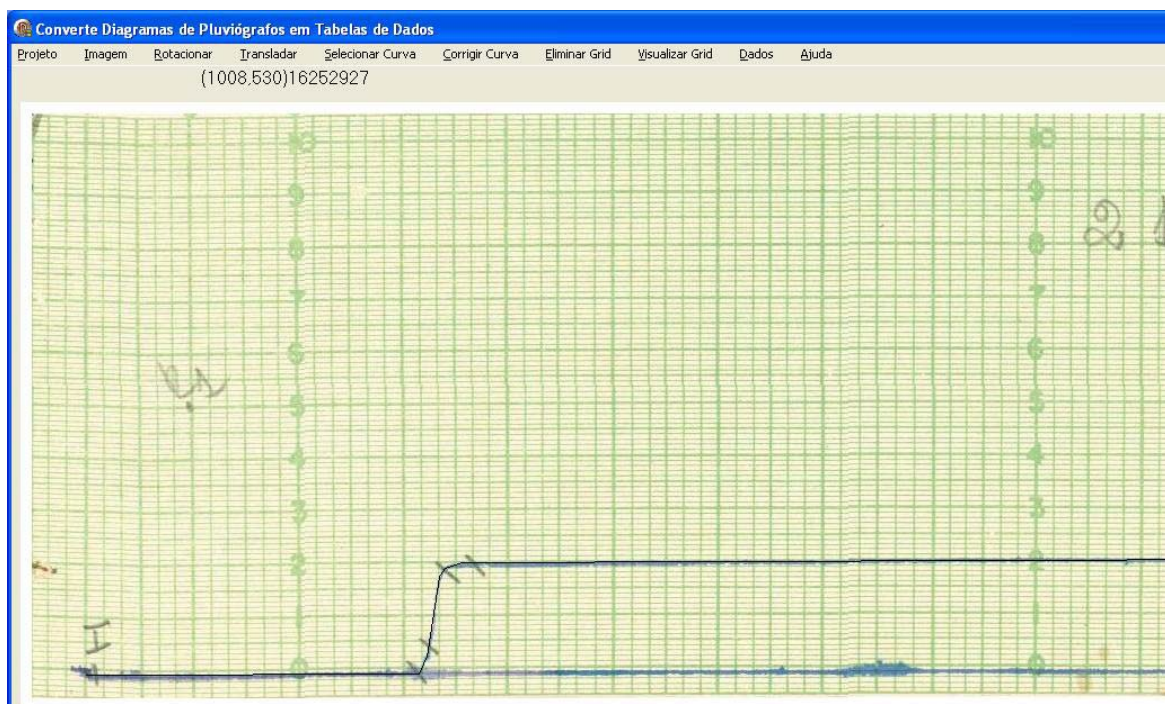


Figura 4.2 - Parte da Tela do programa utilizado para a leitura computacional dos pluviogramas (Azevedo e Grandelle, 2009)

O programa gera, ao final do tratamento de cada pluviograma, um arquivo em formato TXT contendo a precipitação para cada período ou duração solicitada. Foram selecionadas as maiores chuvas com duração de 5, 10, 15, 30, 60, 120, 240, 360, 720, 1080 e 1440 minutos. Procedeu-se, então, ao cálculo das relações entre estas precipitações e as durações consideradas, ou seja, das intensidades máximas de precipitação, com o objetivo de possibilitar a obtenção da Equação de Chuvas Intensas. As durações supracitadas foram selecionadas por serem tidas como comuns no cálculo de chuvas intensas (Bertoni e Tucci, 1997).

Os arquivos resultantes do tratamento de cada pluviograma formaram uma base de dados que permitiu também a determinação das relações entre dados de chuva de diferentes durações, uma das etapas necessárias para a realização do processo de desagregação espaço-temporal dos dados de chuva, descrita mais adiante.

4.2. OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS

Atualmente, existem duas equações de chuvas intensas (ver Seção 3.3) que vêm sendo utilizadas para projetos de sistemas de drenagem na cidade do Recife e em sua região metropolitana. Entretanto, essas equações foram obtidas com séries de dados observados até 1976.

De posse dos pluviogramas da estação pluviográfica do aeroporto do Recife, que possuem dados disponíveis até 2007, e com a digitalização dos mesmos, uma nova equação de chuva pôde, então, ser elaborada para a região.

4.2.1. Seleção das precipitações para o estabelecimento da série

Em geral, as séries de precipitações máximas podem ser constituídas pelos maiores valores observados em cada ano (séries anuais) ou pelos n maiores valores verificados no período total de observação (séries parciais).

Segundo Bertoni e Tucci (1997), a escolha entre se adotar as séries anuais ou as séries parciais depende do tamanho da série disponível e do objetivo do estudo, pois a metodologia de séries parciais deve ser utilizada quando o número de anos da série disponível é pequeno (menor do que 12 anos) e os tempos de retorno que serão utilizados são inferiores a 5 anos. A série anual é mais usual, principalmente quando se dispõe de muitos dados.

Com base nos dados da estação pluviográfica do aeroporto – que mesmo ao se desconsiderar os anos com muitas falhas apresentou uma série com 40 anos de dados (1968-2007) – foi estabelecida uma série anual de precipitações máximas para cada duração. Entretanto, precipitações máximas ou chuvas intensas são definidas como aquelas chuvas cujas intensidades ultrapassam um determinado valor mínimo. Portanto, uma vez que se estabeleceu uma série anual para cada duração, foram verificados quais valores de cada série eram superiores aos ditos valores mínimos, adotando-se apenas aqueles. O valor mínimo adotado neste trabalho para cada duração foi baseado nos limites propostos por Pfafstetter (1957) e por Wilken (1978) *apud* Davis e Naghettini (2001). Para aquelas durações que não foram abordadas pelos citados autores, procedeu-se à obtenção dos respectivos valores mínimos através da interpolação dos limites já definidos por aqueles.

A Tabela 4.1 apresenta os valores propostos na literatura e os valores adotados no presente estudo.

Tabela 4.1 - Valores adotados como precipitações mínimas a serem consideradas como chuvas intensas

Autor	Pfafstetter (1957)		Wilken (1978) <i>apud</i> Davis e Naghettini (2001)		Valores adotados	
	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)
5	8	96	10	120	8	96
10	-	-	12	72	12	72
15	15	60	15	60	15	60
30	20	40	20	40	20	40
45	-	-	23	30,7	23	30,7
60	25	25	25	25	25	25
120	30	15	30	15	30	15
180	-	-	33	11	33	11
240	35	8,8	35	8,8	35	8,8
360	-	-	-	-	38*	6,3
480	40	5	-	-	40	5
720	-	-	-	-	45*	3,7
840	47	3,4	-	-	47	3,4
1080	-	-	-	-	50*	2,8
1440	55	2,3	-	-	55	2,3

* Valores interpolados

4.2.2. Seleção e Ajuste da Distribuição de Probabilidade

Uma vez que se obteve uma série anual de precipitações máximas para cada duração, observando-se os limites mínimos estabelecidos para cada série, pôde-se ajustar uma distribuição de probabilidades aos valores.

A distribuição estatística utilizada neste estudo foi a distribuição de valores extremos do Tipo I, também conhecida por Gumbel.

Segundo Naghettini e Pinto (2007), a distribuição de Gumbel é a distribuição de valores extremos mais usada na análise de frequência de variáveis hidrológicas, com inúmeras aplicações na determinação de relações intensidade-duração-freqüência de precipitações intensas e estudos de vazões de enchentes.

A distribuição de Gumbel apresenta a seguinte função acumulada de probabilidade (Naghettini e Pinto, 2007):

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\beta}{\alpha}\right)\right] \quad (4.1)$$

onde:

x = variável aleatória associada a valores máximos do período;

α = parâmetro de escala, onde $\alpha > 0$;

β = parâmetro de posição, onde $-\alpha < \beta < \alpha$.

A inversa da Equação 4.1 pode ser escrita da seguinte forma:

$$x(T) = \beta - \alpha \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (4.2)$$

onde:

T = tempo de retorno (anos);

$x(T)$ = valor de uma variável hidrológica associada ao tempo de retorno T .

Estimando-se os parâmetros α e β da distribuição pelo método dos momentos, obtêm-se as seguintes expressões:

$$\alpha = \frac{\sigma_x}{1,283} \quad (4.3)$$

$$\beta = \bar{X} - 0,45 \times \sigma_x \quad (4.4)$$

onde:

\bar{X} = média amostral;

σ_x = desvio padrão amostral.

Substituindo-se os parâmetros estimados pelas Equações 4.3 e 4.4 em 4.2, e fazendo-se algumas simplificações, encontra-se:

$$x(T) = \bar{X} + \left\{ -0,45 - \frac{1}{1,283} \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \times \sigma_x \quad (4.5)$$

De acordo com Chow (1964), *apud* Naghettini e Pinto (2007), o valor de uma variável hidrológica – que neste estudo seriam as alturas de precipitação – pode ser obtido através da seguinte fórmula:

$$x(T) = \bar{X} + K_T \times \sigma_x \quad (4.6)$$

onde K_T é um fator de frequência, função do tempo de retorno e da distribuição de probabilidade empregada na análise.

Comparando-se as Equações 4.5 e 4.6, conclui-se que o fator de frequência da distribuição de Gumbel pode ser expresso pela seguinte equação:

$$K_T = - \left\{ 0,45 + \frac{1}{1,283} \ln \left[- \ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (4.7)$$

De acordo com Naghettini e Pinto (2007), esse fator de frequência pode ser obtido também em tabelas, ou calculado pela seguinte equação:

$$K_T = \frac{Y_T - \bar{X}_{Y_i}}{\sigma_{Y_i}} \quad (4.8)$$

onde:

Y_T = variável reduzida de Gumbel, associada a tempo de retorno T , calculada por:

$$Y_T = - \ln \left[- \ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]; \quad (4.9)$$

$Y_i(n)$ = variáveis reduzidas de Gumbel associadas aos dados observados;

\bar{X}_{Y_i} = média dos $Y_i(n)$;

σ_{Y_i} = desvio padrão dos $Y_i(n)$.

Substituindo-se a Equação 4.9 na Equação 4.5, obtém-se a equação utilizada no trabalho de ajuste da distribuição neste estudo:

$$x(T) = \bar{X} + \left\{ -0,45 + \frac{1}{1,283} Y_T \right\} \times \sigma_x \quad (4.10)$$

onde, considerando-se as variáveis do presente estudo:

$x(T)$ = valor da altura de precipitação para o tempo de retorno adotado (mm);

\bar{X} = média das alturas de precipitação (mm);

σ_x = desvio padrão das alturas de precipitação (mm);

Y_T = variável reduzida de Gumbel para o tempo de retorno adotado (Equação 4.9).

Os períodos de retorno considerados neste estudo foram de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. Uma vez que as alturas de precipitação para cada período de retorno foram obtidas, efetuou-se o cálculo das respectivas intensidades de precipitação através da relação:

$$i = \frac{x(T)}{t} \times 60 \quad (4.11)$$

onde:

i = intensidade de precipitação (mm/h);

t = tempo de duração da precipitação (min).

4.2.3. Teste de aderência

O ajuste da distribuição de Gumbel foi avaliado pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. Esse teste consiste em rejeitar a hipótese de adequação do ajuste, se a diferença máxima entre os valores observados e ajustados for superior ao crítico, para o nível de significância especificado. O teste é expresso por:

$$D_{n,\max} = \max D_n \quad (4.12)$$

sendo,

$$D_n = |F_n(x) - F_x(x)| \quad (4.13)$$

onde:

D_n = valor absoluto do teste Kolmogorov-Smirnov para cada amostra;

n = tamanho da amostra;

$F_n(x)$ = função de probabilidade acumulada empírica, ou seja, a frequência acumulada observada, que é dada por:

$$F_n(x) = \frac{m}{n}, \text{ em que:} \quad (4.14)$$

m = ordem de classificação decrescente da amostra;

$F_x(x)$ = função de probabilidade acumulada teórica, ou seja, a frequência acumulada da distribuição de probabilidade avaliada, que, ao se tratar de Gumbel, é dada por:

$$F_x(x) = \frac{1}{T} = 1 - e^{-e^{-Y}}, \text{ em que:} \quad (4.15)$$

Y = variável reduzida de Gumbel, associada a tempo de retorno T

A hipótese de nulidade é aceita sempre que o valor máximo $D_{n,max}$ for menor que um valor crítico tabelado. Quando isso acontece, os dados se ajustam à distribuição em avaliação.

Segundo Freitas *et al.* (2001), *apud* Rodrigues *et al.* (2008), o teste Kolmogorov-Smirnov torna-se mais rigoroso para níveis de significância maiores, uma vez que o valor obtido tem menor probabilidade de ser superado pelo tabelado.

A Tabela 4.2 exhibe os valores críticos de D_n em função dos níveis de significância e do tamanho da amostra (n).

Tabela 4.2 - Valores críticos de $D_{n,\alpha}$, por nível de significância (α), para o teste de aderência Kolmogorov–Smirnov (Naghetini e Pinto, 2007)

n	$D_{n, 0,10}$	$D_{n, 0,05}$	$D_{n, 0,02}$	$D_{n, 0,01}$	n	$D_{n, 0,10}$	$D_{n, 0,05}$	$D_{n, 0,02}$	$D_{n, 0,01}$
10	0,369	0,409	0,457	0,489	26	0,233	0,259	0,290	0,311
11	0,352	0,391	0,437	0,468	27	0,229	0,254	0,284	0,305
12	0,338	0,375	0,419	0,449	28	0,225	0,250	0,279	0,300
13	0,325	0,361	0,404	0,432	29	0,221	0,246	0,275	0,295
14	0,314	0,349	0,390	0,418	30	0,218	0,242	0,270	0,290
15	0,304	0,338	0,377	0,404	31	0,214	0,238	0,266	0,285
16	0,295	0,327	0,366	0,392	32	0,211	0,234	0,262	0,281
17	0,286	0,318	0,355	0,381	33	0,208	0,231	0,258	0,277
18	0,279	0,309	0,346	0,371	34	0,205	0,227	0,254	0,273
19	0,271	0,301	0,337	0,361	35	0,202	0,224	0,251	0,269
20	0,265	0,294	0,329	0,352	36	0,199	0,221	0,247	0,265
21	0,259	0,287	0,321	0,344	37	0,196	0,218	0,244	0,262
22	0,253	0,281	0,314	0,337	38	0,194	0,215	0,241	0,258
23	0,247	0,275	0,307	0,330	39	0,191	0,213	0,238	0,255
24	0,242	0,269	0,301	0,323	40	0,189	0,210	0,235	0,252
25	0,238	0,264	0,295	0,317	> 40	$1,22/\sqrt{n}$	$1,36/\sqrt{n}$	$1,52/\sqrt{n}$	$1,63/\sqrt{n}$

4.2.4. Relação Intensidade-Duração-Freqüência

Uma vez verificada a aderência da distribuição de Gumbel aos dados observados, buscou-se determinar a relação intensidade-duração-freqüência para a série de dados de chuva disponível. Essa relação é expressa pela Equação de Chuvas Intensas, que apresenta a seguinte forma geral:

$$i = \frac{aT^b}{(t+c)^d} \quad (4.16)$$

onde:

i = intensidade da chuva (mm/h);

T = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (minutos);

a, b, c, d = parâmetros adimensionais relativos à localidade.

Com o objetivo de determinar os valores dos parâmetros adimensionais, a Equação 4.16 foi reescrita da seguinte forma:

$$i = \frac{C}{(t + c)^d} \quad (4.17)$$

em que: $C = aT^b$ (4.18)

Em seqüência, a Equação 4.17 foi transformada na equação de uma reta mediante a propriedade dos logaritmos:

$$\log i = \log C - d \log(t + c) \quad (4.19)$$

Segundo Villela e Mattos (1975), o primeiro passo para a determinação dos parâmetros é lançar em coordenadas logarítmicas as séries de intensidades máximas, resultantes da Equação 4.11, em função do intervalo de duração. Unindo-se os valores com o mesmo período de retorno, obtém-se uma família de curvas paralelas, que representam graficamente as relações intensidade-duração-freqüência. Para transformar essas curvas em retas, com equações semelhantes à Equação 4.19, é necessário utilizar o procedimento de anamorfose (ou procedimento de linearização), substituindo a duração t por uma duração $t+c$, e então estimando um valor para o parâmetro c . Essa determinação, segundo Wilken (1978), pode ser realizada através do método de tentativa e erro ou pelo método gráfico. Neste estudo, o valor de c foi definido conforme o maior coeficiente de determinação (R^2) da correlação linear entre o logaritmo da série de intensidade máxima ($\log i$) e o logaritmo do intervalo de duração acrescido do parâmetro em questão ($\log(t+c)$) para o tempo de retorno de 5 anos, em acordo com o procedimento adotado por Aragão *et al.* (2000). Posteriormente, seguiu-se o mesmo procedimento para os outros períodos de retorno considerados, buscando verificar se, uma vez definido, o valor de c poderia ser mantido para os outros tempos de retorno. Para essa verificação, analisou-se o comportamento dos coeficientes de determinação e dos valores do coeficiente angular (d) e linear ($\log C$) das retas de regressão determinados diante de mudanças no parâmetro c . Para a determinação do parâmetro d da Equação 4.16, adotou-se o valor médio entre os coeficientes angulares de cada uma dessas equações de regressão.

A Equação 4.18 também foi transformada na equação de uma reta mediante a propriedade dos logaritmos, resultando na seguinte equação:

$$\log C = \log a + b \log T \quad (4.20)$$

Os valores de $\log C$ gerados como coeficientes lineares das retas de regressão (Equação 4.19) foram lançados em um gráfico em função do logaritmo do período de retorno, resultando em uma reta cujo coeficiente linear corresponde ao logaritmo do parâmetro a e cujo coeficiente angular corresponde ao parâmetro b .

Com a determinação dos parâmetros a , b , c e d , obteve-se a Nova Equação de Chuvas Intensas para a cidade do Recife. Para comparar os valores das intensidades máximas de precipitação calculados pela distribuição de Gumbel e os determinados pela Nova Equação de Chuvas Intensas foram utilizados três critérios estatísticos (Silva, 2009): o coeficiente de determinação (R^2), a razão de desvios (RD) e o coeficiente de massa residual (CMR) (Equações 4.21, 4.22, e 4.23, respectivamente).

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T}) \times (M_i - \bar{M})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T})^2 \times \sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2}} \right]^2 \quad (4.21)$$

$$RD = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2}{\sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T})^2} \quad (4.22)$$

$$CMR = \frac{\sum_{i=1}^N M_i - \sum_{i=1}^N T_i}{\sum_{i=1}^N M_i} \quad (4.23)$$

onde:

M_i = valores calculados pela Equação de Chuvas Intensas;

T_i = valores calculados pela distribuição de Gumbel;

N = número de pares de variáveis calculadas (pela distribuição e pela equação);

\bar{M} , \bar{T} = médias dos valores calculados pela Equação de Chuvas e pela distribuição de Gumbel, respectivamente.

O coeficiente de determinação (R^2) mede a força da relação linear entre os valores do ajuste e da equação, tendendo a um valor próximo a 1 (um) quanto melhor for essa relação. A razão de desvios (RD) descreve a razão entre a dispersão dos valores ajustados pela distribuição e os calculados pela equação, e deverá tender a um, ocorrendo quando há igualdade entre esses valores. O valor esperado do coeficiente de massa residual (CMR) tende a zero, na ausência de desvios sistemáticos entre os valores em questão, podendo indicar a superestimação ($CMR > 0$) ou a subestimação ($CMR < 0$) da Equação de Chuvas Intensas.

Os resultados obtidos pela Nova Equação de Chuvas Intensas da cidade do Recife foram comparados a resultados obtidos pela equação de Pfafstetter (1957) para o posto de Olinda e pelas equações estabelecidas para o Plano Diretor de Macrodrenagem da Região Metropolitana do Recife (FIDEM, 1979).

Para o estudo comparativo dessas equações de chuva, estas foram representadas graficamente por curvas intensidade-duração para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, buscando averiguar as semelhanças da equação aqui elaborada em relação às existentes.

4.3. SELEÇÃO DOS MODELOS DE CIRCULAÇÃO GLOBAL

Vários foram os Modelos de Circulação Global identificados e descritos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007a) (Quadro 4.1). Estes diferem quanto à resolução espacial, aos processos físicos que representam, aos parâmetros envolvidos, e ao nível de exigência computacional para as simulações (IPCC, 1997).

Existe um grau de incerteza relacionado a cada cenário climático gerado por um Modelo de Circulação Global. Isto resulta em divergências entre os resultados das simulações desses MCGs, como puderam constatar Mendelsohn e Williams (2002) no estudo que realizaram sobre previsão de impactos oriundos das mudanças climáticas para cada continente.

Ramos *et al.* (2006) confirmaram essas divergências, quando compararam e analisaram os resultados de simulações de MCGs para a RMR, buscando verificar se os mesmos ditavam tendências semelhantes para as variáveis temperatura e precipitação.

Quadro 4.1 - Modelos de Circulação Global considerados no Quarto Relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC* (adaptado de IPCC, 2007a)

MCG, Ano da 1ª publicação	Instituição Proponente, País	Atmosfera	Oceano
		Pressão no topo / Resolução*	Resolução*
1: BCC-CM1, 2005	Beijing Climate Center, China	top = 25 hPa 1.9° x 1.9° L16	1.9° x 1.9° L30
2: BCCR-BCM2.0, 2005	Bjerknes Centre for Climate Research, Norway	top = 10 hPa 1.9° x 1.9° L31	0.5°–1.5° x 1.5° L35
3: CCSM3, 2005	National Center for Atmospheric Research, USA	top = 2.2 hPa 1.4° x 1.4° L26	0.3°–1° x 1° L40
4: CGCM3.1(T47), 2005	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Canada	top = 1 hPa ~2.8° x 2.8° L31	1.9° x 1.9° L29
5: CGCM3.1(T63), 2005		top = 1 hPa ~1.9° x 1.9° L31	0.9° x 1.4° L29
6: CNRM-CM3, 2004	Météo-France/Centre National de Recherches Météorologiques, France	top = 0.05 hPa ~1.9° x 1.9° L45	0.5°–2° x 2° L31
7: CSIRO-MK3.0, 2001	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) Atmospheric Research, Australia	top = 4.5 hPa ~1.9° x 1.9° L18	0.8° x 1.9° L31
8: ECHAM5/MPI-OM, 2005	Max Planck Institute for Meteorology, Germany	top = 10 hPa ~1.9° x 1.9° L31	1.5° x 1.5° L40
9: ECHO-G, 1999	Meteorological Institute of the University of Bonn, Meteorological Research Institute of the Korea Meteorological Administration (KMA), and Model and Data Group, Germany/Korea	top = 10 hPa ~3.9° x 3.9° L19	0.5°–2.8° x 2.8° L20
10: FGOALS-g1.0, 2004	National Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics (LASG)/Institute of Atmospheric Physics, China	top = 2.2 hPa ~2.8° x 2.8° L26	1.0° x 1.0° L16
11: GFDL-CM2.0, 2005	U.S. Department of Commerce/ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), USA	top = 3 hPa 2.0° x 2.5° L24	0.3°–1.0° x 1.0°
12: GFDL-CM2.1, 2005		top = 3 hPa 2.0° x 2.5° L24	0.3°–1.0° x 1.0°
13: GISS-AOM, 2004	National Aeronautics and Space Administration (NASA)/ Goddard Institute for Space Studies (GISS), USA	top = 10 hPa 3° x 4° L12	3° x 4° L16
14: GISS-EH, 2004		top = 0.1 hPa 4° x 5° L20	2° x 2° L16
15: GISS-ER, 2004	NASA/GISS, USA	top = 0.1 hPa 4° x 5° L20	4° x 5° L13
16: INM-CM3.0, 2004	Institute for Numerical Mathematics, Russia	top = 10 hPa 4° x 5° L21	2° x 2.5° L33
17: IPSL-CM4, 2005	Institut Pierre Simon Laplace, France	top = 4 hPa 2.5° x 3.75° L19	2° x 2° L31
18: MIROC3.2(hires), 2004	Center for Climate System Research (University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC), Japan	top = 40 km ~1.1° x 1.1° L56	0.2° x 0.3° L47
19: MIROC3.2(medres), 2004		top = 30 km ~2.8° x 2.8° L20	0.5°–1.4° x 1.4° L43
20: MRI-CGCM2.3.2, 2003	Meteorological Research Institute, Japan	top = 0.4 hPa ~2.8° x 2.8° L30	0.5°–2.0° x 2.5° L23
21: PCM, 1998	National Center for Atmospheric Research, USA	top = 2.2 hPa ~2.8° x 2.8° L26	0.5°–0.7° x 1.1° L40
22: UKMO-HadCM3, 1997	Hadley Centre for Climate Prediction and Research/Met Office, UK	top = 5 hPa 2.5° x 3.75° L19	1.25° x 1.25° L20
23: UKMO-HadGEM1, 2004		top = 39.2 km ~1.3° x 1.9° L38	0.3°–1.0° x 1.0° L40

* A resolução horizontal é expressa em latitude × longitude em graus, enquanto a resolução vertical é expressa como “Lmm”, onde mm é o número de camadas verticais.

A base de dados históricos considerada pelos autores nas simulações foi de médias mensais correspondentes ao período de 1961 a 1990. Os MCGs foram executados gerando conjuntos de previsões para três cenários diferentes, representando períodos de 30 anos: 2010-2039, 2040-2069, e 2070-2099. Não houve desagregação espacial dos dados.

Com exceção do modelo HadCM3, todos os demais foram simulados em duas condições: ora considerando apenas a atuação dos gases do efeito estufa, ora considerando, além destes, o efeito dos aerossóis (sulfato, carbono orgânico, carbono negro, nitrato e poeira, dentre outros), pequenas partículas encontradas na atmosfera que refletem a radiação solar de volta para o espaço, apresentando assim um efeito “resfriador” sobre o clima. O modelo HadCM3 foi simulado nos cenários A2 e B2 (IPCC, 2000), onde o primeiro consiste em um cenário mais pessimista do que o segundo, com um crescimento populacional mais elevado, desenvolvimento econômico e tecnológico mais lentos, e um nível baixo de “preocupação ambiental” (Dessai e Trigo, 2006).

No estudo de Ramos *et al.* (2006), diante das condições a que foram expostos durante as simulações, os MCGs receberam outras nomenclaturas, de acordo com cada situação (Quadro 4.2).

Quadro 4.2 - Modelos de Circulação Global utilizados em um estudo preliminar (Ramos *et al.*, 2006)

Modelo	Centro	Resolução Atmosférica	Resolução Oceânica	Nomenclatura por Condições de Simulação*
CGCM1	CCCma	3,8 × 3,8 L10	1,8 × 1,8 L29	CCCMA-GG-A1
				CCCMA-GS-A1
CSIRO Mk2	CSIRO	3,2 × 5,6 L9	3,2 × 5,6 L21	CSIRO-GG-A1
				CSIRO-GS-A1
ECHAM4	DKRZ	2,8 × 2,8 L19	2,8 × 2,8 L11	ECHAM4-GG-A1
				ECHAM4-GS-A1
GFDL_R15	GFDL	4,5 × 7,5 L9	4,5 × 3,7 L12	GFDL-GG-A1
				GFDL-GS-A1
HadCM2	UKMO	2,5 × 3,75 L19	2,5 × 3,75 L20	HadCM2-GG-A1
				HadCM2-GS-A1
HadCM3	UKMO	2,5 × 3,75 L19	1,25 × 1,25 L20	HadCM3-GS-A2
				HadCM3-GS-B2

Adaptado de IPCC (2001). Resolução Atmosférica e Oceânica: A resolução horizontal é expressa em latitude × longitude em graus, enquanto a resolução vertical é expressa como “Lmm”, onde mm é o número de camadas verticais.

* GG (Greenhouse Gas), GS (Greenhouse Gas and Aerosols), e A1 significam, respectivamente: simulações sem aerossóis, simulações com aerossóis e considerando um acréscimo de 1% dos gases do efeito estufa ao ano.

Os resultados das simulações para a temperatura foram expressos em acréscimos ou reduções da temperatura média mensal em torno da média da base histórica (1961-1990), e os resultados para a precipitação foram expressos em percentuais de variação em torno também da média da base histórica – formas usualmente adotadas para a representação de resultados das simulações de MCGs. Enquanto os resultados das simulações dos MCGs para a temperatura apresentaram comportamentos semelhantes (Figura 4.3), que ditam uma tendência, os resultados para a precipitação foram bastante distintos (Figura 4.4).

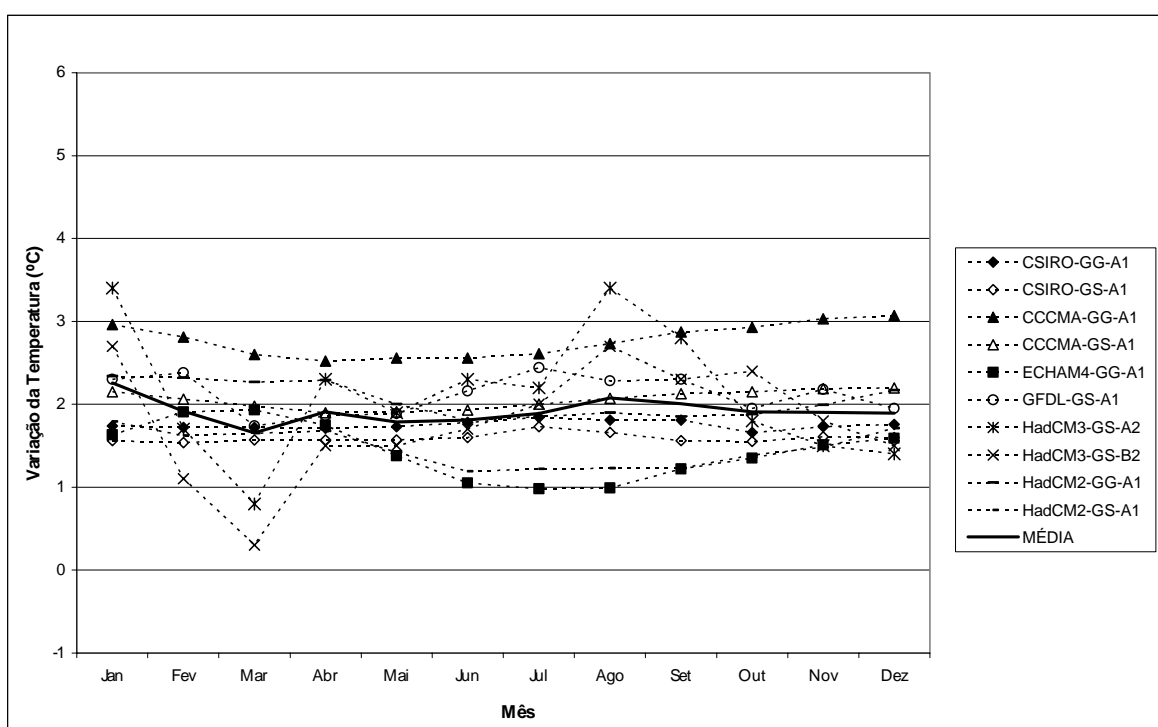


Figura 4.3 - Variações médias mensais de temperatura simuladas por MCGs sobre a Região Metropolitana do Recife, para o período de 2040 a 2069 (em °C) (Ramos *et al.*, 2006)

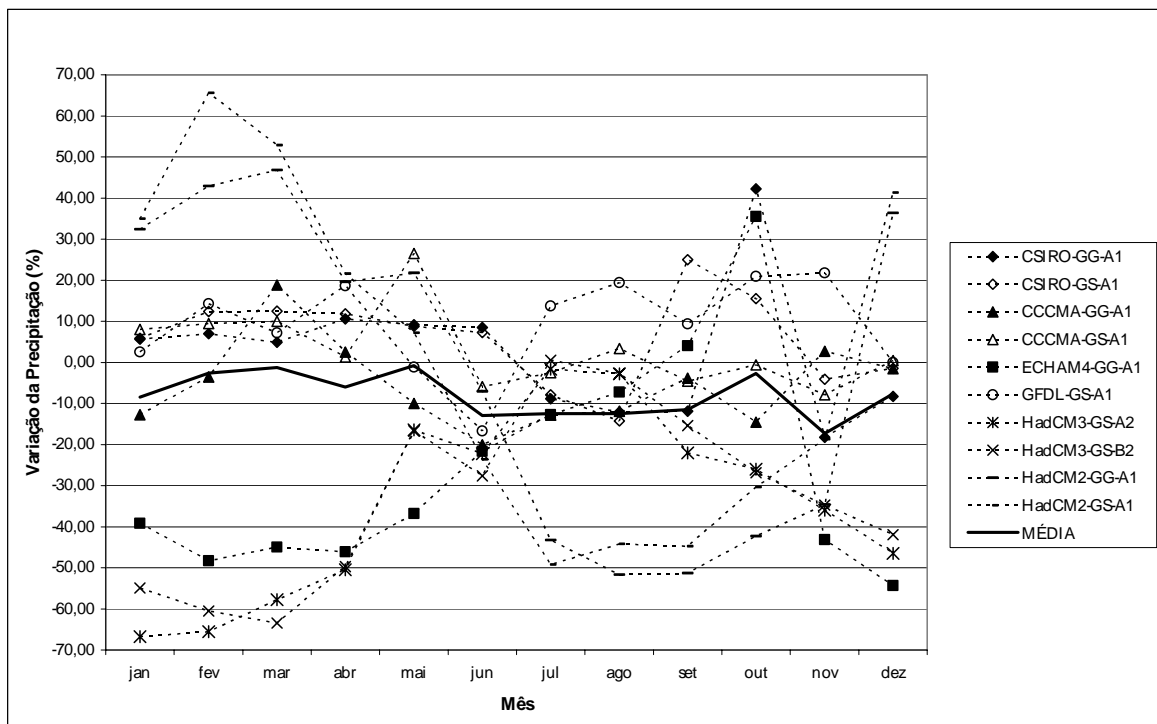


Figura 4.4 - Variações médias mensais de precipitação simuladas por MCGs sobre a Região Metropolitana do Recife, para o período de 2040 a 2069 (em %) (Ramos *et al.*, 2006)

Com base nos resultados divergentes dos modelos para a precipitação, Ramos *et al.* (2006) constataram o risco de se utilizar os resultados de um único MCG em particular em estudos hidrológicos, e sugeriram a adoção de uma análise de sensibilidade dos resultados dos MCGs, associados ao modelo hidrológico em questão, avaliando os riscos de suas aplicações e estabelecendo limites de confiança. Marengo (2007) também sugeriu a adoção de vários cenários de diversos MCGs para tentar reduzir as incertezas associadas às simulações desses modelos. Wilby *et al.* (2004) ressaltaram os cuidados que se deve ter com os cenários desagregados por *downscaling* estatístico, com base em um único MCG ou um cenário de emissão. Pois, se esses resultados são utilizados em um estudo de impactos, pode dar a enganosa impressão de que um aumento da resolução represente aumento da confiança nas projeções. Portanto, é cada vez mais reconhecido que estudos de impacto devem ser fundamentados em múltiplas saídas de MCGs.

De acordo com o IPCC (2007a), um grande avanço da avaliação das projeções da mudança do clima em relação ao Terceiro Relatório de Avaliação (IPCC, 2001) é o grande número de simulações disponíveis feitas com uma gama maior de MCGs. Juntamente com as informações adicionais obtidas de observações, elas fornecem uma base quantitativa

para estimar as probabilidades de muitos aspectos da mudança climática no futuro. As simulações dos modelos cobrem uma faixa de futuros cenários possíveis, inclusive suposições idealizadas de emissão ou concentração. Entre estes estão os cenários ilustrativos do Relatório Especial sobre Cenários de Emissões (*Special Report on Emission Scenarios* – SRES; IPCC, 2000) para o período de 2000 a 2100.

No Quarto Relatório sobre Mudanças Climáticas do IPCC (2007a), apenas os cenários B1, A1B e A2 foram objetos de estudos comparativos entre MCGs. Este é um subconjunto dos cenários ilustrativos utilizados no Terceiro Relatório de Avaliação, e representam cenários “baixo” (B1), “médio” (A1B) e “alto” (A2) com relação à concentração dos gases emitidos. Segundo o IPCC (2007a), esta escolha foi feita exclusivamente devido aos limitados recursos computacionais para simulações utilizando vários MCGs, e não implica qualquer preferência ou qualificação destes três cenários sobre os outros. Entretanto, os autores ressaltaram que conclusões qualitativas provenientes desses três cenários são, na maioria dos casos, também válidas para outros cenários do SRES. O Quadro 4.3 fornece a descrição do que vem a ser cada um dos três cenários em questão.

Quadro 4.3 - Cenários de Emissões considerados no Quarto Relatório do IPCC (2007b)

Cenário	Descrição
B1	Descreve um mundo convergente com a mesma população global, com uma mudança rápida nas estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e informação, com reduções da intensidade material e a introdução de tecnologias limpas e eficientes em relação ao uso dos recursos. A ênfase está nas soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, inclusive a melhoria da equidade, mas sem iniciativas adicionais relacionadas com o clima.
A1B	Descreve um mundo futuro de crescimento econômico muito rápido, com a rápida introdução de tecnologias novas e mais eficientes. As principais questões subjacentes são a convergência entre as regiões, a capacitação e o aumento das interações culturais e sociais, com uma redução substancial das diferenças regionais na renda per capita. Com relação à ênfase tecnológica no sistema energético, apresenta um equilíbrio entre o uso de combustíveis fósseis e as fontes energéticas não-fósseis
A2	Descreve um mundo muito heterogêneo. O tema subjacente é a auto-suficiência e a preservação das identidades locais. Os padrões de fertilidade entre as regiões convergem muito lentamente, o que acarreta um aumento crescente da população. O desenvolvimento econômico é orientado primeiramente para a região e o crescimento econômico per capita e a mudança tecnológica são mais fragmentados e mais lentos do que nos outros enredos.

As emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido sulfuroso (SO₂); as concentrações de CO₂, CH₄ e óxido nítrico (N₂O); e o forçamento radiativo total para cada um dos três cenários considerados do SRES são ilustrados na Figura 4.5. Segundo o IPCC (2007b), o forçamento radiativo é uma medida da influência de um fator na alteração do equilíbrio da energia que entra e sai do sistema Terra-Atmosfera, e é usado para comparar a forma como os fatores humanos e naturais provocam o aquecimento ou o esfriamento do clima global. O forçamento positivo tende a aquecer a superfície, enquanto o forçamento negativo tende a esfriá-la. Ele é expresso em watts por metro quadrado (Wm⁻²).

As projeções consideradas no presente estudo são baseadas nos cenários B1, A1B e A2 acima explanados, em adesão à seleção realizada pelo IPCC em seu Quarto Relatório (IPCC, 2007a).

Com base nos resultados obtidos por Ramos *et al.* (2006), que constataram o risco de se utilizar os resultados de um MCG em particular, optou-se por considerar todos os MCGs passíveis de utilização na metodologia de desagregação adotada, cujos resultados das projeções climáticas sejam disponibilizados pelo Centro de Distribuição de Dados (*Data Distribution Centre* – DDC, 2009) do IPCC, fonte das projeções dos MCGs que serviram de base para a elaboração dos relatórios de avaliação de mudanças climáticas do IPCC.

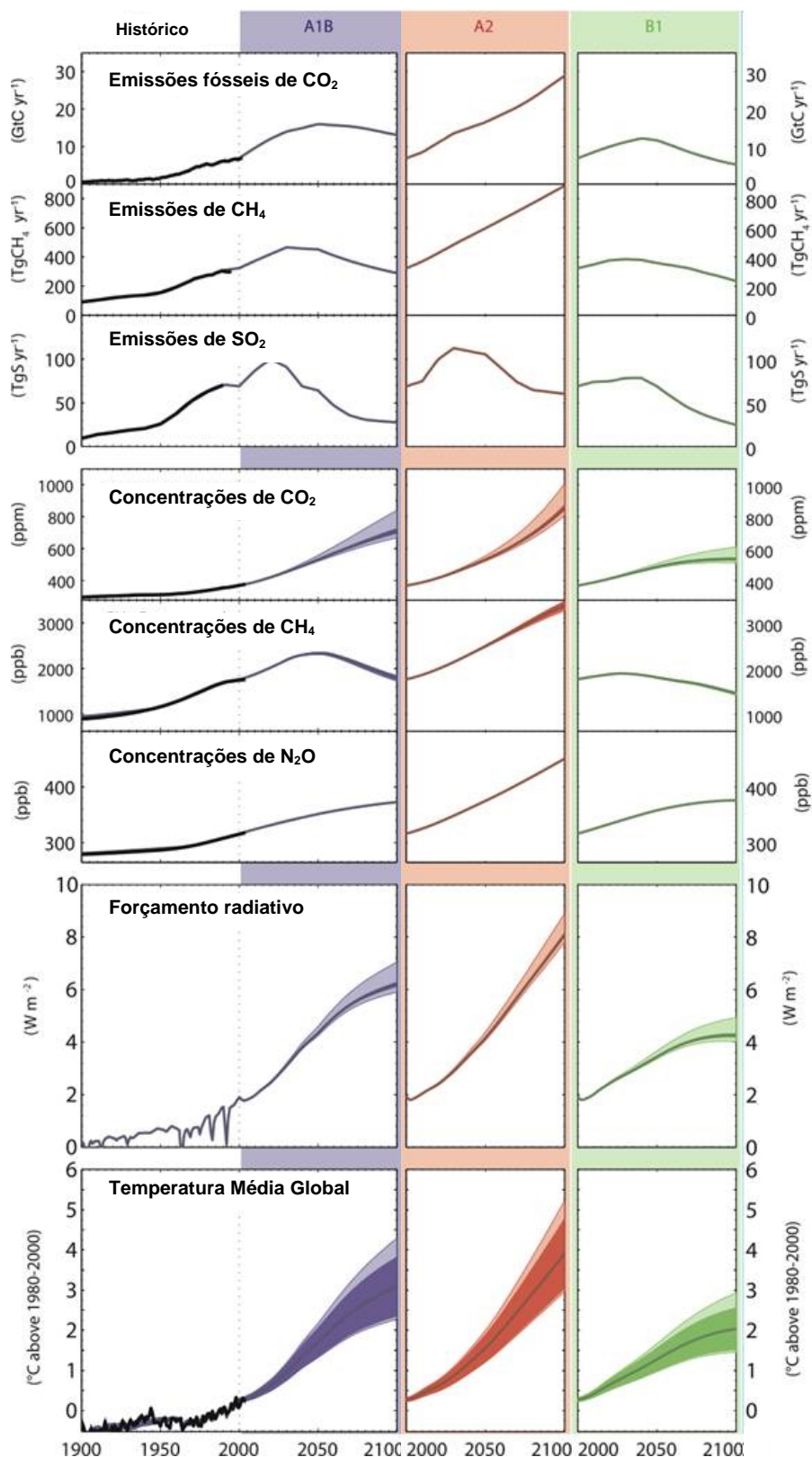


Figura 4.5 - Emissões fósseis de CO₂, CH₄ e SO₂ para três cenários de emissões do SRES (A1B, A2, e B1), concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O, forçamento radiativo e temperatura média global baseados na simulação de 19 MCGs. As linhas sólidas são médias globais. O sombreamento denota a faixa de desvio padrão de mais/menos uma das médias anuais individuais dos modelos (IPCC 2007a).

4.4. SELEÇÃO DOS MÉTODOS DE DESAGREGAÇÃO

Diversos métodos podem ser utilizados como técnicas de *downscaling*. Muitas informações foram coletadas da literatura e incorporadas ao texto do Capítulo 2 a respeito destes (Seções 2.3 e 2.6). Diante do que lá está exposto, percebe-se que os geradores estocásticos de tempo são os mais adequados para a realização da desagregação espacial e temporal de dados de precipitação, pois têm obtido bons resultados (Zhang *et al.*, 2004; Hansen e Ines, 2005; Wey, 2006; Prodanovic e Simonovic, 2006; Kilsby *et al.*, 2007; Burton *et al.*, 2008; dentre outros). Em comparação aos modelos dinâmicos com grades aninhadas, a técnica em questão apresenta ainda a grande vantagem de não exigir alto custo computacional para a sua execução. Pelos vários motivos já expostos, o gerador estocástico de tempo foi julgado o método mais apropriado para o desenvolvimento deste estudo. Um fato que possibilita a utilização deste método empírico é a existência de uma série de dados de longa duração disponível para a modelagem.

Um gerador estocástico de tempo é um modelo de simulação matemática usado para gerar séries sintéticas de tempo, que são estatisticamente idênticas aos dados observados. Segundo Wilks (1999), uma série sintética é o resultado da associação de séries de dados reais com números aleatórios produzidos por algoritmos computacionais a fim de gerar seqüências de variáveis aleatórias que se assemelham aos dados climáticos reais.

De acordo com Burton *et al.* (2008), os geradores estocásticos utilizados para gerar dados de chuva diários e horários fornecem um eficiente papel de suporte em análises de risco e vulnerabilidade dentro de sistemas hidrológicos e hidráulicos. Esses papéis incluem a geração de dados sintéticos, quando não há dados disponíveis; a extrapolação de séries curtas de dados observados; a desagregação temporal de registros observados; e a desagregação de cenários de mudanças climáticas no espaço e no tempo.

A hipótese fundamental dos geradores estocásticos de tempo para utilização no presente estudo e em estudos semelhantes é de que as correlações estatísticas entre as variáveis climáticas, derivadas dos dados observados, são válidas para um clima em alteração (*Canadian Climate Change Scenarios Network – CCCSN*, 2007).

Existem vários geradores estocásticos de tempo desenvolvidos para a realização de *downscaling* espacial e/ou temporal (WGEN, USCLIMATE, CLIGEN, GEM, LARS-WG, CLIMABR, dentre outros). Potta (2004) apresentou em seu estudo as vantagens e

desvantagens de alguns desses geradores estocásticos. Entretanto, não consiste em um dos objetivos da presente tese fazer um estudo comparativo entre os modelos existentes. De acordo com o IPCC (2008), os critérios de seleção para o gerador estocástico a ser utilizado dependerão de quais modelos são disponíveis e de como suas características documentadas satisfazem as necessidades da avaliação do impacto.

Segundo Dibike e Coulibaly (2004), um dos geradores estocásticos de tempo mais conhecidos como método de *downscaling* estatístico é o gerador de tempo denominado por LARS-WG – *Long Ashton Research Station Weather Generator* (Semenov e Barrow, 2002). Os autores compararam os resultados do LARS-WG aos resultados de outras duas técnicas de *downscaling* estatístico, de categorias diferentes: o *Statistical Down-Scaling Model* (SDSM) e a rede neural artificial (RNA). Segundo os autores, o gerador estocástico reproduziu as durações dos períodos úmidos e secos de precipitação melhor do que o SDSM e a RNA. Enquanto o SDSM subestimou as durações dos períodos úmidos durante todo o ano, a RNA superestimou os valores na maior parte do tempo.

Qian *et al.* (2004) comparou os resultados de dois geradores estocásticos em seu estudo – o LARS-WG e o AAFC-WG – a fim de avaliar suas capacidades de reproduzir a precipitação diária observada, a temperatura máxima e a mínima para diversos climas canadenses. Embora o AAFC-WG tenha apresentado um melhor desempenho na simulação de estatísticas relacionadas à temperatura, o LARS-WG apresentou um desempenho ligeiramente superior na simulação de estatísticas associadas à precipitação diária.

Em um trabalho recente, Semenov (2008) descreveu o modelo estocástico LARS-WG como um gerador de tempo que consegue reproduzir bem os valores máximos anuais de precipitação diária. O autor testou a habilidade do LARS-WG para simular eventos climáticos extremos em 20 locais de climas diferentes.

Outra vantagem do gerador para o presente estudo é de que a sua utilização para a desagregação de precipitação não necessita da consideração de outras variáveis meteorológicas, além da própria precipitação, para apresentar um bom desempenho, como alguns modelos necessitam (o SDSM, por exemplo).

4.4.1. Gerador Estocástico de Tempo LARS-WG

O LARS-WG é um gerador estocástico através do qual é possível se obter séries diárias sintéticas de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação e radiação solar, com alta resolução temporal (escala diária) e espacial (1 km, dependendo do local), segundo Collier *et al.* (2008). Ele pode ser utilizado para simulação de dados sob condições climáticas atuais ou futuras.

Segundo Semenov e Barrow (2002), a primeira versão do gerador de tempo LARS-WG foi desenvolvida em Budapeste, em 1990, como parte da *Avaliação do Risco Agrícola na Hungria*, um projeto financiado pela Academia Húngara de Ciências (Racsko *et al.*, 1991). O foco principal do trabalho foi o de superar limitações do método denominado cadeia de Markov, amplamente utilizado para modelar a ocorrência de precipitação (que geralmente considera dois estados de precipitação, úmido ou seco, e considera apenas as condições do dia anterior), e que nem sempre é capaz de simular corretamente a máxima duração do período seco. De acordo com Semenov e Barrow (2000), a principal limitação da abordagem "Markoviana" é que a cadeia de Markov tem uma "memória limitada" para eventos extremos. Isto foi, então, resolvido com uma abordagem "em séries", onde a distribuição de séries úmidas e secas é obtida através da acumulação de informações a partir das observações.

A versão atual do LARS-WG sofreu uma remodelagem completa, a fim de produzir um modelo robusto capaz de gerar dados meteorológicos sintéticos para uma grande variedade de climas. Em um trabalho recente, Semenov e Stratonovitch (2010) descrevem a mais nova versão do gerador, que passou a incorporar projeções climáticas de um conjunto de quinze Modelos de Circulação Global utilizados no quarto relatório de avaliação do IPCC (2007a). Entretanto, a versão do gerador disponível para o público no decorrer do presente estudo (LARS-WG, 2010) – e, por conseguinte, a que foi utilizada para o *downscaling* no mesmo – incluiu apenas quatro dos MCGs utilizados pelo IPCC em seu último relatório, expostos no Quadro 4.4 adiante. Nesta versão, as simulações são disponíveis para três cenários de emissões do IPCC (A1B, A2 e B1) e para três horizontes futuros (2011-2030, 2046-2065 e 2080-2099).

Quadro 4.4 - Modelos de Circulação Global cujas projeções são disponibilizadas através do LARS-WG

MCG	Grupo de Modelagem	Denominação no LARS-WG
UKMO-HadCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Res./Met Office, UK	HadCM3
IPSL-CM4	Institut Pierre Simon Laplace, France	IPCM4
ECHAM5/MPI-OM	Max Planck Institute for Meteorology, Germany	MPEH5
CCSM3	National Center for Atmospheric Research, USA	NCCCSM

O processo de geração de dados sintéticos no LARS-WG pode ser dividido em três etapas distintas (Semenov e Barrow, 2002):

1. Calibração do Modelo (ícone *SITE ANALYSIS* do menu do programa) – dados meteorológicos observados são analisados para determinar suas características estatísticas. Esta informação é armazenada em dois arquivos de parâmetros.
2. Validação do Modelo (ícone *QTEST* do menu do programa) – as características estatísticas dos dados meteorológicos observados e dos dados sintéticos gerados através dos dois arquivos de parâmetros são analisadas para determinar se existem diferenças estatisticamente significativas. A verificação do ajuste entre os dados gerados e observados é realizada através da aplicação do teste Kolmogorov-Smirnov, na versão utilizada do programa neste estudo.
3. Geração dos dados meteorológicos sintéticos (ícone *GENERATOR* do menu do programa) – os arquivos de parâmetros derivados dos dados meteorológicos observados durante o processo de calibração do modelo são, então, usados para gerar dados meteorológicos sintéticos com as mesmas características estatísticas dos dados observados originais, mas diferentes em uma base dia-a-dia. Dados sintéticos correspondentes a um cenário particular de mudanças climáticas também podem ser gerados a partir de saídas de Modelos de Circulação Global, que tiveram suas projeções recentemente incorporadas ao programa.

Nos processos de validação e de geração dos dados sintéticos do LARS-WG, é necessária a utilização de uma variável denominada *random seed*, que será aqui referenciada como “semente”. Segundo Semenov e Barrow (2002), o componente estocástico do LARS-WG é controlado por um número aleatório – a referida semente. No programa, existe um conjunto predefinido de sementes – seis opções, na versão

utilizada. Ao repetir uma simulação com o mesmo valor da semente, serão obtidos exatamente os mesmos dados da simulação anterior. Entretanto, pode-se gerar um número de séries temporais diferentes, selecionando-se opções diferenciadas para a semente. Todas as séries teriam as mesmas características estatísticas, mas seriam diferentes em uma base dia-a-dia. Para estes casos, Semenov e Barrow (2002) advertem que diferentes seqüências temporais, mesmo que contenham as mesmas características estatísticas, podem ter diferentes efeitos em sua aplicação e, por isso, como acontece com qualquer processo de modelagem estocástica, a aplicação precisaria ser executada diversas vezes com seqüências de tempo diferentes, pois seria maior a chance de se cobrir toda a gama de condições climáticas adversas possíveis. Seqüências longas são geralmente necessárias na avaliação de riscos.

No LARS-WG, a precipitação é considerada a variável principal, sendo as demais variáveis (temperatura máxima, temperatura mínima e radiação solar) condicionadas àquela. Pode-se utilizar o gerador apenas com dados de precipitação, ou com uma combinação destes e de dados de quaisquer das variáveis climáticas citadas acima. No presente estudo, foram utilizados apenas dados de precipitação.

O gerador modela a precipitação através do uso de distribuições de probabilidade semi-empíricas para as durações de séries úmida e seca e para o total precipitado em um dia úmido, onde um dia úmido é definido como aquele no qual a precipitação é maior do que zero. Segundo Semenov *et al.* (1998), a distribuição semi-empírica é suficientemente flexível e permite a simulação precisa de estatísticas meteorológicas diferentes.

O LARS tem sido testado em diversos climas de países como o Canadá, os Estados Unidos, a Rússia, a Nova Zelândia, a Austrália, em vários países da Europa, dentre outros (Semenov *et al.*, 1998; Qian *et al.*, 2004; Semenov, 2008). Conforme Semenov *et al.* (2010), o gerador demonstrou um bom desempenho na reprodução da maioria das características dos dados observados em cada local. Em outro estudo, Semenov (2008) afirma que o LARS-WG tem se mostrado adequado para a simulação de tempo diário em diversos climas, incluindo a reprodução de eventos climáticos extremos.

4.4.2. Determinação dos Coeficientes de Desagregação de Chuva

Conforme já exposto, as curvas IDF e as Equações de Chuvas Intensas são ferramentas bastante utilizadas na determinação da vazão de projeto para dimensionamento de sistemas de drenagem de águas pluviais. Entretanto, para a obtenção dessas equações de chuvas são necessários dados pluviográficos de onde se possam extrair alturas de chuva para cada duração considerada. Como esses dados são mais escassos do que dados pluviométricos no Brasil, muitos estudos já foram realizados com o intuito de determinar relações entre chuvas de diferentes durações, que possibilitariam a utilização de dados pluviométricos em substituição aos dados pluviográficos para a elaboração de novas equações de chuvas e/ou a atualização das já existentes (CETESB, 1980).

De acordo com Zuffo (2004), diversos estudos têm demonstrado que chuvas de 1 dia de duração extraídas de dados pluviométricos são em geral inferiores às chuvas de 24 horas de dados pluviográficos, para aparelhos instalados em uma mesma estação meteorológica. Estes dados diferem, segundo Back (2009), em virtude das leituras de dados, em postos pluviométricos, serem realizadas sempre no mesmo horário, enquanto que as máximas de 24 horas são registradas continuamente, a partir de qualquer instante, com o uso do pluviógrafo, podendo, por isso, serem superiores às chuvas máximas de 1 dia correspondentes, em alguns eventos. Ainda segundo Back (2009), vários trabalhos têm mostrado que a relação entre a chuva máxima de 24 h e a chuva máxima de 1 dia é praticamente constante e independente do período de retorno. De acordo com Zahed Filho e Marcellini (1995), baseados em alguns estudos, o valor dessa relação oscila de 1,10 a 1,14.

Em regiões onde dados pluviográficos não são disponíveis, são também necessárias as relações entre a chuva máxima de 1 dia e as chuvas de durações menores que 24 horas, geradas através da aplicação de coeficientes de desagregação obtidos em outros locais, possibilitando a elaboração de curvas intensidade-duração-freqüência para essas regiões. No presente estudo, o objetivo principal de se buscar as relações entre chuvas de diferentes durações seria o de possibilitar a obtenção de curvas IDF para diferentes cenários de mudanças climáticas projetados por Modelos de Circulação Global para o futuro. Entretanto, com a ausência de um posto pluviométrico próximo ao aeroporto do Recife cuja série de dados fosse compatível com a do posto pluviográfico e, portanto, com a impossibilidade de estabelecer as relações entre a chuva de 1 dia e a chuva de 24 horas, foram estabelecidas apenas as relações entre a chuva de 24 horas e as chuvas de durações

inferiores, sendo esta uma limitação do trabalho. Lobo e Magni (1987), *apud* Genovez e Zuffo (2000), obtiveram que a média das chuvas de 1 dia de duração, registradas no pluviômetro, é uma boa estimativa da média das alturas pluviométricas das chuvas de 24 horas, obtidas do pluviógrafo. Ou seja, que a relação entre ambas seria aproximadamente igual a 1 (um). Esta foi a hipótese considerada no estudo, diante da limitação encontrada.

No processo de obtenção da Nova Equação de Chuvas Intensas da cidade do Recife (seção 4.2), foram estimados valores de chuva máxima anual para períodos de retorno entre 2 e 100 anos para cada duração considerada no estudo, por meio da distribuição de Gumbel. Com esses valores, foi possível estabelecer relações entre as chuvas de 24 horas e as chuvas de durações inferiores (5, 10, 15, 30, 60, 120, 240, 360, 720 e 1080 minutos), para cada período de retorno.

Para a determinação dos *coeficientes de desagregação de chuva*, foram obtidos os valores médios das relações para cada período de retorno considerado. Segundo Genovez e Zuffo (2000), os estudos de Pfafstetter (1957), Bell (1969) e Chen (1983) apresentaram as relações entre chuvas de durações diferentes como constantes e independentes do período de retorno, sugerindo, por isso, a adoção de valores médios como coeficientes de desagregação.

Buscando proporcionar a obtenção de curvas IDF para cenários de mudanças climáticas, foi considerada a hipótese de que as relações entre chuvas de durações diferentes não serão modificadas com o tempo, sendo os coeficientes de desagregação considerados constantes no tempo. Prodanovic (2008), ainda que não tenha mencionado a adoção da hipótese de que essas relações não modificarão com o tempo, utilizou coeficientes da relação entre chuvas horárias e chuvas de 5, 10, 15 e 30 minutos – obtidos pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1994, *apud* Prodanovic, 2008) – em um contexto de mudanças climáticas.

Com a obtenção dos coeficientes, tornou-se possível a realização da segunda parte do processo de desagregação necessário a este estudo: utilizar esses coeficientes para desagregarem as séries sintéticas de dados diários de chuva, fornecidas pelo gerador estocástico, em dados para as durações de 5, 10, 15 e 30 minutos, 1, 2, 4, 6, 12 e 18 horas. Essa segunda parte possibilitou, como será apresentado adiante, a obtenção de curvas IDF para diferentes cenários de mudanças climáticas projetados para o futuro.

4.5. ELABORAÇÃO DE EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PARA CENÁRIOS PROJETADOS

Com base nos dados fornecidos pelo gerador estocástico e desagregados através da utilização dos coeficientes de desagregação de chuva, foram estabelecidas séries anuais de intensidades máximas para cada cenário futuro de cada Modelo de Circulação Global considerado. Com essas séries anuais, foi possível estabelecer as curvas IDF e as Equações de Chuvas Intensas, para cada um desses cenários de mudanças climáticas.

Estas curvas e suas equações possibilitaram estabelecer um paralelo entre a vazão de projeto para o dimensionamento de um sistema de drenagem de águas pluviais em um loteamento urbano, nos dias de hoje, e a vazão de projeto que poderá ser encontrada em cada um dos cenários considerados, no amanhã.

4.6. ESTUDO DE CASO

Buscando verificar se as diferenças encontradas entre os resultados estimados por uma Equação de Chuvas desenvolvida para os dias atuais, e os resultados oriundos de Equações de Chuvas elaboradas para cenários projetados de mudanças climáticas poderão afetar o dimensionamento de um sistema de drenagem de águas pluviais e, conseqüentemente, o funcionamento do mesmo, foi utilizado um projeto de microdrenagem urbana para um loteamento fictício.

A Figura 4.6 apresenta um croqui do loteamento fictício considerado. Trata-se de um bairro residencial, localizado no município do Recife, ocupado por casas com jardins e quintais. Todo o projeto original, com a utilização das Equações de Chuvas da FIDEM (1979) para a obtenção das intensidades de precipitação e o conseqüente dimensionamento, está em anexo ao final deste estudo (Anexo B).

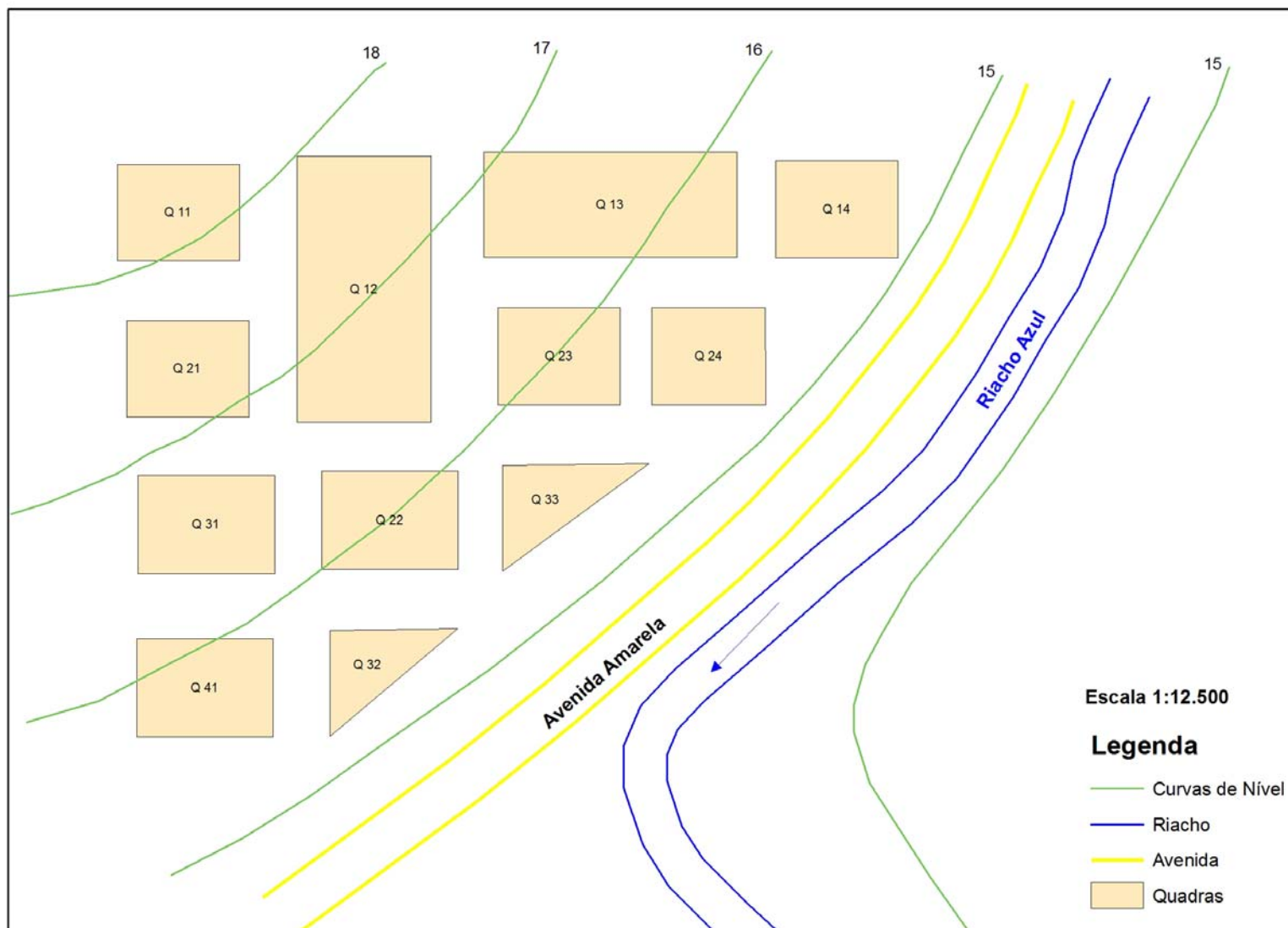


Figura 4.6 – Croqui do loteamento urbano fictício

Como se trata de um bairro que possui uma área inferior a 2 km², foi adotado o Método Racional para a determinação da vazão máxima de projeto. Os princípios básicos desse método são (FCTH, 1999): (i) a duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia, admitindo-se que a bacia seja pequena para que essa condição aconteça, pois a duração é inversamente proporcional à intensidade; (ii) adota-se um coeficiente único relacionado ao grau de impermeabilização, o coeficiente de escoamento superficial, denominado *C*, estimado com base nas características da bacia; e, finalmente, (iii) não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões. Segundo Porto (1995), a hipótese central do método é de que a duração da chuva é igual ao tempo de concentração da bacia.

Por se tratar de uma área residencial, o tempo de retorno adotado foi o de dois anos, conforme CETESB (1980).

Uma planilha eletrônica foi utilizada para a obtenção de todos os cálculos de modo automático. Os parâmetros de projeto foram considerados os mesmos em todas as simulações, com exceção da equação de chuvas, para que apenas a influência da intensidade de chuva fosse testada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. BASE DE DADOS

O período entre a solicitação e a aquisição dos dados pluviográficos demandou muito tempo (aproximadamente um ano e meio), uma vez que os mesmos estavam armazenados no Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), em São José dos Campos - São Paulo, o que exigiu um trabalho de “escaneamento” dos pluviogramas *in loco*, dentro da própria instituição. Posteriormente, esses “pluviogramas digitais” foram lidos em um programa computacional criado por Azevedo e Grandelle (2009).

Após um trabalho exaustivo de tratamento dos dados, com observações e correções de falhas dando seqüência à etapa de leitura dos pluviogramas, foi obtida a base de dados para o cálculo das intensidades de precipitação no presente estudo. As durações consideradas para tal cálculo foram as de 5, 10, 15 e 30 minutos, 1, 2, 4, 6, 12, 18 e 24 horas. As séries anuais de precipitação máxima referidas a cada uma das durações selecionadas estão apresentadas na Tabela 5.1.

Considerando-se os valores mínimos adotados para chuvas intensas, exibidos na Tabela 4.1 do Capítulo de Metodologia, as séries da Tabela 5.1 foram analisadas, e os valores inferiores aos limites estabelecidos foram desconsiderados, resultando nas séries expostas na Tabela 5.2. Estas últimas séries foram transformadas em intensidades pluviométricas, e encontram-se apresentadas na Tabela 5.3, juntamente com os parâmetros estatísticos dessas séries anuais.

Tabela 5.1 - Séries anuais de precipitação máxima (mm), para diferentes durações, observadas durante o período 1968 a 2007

Ano	Duração (minutos)										
	5	10	15	30	60	120	240	360	720	1080	1440
1968	6,1	11,0	14,7	26,0	36,1	56,4	72,6	79,6	86,9	89,7	91,2
1969	17,8	27,6	39,3	62,6	113,2	124,4	124,5	124,8	125,1	132,0	132,2
1970	9,5	17,8	21,9	36,2	47,4	79,8	120,4	166,8	210,7	215,7	217,0
1971	11,2	13,3	16,1	27,9	42,8	76,1	125,1	136,2	167,1	174,5	176,0
1972	9,3	17,3	21,0	30,5	39,2	52,7	72,4	73,7	88,7	92,3	100,0
1973	7,3	10,8	13,8	20,5	25,6	40,8	56,9	79,8	120,7	128,4	134,5
1974	9,2	14,5	18,8	32,7	49,7	63,5	67,9	68,9	76,3	76,6	82,0
1975	11,7	17,9	25,4	45,6	55,2	59,7	61,2	62,1	62,3	62,3	78,0
1976	9,6	13,0	16,2	22,8	26,9	45,4	60,7	79,1	102,0	107,1	107,4
1977	9,1	14,9	20,5	31,2	42,3	53,1	62,8	67,1	67,6	71,1	80,9
1978	10,1	14,1	20,2	31,4	45,0	55,4	58,1	69,7	77,1	77,2	77,6
1979	11,4	21,4	30,2	46,7	54,2	60,5	61,0	61,0	93,7	110,8	112,4
1980	8,0	11,7	16,8	24,5	29,1	38,8	44,9	46,3	47,3	48,4	48,6
1981	8,4	12,6	18,4	27,5	44,1	53,2	76,1	83,1	87,2	96,5	116,6
1982	8,4	11,7	16,8	26,9	40,4	51,3	85,3	90,5	90,5	90,5	92,6
1983	15,2	22,6	35,2	55,5	70,4	124,3	140,5	147,0	150,5	150,5	150,5
1984	10,0	10,7	14,6	21,6	26,4	35,2	49,7	61,8	85,8	89,7	94,3
1985	8,9	13,6	17,9	27,6	41,3	60,8	90,7	105,7	110,2	110,2	113,0
1986	10,0	17,2	25,6	38,8	49,9	91,5	105,1	119,6	177,6	200,0	203,0
1987	10,0	19,9	19,9	39,9	55,8	68,1	77,0	81,5	85,0	85,1	104,0
1988	9,5	13,1	19,5	29,8	33,6	61,5	67,3	75,0	83,6	83,6	90,0
1989	10,1	20,5	28,1	49,0	49,2	49,3	75,8	89,5	99,5	101,6	101,6
1990	10,0	10,8	13,9	19,4	29,3	39,3	43,6	47,6	52,3	56,7	61,5
1991	11,0	14,3	21,0	25,3	31,0	41,8	49,1	62,8	91,3	94,9	97,3
1992	7,5	11,8	17,3	24,4	31,7	39,1	47,3	51,1	74,4	77,9	78,2
1993	3,5	6,9	9,5	16,4	25,2	28,8	41,3	44,1	46,3	46,8	46,8
1994	8,3	10,3	15,9	24,5	37,6	50,0	66,7	77,6	84,4	91,7	92,1
1995	10,2	17,8	20,8	31,3	34,3	35,1	48,1	57,3	58,7	58,8	58,8
1996	10,1	10,1	14,9	23,5	37,8	60,3	76,5	77,7	84,4	88,3	88,3
1997	10,0	10,0	24,8	24,8	41,0	45,6	65,3	84,3	98,4	108,8	111,7
1998	10,3	10,3	13,8	21,5	26,4	26,5	38,7	38,8	39,4	43,8	56,4
1999	10,1	10,4	20,0	25,1	29,1	38,8	49,6	52,1	69,9	70,2	70,2
2000	10,2	10,2	19,4	37,6	40,4	43,3	52,7	57,0	79,0	100,1	101,0
2001	10,1	17,2	21,4	26,0	31,4	31,4	36,5	37,7	43,0	52,7	53,0
2002	10,1	18,1	22,8	29,2	48,6	68,6	74,1	75,1	92,6	98,9	106,9
2003	9,7	10,0	14,6	19,2	28,3	41,8	56,1	56,7	59,9	59,9	70,0
2004	5,0	8,9	10,7	15,5	21,6	28,6	31,3	32,2	45,0	49,3	49,5
2005	8,9	9,0	11,7	18,8	33,6	53,8	60,6	72,4	73,6	74,1	83,2
2006	9,5	10,7	15,9	26,9	38,5	64,5	88,7	93,0	94,2	94,2	96,6
2007	10,1	14,8	20,1	30,8	48,8	69,6	72,2	75,0	75,5	81,6	98,9
Maior	17,8	27,6	39,3	62,6	113,2	124,4	140,5	166,8	210,7	215,7	217,0
Menor	3,5	6,9	9,5	15,5	21,6	26,5	31,3	32,2	39,4	43,8	46,8
Média	9,6	14,0	19,5	29,9	40,8	55,2	68,9	76,5	88,9	93,6	98,1
Desvio	2,3	4,4	6,1	10,4	15,7	21,7	25,4	29,4	36,4	38,4	37,8

Tabela 5.2 - Séries anuais de precipitação máxima (mm) para diferentes durações, em ordem decrescente, considerando-se os valores mínimos adotados para chuvas intensas

Número de anos	Duração (minutos)										
	5	10	15	30	60	120	240	360	720	1080	1440
1	17,8	27,6	39,3	62,6	113,2	124,4	140,5	166,8	210,7	215,7	217,0
2	15,2	22,6	35,2	55,5	70,4	124,3	125,1	147,0	177,6	200,0	203,0
3	11,7	21,4	30,2	49,0	55,8	91,5	124,5	136,2	167,1	174,5	176,0
4	11,4	20,5	28,1	46,7	55,2	79,8	120,4	124,8	150,5	150,5	150,5
5	11,2	19,9	25,6	45,6	54,2	76,1	105,1	119,6	125,1	132,0	134,5
6	11,0	18,1	25,4	39,9	49,9	69,6	90,7	105,7	120,7	128,4	132,2
7	10,3	17,9	24,8	38,8	49,7	68,6	88,7	93,0	110,2	110,8	116,6
8	10,2	17,8	22,8	37,6	49,2	68,1	85,3	90,5	102,0	110,2	113,0
9	10,2	17,8	21,9	36,2	48,8	64,5	77,0	89,5	99,5	108,8	112,4
10	10,1	17,3	21,4	32,7	48,6	63,5	76,5	84,3	98,4	107,1	111,7
11	10,1	17,2	21,0	31,4	47,4	61,5	76,1	83,1	94,2	101,6	107,4
12	10,1	17,2	21,0	31,3	45,0	60,8	75,8	81,5	93,7	100,1	106,9
13	10,1	14,9	20,8	31,2	44,1	60,5	74,1	79,8	92,6	98,9	104,0
14	10,1	14,8	20,5	30,8	42,8	60,3	72,6	79,6	91,3	96,5	101,6
15	10,1	14,5	20,2	30,5	42,3	59,7	72,4	79,1	90,5	94,9	101,0
16	10,1	14,3	20,1	29,8	41,3	56,4	72,2	77,7	88,7	94,2	100,0
17	10,0	14,1	20,0	29,2	41,0	55,4	67,9	77,6	87,2	92,3	98,9
18	10,0	13,6	19,9	27,9	40,4	53,8	67,3	75,1	86,9	91,7	97,3
19	10,0	13,3	19,5	27,6	40,4	53,2	66,7	75,0	85,8	90,5	96,6
20	10,0	13,1	19,4	27,5	39,2	53,1	65,3	75,0	85,0	89,7	94,3
21	10,0	13,0	18,8	26,9	38,5	52,7	62,8	73,7	84,4	89,7	92,6
22	9,7	12,6	18,4	26,9	37,8	51,3	61,2	72,4	84,4	88,3	92,1
23	9,6	11,8	17,9	26,0	37,6	50,0	61,0	69,7	83,6	85,1	91,2
24	9,5	11,7	17,3	26,0	36,1	49,3	60,7	68,9	79,0	83,6	90,0
25	9,5	11,7	16,8	25,3	34,3	45,6	60,6	67,1	77,1	81,6	88,3
26	9,5	-	16,8	25,1	33,6	45,4	58,1	62,8	76,3	77,9	83,2
27	9,3	-	16,2	24,8	33,6	43,3	56,9	62,1	75,5	77,2	82,0
28	9,2	-	16,1	24,5	31,7	41,8	56,1	61,8	74,4	76,6	80,9
29	9,1	-	15,9	24,5	31,4	41,8	52,7	61,0	73,6	74,1	78,2
30	8,9	-	15,9	24,4	31,0	40,8	49,7	57,3	69,9	71,1	78,0
31	8,9	-	14,9	23,5	29,3	39,3	49,6	57,0	67,6	70,2	77,6
32	8,4	-	14,7	22,8	29,1	39,1	49,1	56,7	62,3	62,3	70,2
33	8,4	-	14,6	21,6	29,1	38,8	48,1	52,1	59,9	59,9	70,0
34	8,3	-	14,6	21,5	28,3	38,8	47,3	51,1	58,7	58,8	61,5
35	8,0	-	-	20,5	26,9	35,2	44,9	47,6	52,3	56,7	58,8
36	7,5	-	-	-	26,4	35,1	43,6	46,3	47,3	52,7	56,4
37	-	-	-	-	26,4	31,4	41,3	44,1	46,3	-	-
38	-	-	-	-	25,6	-	38,7	38,8	45,0	-	-
39	-	-	-	-	25,2	-	36,5	37,7	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maior	17,8	27,6	39,3	62,6	113,2	124,4	140,5	166,8	210,7	215,7	217,0
Menor	7,5	11,7	14,6	20,5	25,2	31,4	36,5	37,7	45,0	52,7	56,4
Média	10,1	16,3	20,8	31,6	41,3	57,4	69,8	77,7	91,4	98,7	103,5
Desvio	1,8	3,9	5,7	9,9	15,6	21,1	25,0	28,9	35,6	37,0	35,9

Tabela 5.3 - Séries anuais de intensidade máxima de precipitação (mm/h) para diferentes durações, em ordem decrescente, considerando-se os valores mínimos adotados para chuvas intensas

Número de anos	Duração (minutos)										
	5	10	15	30	60	120	240	360	720	1080	1440
1	213,8	165,5	157,3	125,3	113,2	62,2	35,1	27,8	17,6	12,0	9,0
2	182,5	135,7	140,9	111,0	70,4	62,2	31,3	24,5	14,8	11,1	8,5
3	140,8	128,1	121,0	98,0	55,8	45,7	31,1	22,7	13,9	9,7	7,3
4	136,4	123,1	112,5	93,3	55,2	39,9	30,1	20,8	12,5	8,4	6,3
5	134,0	119,4	102,3	91,1	54,2	38,0	26,3	19,9	10,4	7,3	5,6
6	131,9	108,5	101,7	79,7	49,9	34,8	22,7	17,6	10,1	7,1	5,5
7	123,7	107,3	99,2	77,5	49,7	34,3	22,2	15,5	9,2	6,2	4,9
8	122,3	106,7	91,0	75,3	49,2	34,1	21,3	15,1	8,5	6,1	4,7
9	122,2	106,6	87,8	72,4	48,8	32,2	19,3	14,9	8,3	6,0	4,7
10	121,6	104,0	85,6	65,4	48,6	31,8	19,1	14,0	8,2	5,9	4,7
11	121,1	103,4	84,1	62,7	47,4	30,7	19,0	13,9	7,8	5,6	4,5
12	120,8	103,0	84,0	62,6	45,0	30,4	19,0	13,6	7,8	5,6	4,5
13	120,8	89,1	83,4	62,3	44,1	30,2	18,5	13,3	7,7	5,5	4,3
14	120,6	88,6	82,0	61,7	42,8	30,2	18,1	13,3	7,6	5,4	4,2
15	120,6	87,1	80,6	61,1	42,3	29,8	18,1	13,2	7,5	5,3	4,2
16	120,6	85,6	80,2	59,5	41,3	28,2	18,0	13,0	7,4	5,2	4,2
17	120,2	84,8	80,0	58,5	41,0	27,7	17,0	12,9	7,3	5,1	4,1
18	120,2	81,7	79,6	55,7	40,4	26,9	16,8	12,5	7,2	5,1	4,1
19	120,2	79,9	78,0	55,1	40,4	26,6	16,7	12,5	7,1	5,0	4,0
20	120,0	78,7	77,8	55,0	39,2	26,6	16,3	12,5	7,1	5,0	3,9
21	119,8	77,9	75,3	53,8	38,5	26,4	15,7	12,3	7,0	5,0	3,9
22	115,9	75,5	73,6	53,8	37,8	25,6	15,3	12,1	7,0	4,9	3,8
23	115,3	70,6	71,8	52,1	37,6	25,0	15,2	11,6	7,0	4,7	3,8
24	113,9	70,1	69,1	51,9	36,1	24,6	15,2	11,5	6,6	4,6	3,8
25	113,9	70,0	67,1	50,6	34,3	22,8	15,1	11,2	6,4	4,5	3,7
26	113,6	-	67,1	50,2	33,6	22,7	14,5	10,5	6,4	4,3	3,5
27	111,2	-	64,6	49,6	33,6	21,6	14,2	10,4	6,3	4,3	3,4
28	110,3	-	64,3	49,0	31,7	20,9	14,0	10,3	6,2	4,3	3,4
29	108,8	-	63,6	49,0	31,4	20,9	13,2	10,2	6,1	4,1	3,3
30	107,0	-	63,5	48,9	31,0	20,4	12,4	9,5	5,8	4,0	3,3
31	106,6	-	59,6	46,9	29,3	19,6	12,4	9,5	5,6	3,9	3,2
32	100,7	-	59,0	45,5	29,1	19,5	12,3	9,4	5,2	3,5	2,9
33	100,3	-	58,5	43,3	29,1	19,4	12,0	8,7	5,0	3,3	2,9
34	100,1	-	58,2	43,0	28,3	19,4	11,8	8,5	4,9	3,3	2,6
35	96,4	-	-	40,9	26,9	17,6	11,2	7,9	4,4	3,1	2,4
36	90,4	-	-	-	26,4	17,5	10,9	7,7	3,9	2,9	2,4
37	-	-	-	-	26,4	15,7	10,3	7,4	3,9	-	-
38	-	-	-	-	25,6	-	9,7	6,5	3,7	-	-
39	-	-	-	-	25,2	-	9,1	6,3	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maior	213,8	165,5	157,3	125,3	113,2	62,2	35,1	27,8	17,6	12,0	9,0
Menor	90,4	70,0	58,2	40,9	25,2	15,7	9,1	6,3	3,7	2,9	2,4
Média	121,1	98,0	83,1	63,2	41,3	28,7	17,5	12,9	7,6	5,5	4,3
Desvio	22,1	23,5	22,8	19,9	15,6	10,5	6,2	4,8	3,0	2,1	1,5

5.2. NOVA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS OBTIDA COM A SÉRIE HISTÓRICA

Para a análise de frequência das séries anuais de precipitação máxima foi utilizada a distribuição de Gumbel, citada por Naghettini e Pinto (2007) como a distribuição de valores extremos mais usada na análise de frequência de variáveis hidrológicas.

Com as equações de ajuste da distribuição, expostas na Seção 4.2.2, foram calculadas as intensidades máximas de precipitação para os respectivos períodos de retorno. Estes valores são mostrados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Intensidade máxima de precipitação (mm/h) calculada pelo método de Gumbel e observada entre os anos de 1968 e 2007

Duração (minutos)	Período de Retorno (anos)								Máxima Observada
	2	5	10	15	20	25	50	100	
5	117,4	137,0	149,9	157,2	162,4	166,3	178,4	190,5	213,8
10	94,2	114,9	128,6	136,4	141,8	146,0	158,9	171,6	165,5
15	79,3	99,4	112,8	120,3	125,5	129,6	142,1	154,5	157,3
30	59,9	77,5	89,1	95,7	100,3	103,8	114,7	125,5	125,3
60	38,7	52,5	61,7	66,8	70,4	73,2	81,8	90,3	113,2
120	27,0	36,3	42,5	45,9	48,4	50,3	56,0	61,8	62,2
240	16,4	21,9	25,6	27,7	29,1	30,2	33,6	37,0	35,1
360	12,2	16,4	19,2	20,8	21,9	22,8	25,4	28,0	27,8
720	7,1	9,8	11,5	12,5	13,2	13,7	15,3	16,9	17,6
1080	5,1	7,0	8,2	8,8	9,3	9,7	10,8	11,9	12,0
1440	4,1	5,4	6,3	6,8	7,1	7,4	8,2	9,0	9,0

O ajuste da distribuição de Gumbel foi avaliado pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, para o nível de significância de 10%. Conforme apresentado na Seção 4.2.3, esse teste consiste em rejeitar a hipótese de adequação do ajuste, se a diferença máxima entre os valores observados e ajustados for superior ao crítico, para o nível de significância especificado. Os valores críticos para cada nível de significância foram apresentados na Tabela 4.2 do Capítulo 4. Na Tabela 5.5, a seguir, estão expostos os valores do teste de Kolmogorov-Smirnov ($D_{n,max}$) calculados para cada duração considerada, além dos correspondentes valores críticos ($D_{n,critico}$), definidos em função do tamanho da amostra (n).

Tabela 5.5 - Valor absoluto do teste de Kolmogorov-Smirnov ($D_{n,max}$) para o ajuste da distribuição de Gumbel, para cada duração considerada

Duração (minutos)	$D_{n,max}$	n	$D_{n,critico}$ para o nível de significância de 10%
5	0,188	36	0,199
10	0,131	25	0,238
15	0,102	34	0,205
30	0,126	35	0,202
60	0,122	39	0,191
120	0,093	37	0,196
240	0,091	39	0,191
360	0,085	39	0,191
720	0,109	38	0,194
1080	0,114	36	0,199
1440	0,107	36	0,199

Os valores absolutos do teste de Kolmogorov-Smirnov ($D_{n,max}$) foram bem menores que os valores críticos da tabela de referência (Tabela 4.2), considerando o maior nível de significância (última coluna da Tabela 5.5). Por isso, recorreu-se aos valores críticos apontados por Pinto *et al.* (1976) para um nível de significância maior, correspondente a 20%, expostos abaixo na Tabela 5.6, para verificar o ajuste dos dados através da distribuição utilizada.

Tabela 5.6 - Valores críticos de D para o teste de Kolmogorov-Smirnov (Pinto *et al.*, 1976)

n	Nível de Significância			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
>50	$1,07/\sqrt{n}$	$1,22/\sqrt{n}$	$1,36/\sqrt{n}$	$1,63/\sqrt{n}$

Comparando-se os valores absolutos da aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov (segunda coluna da Tabela 5.5) aos valores críticos apontados por Pinto *et al.* (1976) para o nível de 20% de significância – considerando-se uma interpolação desses valores, quando necessário – constatou-se que a distribuição probabilística de Gumbel pode ser empregada para ajustar os dados de precipitação do posto pluviográfico do aeroporto, evidenciando um ajuste em nível de 20% de significância, para todas as durações, com exceção da duração de 5 minutos, que foi ajustada a um nível de significância de 10%, e que embora não seja um ajuste tão bom quanto o conseguido para as demais durações, ainda representa um bom ajuste.

As correlações resultantes dos ajustes da distribuição de Gumbel às chuvas intensas referentes a cada duração são apresentadas adiante, na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Coeficientes de Determinação resultantes do ajuste da distribuição de probabilidade de Gumbel

Duração (minutos)	5	10	15	30	60	120	240	360	720	1080	1440
Coefficiente de Determinação (R²)	0,91	0,97	0,98	0,96	0,99	0,99	0,99	0,98	0,96	0,97	0,97

Uma vez que o ajuste da distribuição de Gumbel aos dados observados foi avaliado pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, buscou-se determinar a relação intensidade-duração-freqüência para a série disponível de dados de chuva, expressa pela Equação de Chuvas Intensas, aqui novamente apresentada (Equação 4.16):

$$i = \frac{aT^b}{(t+c)^d}$$

O primeiro passo para tal determinação foi o traçado de curvas intensidade-duração-freqüência (Figura 5.1), a partir dos valores da Tabela 5.4. Em seguida, procedeu-se à anamorfose dessas curvas intensidade-duração-freqüência. O parâmetro c foi definido conforme o maior coeficiente de determinação (R^2) da correlação linear entre o logaritmo da série de intensidade máxima ($\log i$) em função do logaritmo do intervalo de duração acrescido do parâmetro em questão ($\log(t+c)$) para o tempo de retorno de 5 anos. Para os

outros períodos de retorno considerados (2, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos), o valor de c foi mantido, não tendo se observado mudanças significativas nos coeficientes de determinação e nos valores do coeficiente angular (d) e linear ($\log C$) das retas de regressão determinados. A Figura 5.2 apresenta as retas resultantes da anamorfose.

O parâmetro d da Equação 4.16 foi estimado como o valor médio dos coeficientes angulares de cada uma das equações de regressão geradas com as retas da anamorfose.

Para a determinação dos parâmetros a e b , foi gerado um gráfico (Figura 5.3) cuja abscissa foi definida pelos valores resultantes do logaritmo dos períodos de retorno e cuja ordenada recebeu os valores de $\log C$ gerados como coeficientes lineares das retas de regressão da Figura 5.2.

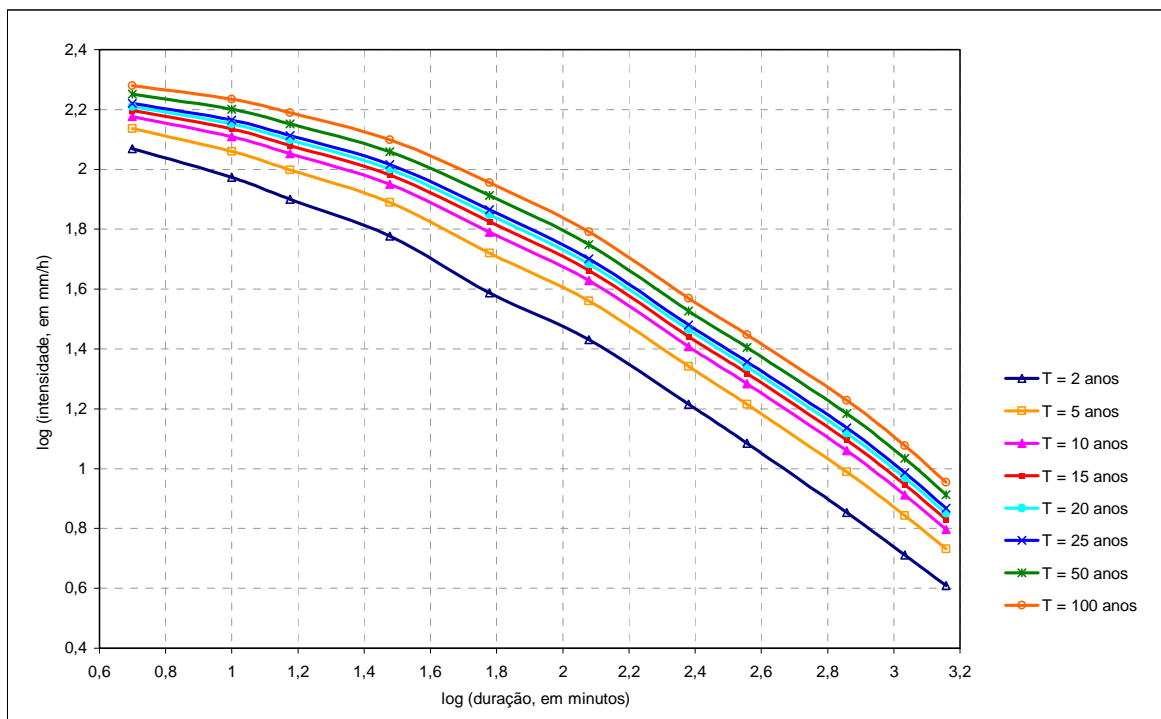
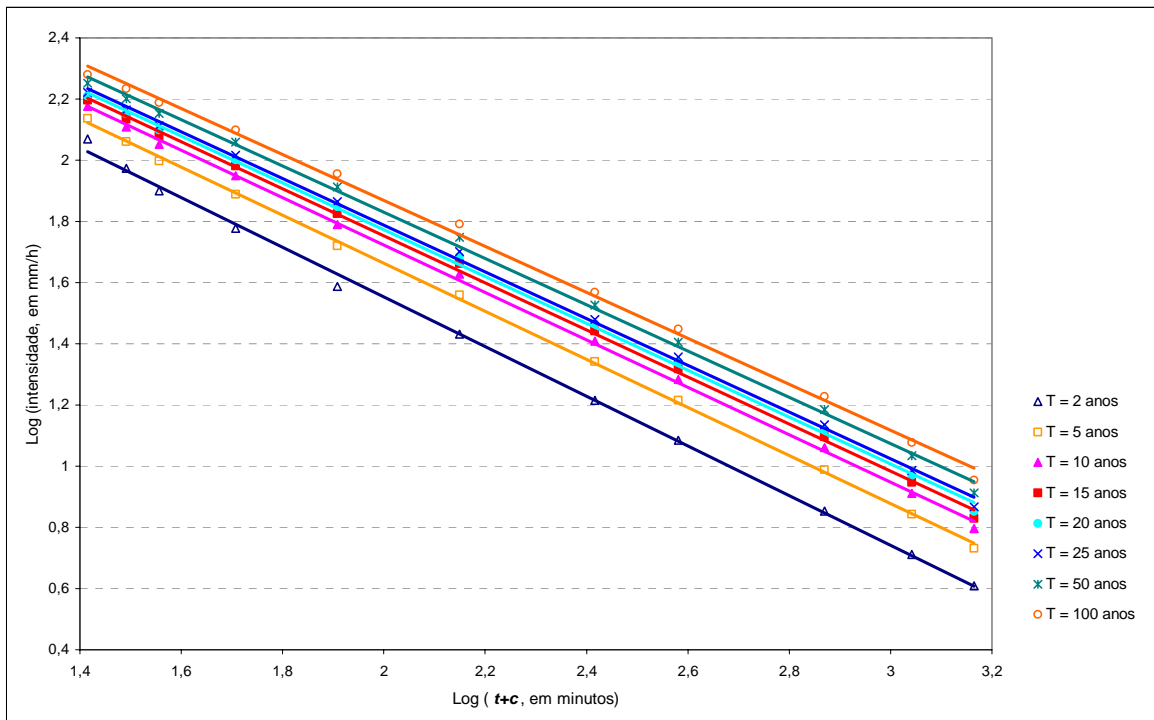
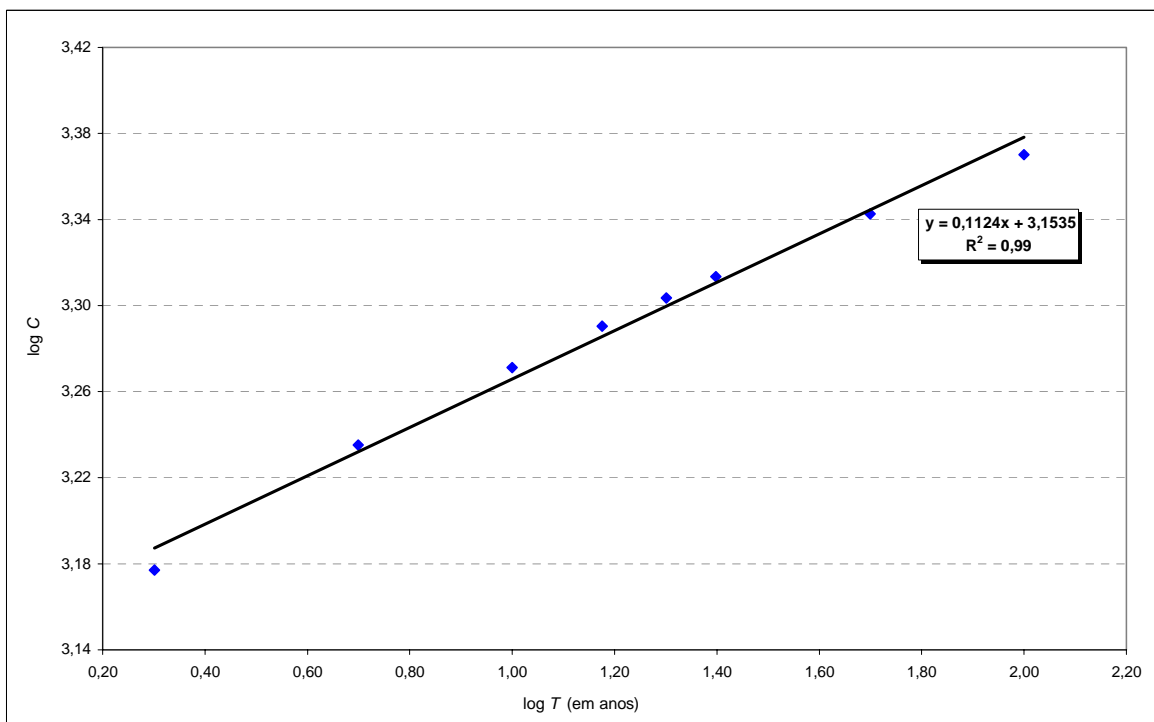


Figura 5.1 - Curvas intensidade-duração-freqüência derivadas dos dados do posto do Aeroporto



Figuras 5.2 - Retas de regressão resultantes do processo de linearização das curvas intensidade-duração-frequência



Figuras 5.3 - Regressão linear que dá origem aos parâmetros *a* e *b*

Com o traçado de uma reta de regressão linear pelos pontos plotados (Figura 5.3), obteve-se uma equação cujo coeficiente linear corresponde ao logaritmo do parâmetro a e cujo coeficiente angular corresponde ao parâmetro b .

Os parâmetros a , b , c e d determinados para a Equação de Chuvas Intensas obtida com os dados do posto do aeroporto do Recife estão expostos na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Parâmetros determinados para a Nova Equação de Chuvas Intensas da cidade do Recife

Parâmetros da Equação	
a	1.423,97
b	0,1124
c	21
d	0,7721

Portanto, a Nova Equação de Chuvas Intensas da cidade do Recife ficou com a seguinte forma:

$$i = \frac{1.423,97 \times T^{0,1124}}{(t + 21)^{0,7721}} \quad (5.1)$$

As intensidades de precipitação, para cada duração e período de retorno considerados, obtidas através desta equação estão apresentadas na Tabela 5.9.

Os parâmetros estatísticos utilizados para comparar os valores das intensidades de precipitação calculados pela distribuição de Gumbel aos determinados pela Equação de Chuvas Intensas foram obtidos, e também estão apresentados na Tabela 5.9. Estes valores foram bastante próximos aos valores ideais.

Tabela 5.9 - Intensidade máxima de precipitação (mm/h) calculada pela Nova Equação de Chuvas Intensas do Recife

Duração (minutos)	Período de Retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	124,4	137,9	149,1	156,0	161,1	165,2	178,6	193,1
10	108,6	120,4	130,1	136,2	140,7	144,3	155,9	168,6
15	96,8	107,3	115,9	121,4	125,3	128,5	138,9	150,2
30	73,9	82,0	88,6	92,7	95,8	98,2	106,2	114,8
60	51,7	57,3	62,0	64,9	67,0	68,7	74,3	80,3
120	33,7	37,4	40,4	42,3	43,7	44,8	48,4	52,3
240	21,0	23,2	25,1	26,3	27,2	27,8	30,1	32,5
360	15,7	17,4	18,8	19,6	20,3	20,8	22,5	24,3
720	9,4	10,4	11,2	11,7	12,1	12,4	13,4	14,5
1080	6,9	7,6	8,3	8,7	8,9	9,2	9,9	10,7
1440	5,5	6,1	6,6	7,0	7,2	7,4	8,0	8,6
Parâmetros Estatísticos de Ajuste:		R² = 0,9925		RD = 0,9962		CMR = -0,0050		

As curvas intensidade-duração-freqüência geradas pela Nova Equação de Chuvas Intensas do Recife são, por fim, apresentadas na Figura 5.4. Para facilitar a visualização das curvas e proporcionar uma melhor distinção entre estas e entre os valores atribuídos a estas, aplicou-se o logaritmo em ambos os eixos do gráfico, o que resultou na Figura 5.5.

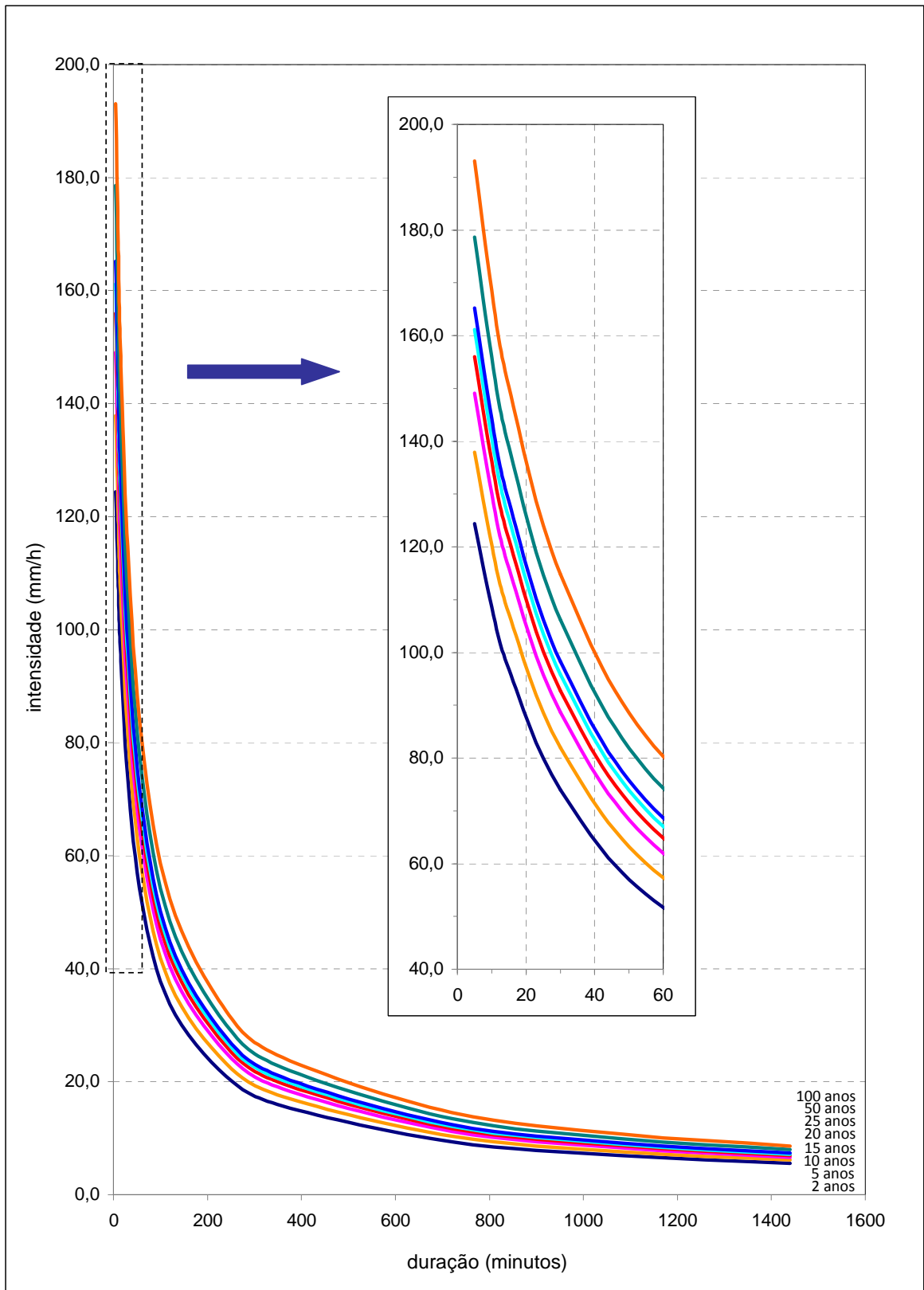


Figura 5.4 - Curvas intensidade-duração-frequência geradas pela Nova Equação de Chuvas Intensas do Recife

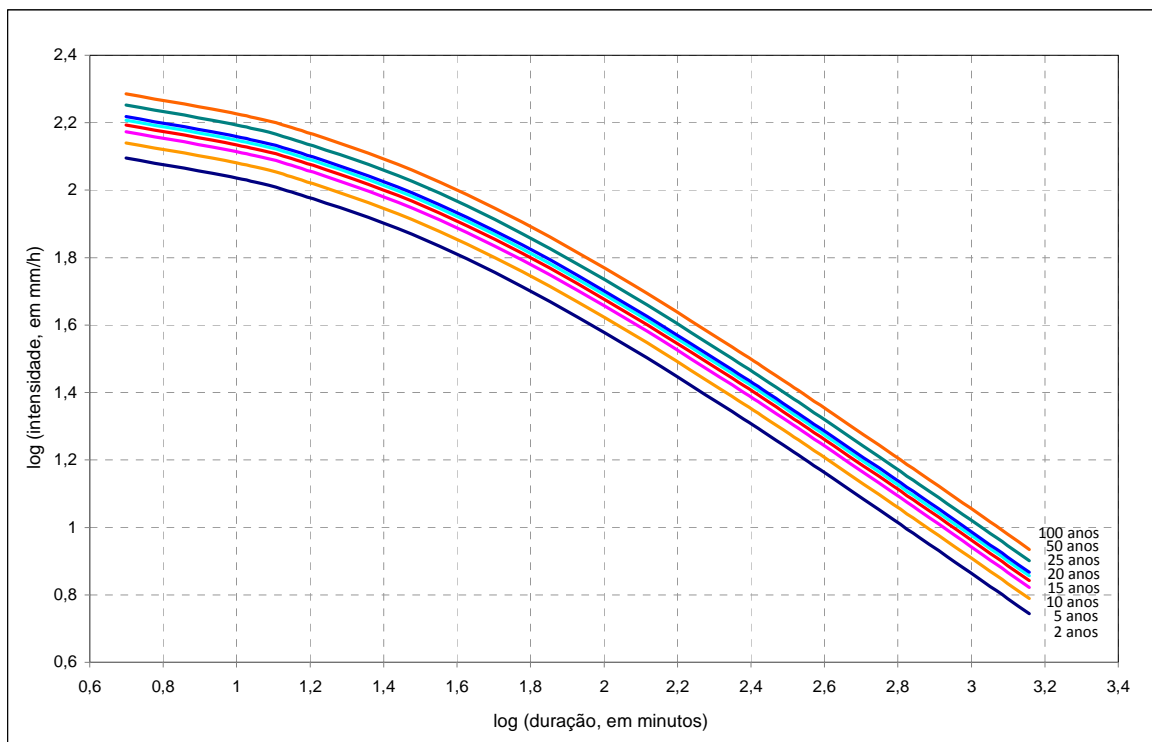


Figura 5.5 - Curvas intensidade-duração-freqüência geradas pela Nova Equação de Chuvas Intensas do Recife, em escala bi-logarítmica

Os resultados obtidos por essa Nova Equação de Chuvas Intensas foram comparados graficamente a resultados obtidos pela equação de Pfafstetter (1957) para o posto de Olinda e pelas equações estabelecidas para o Plano Diretor de Macrodrenagem da Região Metropolitana do Recife (FIDEM, 1979). É importante destacar que os períodos utilizados para a obtenção de cada Equação de Chuva desenvolvida para a cidade do Recife são bastante diferentes, como pode ser visto através do Quadro 5.1 mais adiante.

As Figuras 5.6 a 5.13 apresentam graficamente as citadas equações desenvolvidas para a região de estudo, em curvas intensidade-duração, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. Através da análise destas figuras, constatou-se que as intensidades de precipitação obtidas com a Nova Equação de Chuvas, para as menores durações (5, 10, 15 e 30 minutos) – que apresentam as maiores intensidades e que podem dar origem a problemas de alagamentos –, chegam a ser 41% maiores do que as obtidas com as Equações do Plano Diretor de Macrodrenagem da RMR (FIDEM). As diferenças se devem, provavelmente, ao curto período das séries consideradas para a obtenção destas últimas equações e a possíveis mudanças na precipitação já ocorridas devido ao efeito estufa, e demonstram que a utilização daquelas deve ser evitada, pois se os valores

resultantes são menores, a adoção destes valores para a determinação de vazões de projetos implicaria no subdimensionamento das obras hidráulicas projetadas.

Quadro 5.1 - Períodos utilizados para a obtenção das equações de chuvas intensas desenvolvidas para a cidade do Recife

Ano	Equação de Chuva			Ano	Equação de Chuva		
	Pfafstetter	FIDEM	Nova Equação		Pfafstetter	FIDEM	Nova Equação
1926				1967			
1927				1968			
1928				1969			
1929				1970			
1930				1971			
1931				1972			
1932				1973			
1933				1974			
1934				1975			
1935				1976			
1936				1977			
1937				1978			
1938				1979			
1939				1980			
1940				1981			
1941				1982			
1942				1983			
1943				1984			
1944				1985			
1945				1986			
1946				1987			
1947				1988			
1948				1989			
1949				1990			
1950				1991			
1951				1992			
1952				1993			
1953				1994			
1954				1995			
1955				1996			
1956				1997			
1957				1998			
1958				1999			
1959				2000			
1960				2001			
1961				2002			
1962				2003			
1963				2004			
1964				2005			
1965				2006			
1966				2007			

Ainda considerando as figuras, verifica-se que as curvas da Nova Equação de Chuvas apresentam semelhanças com as curvas geradas pela Equação de Pfafstetter, quando observamos a porção superior destas curvas. Ou seja, quando comparamos as intensidades de precipitação de ambas as equações para as menores durações. Entretanto, deve-se ter em conta o fato de se tratar de uma série muito antiga (1926 a 1954), que sequer tem algum período coincidente com o utilizado para a obtenção da Nova Equação, e que são oriundos do posto de Olinda, de onde se conclui que essa antiga equação também deve ser evitada, face à Nova Equação obtida, em estudos desenvolvidos nos dias atuais para a região.

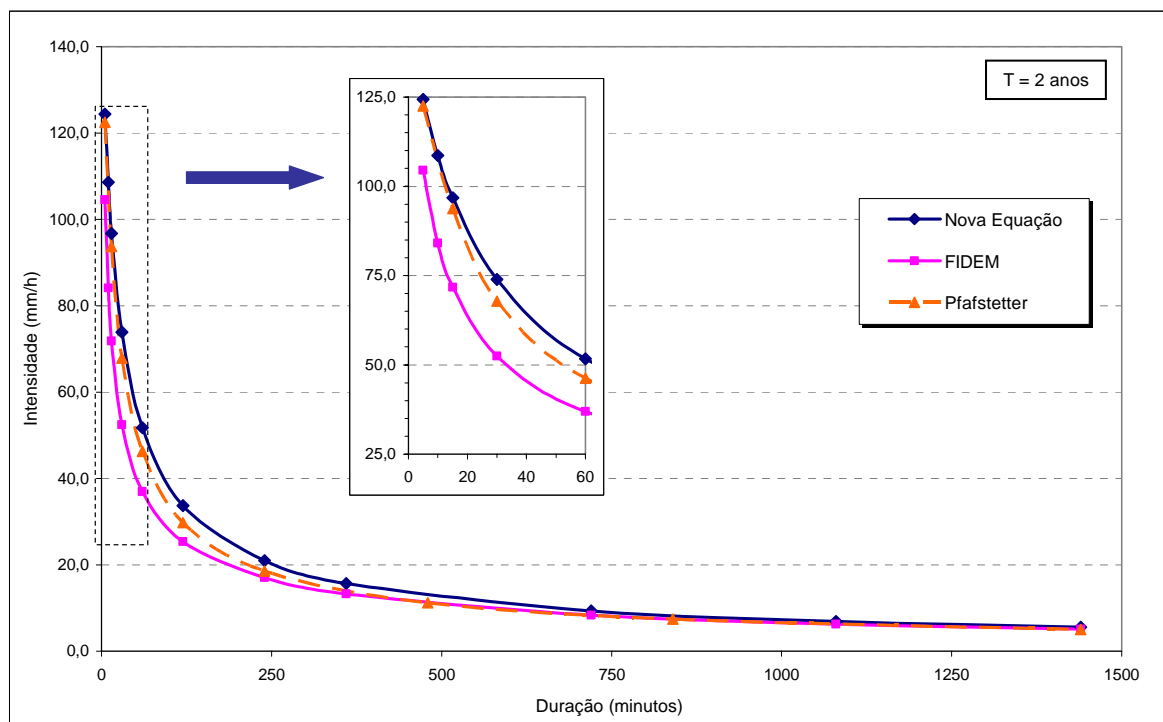


Figura 5.6 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 2 anos

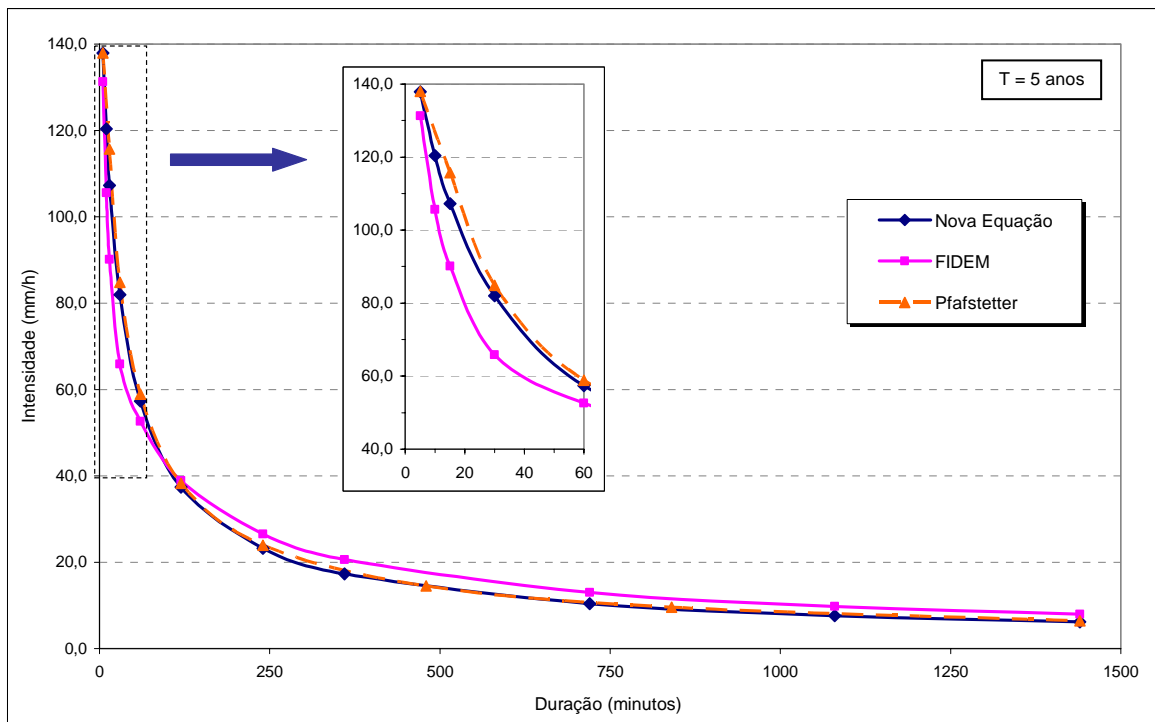


Figura 5.7 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 5 anos

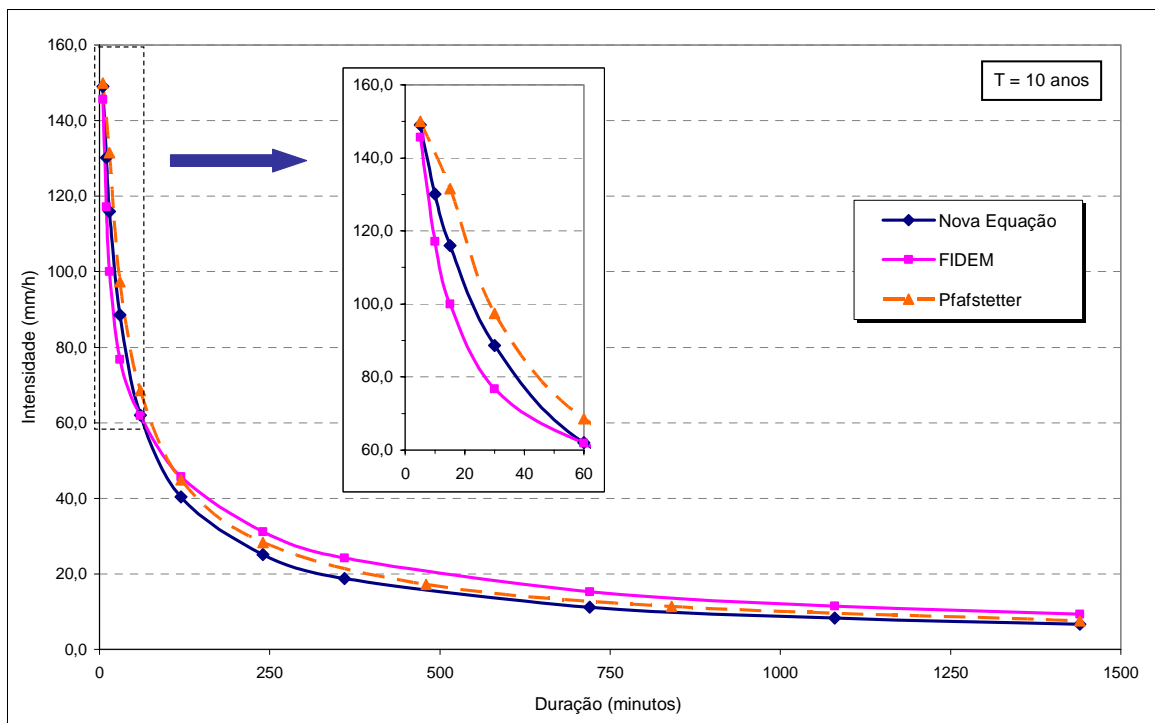


Figura 5.8 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 10 anos

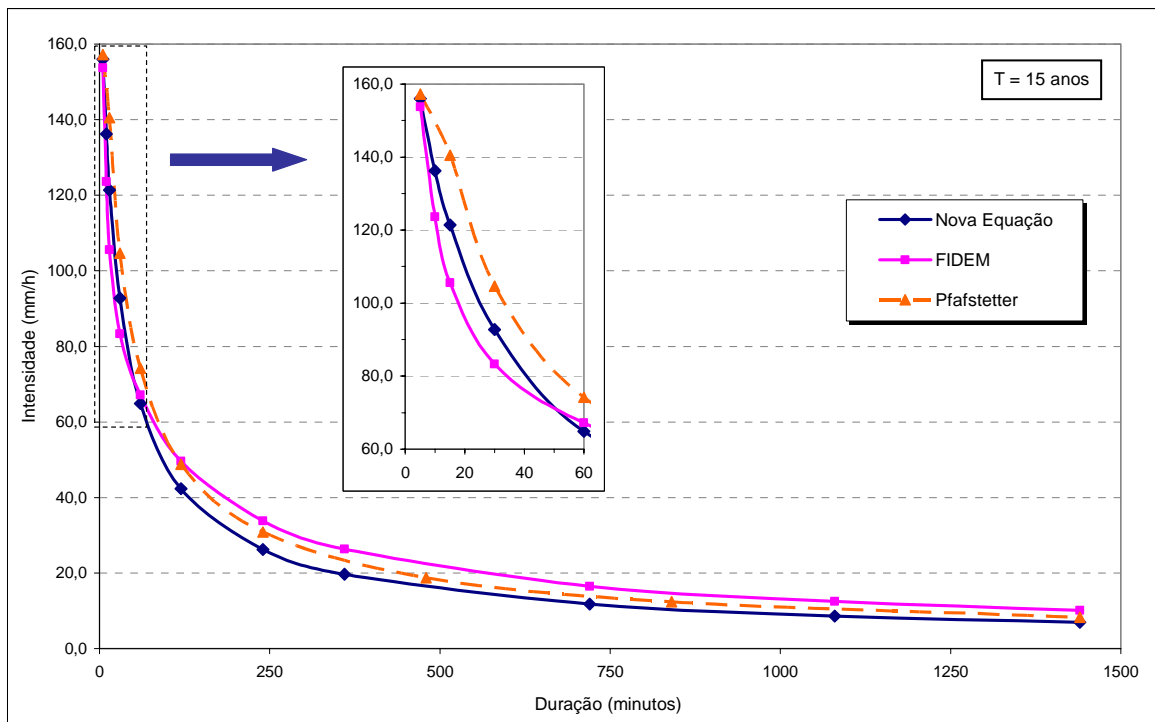


Figura 5.9 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 15 anos

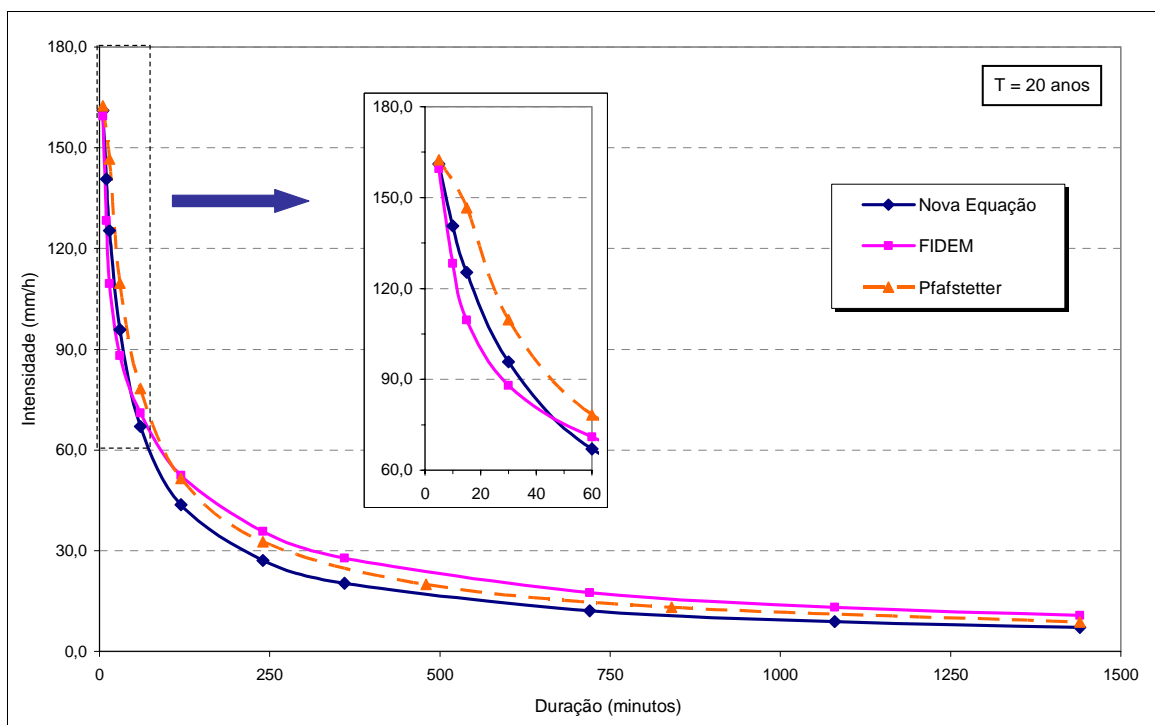


Figura 5.10 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 20 anos

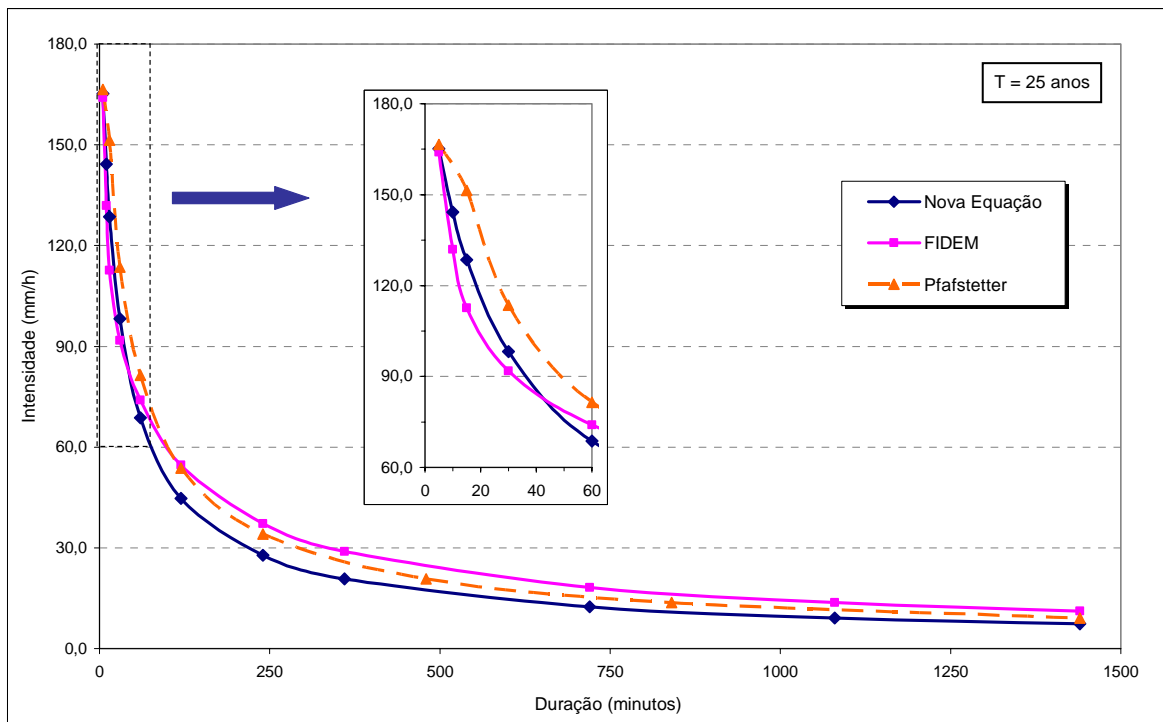


Figura 5.11 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 25 anos

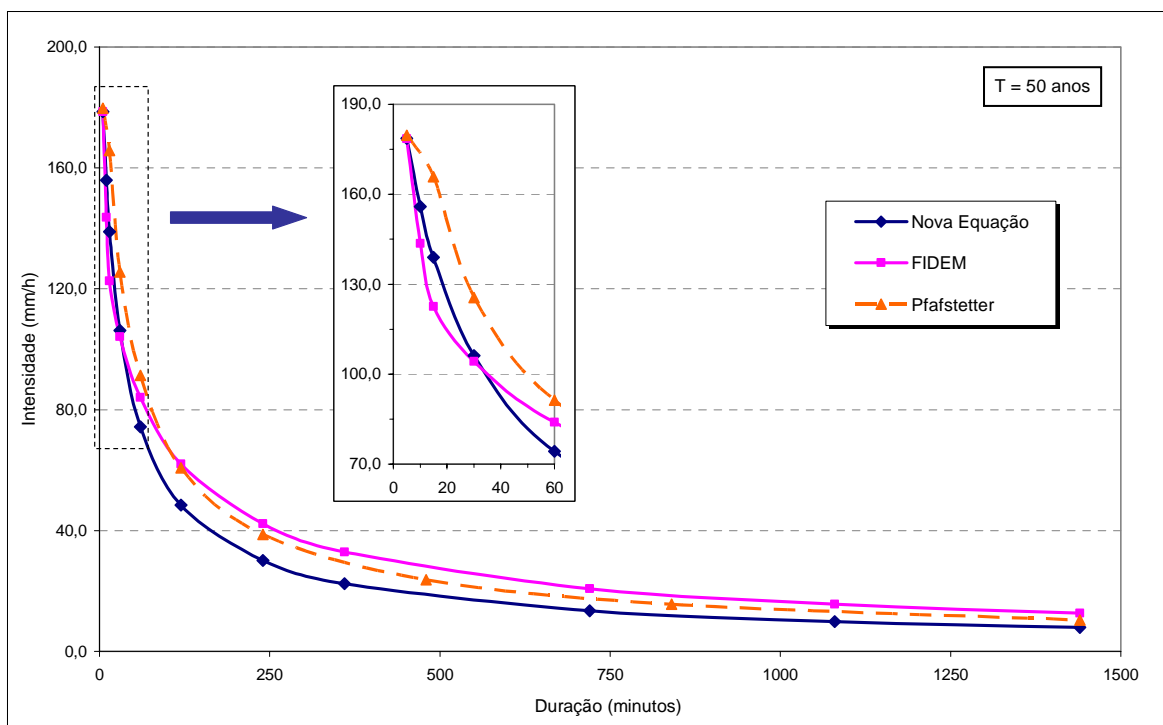


Figura 5.12 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 50 anos

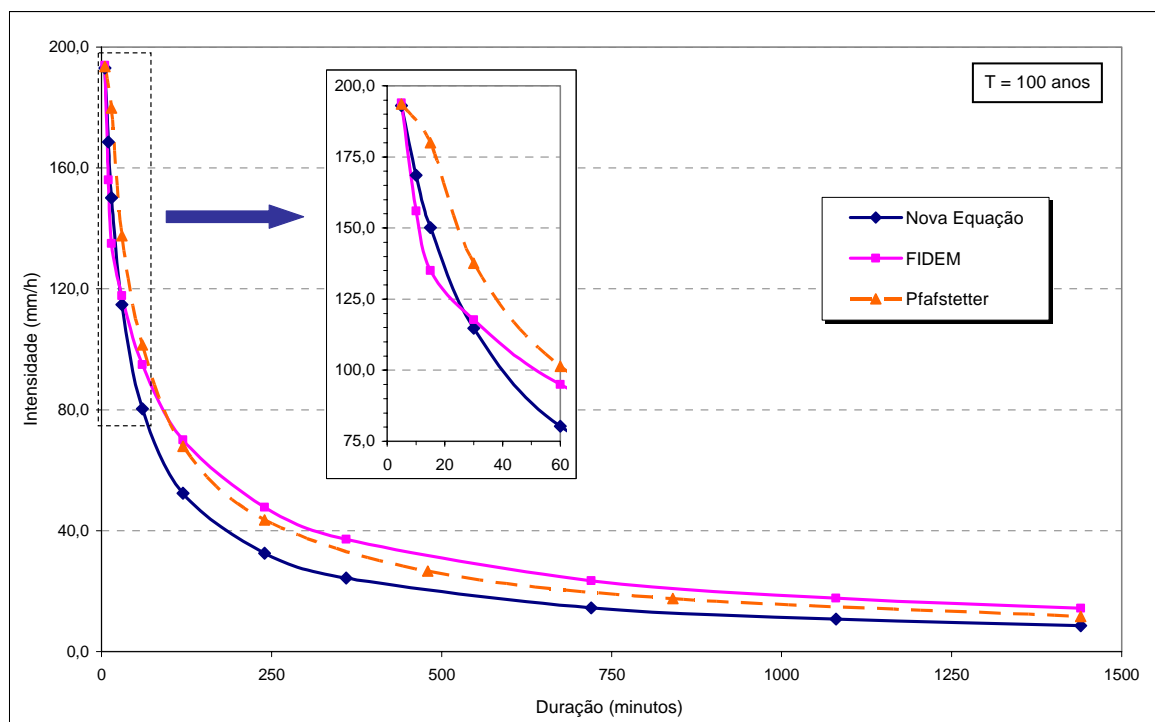


Figura 5.13 - Diagrama comparativo das equações de chuvas intensas existentes para a região de estudo, para o período de retorno de 100 anos

5.3. COEFICIENTES DE DESAGREGAÇÃO DE CHUVA

Com o ajuste da distribuição de Gumbel às séries máximas anuais observadas de precipitação – para cada duração considerada –, foram obtidos valores de chuva máxima anual para diferentes durações e períodos de retorno. Com esses valores, foram estabelecidas relações entre as chuvas de 24 horas e as chuvas de durações inferiores (5, 10, 15, 30, 60, 120, 240, 360, 720 e 1080 minutos), para cada período de retorno considerado (Tabela 5.10).

Para a determinação dos *coeficientes de desagregação de chuva*, foram obtidos os valores médios das relações, visto que diversos autores apresentam estas relações entre chuvas de durações diferentes como constantes e independentes do período de retorno, sugerindo, por isso, a adoção de valores médios como coeficientes de desagregação.

Tabela 5.10 - Relações estabelecidas entre as precipitações máximas anuais de cada duração considerada e a precipitação máxima anual de 24 horas, para cada período de retorno

Relações entre chuvas	Período de retorno (anos)								Média
	2	5	10	15	20	25	50	100	
P_{5min}/P_{24h}	0,100	0,088	0,083	0,081	0,079	0,078	0,076	0,073	0,082
P_{10min}/P_{24h}	0,161	0,148	0,143	0,140	0,139	0,138	0,135	0,132	0,142
P_{15min}/P_{24h}	0,203	0,192	0,188	0,185	0,184	0,183	0,181	0,179	0,187
P_{30min}/P_{24h}	0,307	0,300	0,296	0,295	0,294	0,293	0,292	0,290	0,296
P_{1h}/P_{24h}	0,397	0,406	0,410	0,412	0,413	0,414	0,416	0,418	0,411
P_{2h}/P_{24h}	0,553	0,561	0,565	0,567	0,568	0,568	0,570	0,572	0,566
P_{4h}/P_{24h}	0,673	0,679	0,681	0,682	0,683	0,684	0,685	0,686	0,682
P_{6h}/P_{24h}	0,747	0,761	0,767	0,770	0,772	0,773	0,776	0,778	0,768
P_{12h}/P_{24h}	0,877	0,905	0,917	0,923	0,926	0,928	0,935	0,940	0,919
P_{18h}/P_{24h}	0,949	0,969	0,978	0,982	0,984	0,986	0,990	0,994	0,979

Na Tabela 5.11 são apresentados os coeficientes de desagregação de chuva encontrados no presente estudo e valores obtidos em outro estudo, realizado por CETESB (1980) com base em Pfafstetter (1957). Constata-se que, apesar das abrangências (o da CETESB foram 98 postos espalhados pelo Brasil) e dos períodos considerados nos estudos serem diferentes, os valores expostos na tabela são similares.

Tabela 5.11 - Coeficientes de desagregação de chuva obtidos para o posto do Aeroporto do Recife e os gerados pelo estudo da CETESB (1980)

Relações entre chuvas	Coeficientes	
	Aeroporto	CETESB (1980)
P_{5min}/P_{24h}	0,082	0,106
P_{10min}/P_{24h}	0,142	0,168
P_{15min}/P_{24h}	0,187	0,218
P_{30min}/P_{24h}	0,296	0,311
P_{1h}/P_{24h}	0,411	0,420
P_{2h}/P_{24h}	0,566	-
P_{4h}/P_{24h}	0,682	-
P_{6h}/P_{24h}	0,768	0,720
P_{12h}/P_{24h}	0,919	0,850
P_{18h}/P_{24h}	0,979	-

Buscando proporcionar a obtenção de curvas IDF para cenários de mudanças climáticas, foi considerada a hipótese de que as relações entre chuvas de durações diferentes não serão modificadas com o tempo, sendo os coeficientes de desagregação considerados constantes no tempo.

Estes coeficientes possibilitaram a desagregação das séries sintéticas geradas pelo LARS-WG e, conseqüentemente, a obtenção de curvas IDF para diferentes cenários de mudanças climáticas projetados por Modelos de Circulação Global para o futuro, como será exposto adiante.

5.4. DESAGREGAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO

A primeira parte da desagregação espaço-temporal dos dados de chuva do presente estudo consiste na utilização do gerador estocástico de tempo LARS-WG (Semenov e Barrow, 2002). Com o emprego desta ferramenta, foi possível obter dados diários de precipitação para quatro Modelos de Circulação Global (HadCM3, IPCM4, MPEH5 e NCCCSM), em cada um dos três cenários de emissão adotados (A2, A1B e B1), para os períodos 2011-2030, 2046-2065 e 2080-2099.

O primeiro passo no processo de desagregação realizada pelo LARS-WG é a análise de dados diários observados de um determinado lugar a fim de calcular um conjunto de parâmetros de distribuições de probabilidade dessas variáveis, ou seja, as características estatísticas dos dados. Em seguida, o LARS-WG gera dados meteorológicos sintéticos, combinando um arquivo de cenário que contém informações sobre mudanças no total de precipitação e na extensão de séries úmidas e secas; com os arquivos de parâmetros gerados na primeira etapa. Esses arquivos de cenário são elaborados com base nas mudanças relativas dos parâmetros estatísticos calculados a partir de saídas de Modelos de Circulação Global, que representam os diferentes cenários correspondentes a períodos de tempo futuro. Por fim, o LARS-WG proporciona a verificação de seu desempenho através da utilização de testes estatísticos, onde as características estatísticas dos dados observados são comparadas aos dados sintéticos gerados.

Apenas dados de chuva foram utilizados para a obtenção dos parâmetros que foram usados pelo LARS-WG para gerar dados sintéticos. Foram utilizados 40 anos de dados

diários de precipitação (1968-2007) do aeroporto do Recife. Semenov e Barrow (1997) recomendam o uso de pelo menos 20 anos de dados diários observados para proporcionar a determinação de parâmetros estatísticos robustos.

Para a utilização do LARS-WG, foi usado como referência o manual do programa (Semenov e Barrow, 2002), apesar deste se referir a uma versão bem anterior à utilizada neste estudo. Um pequeno “manual” foi, por isso, elaborado durante o desenvolvimento do presente estudo, com informações não prestadas ou não claramente expostas no manual do programa, a maioria delas decorrentes da versão modificada. Este “manual” encontra-se em anexo ao final do presente estudo (Anexo C).

O programa possui seis opções de “sementes” – número aleatório que controla o componente estocástico do LARS-WG (Semenov e Barrow, 2002). Para saber se séries sintéticas oriundas de diferentes sementes poderiam produzir diferentes efeitos em uma aplicação, foram realizadas simulações no gerador para cada uma das seis opções de sementes. Com as séries diárias, para cada opção de semente, procedeu-se ao segundo passo da desagregação, que consiste na utilização dos coeficientes de desagregação de chuva. As séries diárias foram desagregadas em durações menores (5, 10, 15 e 30 minutos, 1, 2, 4, 6, 12 e 18 horas), o que possibilitou a obtenção de seis Equações de Chuvas Intensas, uma para cada série diária (oriunda de uma semente diferente). Na Figura 5.14 foram plotadas as chuvas máximas de 24 horas relativas às simulações de cada uma das sementes, para um mesmo cenário futuro (MCG HadCM3, cenário A1B, período 2011-2030), por período de retorno. Como pode ser visto, os resultados obtidos foram bastante distintos.

As mudanças projetadas, com base na série histórica, para a precipitação máxima diante de cada opção de semente utilizada foram bastante diferentes, não importando a duração e o período de retorno considerados. A Figura 5.15 exemplifica os resultados encontrados, apresentando as mudanças projetadas para a precipitação máxima de 5 minutos de duração e período de retorno de 2 anos.

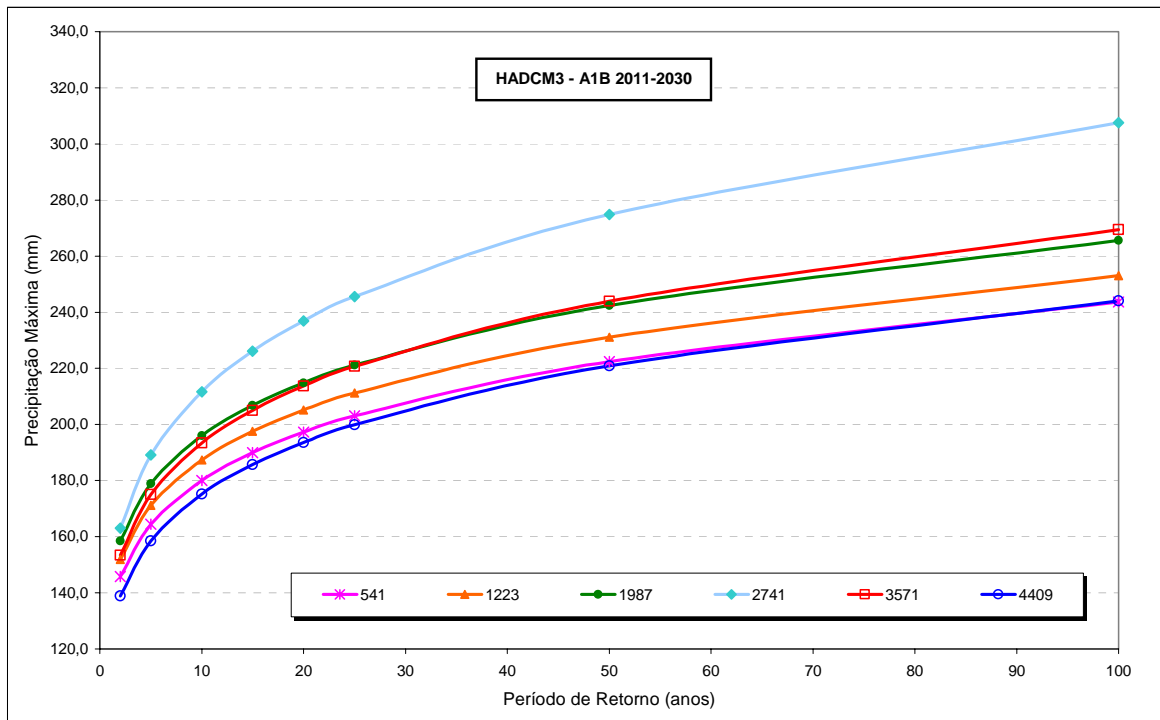


Figura 5.14 - Precipitação máxima para a duração de 24 horas obtida de equações de chuvas intensas originadas por séries oriundas de um mesmo cenário (HadCM3 A1B 2011-2030) e de sementes diferentes, por período de retorno

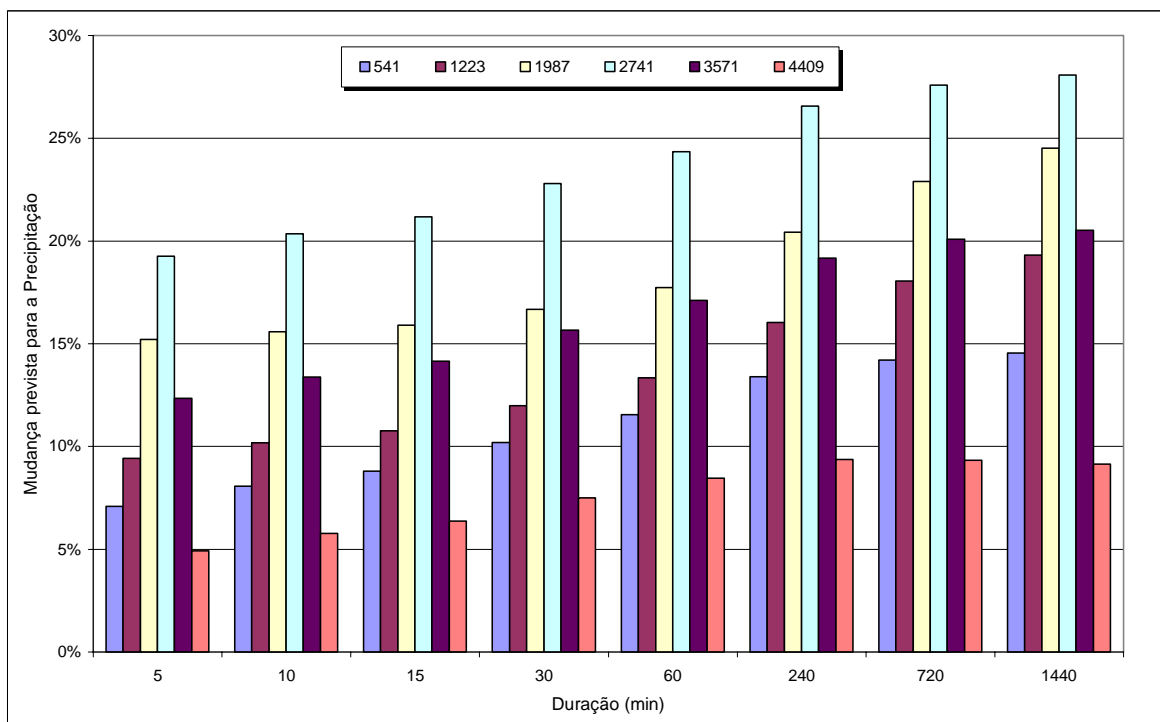


Figura 5.15 - Mudanças projetadas para a precipitação máxima por duração considerada de chuva, com base na série histórica, oriundas de um mesmo cenário (HadCM3 A1B 2011-2030) e de sementes diferentes, para o período de retorno de 2 anos

Diante dos resultados obtidos, definiu-se um novo procedimento para a primeira parte da desagregação. Usando o LARS-WG, foram gerados 400 anos de dados de chuva diários para cada uma das seis opções de semente. Ou seja, para cada cenário diferente – constituído por um MCG (HadCM3, IPCM4, MPEH5 e NCCCSM), um cenário de emissão (A2, A1B e B1) e um período de horizonte (2011-2030, 2046-2065 e 2080-2099) – foi gerada uma grande série de 2.400 anos de dados diários de chuva, buscando, assim, cobrir uma gama maior de condições climáticas possíveis, seguindo a sugestão de Semenov e Barrow (2002).

Com as “grandes séries” obtidas para os cenários, e com os coeficientes de desagregação de chuva apresentados no item anterior, tornou-se possível a realização da segunda parte do processo de desagregação necessário a este estudo. Os coeficientes proporcionaram a desagregação das séries sintéticas de dados diários de chuva, fornecidas pelo gerador estocástico, em dados para as durações de 5, 10, 15 e 30 minutos, 1, 2, 4, 6, 12 e 18 horas. Essa segunda parte possibilitou, como será apresentado adiante, a obtenção de curvas IDF para 36 cenários diferentes de mudanças climáticas projetados para o futuro.

5.5. EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS OBTIDAS PARA CADA CENÁRIO PROJETADO

Antes de partir para a obtenção de equações de chuvas intensas para os cenários futuros de mudanças climáticas, determinou-se a Equação de Chuvas Intensas para a *baseline* (base de dados históricos considerada pelo modelo nas simulações, que corresponde ao período de 1961 a 1990). O objetivo era de verificar se os resultados fornecidos pela Nova Equação seriam semelhantes aos resultados da Equação obtida através do LARS-WG.

Utilizando o LARS-WG, foi gerada uma série de 2.400 anos (400 anos para cada opção de semente) tomando por referência a *baseline*. Para a obtenção da Equação de Chuvas Intensas, empregou-se a metodologia exposta na Seção 4.2.

A Figura 5.16 apresenta um gráfico comparativo, para cada período de retorno, dos resultados da Nova Equação e dos resultados do LARS-WG para a *baseline*. Constatou-se que os resultados fornecidos pelas equações para os períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos foram bastante semelhantes, com diferenças inferiores a 5,3%. Para os períodos de retorno

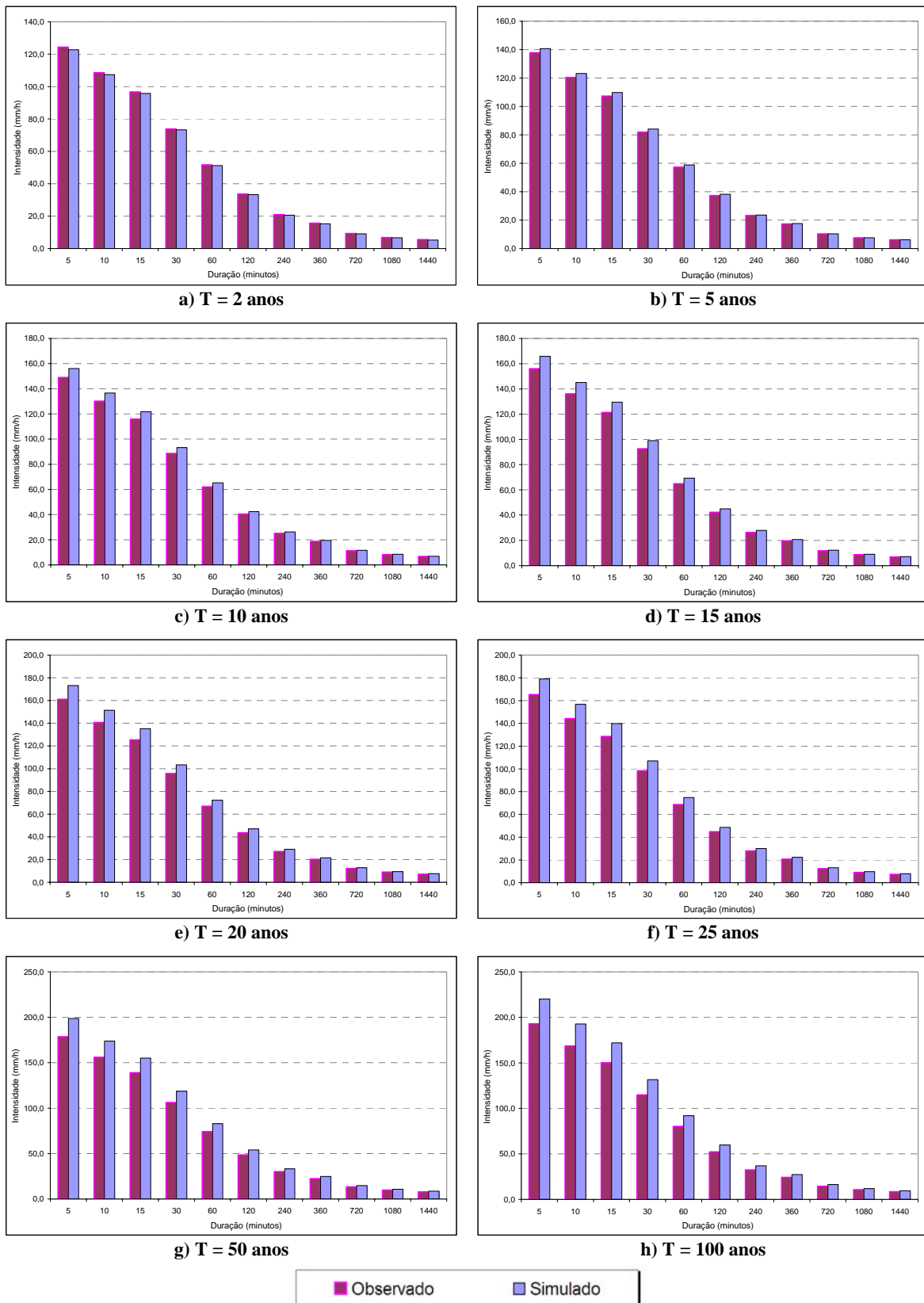


Figura 5.16 - Diagramas comparativos entre os resultados da Nova Equação de Chuvas (Série Observada) e os resultados da Equação da *baseline* - LARS-WG (Série Simulada), para os períodos de retorno de a) 2 anos, b) 5 anos, c) 10 anos, d) 15 anos, e) 20 anos, f) 25 anos, g) 50 anos e h) 100 anos

de 15, 20 e 25 anos, as diferenças variaram de 3,6% a 9%. Para os demais períodos de retorno, as diferenças foram inferiores a 15%, o que ainda representa um bom resultado.

Depois da obtenção da equação de chuvas para a *baseline*, e da constatação de que o LARS-WG consegue retratar bem as séries diárias de modo a possibilitar uma boa representação das chuvas máximas, buscou-se determinar as equações de chuvas para os cenários futuros.

Na versão utilizada do programa, o LARS-WG possibilita a desagregação das projeções de apenas quatro MCGs em dados diários (HadCM3, IPCM4, MPEH5 e NCCCSM). Essa desagregação foi efetuada – com a geração de uma série de 2.400 anos de dados diários para cada cenário, que contempla as seis opções de semente – e os dados foram novamente desagregados, desta vez em diferentes durações, através dos coeficientes de desagregação de chuva. Como já fora exposto, considera-se aqui a hipótese defendida por diversos autores de que as relações entre chuvas de durações diferentes não serão modificadas com o tempo, e que, portanto, os coeficientes de desagregação serão considerados constantes no tempo.

Após a desagregação das projeções dos MCGs em dados de diferentes durações, foram estabelecidas séries anuais de intensidades máximas para cada cenário futuro considerado. Com essas séries anuais, tornou-se possível adotar a mesma metodologia da Seção 4.2, proporcionando o estabelecimento de curvas IDF e de Equações de Chuvas Intensas, para cada um dos 36 cenários considerados de mudanças climáticas – por MCG (HadCM3, IPCM4, MPEH5 e NCCCSM), por cenário de emissão (A2, A1B e B1) e por horizonte (2011-2030, 2046-2065 e 2080-2099). A Tabela 5.12 contém todos os parâmetros determinados para constituírem as equações de chuvas nos diferentes cenários considerados. As curvas IDF para cada um dos 36 cenários estão expostas no Anexo D deste estudo.

Tabela 5.12 - Parâmetros das Equações de Chuvas Intensas obtidas para os cenários de mudanças climáticas considerados no estudo

MCG	Cenário de Emissão	Período	Parâmetros da Equação			
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
HADCM3	A1B	2011-2030	1.497,99	0,1754	21	0,7838
HADCM3	A1B	2046-2065	1.144,10	0,1043	17	0,7771
HADCM3	A1B	2080-2099	1.134,14	0,1344	15	0,7716
HADCM3	A2	2011-2030	1.212,44	0,1629	18	0,7716
HADCM3	A2	2046-2065	1.231,22	0,1323	18	0,7785
HADCM3	A2	2080-2099	1.099,61	0,1748	11	0,7728
HADCM3	B1	2011-2030	1.426,76	0,1355	22	0,7920
HADCM3	B1	2046-2065	1.090,65	0,1320	15	0,7667
HADCM3	B1	2080-2099	1.104,47	0,1799	15	0,7745
IPCM4	A1B	2011-2030	1.572,83	0,1524	23	0,7914
IPCM4	A1B	2046-2065	1.877,20	0,1718	25	0,8003
IPCM4	A1B	2080-2099	2.320,82	0,1709	25	0,7984
IPCM4	A2	2011-2030	1.816,73	0,1597	25	0,8011
IPCM4	A2	2046-2065	1.973,05	0,1838	25	0,7999
IPCM4	A2	2080-2099	2.347,03	0,1734	25	0,7984
IPCM4	B1	2011-2030	1.763,33	0,1383	25	0,8008
IPCM4	B1	2046-2065	1.977,81	0,1743	25	0,7995
IPCM4	B1	2080-2099	2.328,07	0,1980	25	0,7986
MPEH5	A1B	2011-2030	1.320,11	0,1330	20	0,7801
MPEH5	A1B	2046-2065	1.673,89	0,1484	24	0,7969
MPEH5	A1B	2080-2099	1.386,78	0,1335	20	0,7856
MPEH5	A2	2011-2030	1.503,56	0,1683	21	0,7857
MPEH5	A2	2046-2065	1.344,11	0,1961	19	0,7785
MPEH5	A2	2080-2099	1.341,39	0,1159	19	0,7794
MPEH5	B1	2011-2030	1.731,03	0,1369	24	0,7949
MPEH5	B1	2046-2065	1.461,77	0,1499	21	0,7849
MPEH5	B1	2080-2099	1.433,58	0,1674	20	0,7810
NCCCSM	A1B	2011-2030	1.503,16	0,1338	23	0,7939
NCCCSM	A1B	2046-2065	1.493,60	0,1192	23	0,7942
NCCCSM	A1B	2080-2099	1.386,27	0,1217	21	0,7814
NCCCSM	A2	2011-2030	1.429,57	0,1326	22	0,7891
NCCCSM	A2	2046-2065	1.289,73	0,1071	20	0,7828
NCCCSM	A2	2080-2099	1.162,38	0,1252	17	0,7744
NCCCSM	B1	2011-2030	1.459,03	0,1523	22	0,7881
NCCCSM	B1	2046-2065	1.432,95	0,1412	22	0,7890
NCCCSM	B1	2080-2099	1.455,57	0,1513	22	0,7898

5.6. COMPARAÇÃO ENTRE A EQUAÇÃO DE CHUVAS ATUAL E AS EQUAÇÕES DE CHUVAS DOS CENÁRIOS PROJETADOS

De posse das Equações de Chuvas Intensas para cada um dos cenários projetados, foram determinadas as alterações esperadas para a precipitação, segundo cada cenário, tomando por referência a Equação da *baseline*, aquela que o programa obteve como a Equação atual.

A Figura 5.17 apresenta alguns dos resultados obtidos para o modelo HadCM3, considerando apenas as durações de 5 minutos e de 24 horas e os períodos de retorno de 2 e de 10 anos. Para as demais durações e períodos de retorno, os resultados foram semelhantes, motivo pelo qual foram selecionadas apenas essas combinações para exemplificar os resultados. As Figuras 5.18, 5.19 e 5.20 apresentam os resultados obtidos através dos MCGs IPCM4, MPEH5 e NCCCSM, respectivamente.

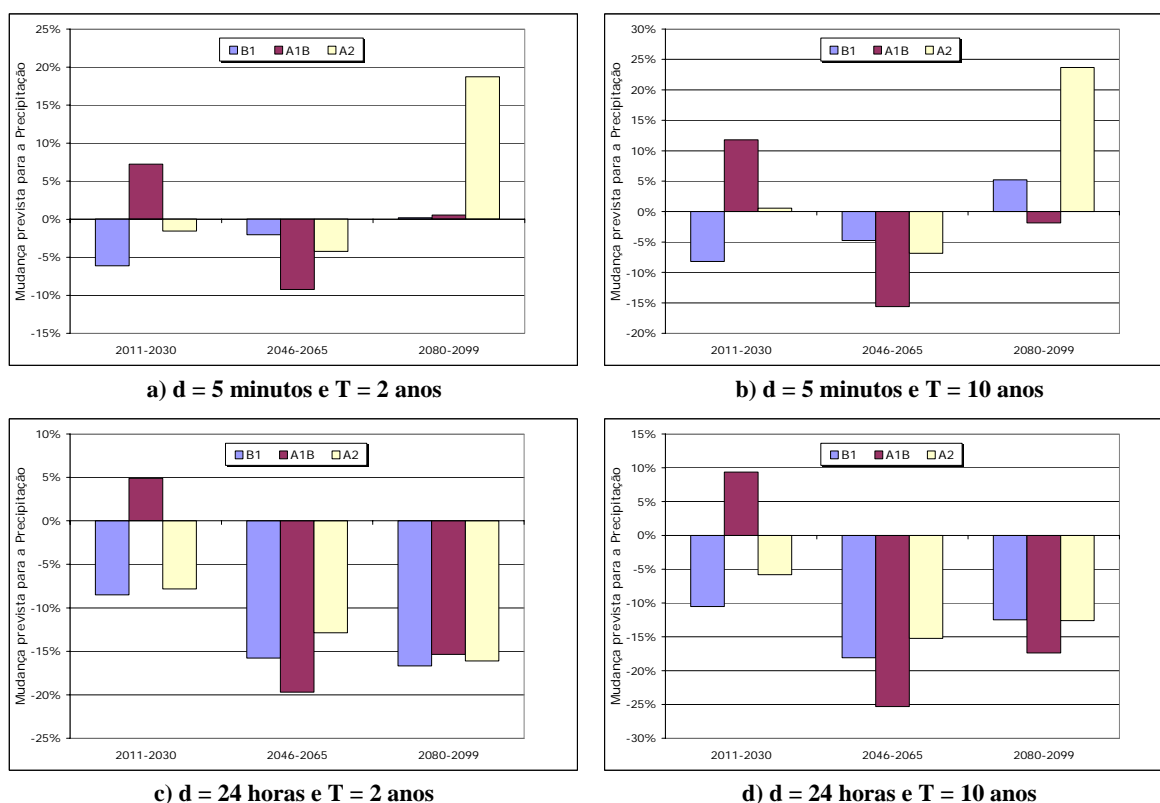


Figura 5.17 - Mudanças projetadas pelo modelo de circulação global HadCM3 para cada período de 20 anos – com relação à *baseline* – considerando as durações de 5 minutos e de 24 horas e os períodos de retorno de 2 e de 10 anos

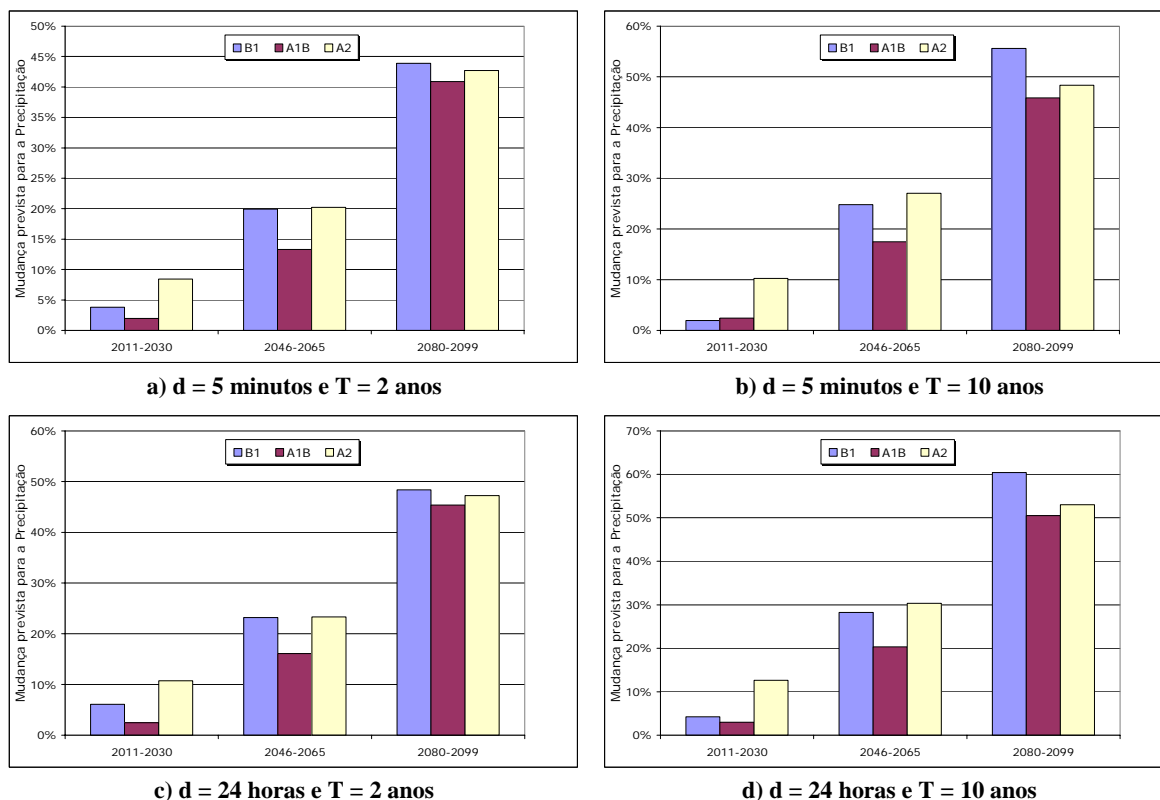


Figura 5.18 - Mudanças projetadas pelo modelo de circulação global IPCM4 para cada período de 20 anos – com relação à *baseline* – considerando as durações de 5 minutos e de 24 horas e os períodos de retorno de 2 e de 10 anos

Constatou-se que os resultados obtidos para o modelo HadCM3 não apresentam um comportamento coerente, que sugira uma tendência no decorrer do tempo, principalmente para os cenários de emissão A1B e A2, que ora indicam reduções, ora aumentos. Para a duração de 5 minutos e o período de retorno de 2 anos, por exemplo, o cenário A2 aponta reduções de precipitação de cerca de 2% para os primeiros 20 anos. Esta redução passa a ser maior para o segundo período (2046-2065), cerca de 4,5%. Entretanto, no terceiro período (2080-2099), a mudança prevista passa a ser um aumento de chuva de 19%. Essas “incoerências” podem ser verificadas em todos os demais cenários deste modelo, com ressalva para aqueles que consideram o cenário de emissão B1, resultados possíveis de existir.

Como se pode perceber através da Figura 5.18, os resultados obtidos através das projeções do modelo francês IPCM4 apresentam um comportamento bastante coerente, indicando tendências similares no decorrer do tempo. Em todas as combinações de duração e período de retorno, para os três cenários de emissão, foram sempre observadas a indicação de aumento da precipitação máxima em relação aos dias atuais.

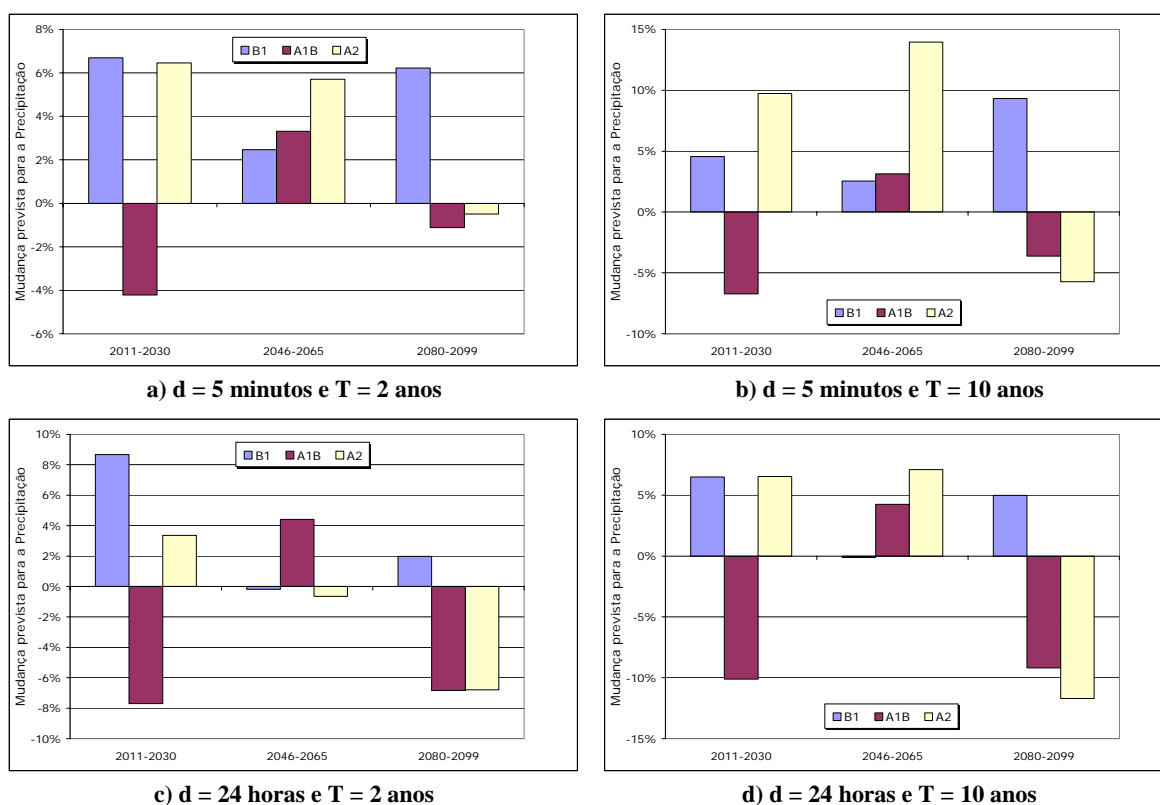


Figura 5.19 - Mudanças projetadas pelo modelo de circulação global MPEH5 para cada período de 20 anos – com relação à *baseline* – considerando as durações de 5 minutos e de 24 horas e os períodos de retorno de 2 e de 10 anos

Os resultados obtidos através do modelo alemão MPEH5 foram ainda piores que os constatados para o modelo HadCM3. Em nenhum dos três cenários de emissão, verificou-se coerência dos resultados no decorrer do tempo. As projeções ora apontam reduções, ora sugerem aumentos, para uma mesma combinação de duração e período de retorno, e para um mesmo cenário de emissão.

O modelo americano NCCCSM, por sua vez, proporcionou resultados bastante coerentes, como se pode constatar na Figura 5.20. Todos os cenários indicam reduções da precipitação máxima com relação aos dias atuais, independentemente da duração da chuva ou do período de retorno considerados.

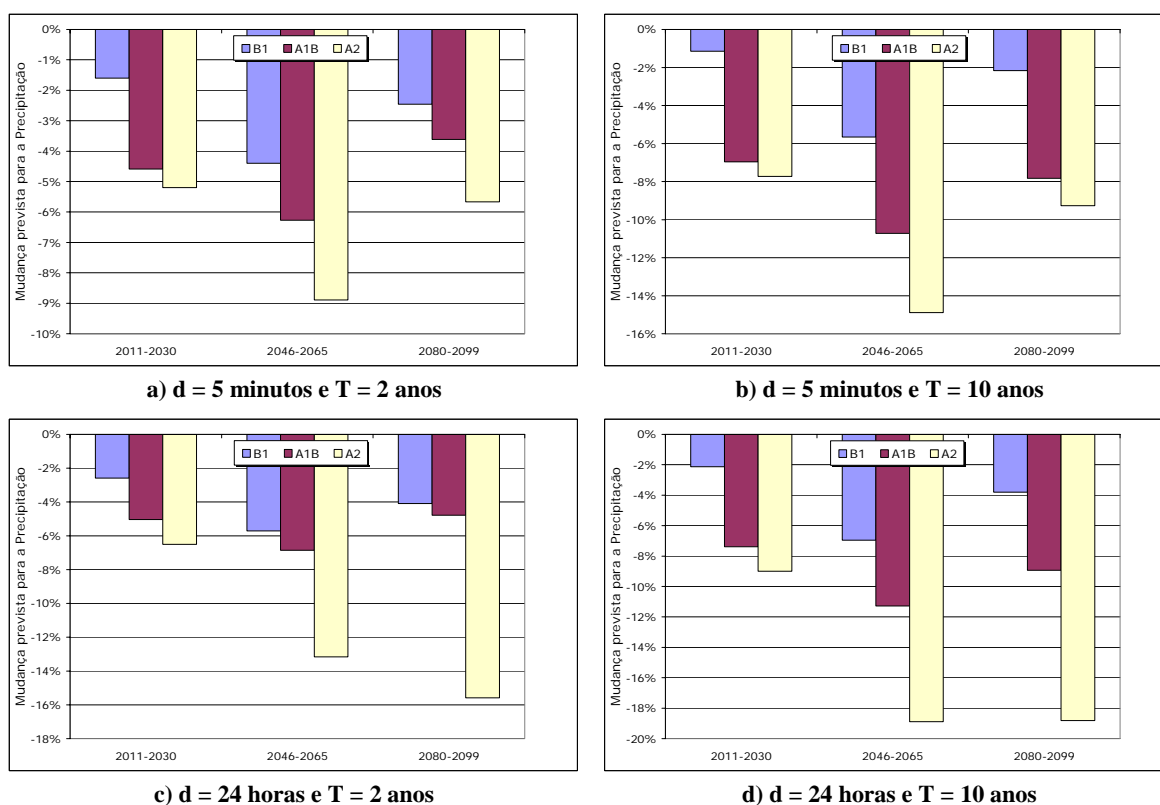


Figura 5.20 - Mudanças projetadas pelo modelo de circulação global NCCCSM para cada período de 20 anos – com relação à *baseline* – considerando as durações de 5 minutos e de 24 horas e os períodos de retorno de 2 e de 10 anos

5.7. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM DIANTE DOS CENÁRIOS PROJETADOS

Diante dos resultados observados na seção anterior, decidiu-se considerar apenas as projeções do modelo francês IPCM4 e do modelo americano NCCCSM no estudo de caso. Com os resultados destes, o objetivo seria o de se verificar o comportamento de uma área de drenagem diante de cenários de chuvas intensas decorrentes de alterações climáticas previstas por tais MCGs.

As Tabelas 5.13 e 5.14 apresentam os resultados das simulações para o loteamento fictício, pelo Método Racional, das projeções de intensidades máximas de chuvas oriundas dos modelos IPCM4 e NCCCSM, respectivamente, perante o dimensionamento realizado através das Equações de Chuvas Intensas da FIDEM (1979).

Tabela 5.13 - Diâmetros necessários para as tubulações do sistema de drenagem diante de cenários de mudanças climáticas projetados pelo MCG IPCM4

Trecho	FIDEM		IPCM4																	
			A1B 2011-2030		A1B 2046-2065		A1B 2080-2099		A2 2011-2030		A2 2046-2065		A2 2080-2099		B1 2011-2030		B1 2046-2065		B1 2080-2099	
	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)
PV1-PV2	77,73	0,40	101,53	0,50	113,61	0,50	141,30	0,50	108,72	0,50	120,54	0,50	143,12	0,50	104,07	0,50	120,23	0,50	144,31	0,50
PV2-PV3	136,27	0,50	187,46	0,60	210,50	0,60	261,85	0,60	201,42	0,60	223,35	0,60	265,23	0,60	192,80	0,60	222,79	0,60	267,42	0,60
PV3-PV6	265,36	0,60	377,71	0,80	425,42	0,80	529,29	0,80	407,04	0,80	451,40	0,80	536,12	0,80	389,64	0,80	450,29	0,80	540,55	0,80
PV4-PV5	177,67	0,60	232,08	0,60	259,68	0,60	322,97	0,80	248,50	0,60	275,52	0,60	327,14	0,80	237,86	0,60	274,82	0,60	329,85	0,80
PV5-PV6	355,83	0,80	473,76	0,80	531,07	0,80	664,91	0,80	508,19	0,80	563,49	0,80	673,49	1,00	486,44	0,80	562,06	0,80	679,07	1,00
PV6-PV9	611,82	0,80	881,01	1,00	993,21	1,00	1235,79	1,00	950,27	1,00	1053,89	1,00	1251,73	1,00	909,66	1,00	1051,30	1,00	1262,06	1,00
PV7-PV8	177,67	0,60	232,08	0,60	259,68	0,80	322,97	0,80	248,50	0,80	275,52	0,80	327,14	0,80	237,86	0,60	274,82	0,80	329,85	0,80
PV8-PV9	352,77	0,80	470,91	0,80	532,01	1,00	661,73	1,00	509,08	0,80	564,48	1,00	670,27	1,00	483,64	0,80	563,05	1,00	675,82	1,00
PV9-PV10	965,17	1,00	1414,11	1,20	1597,03	1,20	1987,32	1,50	1527,91	1,20	1694,63	1,50	2012,95	1,50	1462,63	1,20	1690,52	1,50	2029,53	1,50
PV10-PV13	925,22	1,00	1366,74	1,20	1545,19	1,20	1931,58	1,50	1478,26	1,20	1647,00	1,20	1956,48	1,50	1415,12	1,20	1643,04	1,20	1972,59	1,50
PV11-PV12	177,67	0,60	232,08	0,80	259,68	0,80	322,97	0,80	248,50	0,80	275,52	0,80	327,14	0,80	237,86	0,80	274,82	0,80	329,85	0,80
PV12-PV13	347,79	0,80	470,68	0,80	527,77	0,80	656,47	1,00	505,02	0,80	559,98	0,80	664,94	1,00	483,42	0,80	558,57	0,80	670,45	1,00
PV13-PV14	1183,60	1,20	1758,81	1,50	1990,13	1,50	2496,93	1,50	1903,88	1,50	2120,96	1,50	2529,12	1,50	1822,58	1,50	2115,89	1,50	2549,93	1,50
PV14-PV17	1145,08	1,00	1711,53	1,20	1938,13	1,50	2431,20	1,50	1854,09	1,20	2065,28	1,50	2462,54	1,50	1774,93	1,20	2060,37	1,50	2482,78	1,50
PV15-PV16	99,94	0,50	130,54	0,60	146,07	0,60	181,67	0,60	139,78	0,60	154,98	0,60	184,02	0,60	133,80	0,60	154,59	0,60	185,54	0,60
PV16-PV17	202,58	0,80	274,25	0,80	307,64	0,80	382,67	0,80	294,38	0,80	326,42	0,80	387,60	0,80	281,78	0,80	325,59	0,80	390,81	0,80
PV18-PV19	99,94	0,50	130,54	0,50	146,07	0,50	181,67	0,60	139,78	0,50	154,98	0,60	184,02	0,60	133,80	0,50	154,59	0,60	185,54	0,60
PV19-PV20	259,60	0,80	350,40	0,80	393,35	0,80	493,10	1,00	376,39	0,80	420,61	0,80	499,46	1,00	360,29	0,80	419,55	0,80	503,59	1,00
PV20-Canal	437,07	0,80	597,70	0,80	671,96	0,80	846,18	1,00	642,96	0,80	718,29	1,00	857,10	1,00	615,46	0,80	716,49	1,00	864,19	1,00
PV21-PV22	83,28	0,40	108,79	0,40	121,72	0,50	151,39	0,50	116,48	0,50	129,15	0,50	153,35	0,50	111,50	0,40	128,82	0,50	154,62	0,50
PV22-PV23	148,76	0,50	201,17	0,60	228,13	0,60	283,78	0,60	218,29	0,60	242,06	0,60	287,44	0,60	206,89	0,60	241,45	0,60	289,82	0,60
PV23-PV24	300,57	0,60	420,01	0,80	477,20	0,80	593,69	0,80	456,59	0,80	506,34	0,80	601,35	0,80	433,08	0,80	505,09	0,80	606,32	0,80
PV24-PV27	355,92	0,80	506,79	0,80	576,35	0,80	717,11	1,00	551,44	0,80	611,56	1,00	726,35	1,00	523,27	0,80	610,06	1,00	732,35	1,00
PV25-PV26	161,01	0,50	210,32	0,60	235,33	0,60	292,69	0,80	225,20	0,60	249,69	0,60	296,47	0,80	215,56	0,60	249,06	0,60	298,93	0,80
PV26-PV27	298,45	0,80	401,68	0,80	450,39	0,80	564,43	0,80	430,97	0,80	477,88	0,80	571,72	0,80	412,54	0,80	476,67	0,80	576,45	0,80
PV27-PV28	640,72	1,00	922,35	1,00	1050,53	1,00	1318,23	1,20	1005,06	1,00	1124,09	1,00	1335,23	1,20	954,35	1,00	1121,37	1,00	1346,23	1,20
PV28-PV32	683,82	1,00	988,91	1,00	1127,17	1,20	1419,52	1,20	1078,34	1,00	1205,69	1,20	1437,82	1,20	1024,30	1,00	1202,79	1,20	1449,66	1,20
PV29-PV30	202,10	0,60	263,99	0,60	295,39	0,80	367,38	0,80	282,67	0,60	313,41	0,80	372,12	0,80	270,57	0,60	312,61	0,80	375,21	0,80
PV30-PV31	357,17	0,80	478,32	0,80	541,21	1,00	673,19	1,00	513,38	1,00	574,25	1,00	681,88	1,00	491,41	0,80	572,80	1,00	687,53	1,00
PV31-PV32	382,79	0,80	525,09	0,80	600,43	1,00	746,94	1,00	569,85	1,00	637,09	1,00	756,58	1,00	540,90	0,80	635,50	1,00	762,84	1,00
PV32-PV33	1072,94	1,00	1557,92	1,20	1784,82	1,20	2246,80	1,50	1700,07	1,20	1908,54	1,20	2275,76	1,50	1615,48	1,20	1903,98	1,20	2294,48	1,50
PV33-PV35	1175,30	1,00	1711,22	1,20	1960,76	1,50	2472,08	1,50	1867,76	1,50	2096,45	1,50	2503,95	1,50	1775,02	1,20	2091,46	1,50	2524,53	1,50
PV34-PV35	188,77	0,60	246,58	0,80	275,91	0,80	343,16	0,80	264,03	0,80	292,74	0,80	347,59	0,80	252,73	0,80	292,00	0,80	350,47	0,80

Tabela 5.13 – Diâmetros necessários para as tubulações do sistema de drenagem diante de cenários de mudanças climáticas projetados pelo MCG IPCM4 (cont.)

Trecho	FIDEM		IPCM4																	
			A1B 2011-2030		A1B 2046-2065		A1B 2080-2099		A2 2011-2030		A2 2046-2065		A2 2080-2099		B1 2011-2030		B1 2046-2065		B1 2080-2099	
	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)
PV35-Canal	1261,52	1,20	1845,36	1,50	2121,55	1,50	2674,09	1,50	2021,09	1,50	2267,97	1,50	2708,56	1,50	1915,31	1,50	2262,60	1,50	2730,82	1,50
PV37-PV38	124,37	0,50	162,45	0,50	181,78	0,50	226,08	0,60	173,95	0,50	192,87	0,60	229,00	0,60	166,50	0,50	192,38	0,60	230,90	0,60
PV38-PV39	213,31	0,60	285,74	0,60	320,50	0,80	400,97	0,80	306,69	0,60	342,04	0,80	406,15	0,80	293,57	0,60	341,17	0,80	409,51	0,80
PV39-PV40	299,95	0,80	411,55	0,80	467,84	0,80	585,15	1,00	442,88	0,80	499,09	0,80	592,70	1,00	423,95	0,80	497,85	0,80	597,60	1,00
PV40-PV42	346,93	0,80	484,15	1,00	551,19	1,00	694,75	1,00	522,16	1,00	587,81	1,00	703,71	1,00	499,84	1,00	586,36	1,00	709,52	1,00
PV41-PV42	77,73	0,40	101,53	0,50	113,61	0,50	141,30	0,50	108,72	0,50	120,54	0,50	143,12	0,50	104,07	0,50	120,23	0,50	144,31	0,50
PV42-PV43	538,49	0,80	762,33	1,00	868,57	1,00	1094,27	1,00	823,13	1,00	926,08	1,00	1108,39	1,00	787,95	1,00	923,82	1,00	1117,53	1,00
PV43-PV47	580,93	0,80	834,06	1,00	951,10	1,00	1197,65	1,00	901,70	1,00	1013,86	1,00	1213,09	1,00	863,18	1,00	1011,41	1,00	1223,08	1,00
PV44-PV45	77,73	0,40	101,53	0,50	113,61	0,50	141,30	0,50	108,72	0,50	120,54	0,50	143,12	0,50	104,07	0,50	120,23	0,50	144,31	0,50
PV45-PV46	139,27	0,60	190,09	0,60	213,32	0,80	265,35	0,80	204,12	0,60	226,34	0,80	268,78	0,80	195,39	0,60	225,78	0,80	271,00	0,80
PV46-PV47	177,72	0,50	249,04	0,60	284,36	0,60	353,78	0,80	268,32	0,60	301,73	0,60	358,34	0,80	256,85	0,60	300,98	0,60	361,30	0,80
PV47-Canal	789,29	1,00	1144,62	1,20	1306,06	1,20	1643,99	1,50	1238,63	1,20	1392,02	1,20	1665,18	1,50	1185,73	1,20	1388,68	1,20	1678,89	1,50

Tabela 5.14 - Diâmetros necessários para as tubulações do sistema de drenagem diante de cenários de mudanças climáticas projetados pelo MCG NCCCSM

Trecho	FIDEM		NCCCSM																	
			A1B 2011-2030		A1B 2046-2065		A1B 2080-2099		A2 2011-2030		A2 2046-2065		A2 2080-2099		B1 2011-2030		B1 2046-2065		B1 2080-2099	
	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)
PV1-PV2	77,73	0,40	94,98	0,50	93,30	0,50	95,28	0,50	94,03	0,50	89,59	0,40	91,31	0,50	97,62	0,50	94,83	0,50	96,74	0,50
PV2-PV3	136,27	0,50	175,32	0,50	172,21	0,50	175,25	0,50	173,25	0,50	162,20	0,50	166,13	0,50	179,87	0,50	174,71	0,50	178,22	0,50
PV3-PV6	265,36	0,60	349,80	0,80	343,58	0,80	348,49	0,80	345,04	0,80	322,12	0,60	326,96	0,80	358,27	0,80	347,95	0,80	354,92	0,80
PV4-PV5	177,67	0,60	217,10	0,60	213,26	0,60	217,79	0,60	214,94	0,60	204,79	0,60	208,70	0,60	223,13	0,60	216,75	0,60	221,12	0,60
PV5-PV6	355,83	0,80	443,14	0,80	435,28	0,80	443,72	0,80	438,29	0,80	416,62	0,80	422,81	0,80	455,02	0,80	441,98	0,80	450,89	0,80
PV6-PV9	611,82	0,80	816,09	1,00	801,57	1,00	812,33	1,00	804,61	1,00	746,46	1,00	760,08	1,00	835,48	1,00	811,39	1,00	827,61	1,00
PV7-PV8	177,67	0,60	217,10	0,60	213,26	0,60	217,79	0,60	214,94	0,60	204,79	0,60	208,70	0,60	223,13	0,60	216,75	0,60	221,12	0,60
PV8-PV9	352,77	0,80	440,46	0,80	432,66	0,80	440,92	0,80	435,59	0,80	413,91	0,80	419,81	0,80	452,21	0,80	439,26	0,80	448,10	0,80
PV9-PV10	965,17	1,00	1310,47	1,20	1287,12	1,20	1302,27	1,20	1290,86	1,20	1196,31	1,20	1212,18	1,20	1340,47	1,20	1301,75	1,20	1327,70	1,20
PV10-PV13	925,22	1,00	1266,91	1,00	1244,31	1,00	1257,74	1,00	1247,27	1,00	1155,19	1,00	1167,06	1,00	1295,26	1,00	1257,79	1,00	1282,82	1,00
PV11-PV12	177,67	0,60	217,10	0,80	213,26	0,80	217,79	0,80	214,94	0,80	204,79	0,80	208,70	0,80	223,13	0,80	216,75	0,80	221,12	0,80
PV12-PV13	347,79	0,80	440,25	0,80	432,44	0,80	440,70	0,80	435,37	0,80	413,69	0,80	419,56	0,80	451,98	0,80	439,03	0,80	447,88	0,80
PV13-PV14	1183,60	1,20	1624,86	1,20	1595,85	1,20	1611,71	1,20	1598,90	1,20	1480,04	1,20	1491,34	1,20	1660,48	1,50	1612,39	1,20	1644,43	1,20

Tabela 5.14 – Diâmetros necessários para as tubulações do sistema de drenagem diante de cenários de mudanças climáticas projetados pelo MCG NCCCSM (cont.)

Trecho	FIDEM		NCCCSM																	
			A1B 2011-2030		A1B 2046-2065		A1B 2080-2099		A2 2011-2030		A2 2046-2065		A2 2080-2099		B1 2011-2030		B1 2046-2065		B1 2080-2099	
	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)
PV14-PV17	1145,08	1,00	1574,97	1,20	1546,83	1,20	1560,99	1,20	1549,12	1,20	1433,23	1,20	1440,65	1,20	1615,77	1,20	1562,19	1,20	1593,18	1,20
PV15-PV16	99,94	0,50	122,12	0,50	119,96	0,50	122,51	0,60	120,90	0,50	115,19	0,50	117,39	0,50	125,51	0,60	121,92	0,50	124,38	0,60
PV16-PV17	202,58	0,80	254,72	0,80	250,20	0,80	256,66	0,80	251,80	0,80	239,05	0,80	242,05	0,80	263,29	0,80	253,92	0,80	260,89	0,80
PV18-PV19	99,94	0,50	122,12	0,50	119,96	0,50	122,51	0,50	120,90	0,50	115,19	0,50	117,39	0,50	125,51	0,50	121,92	0,50	124,38	0,50
PV19-PV20	259,60	0,80	327,72	0,80	321,91	0,80	327,67	0,80	323,89	0,80	307,32	0,80	310,87	0,80	336,26	0,80	326,62	0,80	333,19	0,80
PV20-Canal	437,07	0,80	558,94	0,80	549,02	0,80	558,04	0,80	551,97	0,80	522,75	0,80	527,03	0,80	573,09	0,80	556,63	0,80	567,80	0,80
PV21-PV22	83,28	0,40	101,77	0,40	99,96	0,40	102,09	0,40	100,75	0,40	95,99	0,40	97,83	0,40	104,59	0,40	101,60	0,40	103,65	0,40
PV22-PV23	148,76	0,50	188,14	0,60	184,81	0,60	188,08	0,60	185,92	0,60	176,36	0,50	178,32	0,50	193,03	0,60	187,49	0,60	191,26	0,60
PV23-PV24	300,57	0,60	392,73	0,80	385,75	0,80	391,57	0,80	387,55	0,80	363,16	0,80	364,77	0,80	402,40	0,80	390,82	0,80	398,65	0,80
PV24-PV27	355,92	0,80	473,82	0,80	465,39	0,80	471,77	0,80	467,23	0,80	437,24	0,80	437,87	0,80	485,15	0,80	471,17	0,80	480,59	0,80
PV25-PV26	161,01	0,50	196,75	0,60	193,27	0,60	197,37	0,60	194,79	0,60	185,59	0,60	189,13	0,60	202,21	0,60	196,43	0,60	200,39	0,60
PV26-PV27	298,45	0,80	375,70	0,80	369,05	0,80	376,10	0,80	371,54	0,80	353,06	0,80	358,09	0,80	385,73	0,80	374,68	0,80	382,22	0,80
PV27-PV28	640,72	1,00	862,18	1,00	846,82	1,00	856,71	1,00	849,24	1,00	793,15	1,00	790,68	1,00	881,88	1,00	856,40	1,00	873,47	1,00
PV28-PV32	683,82	1,00	924,29	1,00	907,81	1,00	917,49	1,00	909,90	1,00	848,96	1,00	844,37	1,00	944,92	1,00	917,58	1,00	935,84	1,00
PV29-PV30	202,10	0,60	246,95	0,60	242,58	0,60	247,74	0,60	244,49	0,60	232,94	0,60	237,39	0,60	253,81	0,60	246,55	0,60	251,53	0,60
PV30-PV31	357,17	0,80	447,38	0,80	439,45	0,80	447,70	0,80	442,35	0,80	420,16	0,80	425,83	0,80	459,24	0,80	446,08	0,80	455,06	0,80
PV31-PV32	382,79	0,80	491,03	0,80	482,31	0,80	490,06	0,80	484,81	0,80	458,92	0,80	462,30	0,80	503,36	0,80	488,90	0,80	498,71	0,80
PV32-PV33	1072,94	1,00	1455,95	1,20	1429,96	1,20	1443,72	1,20	1432,44	1,20	1335,09	1,00	1324,68	1,00	1487,64	1,20	1444,53	1,20	1473,21	1,20
PV33-PV35	1175,30	1,00	1599,16	1,20	1570,59	1,20	1585,22	1,20	1573,05	1,20	1463,29	1,20	1450,71	1,20	1633,69	1,20	1586,33	1,20	1617,81	1,20
PV34-PV35	188,77	0,60	230,67	0,80	226,59	0,60	231,40	0,80	228,37	0,60	217,59	0,60	221,74	0,60	237,07	0,80	230,29	0,80	234,94	0,80
PV35-Canal	1261,52	1,20	1724,39	1,50	1693,57	1,50	1708,42	1,50	1695,71	1,50	1576,59	1,50	1561,04	1,50	1761,13	1,50	1710,02	1,50	1743,92	1,50
PV37-PV38	124,37	0,50	151,97	0,50	149,28	0,50	152,45	0,50	150,46	0,50	143,35	0,50	146,09	0,50	156,19	0,50	151,72	0,50	154,79	0,50
PV38-PV39	213,31	0,60	267,26	0,60	262,52	0,60	267,44	0,60	264,25	0,60	250,98	0,60	254,35	0,60	274,34	0,60	266,47	0,60	271,84	0,60
PV39-PV40	299,95	0,80	384,85	0,80	378,02	0,80	384,08	0,80	379,97	0,80	359,67	0,80	362,29	0,80	394,51	0,80	383,17	0,80	390,86	0,80
PV40-PV42	346,93	0,80	452,66	0,80	444,61	0,80	450,76	0,80	446,39	0,80	421,34	0,80	422,30	0,80	463,51	0,80	450,15	0,80	459,16	0,80
PV41-PV42	77,73	0,40	94,98	0,50	93,30	0,50	95,28	0,50	94,03	0,50	89,59	0,50	91,31	0,50	97,62	0,50	94,83	0,50	96,74	0,50
PV42-PV43	538,49	0,80	708,81	1,00	696,19	1,00	704,90	1,00	698,49	1,00	658,15	1,00	657,68	1,00	725,31	1,00	704,38	1,00	718,44	1,00
PV43-PV47	580,93	0,80	775,62	1,00	761,79	1,00	770,42	1,00	763,82	1,00	718,58	1,00	716,11	1,00	793,19	1,00	770,27	1,00	785,61	1,00
PV44-PV45	77,73	0,40	94,98	0,50	93,30	0,50	95,28	0,50	94,03	0,50	89,59	0,40	91,31	0,50	97,62	0,50	94,83	0,50	96,74	0,50
PV45-PV46	139,27	0,60	177,79	0,60	174,63	0,60	177,82	0,60	175,74	0,60	165,00	0,60	168,86	0,60	182,45	0,60	177,22	0,60	180,78	0,60
PV46-PV47	177,72	0,50	232,86	0,60	228,72	0,60	232,11	0,60	229,76	0,60	215,05	0,60	218,14	0,60	238,56	0,60	231,70	0,60	236,34	0,60
PV47-Canal	789,29	1,00	1064,53	1,20	1045,54	1,20	1056,43	1,20	1047,80	1,20	984,52	1,00	979,06	1,00	1088,14	1,20	1056,64	1,20	1077,66	1,20

Diante dos resultados das simulações expostos nas Tabelas 5.13 e 5.14, foram identificadas quantas tubulações passariam a um estado de excedência da capacidade de carga diante de cada cenário de mudanças climáticas considerado. Estas seriam todas aquelas que precisariam ter seus diâmetros aumentados em face das diferentes simulações. Os quantitativos estão expostos na Tabela 5.15. Os comprimentos totais das tubulações por diâmetro utilizado, e as modificações necessárias destes comprimentos em termos percentuais para cada um dos cenários de mudanças climáticas, encontram-se expostos na Tabela 5.16 adiante.

Tabela 5.15 - Quantidade de tubulações que teriam sobrecarga diante de cada cenário projetado

Cenários		Nº de tubulações com sobrecarga	% de tubulações com sobrecarga ¹
IPCM4	A1B 2011-2030	24	53
	A1B 2046-2065	33	73
	A1B 2080-2099	42	93
	A2 2011-2030	28	62
	A2 2046-2065	37	82
	A2 2080-2099	43	96
	B1 2011-2030	24	53
	B1 2046-2065	37	82
	B1 2080-2099	43	96
NCCCSM	A1B 2011-2030	19	42
	A1B 2046-2065	18	40
	A1B 2080-2099	20	44
	A2 2011-2030	18	40
	A2 2046-2065	12	27
	A2 2080-2099	15	33
	B1 2011-2030	21	47
	B1 2046-2065	19	42
	B1 2080-2099	20	44

¹ São 45 tubulações em todo o loteamento

Tabela 5.16 - Comprimentos totais das tubulações por diâmetro (em m) e modificações decorrentes de cada um dos cenários considerados

Cenário		D (m)						
		0,4	0,5	0,6	0,80	1	1,2	1,5*
FIDEM		610	1030	1230	2140	1370	310	-
IPCM4	A1B 2011-2030	180 (-70,5%)	700 (-32%)	1480 (20,3%)	1910 (-10,7%)	1090 (-20,4%)	1020 (229%)	310
	A1B 2046-2065	(-100%)	880 (-14,6%)	860 (-30,1%)	2110 (-1,4%)	1330 (-2,9%)	890 (187,1%)	620
	A1B 2080-2099	(-100%)	610 (-40,8%)	800 (-35%)	1720 (-19,6%)	1880 (37,2%)	350 (12,9%)	1330
	A2 2011-2030	(-100%)	880 (-14,6%)	1380 (12,2%)	1690 (-21%)	1410 (2,9%)	880 (183,9%)	450
	A2 2046-2065	(-100%)	610 (-40,8%)	1130 (-8,1%)	1760 (-17,8%)	1680 (22,6%)	720 (132,3%)	790
	A2 2080-2099	(-100%)	610 (-40,8%)	800 (-35%)	1640 (-23,4%)	1960 (43,1%)	350 (12,9%)	1330
	B1 2011-2030	180 (-70,5%)	700 (-32%)	1480 (20,3%)	1910 (-10,7%)	1090 (-20,4%)	1020 (229%)	310
	B1 2046-2065	(-100%)	610 (-40,8%)	1130 (-8,1%)	1760 (-17,8%)	1680 (22,6%)	720 (132,3%)	790
	B1 2080-2099	(-100%)	610 (-40,8%)	800 (-35%)	1640 (-23,4%)	1960 (43,1%)	350 (12,9%)	1330
NCCCSM	A1B 2011-2030	180 (-70,5%)	1030 (0%)	1150 (-6,5%)	2030 (-5,1%)	1140 (-16,8%)	1020 (229%)	140
	A1B 2046-2065	180 (-70,5%)	1030 (0%)	1300 (5,7%)	1880 (-12,1%)	1140 (-16,8%)	1020 (229%)	140
	A1B 2080-2099	180 (-70,5%)	930 (-9,7%)	1250 (1,6%)	2030 (-5,1%)	1140 (-16,8%)	1020 (229%)	140
	A2 2011-2030	180 (-70,5%)	1030 (0%)	1300 (5,7%)	1880 (-12,1%)	1140 (-16,8%)	1020 (229%)	140
	A2 2046-2065	490 (-19,7)	920 (-10,7%)	1210 (-1,6%)	1770 (-17,3%)	1510 (10,2%)	650 (109,7%)	140
	A2 2080-2099	180 (-70,5%)	1230 (19,4%)	1100 (-10,6%)	1880 (-12,1%)	1510 (10,2%)	650 (109,7%)	140
	B1 2011-2030	180 (-70,5%)	930 (-9,7%)	1250 (1,6%)	2030 (-5,1%)	1140 (-16,8%)	850 (174,2%)	310
	B1 2046-2065	180 (-70,5%)	1030 (0%)	1150 (-6,5%)	2030 (-5,1%)	1140 (-16,8%)	1020 (229%)	140
	B1 2080-2099	180 (-70,5%)	930 (-9,7%)	1250 (1,6%)	2030 (-5,1%)	1140 (-16,8%)	1020 (229%)	140

* Este diâmetro não existia no projeto original. Por isso, não foram relacionadas modificações em termos percentuais.

Constatou-se, através das tabelas apresentadas, que mesmo para as simulações das projeções do modelo americano NCCCSM, é prevista uma sobrecarga de tubulações que constituem o sistema de drenagem do loteamento fictício, chegando a atingir 47% destas em um dos cenários. Como isto seria possível se, segundo os gráficos da Figura 5.20, as projeções do MCG são sempre de reduções de chuva para os períodos vindouros, independente da duração da chuva ou do período de retorno considerados? A resposta é simples, e corrobora com os resultados apresentados na Seção 5.2: a Equação de Chuvas Intensas que foi utilizada para o dimensionamento do projeto. Como se constatou na citada seção, as equações atualmente utilizadas nos projetos de drenagem da Região Metropolitana do Recife fornecem intensidades máximas de precipitação bastante inferiores às obtidas através da Nova Equação. Se os gráficos apresentados na Figura 5.20 tivessem as Equações de Chuvas da FIDEM como referência, os resultados teriam sido os apresentados na Figura 5.21, a seguir.

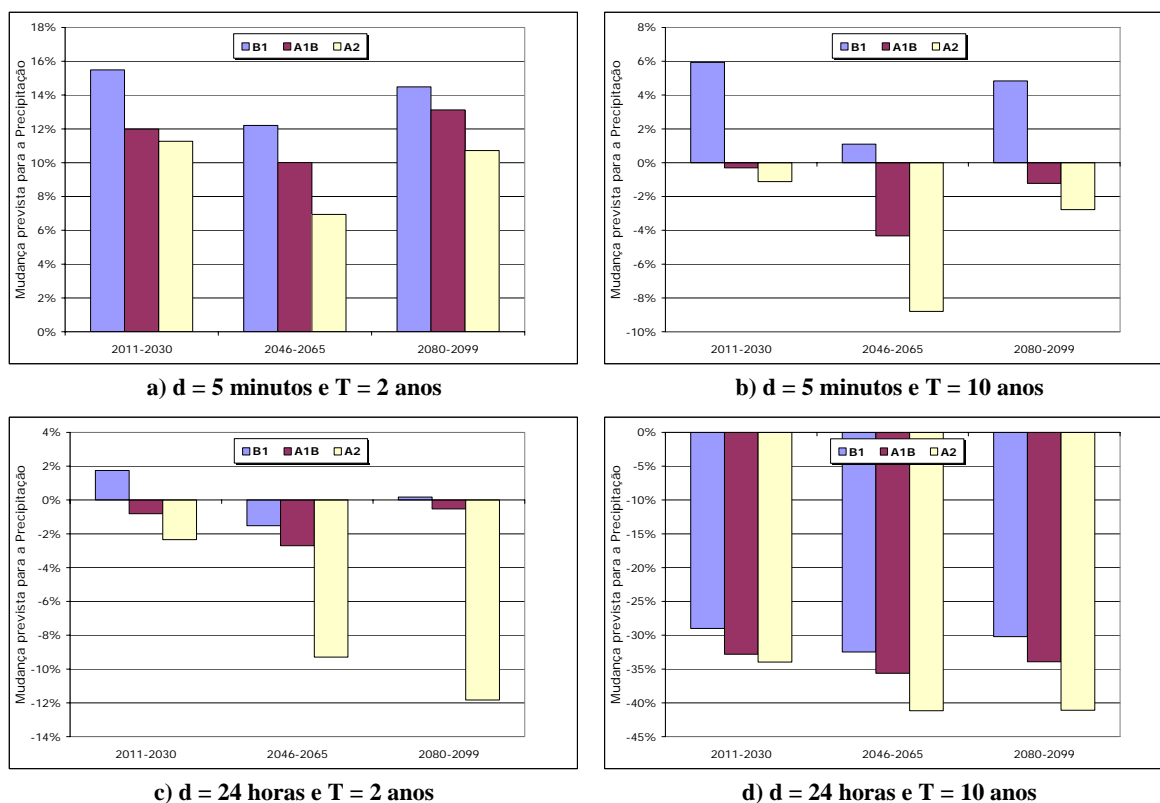


Figura 5.21 - Mudanças projetadas pelo modelo de circulação global NCCCSM para cada período de 20 anos – com relação às Equações de Chuvas Intensas da FIDEM – considerando as durações de 5 minutos e de 24 horas e os períodos de retorno de 2 e de 10 anos

Partindo para a utilização de uma chuva de projeto oriunda da Nova Equação para o dimensionamento do projeto de drenagem do loteamento, ainda seria esperada uma sobrecarga sobre tubulações para cenários do modelo francês IPCM4, mas isto não mais aconteceria para os cenários do modelo americano NCCCSM, como pode ser constatado na Tabela 5.17 adiante. Isto expõe, mais uma vez, os riscos de se continuar a utilizar as Equações de Chuvas da FIDEM para a obtenção de chuvas de projeto, diante da Nova Equação apresentada neste estudo.

Ao se considerar a Nova Equação como referência para os cenários do modelo IPCM4, constata-se que em sete dos nove cenários haveria excedência da capacidade de carga de alguns trechos do sistema de drenagem, chegando a atingir uma sobrecarga de 60% de toda a rede, como pode ser verificado na Tabela 5.17. Para os dois cenários que previram essa sobrecarga máxima, um sistema de drenagem construído nos dias atuais para chuvas com período de retorno de 50 anos, por exemplo, seria capaz de suportar tempestades de período de retorno de apenas 2 anos, por volta do ano 2090. Isto expõe a

grande vulnerabilidade desse sistema com relação às mudanças climáticas projetadas, caso projeções como estas, de aumento das chuvas máximas, torne-se realidade.

Tabela 5.17 - Quantidade de tubulações que teriam sobrecarga diante de cada cenário projetado, considerando-se a Nova Equação como referência

Cenários		Nº de tubulações com sobrecarga	% de tubulações com sobrecarga ¹
IPCM4	A1B 2011-2030	0	0
	A1B 2046-2065	11	24
	A1B 2080-2099	26	58
	A2 2011-2030	5	11
	A2 2046-2065	16	36
	A2 2080-2099	27	60
	B1 2011-2030	0	0
	B1 2046-2065	16	36
	B1 2080-2099	27	60
NCCCSM	A1B 2011-2030	0	0
	A1B 2046-2065	0	0
	A1B 2080-2099	0	0
	A2 2011-2030	0	0
	A2 2046-2065	0	0
	A2 2080-2099	0	0
	B1 2011-2030	0	0
	B1 2046-2065	0	0
	B1 2080-2099	0	0

¹ São 45 tubulações em todo o loteamento

Entretanto, buscando-se verificar o estado atual do sistema de drenagem do loteamento, uma vez que o mesmo foi projetado com a chuva de projeto oriunda das Equações da FIDEM, comparou-se o dimensionamento das tubulações do sistema a um dimensionamento obtido através da utilização da chuva de projeto da Nova Equação. A Tabela 5.18 apresenta os resultados dessa comparação, onde se constata que 53% da rede já estaria, nos dias de hoje, trabalhando com sobrecarga.

Tabela 5.18 - Dimensionamentos obtidos para as tubulações do sistema de drenagem através das intensidades máximas da FIDEM e da Nova Equação de Chuvas do Recife

Trecho da Rede	FIDEM		Nova Equação	
	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)
PV1-PV2	77,73	0,40	100,39	0,50
PV2-PV3	136,27	0,50	184,82	0,60
PV3-PV6	265,36	0,60	371,54	0,80
PV4-PV5	177,67	0,60	229,45	0,60
PV5-PV6	355,83	0,80	467,71	0,80
PV6-PV9	611,82	0,80	866,05	1,00
PV7-PV8	177,67	0,60	229,45	0,60
PV8-PV9	352,77	0,80	464,80	0,80
PV9-PV10	965,17	1,00	1388,39	1,20
PV10-PV13	925,22	1,00	1340,95	1,20
PV11-PV12	177,67	0,60	229,45	0,80
PV12-PV13	347,79	0,80	464,57	0,80
PV13-PV14	1183,60	1,20	1724,70	1,50
PV14-PV17	1145,08	1,00	1677,55	1,20
PV15-PV16	99,94	0,50	129,07	0,60
PV16-PV17	202,58	0,80	270,60	0,80
PV18-PV19	99,94	0,50	129,07	0,50
PV19-PV20	259,60	0,80	345,54	0,80
PV20-Canal	437,07	0,80	588,73	0,80
PV21-PV22	83,28	0,40	107,56	0,40
PV22-PV23	148,76	0,50	198,35	0,60
PV23-PV24	300,57	0,60	413,29	0,80
PV24-PV27	355,92	0,80	498,17	0,80
PV25-PV26	161,01	0,50	207,94	0,60
PV26-PV27	298,45	0,80	396,47	0,80
PV27-PV28	640,72	1,00	905,36	1,00
PV28-PV32	683,82	1,00	970,01	1,00
PV29-PV30	202,10	0,60	261,00	0,60
PV30-PV31	357,17	0,80	471,99	0,80
PV31-PV32	382,79	0,80	517,07	0,80
PV32-PV33	1072,94	1,00	1527,09	1,20
PV33-PV35	1175,30	1,00	1677,02	1,20
PV34-PV35	188,77	0,60	243,79	0,80
PV35-Canal	1261,52	1,20	1807,85	1,50
PV37-PV38	124,37	0,50	160,62	0,50
PV38-PV39	213,31	0,60	281,95	0,60
PV39-PV40	299,95	0,80	405,25	0,80
PV40-PV42	346,93	0,80	475,96	1,00
PV41-PV42	77,73	0,40	100,39	0,50
PV42-PV43	538,49	0,80	748,81	1,00
PV43-PV47	580,93	0,80	818,58	1,00
PV44-PV45	77,73	0,40	100,39	0,50
PV45-PV46	139,27	0,60	187,50	0,60
PV46-PV47	177,72	0,50	245,01	0,60
PV47-Canal	789,29	1,00	1122,66	1,20

Uma chuva com um período de retorno de 12 anos no sistema de drenagem do loteamento dimensionado através das Equações da FIDEM, **hoje**, seria capaz de suportar tempestades de período de retorno de apenas 5 anos.

Estando o sistema de drenagem já sobrecarregado hoje, e sendo a cidade do Recife e sua região metropolitana reconhecidamente bastante acometidas por enchentes e inundações; são esperados muitos problemas com os sistemas de drenagem dessa região se as projeções de aumento das intensidades de precipitação fornecidas por MCGs se confirmarem. Inundações poderão acontecer sempre que as tubulações excederem suas capacidades de carga, trabalhando à seção plena, inundando as superfícies de captação a partir de pontos de acesso, como os bueiros.

Buscando formas de se contornar o problema, Watt *et al.* (2003) apresentaram uma série de medidas de adaptação na tentativa de atenuar os efeitos dos aumentos das intensidades de chuva em bacias urbanas e prevenir ou retardar o escoamento superficial derivado destes aumentos. Um resumo das medidas de mitigação e exemplos de vantagens e desvantagens são expostos no Quadro 5.2. Muitas das desvantagens apontadas estão relacionadas aos custos.

Quadro 5.2 - Medidas mitigatórias que podem atenuar os efeitos de mudanças climáticas em bacias urbanas existentes (Watt *et al.*, 2003)

Medida	Vantagem	Desvantagem
Substituição da tubulação <ul style="list-style-type: none"> ▪ instalar tubulações maiores para evitar a sobrecarga 	Condução assegurada das águas, incluindo o escoamento produzido pela chuva de projeto especificada	O custo é proibitivo, a menos que os tubos estejam sendo substituídos como resultado de um programa de manutenção normal
Desligamento de áreas impermeáveis <ul style="list-style-type: none"> ▪ desconectar telhados inteiros ou parte destes do sistema de drenagem de águas pluviais, fazendo a água drenar para áreas permeáveis, como gramados 	O escoamento advindo de telhados ao derramar sobre áreas com cobertura vegetal, como gramados, reduz o volume de água para o sistema de drenagem da rua e também reduz a quantidade de água potável utilizada para irrigar gramados.	O custo para desconectar essas áreas impermeáveis pode desencorajar o proprietário. Os lotes não podem ser grandes o suficiente para "absorver" a água vinda do telhado.
Aumento da superfície de armazenamento <ul style="list-style-type: none"> ▪ desviar rota dos fluxos para bens públicos 	A água pode ser desviada das áreas impermeáveis e ter a possibilidade de se infiltrar para o lençol freático.	Terras públicas, tais como pátios escolares, devem estar disponíveis para serem utilizados como reservatórios secos, e não podem ser usados até que sequem ou que sejam drenados após a chuva.

Quadro 5.2 - Medidas mitigatórias que podem atenuar os efeitos de mudanças climáticas em bacias urbanas existentes (Watt *et al.*, 2003) (cont.)

Medida	Vantagem	Desvantagem
Redução da taxa de entrada de águas pluviais <ul style="list-style-type: none"> ▪ instalar dispositivos de controle de entrada nas bacias de captura e utilizar lotes de ruas / estacionamento para armazenamento temporário na superfície 	O escoamento da água não é permitido, evitando sobrecarregar o sistema de drenagem	Reservatórios de água nas ruas podem prejudicar a circulação de tráfego se as declividades não são favoráveis. A água também pode acumular em propriedade privada criando questões de responsabilidade para o município. (A reconstrução de algumas ruas pode ser exigida).
Aumento do volume do reservatório <ul style="list-style-type: none"> ▪ modificar a estrutura de saída e/ou aumentar a área do reservatório 	O escoamento da água não é permitido, evitando sobrecarregar o sistema de drenagem	O custo pode ser substancial e terra pode não ser disponível nas bacias hidrográficas existentes.
Infiltração <ul style="list-style-type: none"> ▪ construir trincheiras ou bacias de infiltração 	O escoamento infiltra e pode alimentar o lençol freático	Requer condições de solo favoráveis à infiltração

Diante de tudo o que foi exposto, é correto afirmar que medidas como as citadas por Watt *et al.* (2003) precisarão ser implementadas na cidade do Recife e em sua região metropolitana na tentativa de corrigir a defasagem já existente e reduzir os efeitos das mudanças climáticas sobre bacias urbanas da região.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A maioria dos estudos sobre eventos extremos de precipitação sugere que eles têm aumentado em frequência e intensidade durante o século XX. Ou seja: áreas mais úmidas estão se tornando ainda mais úmidas; e áreas secas, se tornam ainda mais áridas. O regime de escoamento deverá, normalmente, seguir a mesma tendência, sendo assim de se esperar uma intensificação das cheias em consequência das alterações climáticas. Essas alterações não determinarão apenas modificações dos valores médios do escoamento, mas também dos seus valores extremos, provocando alterações dos regimes de cheias e secas. Enquanto muitas seções dos sistemas de drenagem existentes poderiam acomodar um acréscimo de precipitação, em outras, conduziria a falhas no sistema e possíveis danos.

Diante deste cenário, este estudo teve por objetivo avaliar os impactos decorrentes de possíveis alterações climáticas, provocadas pelo aquecimento global, em sistemas de drenagem de bacias urbanas susceptíveis a frequentes inundações. Para tal, foi necessário definir uma metodologia consistente para obter dados de chuva simulados por Modelos de Circulação Global em escalas temporais de maiores resoluções.

O primeiro passo foi o de encontrar, obter e proporcionar o tratamento de uma longa série de dados pluviográficos da região. Esses dados de chuva foram registrados na estação do aeroporto da cidade do Recife, e resultaram em uma série de 40 anos de dados, correspondente ao período de 1968 a 2007. Através de um programa de leitura dos pluviogramas, foi montada uma base de dados com a seleção das maiores chuvas com duração de 5, 10, 15 e 30 minutos, 1, 2, 4, 6, 12, 18 e 24 horas do período.

Com a referida base de dados, foi possível determinar relações intensidade-duração-frequência de chuvas ocorridas na cidade do Recife. Para isto, foi ajustada a distribuição probabilística de Gumbel, que forneceu um bom ajuste aos dados observados, com um nível de significância de 10% para a duração de 5 minutos, e de 20% para as demais durações, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov. Com o bom ajuste da distribuição, foi possível obter uma Nova Equação de Chuvas Intensas para a cidade do Recife.

Através de uma comparação entre as Equações de Chuvas já desenvolvidas para a região, constatou-se que as Equações geradas no contexto do Plano Diretor de Macrodrenagem da Região Metropolitana do Recife, atualmente utilizadas em vários estudos para a cidade do Recife, subestimam as chuvas de projeto da região. As intensidades de precipitação obtidas com a Nova Equação de Chuvas, para as menores durações (5, 10, 15 e 30 minutos) – que apresentam as maiores intensidades e que podem dar origem a problemas de enchentes –, chegam a ser 41% maiores do que as obtidas com as Equações do Plano Diretor de Macrodrenagem da RMR. As diferenças se devem, provavelmente, ao curto período das séries consideradas para a obtenção destas últimas equações e a possíveis mudanças na precipitação já ocorridas devido ao efeito estufa, e demonstram que a utilização daquelas deve ser evitada, pois se os valores resultantes são menores, a adoção destes valores para a determinação de vazões de projetos implicaria no subdimensionamento das obras hidráulicas projetadas. Isto vem a confirmar a necessidade de revisões periódicas e atualizações de Equações de Chuvas para se evitar os subdimensionamentos de obras hidráulicas, o que pode estar implicando em enchentes recorrentes na cidade e em adjacências.

Outro resultado dessa primeira parte do estudo foi a obtenção dos coeficientes de desagregação de chuva, obtidos como valores médios das relações entre as chuvas de 24 horas e as chuvas de durações inferiores por períodos de retorno. Esses coeficientes foram peças importantes para se alcançar o objetivo do estudo.

Para obter dados de chuva simulados por Modelos de Circulação Global em escalas temporais de maiores resoluções, adotou-se uma metodologia em duas etapas. A primeira etapa consistiu na desagregação espacial e temporal das projeções de precipitação de MCGs, para a escala diária, através de um gerador estocástico. A segunda etapa baseou-se na aplicação dos coeficientes de desagregação de chuva aos dados diários desagregados pelo gerador.

O gerador estocástico utilizado no estudo foi o LARS-WG, através do qual foi possível obter dados diários sintéticos de precipitação para quatro Modelos de Circulação Global (HadCM3, IPCM4, MPEH5 e NCCCSM), em três cenários de emissão (A2, A1B e B1), para os períodos de 2011-2030, 2046-2065 e 2080-2099.

Com as séries diárias, procedeu-se à segunda etapa da desagregação, que consistiu na utilização dos coeficientes de desagregação de chuva. As séries diárias sintéticas fornecidas pelo gerador foram desagregadas em durações menores, possibilitando a

obtenção de curvas IDF e de Equações de Chuvas Intensas para 36 cenários diferentes de mudanças climáticas projetados para o futuro.

De posse das Equações de Chuvas Intensas para cada um desses cenários, foram determinadas as alterações esperadas para a precipitação, tomando por referência a Equação da *baseline*, aquela que o programa obteve como a Equação atual. Como consequência, dos quatro MCGs considerados até então, apenas dois apresentaram resultados coerentes, indicando tendências no decorrer do tempo: um que indica aumento da precipitação em todos os cenários (IPCM4), e outro que apenas sugere reduções da precipitação (NCCCSM). Com os resultados destes, foi analisado o comportamento de uma área de drenagem diante de cenários de chuvas intensas decorrentes de alterações climáticas previstas por tais MCGs. Foi utilizado como estudo de caso o sistema de drenagem de águas pluviais de um loteamento fictício.

Constatou-se que, mesmo para as simulações das projeções do modelo americano NCCCSM, é prevista uma sobrecarga de tubulações que constituem o sistema de drenagem do loteamento fictício, chegando a atingir 47% destas em um dos cenários. Isto aconteceu devido à Equação de Chuvas Intensas utilizada para o dimensionamento do projeto original, pois, como já se constatou, as equações atualmente utilizadas nos projetos de drenagem da Região Metropolitana do Recife fornecem intensidades máximas de precipitação bastante inferiores às obtidas através da Nova Equação para as menores durações.

Buscando verificar o estado atual do sistema de drenagem do loteamento, comparou-se o dimensionamento das tubulações do sistema a um dimensionamento obtido através da utilização da chuva de projeto da Nova Equação, onde se constatou que 53% da rede já estaria, nos dias de hoje, trabalhando com sobrecarga. Uma chuva com um período de retorno de 12 anos no sistema de drenagem do loteamento dimensionado através das Equações da FIDEM, hoje, seria capaz de suportar tempestades de período de retorno de apenas 5 anos.

Diante disto, e sendo a cidade do Recife e sua região metropolitana reconhecidamente bastante acometidas por inundações, são esperados muitos problemas com os sistemas de drenagem dessa região perante projeções de aumento das intensidades de precipitação fornecidas por MCGs.

Ao se considerar a Nova Equação como referência para os cenários do modelo IPCM4, constatou-se que em sete dos nove cenários haveria excedência da capacidade de

carga de alguns trechos do sistema de drenagem, chegando a atingir uma sobrecarga de 60% de toda a rede. Para os dois cenários que previram essa sobrecarga máxima, um sistema de drenagem construído nos dias atuais para chuvas com período de retorno de 50 anos, por exemplo, seria capaz de suportar tempestades de período de retorno de apenas 2 anos, por volta do ano 2090. Isto expõe a grande vulnerabilidade desse sistema com relação às possíveis projeções de mudanças climáticas.

Diante de tudo o que foi exposto, conclui-se que, independentemente das projeções dos Modelos de Circulação Global, os sistemas de drenagem de Recife e de sua região metropolitana têm que ser revistos, e medidas mitigatórias precisarão ser implementadas na região na tentativa de corrigir a defasagem já existente e reduzir os efeitos que as mudanças climáticas poderão ter sobre as bacias urbanas da região.

Portanto, sintetizando os resultados expostos acima, têm-se como conclusões deste estudo:

- 1^a) A obtenção de uma Nova Equação de Chuvas Intensas representa uma importante contribuição à cidade do Recife, com a oferta de estimativas atualizadas de intensidades máximas de chuva ao meio técnico, possibilitando um dimensionamento de obras de drenagem mais eficiente para a região;
- 2^a) A determinação de coeficientes de desagregação de chuva traz às cidades circunvizinhas a possibilidade da obtenção de suas próprias Equações de Chuvas Intensas, tomando por base dados pluviométricos coletados em suas áreas de domínio;
- 3^a) A Nova Equação de Chuvas Intensas do Recife e a Equação da *baseline* (oriunda do LARS-WG) fornecem resultados semelhantes, de onde se conclui que o gerador estocástico LARS-WG consegue retratar bem as séries diárias, possibilitando uma boa representação das chuvas intensas;
- 4^a) Não existe qualquer empecilho em se adotar a metodologia para obter dados de chuva simulados por MCGs em escalas temporais de maiores resoluções – definida neste estudo – em outras regiões;
- 5^a) Estudos como o de Coulibaly e Shi (2005) que tiveram objetivos similares aos da tese, fizeram uso de metodologias diferentes. Os autores, neste caso, utilizaram um único MCG, um único cenário de emissão e um método diferente de downscaling, mais complexo, que exige mais variáveis e de

desempenho comprovadamente inferior quando a questão é reproduzir máximos diários de precipitação;

- 6^a) É possível obter curvas IDF e Equações de Chuvas Intensas para cenários de mudanças climáticas projetados por MCGs para o futuro;
- 7^a) Os sistemas de drenagem de águas pluviais existentes na cidade do Recife já estão, atualmente, trabalhando com sobrecarga. No estudo de caso, o percentual de tubulações da rede em sobrecarga estaria em 53%. Um sistema de drenagem que, no passado, foi dimensionado a partir de uma chuva com um período de retorno de 12 anos, hoje, seria capaz de suportar tempestades de período de retorno de apenas 5 anos;
- 8^a) Os sistemas de drenagem de Recife e de sua região metropolitana têm que ser revistos, e medidas mitigatórias precisarão ser implementadas na região na tentativa de corrigir a defasagem já existente do sistema e reduzir os efeitos que as mudanças climáticas poderão ter sobre as bacias urbanas da região, caso as projeções de aumento das intensidades de precipitação fornecidas por MCGs se confirmem, à luz dos resultados deste estudo.

Com base nos conhecimentos adquiridos nesta pesquisa, faz-se algumas recomendações a trabalhos posteriores:

- 1^a) Considerar os resultados de outros modelos de circulação global como projeções futuras. Quando a mais nova versão do LARS-WG, que passa a incorporar projeções climáticas de um conjunto de quinze MCGs, estiver disponível ao público, será relativamente fácil considerar o conjunto de cenários e conseguir obter intervalos de confiança, estimando as incertezas envolvidas; e
- 2^a) Considerar os resultados obtidos por outros métodos de desagregação, e promover uma comparação destes com os resultados extraídos do LARS-WG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A. M. G.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; RUPA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, vol. 111.
- ALVES, L. M.; CHAN, C. S.; MARENGO, J. A. (2004). Avaliação das previsões de chuvas sazonais do modelo Eta/CPTEC climático sobre o Brasil. *In: PROC. XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, Fortaleza, CE.
- ALVES, L. M.; DE MELO, A. B. C.; CHAN, C. S.; NOBRE, P. (2000). Estudo comparativo entre a precipitação sazonal simulada pelo modelo Eta/CPTEC e observada sobre o Brasil. *In: PROC. XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, Rio de Janeiro, RJ.
- AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; MARENGO, J. A.; PISNITCHENKO, I.; ALVES, L. M.; FERNANDEZ, J. P. R. (2007). *Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais*. Relatório 3. Ministério do Meio ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e efeitos sobre a Biodiversidade – subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, DF.
- ANJOS, R. J. (2000). *Variabilidade das chuvas máximas em 24 horas no Recife - PE*. *In: Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Edição XI, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/12-4c24bca497c959eaf8ea2c20cb4b7aab.pdf>. Acesso em 14 de abril de 2010.

- ARAGÃO, J. O. R.; ARAÚJO, J. G.; LACERDA, F. F. (2006). *Comparação entre as Precipitações Observadas e as Prognosticadas pelo Modelo BRAMS durante dois Eventos de Chuvas Fortes no Litoral de Pernambuco, Brasil*. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Edição XIV, Florianópolis. Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/14-1a8b85389166082473597264101f3c6d.pdf>. Acesso em 14 de abril de 2010.
- ARAGÃO, R.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S.; GÓIS, S. S. (2000). Chuvas intensas no Estado da Paraíba. In: V SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2000, Natal, RN.
- AZEVEDO, J. R. G.; GRANDELLE, R. C. (2009). Computer Model to Extract Precipitation Data from Conventional Pluviogram. In: 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYDROINFORMATICS, Concepcion, Chile, v.1, p.001-010.
- BACK, A. J. (2009). Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussunga, SC. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 170-175.
- BACK, A. J. (2006). Relações Intensidade-Duração-Freqüência de chuvas intensas de Chapecó, Estado de Santa Catarina. *Acta Scientiarum Agronomy*. v.28, n.4, p.575-581.
- BACK, A. J. (1996). Análise das máximas intensidades de chuva para a região de Urussunga-SC. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA, 7., Salvador, BA.
- BARROW, E. M.; HULME, M.; SEMENOV, M. (1996). Effect of using different methods in the construction of climate change scenarios: examples for Europe. *Climate Research*, v.7, p.195-211.
- BECKER, B. D. (1997). *The ECMWF ensemble simulation CD-ROMs*. Reading: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Em CD-ROM.
- BELL, F. G. (1969). Generalized rainfall - duration - frequency relationships. *Journal of the Hydraulics Division - ASCE*, v.95, n. HY1, p.311-327.
- BERGGREN, K. (2007). *Urban drainage and climate change - impact assessment*. Licentiate thesis, Luleå University of Technology.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. (1997). Precipitação. In: Tucci, C. E. M (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.4.

- BIDONE, F.; TUCCI, C. E. M. (1995). Microdrenagem. *In: Tucci, C. E. M., Porto R. L., Barros, M. T. (Org.). Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v.5.
- BURTON, A.; KILSBY, C. G.; FOWLER, H. J.; COWPERTWAIT, P. S. P.; O'CONNELL, P.E. (2008). RainSim: A spatial-temporal stochastic rainfall modelling system. *Environmental Modelling & Software*, 23, p.1356–1369.
- CARLON, M. R. (2005). *Percepção dos atores sociais quanto as alternativas de implantação de sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva em Joinville - SC*. Itajaí. Dissertação de Mestrado – Programa de Mestrado Acadêmico em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade do Vale do Itajaí.
- CARMO FILHO, J. J. (2005). *Construir frondoso – uma herança esquecida? Avaliação pós-ocupação em habitações unifamiliares projetadas em 1976 a 2004 na Região Metropolitana do Recife, com base nas recomendações do Roteiro para construir no Nordeste de Armando de Holanda*. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- CARVALHO, P. R. C.; SEIXAS, A.; SILVA, T. F.; ROMÃO, V. M. C. (2003). Estudo das distorções do sistema de referência geodésico da Região Metropolitana do Recife nas épocas 1973 e 1998. *In: III COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS*, Curitiba.
- CAVAZOS, T. (1997). Downscaling large-scale circulation to local winter rainfall in north-eastern Mexico. *International Journal of Climatology*, v.17, p.1069-1082.
- CCCSN – CANADIAN CLIMATE CHANGE SCENARIOS NETWORK (2007). *DOWNSCALING: Temporal downscaling*. Disponível em: http://www.cccsn.ca/Help_and_Contact/Downscaling-e.html. Acesso em 14 de abril de 2009.
- CCSP – CLIMATE CHANGE SCIENCE PROGRAM (2008). *Climate Models: An Assessment of Strengths and Limitations*. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research [Bader D.C., C. Covey, W.J. Gutowski Jr., I.M. Held, K.E. Kunkel, R.L. Miller, R.T. Tokmakian and M.H. Zhang (Authors)]. Department of Energy, Office of Biological and Environmental Research, Washington, D.C., USA, 124 pp.

- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1980) – *Drenagem Urbana: manual de projeto*. São Paulo, 476p.
- CHAN, C. S.; BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J. L. (2004). Previsões sazonais utilizando o modelo Eta/CPTEC sobre América do Sul. *In: PROC. XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, Fortaleza, CE.
- CHEN, C. (1983). Rainfall Intensity - duration – frequency formulas. *Journal of Hydraulic Engineering - ASCE*, v.109, n.12, p.1603-1621.
- CHOW, V. T. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw – Hill, USA.
- COLLIER, R.; FELLOWS, J.; ADAMS, S.; SEMENOV, M.; THOMAS, B. (2008). Vulnerability of horticultural crop production to extreme weather events. *In: Effects of climate change on plants: Implications for agriculture. Aspects of Applied Biology 88: Warwick*. p.3-13.
- COSTA, A. R.; BRITO, V. F. (1999). Equações de chuva para Goiás e sul do Tocantins. *In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, ABRH: Belo Horizonte.
- COSTA, J.; MONGIN, J.; BRITO, A. J. (2007). Equações de Chuvas Intensas para São Luís – MA. *In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, ABRH: São Paulo.
- COULIBALY, P.; SHI, X. (2005). *Identification of the effect of climate change on future design standards of drainage infrastructure in Ontario*. Department of Civil Engineering, McMaster University, Hamilton, Ontario.
- DAI, A. (2006). Precipitation Characteristics in Eighteen Coupled Climate Models. *Journal of Climate*, v.19, n.18, p.4605-4630.
- DAVIS, E. G.; NAGHETTINI, M. (2001). *Estudos de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro*. Belo Horizonte: CPRM, 140p.
- DDC – DATA DISTRIBUTION CENTRE (2009). *Welcome to the IPCC Data Distribution Centre*. Disponível em: <http://www.ipcc-data.org/>. Acesso em 11 de março de 2009.
- DESSAI, S.; TRIGO, R. (2006). *Ciências das Alterações Climáticas*. Disponível em: <http://www.cgul.ul.pt/Ricardo/pdf/flad1.pdf>. Acesso em 03 de agosto de 2006.
- DIBIKE, Y. B.; COULIBALY, P. (2004). Downscaling global climate model outputs to study the hydrologic impact of climate change. Part I: Calibration and Validation of

- downscaling models. *In: 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYDROINFORMATICS*. Liong, Phoon & Babovic (eds)
- DORE, M. H. I. (2005). Climate change and changes in global precipitation patterns: What do we know? *Environment International*, 31, 1167-1181.
- FCTH – FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA (1999). *Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo*. Prefeitura do município de São Paulo.
- FENDRICH, R. (2003). *Chuvas Intensas para Obras de Drenagem no Estado do Paraná*. 2ª Edição. Vicentina Gráfica e Editora. Curitiba/PR, 101p.
- FENDRICH, R. (2002). *Coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana*. Tese (Doutorado) – Pós-Graduação em Geologia Ambiental, Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- FENDRICH, R. (1999). Importância das equações de chuvas intensas na drenagem urbana. *In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, ABRH: Belo Horizonte.
- FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. (1991). *Drenagem e controle da erosão urbana*. São Paulo: Ibrasa. 3ª ed. 442 p.
- FIDEM – FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL (2003). *Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife*. *In: Alheiros, M. M., Bitoun, J., Souza, M. A. A., Medeiros, S. M. G. M. e Amorim Júnior, W. M. (Coords.). Programa Viva o Morro*. Recife, 384p.
- FIDEM – FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL (1979). *Plano Diretor de Macrodrenagem da Região Metropolitana do Recife*. Convênio SUDENE/FIDEM. Minuta do Relatório Final, Volume II, ACQUAPLAN.
- FIGUEIREDO, A. G. (1999). A equação de chuvas intensas de Presidente Prudente e sua relação com equações geradas para outros municípios paulistas. *In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, ABRH: Belo Horizonte.
- FOWLER, H. J.; BLENKINSOP, S.; TEBALDI, C. (2007). Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. *International Journal of Climatology*, 27, p.1547–1578.

- FOWLER, H. J.; EKSTRÖM, M.; KILSBY, C. G.; JONES, P. D. (2005). New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 1. Assessment of control climate. *Journal of Hydrology*, 300, p.212–233.
- FREDERICK, K. D.; MAJOR, D. C.; STAKHIV, E. Z. (1997). Water resources planning principles and evaluation criteria for climate change: summary e conclusions. *Climatic Change*, v.37, p.291-313.
- FREI C.; SCHÄR, C.; LÜTHI, D.; DAVIES, H. C. (1998). Heavy precipitation processes in a warmer climate. *Geophysical Research Letters*, v.25, n.9, p.1431–1434.
- FREITAS, A. J.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A.; PEREIRA, S. B.; GOMES FILHO, R. R.; TEIXEIRA, A. F.; BAENA, L. G. N.; MELLO, L. T. A.; NOVAES, L. F. (2001). *Equações de Chuvas Intensas no Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais; Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 65p.
- GARCEZ, L.N. (1974). *Hidrologia*. São Paulo, Edgar Blucher Ltda. 274 p.
- GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. B.; GUERRA, A. J. T. (2008). *Influência da climatologia rítmica sobre áreas de risco: o caso da Região Metropolitana do Recife para os anos de 2000 e 2001*. Revista de Geografia. Disponível em: <http://www.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/view/58/19>. Acesso em 14 de abril de 2010.
- GENOVEZ, A. M.; ZUFFO. A. C. (2000). Chuvas intensas no estado de São Paulo: Estudos existentes e análise comparativa. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 5, n.3, p.45-58.
- GÓES, V. C. (2009). *Simulação Hidrológico-Hidrodinâmica Integrada ao Geoprocessamento para Avaliação da Macrodrenagem em Centros Urbanos*. Tese (Doutorado) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE.
- GÓES, V. C.; ALCOFORADO, R. G.; CIRILO, J. A.; ARAÚJO FILHO, P. F.; TEIXEIRA, L. C. (2006). Geração de Base de Dados Espaciais e Temporais para Estudo dos Conflitos de Uso do Solo na Região Metropolitana do Recife e o Impacto sobre a Drenagem Urbana. *In: VIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE*, Gravatá-PE.
- GROISMAN, P.Y.; KNIGHT, R.W.; EASTERLING, D.R.; KARL, T.R. (2005). Trends in Intense Precipitation in the Climate Record. *Journal of Climate*, v.18, p.1326-1350.

- GROISMAN P. Y.; KARL, T. R.; EASTERLING, D. R.; KNIGHT, R. W.; JAMASON, P. F.; HENNESSY, K. J.; SUPPIAH, R.; PAGE, C. M.; WIBIG, J.; FORTUNIAK, K.; RAZUVAEV, V. N.; DOUGLAS, A.; FORLAND, E.; ZHAI, P. M. (1999). Changes in the probability of heavy precipitation: Important indicators of climatic change. *Climatic Change*, 42, p.243-283.
- HANSEN, J. W.; INES, A. V. M. (2005). Stochastic disaggregation of monthly rainfall data for crop simulation studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.131, p.233–246.
- HAYLOCK, M. R.; CAWLEY, G. C.; HARPHAM, C.; WILBY, R. L.; GOODESS, C. M. (2006). Downscaling heavy precipitation over the UK: A comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarios. *International Journal of Climatology*, 26(10), 1397–1415.
- HE, J.; VALEO, C.; BOUCHART, F. J. (2006). Enhancing urban infrastructure investment planning practices for a changing climate. *Water Science & Technology*, v.53, n.10, p.13–20.
- HEWITSON, B. C. e CRANE, R. G. (1996). Climate downscaling: techniques and application. *Climate Research*, v.7. p.85-95.
- HUNTINGTON, T. G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 319, p.83-95.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2010). *Estimativas da população para 1º de julho de 2009*. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2009/POP_2009_TCU.pdf. Acesso em 27 de janeiro de 2010.
- ICEA – INSTITUTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. *Missão*. Disponível em: <http://www.icea.gov.br/>. Acesso em 18 de março de 2009.
- IEO – INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK (2009). *Energy Information Administration*. Office of Integrated Analysis and Forecasting, U.S. Department of Energy, Washington, DC. Disponível em [http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484\(2009\).pdf](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484(2009).pdf). Acesso em 16 de julho de 2009.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (2010). Gráficos Climatológicos. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>. Acesso em 15 de abril de 2010.

- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2008). *About Stochastic Weather Generators*. Disponível em: http://www.ipcc-data.org/ddc_weather_generators.html. Acesso em 31 de março de 2009.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007a). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007b). *Climate Change 2007: The Physical Basis - Summary for Policymakers*. Working Group I Fourth Assessment Report. Cambridge University Press. 21 p.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881p.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*. N. Nakicenovic (ed.), Cambridge, Cambridge University Press.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (1997). *IPCC Technical Paper II: An introduction to simple climate models used in the IPCC*. Second Assessment Report [J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, D.J. Griggs and K. Maskell (eds.)]
- IWASHIMA, T.; YAMAMOTO, R. (1993). A statistical analysis of the extreme events: Long-term trend of heavy daily precipitation. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 71, 637-640.
- JAKOB, M.; MCKENDRY, I.; LEE, R. (2003). Long-Term Changes in Rainfall Intensities in Vancouver, British Columbia. *Canadian Water Resources Journal*, v.28, n.4, p.587-604.
- KATZ, R. W.; PARLANGE, M. B.; NAVEAU, P. (2002). Statistics of extremes in hydrology. *Advances in Water Resources*, v.25, p.1287-1304.

- KAWAGUCHI, T.; ASADA, K.; ZHANG, S. (1999). The change tendency analysis of short-term rainfall characteristics. *In: I.B. Joliffe and J.E. Ball (Eds.), PROC. OF THE 8TH INT. CONF. ON URBAN STORM DRAINAGE*, Sydney, Australia, p.905-912.
- KIELY, G. (1999). Climate change in Ireland from precipitation and streamflow observations. *Advances in Water Resources*, v.23, p.141-151.
- KILSBY, C.G.; JONES, P. D.; BURTON, A.; FORD, A.C.; FOWLER, H. J.; HARPHAM, C.; JAMES, P.; SMITH, A.; WILBY, R. L. (2007). A daily weather generator for use in climate change studies. *Environmental Modelling & Software*, 22, p.1705-1719.
- LARS-WG (2010). *LARS-WG stochastic weather generator*. Download LARS-WG 5.11. Disponível em: <http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/mas-models/larswg/download.php>. Acesso em 17 de junho de 2010.
- LIRA, A. M.; CABRAL, J. J. S. P.; BORBA JÚNIOR, B. F. L.; ALENCAR, A. V. (2007). Problemas de alagamentos na cidade de Recife: o caso do bairro Espinheiro. *In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, ABRH: São Paulo.
- LOBO, G. A.; MAGNI, N. L. G. (1987). Estudo sobre proporções entre chuvas intensas de diferentes durações. *In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS*. Salvador-BA, Anais 2, p.103-114.
- LONGO, A. J.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M. (2006). Equação de chuvas intensas e precipitação provável para o município de Cascavel, PR. *Revista Varia Scientia*, v.6, n.11, p.119-127.
- MAILHOT, A.; DUCHESNE, S.; CAYA, D.; TALBOT, G. (2007). Assessment of future change in intensity-duration-frequency (IDF) curves for Southern Quebec using the Canadian Regional Climate Model (CRCM), *Journal of Hydrology*, 347, p.197- 210.
- MARENGO, J. A. (2007). *Caracterização do clima no século XX e cenários climáticos no Brasil e na América do Sul para o século XXI derivados dos Modelos Globais de Clima do IPCC*. Relatório 1. Ministério do Meio ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e efeitos sobre a Biodiversidade – subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, DF.
- MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. (2003). Impacto das mudanças climáticas no Brasil e possíveis futuros cenários climáticos: síntese do terceiro relatório do IPCC. *In: Tucci,*

- C. E. M., Braga, B. (Org.). *Clima e Recursos Hídricos no Brasil*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- MARSALEK, J. (2000). Evolution of Urban Drainage: The First 5000 Years and Future Challenges. *Proceedings of the Integrated Modelling User Group Meeting*, April 2000, Prague, Czech Republic. 4 pp. Disponível em: http://www.wrcplc.co.uk/imug/imug2000/web/Papers/w2_1.pdf. Acesso em 03 de março de 2006.
- MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (2004). Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança de Clima. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Brasília. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/25441.html>. Acesso em 06 de março de 2009.
- MEARNS, L.O.; GIORGI, F.; McDANIEL, L.; SHIELDS, C. (1995). Analysis of daily variability of precipitation in a nested regional climate model: comparison with observations and doubled CO₂ results. *Global and Planetary Change*, v.10, p.55-78.
- MENDELSON, R.; WILLIAMS, L. (2002). Comparing Forecasts of the Global Impacts of Climate Change. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLIMATE CHANGE AND ENVIRONMENTAL POLICY*, University of Illinois, USA.
- MOREIRA, M. M.; CORTE-REAL, J. (2008). Adaptação dos sistemas urbanos de água às alterações climáticas. *In: VIII SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA (SEREA)*, Lisboa, Portugal.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. (2007). *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 552 p.
- NALI, J. O.; REIS, J. A. T.; REIS, A. O. P.; SILVA, F. G. B. (2007). Avaliação da resposta de diferentes de equações de chuvas intensas obtidas para as bacias hidrográficas dos rios Jucu e Santa Maria da Vitória, ES. *In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, ABRH: São Paulo.
- NIEMCZYNOWICZ, J. (1989). Impact of the greenhouse effect on sewerage systems – Lund case study. *Hydrological Sciences – Journal – des Sciences Hydrologiques*, v. 34, n. 6, p.651-666.

- OLIVEIRA, L. F. C.; ANTONINI, J. C. A.; GRIEBELER, N. P. (2008). Estimativas de chuvas intensas para o Estado de Goiás. *Revista Engenharia Agrícola*, v.28, n.1, p.22-33.
- PERNAMBUCO DE A/Z (2009). Fenômenos Naturais: Enchentes. Disponível em: http://www.pe-az.com.br/subsecao_ler.php?id=Mjk2. Acesso em 16 de março de 2009.
- PFASTETTER, O. (1957). *Chuvas Intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos*. Rio de Janeiro: DNOCS, 419 p.
- PIELKE, R. A.; COTTON, W. R.; WALKO, R. L.; TREMBACK, C. J.; LYONS, W. A.; GRASSO, L. D.; NOCHOLLS, M. E.; MORAN, M. D.; WESLEY, D. A.; LEE, T. J.; COPELAND, J. H. (1992). A comprehensive meteorological modeling system – RAMS. *Meteorology Atmospheric Physics*, v.49, p.69-91.
- PINTO, N. L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. (1976). *Hidrologia Básica*. 1ª ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 279 p.
- PLANO DIRETOR DE RECIFE (2004). Disponível em: <http://www.recife.pe.gov.br/pr/secplanejamento/planodiretor/>. Acesso em 07 de março de 2009.
- PMSP - PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (1999). Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo. São Paulo: FCTH-USP, 289p. Disponível em: <http://www.fcth.br/public/cursos/canaismares/md.pdf>. Acesso em 10 de abril de 2010.
- PORTO, R. (1995). Escoamento Superficial Direto. In: Tucci, C. E. M., Porto R. L, Barros, M. T. (Org.). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v.5.
- POTTA, S. (2004). *Application of stochastic downscaling techniques to global climate model data for regional climate prediction*. Master of Science in Civil Engineering. Department of Civil and Environmental Engineering, Louisiana State University.
- PRODANOVIC, P. (2008). *Response of water resources systems to climate change*. Doctor of Philosophy (PhD) (text submitted partial fulfillment of the requirements for the degree), Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario, London, Ontario, Canada.

- PRODANOVIC, P.; SIMONOVIC, S. P. (2007). *Development of rainfall intensity duration frequency curves for the City of London under the changing climate*. Water Resources Research Report no. 058, Facility for Intelligent Decision Support, Department of Civil and Environmental Engineering, London, Ontario, Canada.
- PRODANOVIC, P.; SIMONOVIC, S. P. (2006). *Inverse Flood Risk Modeling of the Upper Thames River Basin*. Water Resources Research Report no. 052, Facility for Intelligent Decision Support, Department of Civil and Environmental Engineering, London, Ontario, Canada, 163p.
- PRUDHOMME, C.; REYNARD, N.; CROOKS, S. (2002). Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: where are we now? *Hydrological Processes*, v.16, p.1137–1150.
- QIAN, B.; GAMEDA, S.; HAYHOE, H.; JONG, R. D.; BOOTSMA, A. (2004). Comparison of LARS-WG and AAFC-WG stochastic weather generators for diverse Canadian climates. *Climate Research*, v. 26, p.175-191.
- RACSKO, P.; SZEIDL, L.; SEMENOV, M. (1991). A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modelling*, v.57, p.27-41.
- RAMOS, A. M.; AZEVEDO, J. R. G.; CABRAL, J. J. S. P. (2006). Análise preliminar da influência do efeito estufa na drenagem urbana da Região Metropolitana do Recife. In: VIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, ABRH: Gravatá.
- RAMOS, A. M. (2000). *Desagregação espacial da precipitação simulada por modelos atmosféricos no Nordeste do Brasil*. Campina Grande. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; OLIVEIRA, T. S.; LOBATO, F. A. O. (2008). Equações de intensidade – duração – frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. *Scientia Agraria*, Curitiba, v.9, n.4, p.511-519.
- SCHOOOF, J. T.; PRYOR, S. C. (2001). Downscaling temperature and precipitation: a comparison of regression-based methods and artificial neural networks. *International Journal of Climatology*, 21, p.773-790.
- SCHUBERT, S. (1998). Downscaling local extreme temperature changes in south-eastern Australia from the CSIRO Mark2 GCM. *International Journal of Climatology*. Chichester, v.18, p.1419-1438.

- SEMADENI-DAVIES, A.; HERNEBRING, C.; SVENSSON, G.; GUSTAFSSON, L. (2008). The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Combined sewer system. *Journal of Hydrology*, 350, p.100-113.
- SEMENOV, M. A. (2008). Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research*, v. 35, p.203–212.
- SEMENOV, M. A. (2007). Development of high-resolution UKCIP02-based climate change scenarios in the UK. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 144, p.127–138.
- SEMENOV, M. A.; BARROW, E. M. (2002). *LARS-WG: a stochastic weather generator for use in climate impact studies*. User Manual Version 3.0.
- SEMENOV, M. A.; BARROW, E. M. (2000). Development of Climate Change Scenarios for Agricultural Applications. In: Cramer, W., Doherty, R., Hulme, M. and Viner, D. (eds.). *Climate Scenarios for Agricultural, Forest and Ecosystem Impacts*. ECLAT-2 Workshop Report No. 2, Potsdam, Germany, 13–15 October 1999. Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norwich, UK, p50-58.
- SEMENOV, M. A.; BARROW, E. M. (1997). Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climatic Change*, Dordrecht, v.35, p.397-414.
- SEMENOV, M. A.; BROOKS, R. J.; BARROW, E. M.; RICHARDSON, C. W. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research*, v.10, p.95-107.
- SEMENOV, M. A.; DONATELLI, M.; STRATONOVITCH, D.; CHATZIDAKI, E.; BARUTH, B. (2010). ELPIS: a dataset of local-scale daily climate scenarios for Europe. *Climate Research* (in press). Disponível em: <http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/mas-models/larswg/download.php>. Acesso em 09 de junho de 2010.
- SEMENOV, M. A.; STRATONOVITCH, P. (2010). The use of multi-model ensembles from global climate models for impact assessments of climate change. *Climate Research*, v.41, p.1-14.
- SENIOR, C. A.; JONES, R. G.; LOWE, J. A.; DURMAN, C. F.; HUDSON, D. (2002). Predictions of extreme precipitation and sea-level rise under climate change. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*, 360, p.301-1311.

- SEPLAN/PE – SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DO ESTADO DE PERNAMBUCO (1997). *Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hidrica das Bacias dos Rios Beberibe, Capibaribe e Jaboatão – PQA/PE*. Recife.
- SILVA, B. M. (2009). *Chuvas intensas em localidades do Estado de Pernambuco*. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- SILVA, D. D.; PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; GOMES FILHO, R. R.; LANA, A. M. Q.; BAENA, L. G. N. (2003). Equações de intensidade-duração-freqüência da precipitação pluvial para o Estado de Tocantins. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.11, n.1-4, p.7-14.
- SILVA, D. D.; GOMES FILHO, R. R.; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F. (2002). Chuvas intensas para o Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v.6, n.2, p.362-367.
- SILVA, D. D.; PINTO, F. R. L. P.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A. (1999). Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-freqüência da precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. *Revista Engenharia Agrícola*, v.18, n.3, p.11-21.
- SILVA, D. F. da; SOUSA, F. A. S.; KAYANO, M. T.; GALVÍNCIO, J. D. (2010). Influência da variabilidade climática global e de suas escalas temporais sobre a precipitação no Alto Mundaú (PE). *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife-PE, p.64-82. Disponível em: <http://www.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/81>. Acesso em 14 de abril de 2010.
- SOUZA, I. A.; LACERDA, F. F. (1998). Impacto do El Niño na safra agrícola da cana de açúcar no Estado de Pernambuco. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA. Salvador: Universidade Federal da Bahia.
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. (1992). *Meteorologia Descritiva: Fundamentos e aplicações brasileiras*. 1 ed - 7ª impressão. São Paulo: Nobel. 373 p.
- TUCCI, C. E. M. (2003). *Drenagem urbana*. *Cienc. Cult.* [online]. Oct./Dec. 2003, vol.55, no.4, p.36-37. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020&lng=en&nrm=iso . Acesso em 15 de fevereiro de 2006.

- TUCCI, C. E. M. (1995). Inundações Urbanas. *In*: Tucci, C. E. M., Porto R. L., Barros, M. T. (Org.). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.5.
- VIEIRA, D. B.; LOMBARDI NETO, F.; SANTOS, R. P. (1998). Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Mococa, SP. *Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, n.8, p.1215-1220.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 245 p.
- WATT, W. E.; WATERS D.; MCLEAN R. (2003). *Climate Variability and Urban Stormwater Infrastructure in Canada: Context and Case Studies*. Toronto-Niagara Region Study Report and Working Paper Series, Report 2003-1. Meteorological Service of Canada, Waterloo, Ontario.
- WEY, K. (2006). *Temporal disaggregation of daily precipitation data in a changing climate*. Masters Thesis, Department of Civil Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.
- WILBY, R.L.; CHARLES, S.P.; ZORITA, E.; TIMBAL, B.; WHETTON, P.; MEARNES, L.O. (2004). *Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods, available from the DDC of IPCC*. Task Group on Data and Scenario Support for Impacts and Climate Analysis (TGICA), 27 pp. Disponível em: http://ncsp.vanetwork.org/UserFiles/File/PDFs/Resource%20Center/Climate%20Scenarios/IPCC_Guidelines_SDSM.pdf, 30 Set 2008.
- WILBY, R.L.; WIGLEY, T.M.L.; CONWAY, D.; JONES, P.D.; HEWITSON, B.C.; MAIN, J.; WILKS, D.S. (1998). Statistical downscaling of general circulation model output: a comparison of methods. *Water Resources Research*, Washington, v.34, n.11, p.2995-3008.
- WILKEN, P. S. (1978). *Engenharia de Drenagem Superficial*. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 478p.
- WILKS, D. S. (1999). Simultaneous stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation at multiple sites in complex terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.96, n.1-3, p.85-101.

- WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (1994). *Guide to hydrological practice: data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications*. Report N° WMO-No.168, Geneva, Switzerland.
- ZAHED FILHO, K.; MARCELLINI, S. S. (1995). Precipitações Máximas. *In: Tucci, C. E. M., Porto R. L, Barros, M. T. (Org.). Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- ZHANG, X. C. (2005). Spatial downscaling of global climate model output for site-specific assessment of crop production and soil erosion. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.135, p.215-229.
- ZHANG, X. C.; NEARING, M. A.; GARBRECHT, J. D.; STEINER, J. L. (2004). Downscaling monthly forecasts to simulate impacts of climate change on soil erosion and wheat production. *Soil Science Society of America Journal*, 68, p.1376–1385.
- ZUFFO, A. C. (2004). Equações de chuvas são eternas? *In: XXI CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA*, São Pedro-SP, Brasil.

ANEXOS

A. ANÁLISE PRELIMINAR DA INFLUÊNCIA DO EFEITO ESTUFA NA DRENAGEM URBANA DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

*Alessandra Maria Ramos; José Roberto Gonçalves de Azevedo
& Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral*

(VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, ABRH: Gravatá, 2006)

RESUMO --- Estudos evidenciam uma tendência geral para um acréscimo da precipitação na época úmida, como decorrência de alterações climáticas, cujo principal responsável é o efeito estufa. O regime de escoamento deverá seguir esta tendência geral resultando numa intensificação das cheias. Este artigo consiste em uma análise dos resultados de simulações de temperatura e precipitação realizadas por alguns modelos de circulação global (MCGs), para a Região Metropolitana do Recife, e reflete a fase inicial de um estudo que tem por objetivo dar subsídios para que os sistemas de drenagem urbana possam ser dimensionados e executados de modo mais eficiente, considerando, para isto, as previsões de mudanças climáticas globais. Os resultados fornecidos pelos MCGs para temperatura apresentaram comportamentos semelhantes, confirmando tendências de variação positiva para cenários futuros. Entretanto, os resultados fornecidos pelos MCGs para a precipitação foram bastante distintos, o que põe em xeque a confiabilidade dessas previsões, suscitando cuidados para a utilização das mesmas. Concluiu-se, para a continuação do estudo, cenários sintéticos deverão ser criados, onde a precipitação e a temperatura serão expostas a variações, sem necessariamente se empregar um ou outro MCG.

ABSTRACT --- Studies point a general tendency for an addition of precipitation in the wet period, as a consequence of climatic alterations, which the main responsible is the greenhouse effect. The runoff regime should follow this general tendency and then it must be expected more severe floods. This article consists in analyse temperature and precipitation simulation results performed by some General Circulation Models (GCMs), for the Metropolitan Region of Recife, and reflects the initial phase of a study that has as an objective to give subsidies in order to allow urban drainage systems to be sized up and performed in a more efficient way, considering, for this, the forecasts of global climatic changes. The results supplied by the GCMs for temperature present similar behaviors, confirming tendencies of positive temperature variation for the future scenarios. However, the results supplied by the GCMs for precipitation were very distinct, what calls into question the reliability of those predictions that obligates whoever is the operator to take care about it. To continue this study, synthetic scenarios will be created, where the precipitation and the temperature will be displayed the variations, without necessarily use any GCM.

Palavras-chave: alterações climáticas, modelos de circulação global, drenagem urbana.

INTRODUÇÃO

Com o advento da Revolução Industrial, em meados do século XVIII, intensificou-se a exploração de fontes não renováveis de energia. Todo o desenvolvimento tecnológico subsequente se deu sobre estas fontes, realimentando cada vez mais as necessidades destas energias. Chegou-se então aos dias de hoje, onde no ano de 2000, segundo informações do Departamento de Energia dos Estados Unidos (IEO, 2006a), o consumo mundial de energia primária proveniente de fontes não renováveis (petróleo, carvão, gás natural e nuclear) correspondeu a, aproximadamente, 92% do total, cabendo apenas 8% às fontes renováveis.

Esta enorme dependência de fontes não renováveis de energia tem acarretado, além da preocupação permanente com o esgotamento destas fontes, a emissão de grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, que em 2002 chegou a 24,4 bilhões de toneladas, e que deverá alcançar a marca de 30,2 bilhões de toneladas em 2010, se as exigências do Protocolo de Quioto não forem atendidas (IEO, 2006b). Como consequência, o teor de dióxido de carbono na atmosfera tem aumentado progressivamente, provocando, juntamente com outros gases (como o metano, o óxido nitroso e o clorofluorcarbono), o que os especialistas denominaram de “efeito estufa”.

Os gases responsáveis por esse efeito estufa absorvem parte das radiações infravermelhas que a terra irradia para o espaço, provocando uma retenção de calor, o que acarretou em um aquecimento de, aproximadamente, 0,5°C na temperatura média da superfície terrestre no último século, segundo o Centro Hadley de Previsão e Pesquisas Climáticas (Stevens *apud* Rossi e Krüger, 2003).

Esse efeito estufa é responsável, em grande parte, pelas alterações climáticas globais, que afetam o regime das precipitações pluviométricas, aumentando-as ou diminuindo-as. Os impactos das alterações climáticas têm várias repercussões: no escoamento dos rios; no volume e disponibilidade das águas superficiais ou subterrâneas; na qualidade das águas; na ocorrência de cheias e secas; de mudanças ambientais; e de mudanças econômicas e sociais.

Segundo o grupo intergovernamental de cientistas da ONU (Stevens *apud* Rossi e Krüger, 2003), o aquecimento global previsto para 2100 irá “criar mudanças climáticas e ambientais generalizadas, incluindo o deslocamento de zonas climáticas, aumento de ondas de calor, invernos mais mornos no norte da Terra, mais chuvas de um lado e secas piores

do outro e elevação do nível do mar (...).” A estes impactos sobre a quantidade da água, há que se acrescentar os impactos sobre a qualidade, devidos a variações das disponibilidades de água, ao aumento da temperatura e à subida do nível médio do mar.

A possibilidade de se estimar, com alguma antecedência, as mudanças climáticas globais que possam ocorrer, as conseqüentes probabilidades de ocorrência dos eventos extremos e os períodos em que provavelmente ocorrerão, desperta em todo o mundo o interesse por este tipo de informação, que poderia ser utilizada para minimizar os efeitos negativos desses eventos.

É hoje aceito no seio da comunidade científica internacional que o processo mais correto de se obter cenários hidrológicos em decorrência de alterações climáticas é através de modelos de circulação global (MCGs) (Galvão e Trigo, 1999).

Especialistas prevêem que, uma maior quantidade de energia armazenada na atmosfera, em razão do aquecimento global, implicará em uma intensificação do ciclo hidrológico, acarretando profundas assimetrias espaciais e temporais da precipitação nas diferentes regiões do globo. Isto deverá provocar longos períodos de secas intensas ou grandes períodos de chuvas carregadas. Diante disto, havendo um maior risco de cheias nas regiões onde está projetado um aumento das precipitações, cai em xeque os sistemas de drenagem dessas regiões. Seria necessária a adoção de medidas de médio e longo prazo, incluindo ações estruturais (como construção de reservatórios e de sistemas de transporte de águas, ações reguladoras do uso do solo e de reflorestamento) e outras não estruturais (como gestão de riscos e previsão de fenômenos climáticos extremos) para evitar danos nessas regiões.

Atualmente, para o dimensionamento dos sistemas de drenagem de uma cidade não são considerados os possíveis efeitos de mudanças climáticas. As alterações climáticas não determinam apenas modificações dos valores médios do escoamento, mas também dos seus valores extremos, provocando alterações dos regimes de cheias e secas.

A simulação de alternativas é uma das principais etapas no planejamento da drenagem urbana. As simulações a serem realizadas devem, em tese, abranger diferentes cenários de ocupação da bacia, referidos à urbanização presente e futura; a diferentes padrões de ocupação da bacia; e a possíveis alterações climáticas.

Este artigo reflete a fase inicial de um estudo que tem por objetivo dar subsídios para que os sistemas de drenagem urbana possam ser dimensionados e executados de modo mais eficiente, considerando, para isto, as previsões de mudanças climáticas globais. O

presente artigo se propõe a analisar os resultados de simulações de renomados MCGs, buscando visualizar cenários futuros para regiões susceptíveis ao problema exposto, e determinando qual ou quais destes modelos deverão ser utilizados no estudo em questão.

OS MODELOS DE CIRCULAÇÃO GLOBAL

Os MCGs são os modelos dinâmicos mais largamente usados para as previsões de longo prazo. Como variáveis de saída, eles fornecem, entre outras, temperatura do ar, velocidade do vento em várias direções, cobertura de nuvens, precipitação, umidade do solo, cobertura de neve, radiação solar, pressão e temperatura na superfície do mar (Becker, 1997). Esses MCGs apresentam a particularidade de fornecer seus resultados em diferentes escalas temporais. Isto os torna mais adequados para uso com modelos hidrológicos do que os estatísticos.

Vários MCGs são identificados e descritos pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 1997). Estes diferem quanto à resolução espacial, aos processos físicos que representam, aos parâmetros envolvidos, e ao nível de exigência computacional para as simulações.

Para o presente artigo, foram consideradas previsões de precipitação e temperatura de MCGs acoplados (componente atmosférico e oceânico) dos seguintes centros de excelência: *Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCMA)*, *Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)*, *German Climate Research Centre (DKRZ)*, *US Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)*, e *Hadley Centre for Climate Prediction and Research (UKMO)*. As resoluções dos MCGs desenvolvidos por esses centros, e aqui considerados, estão expostas no Quadro 1.

Quadro 1 – Modelos de Circulação Global utilizados neste estudo

Modelo	Centro	Resolução Atmosférica	Resolução Oceânica
CGCM1	CCCma	3,8 × 3,8 L10	1,8 × 1,8 L29
CSIRO Mk2	CSIRO	3,2 × 5,6 L9	3,2 × 5,6 L21
ECHAM4	DKRZ	2,8 × 2,8 L19	2,8 × 2,8 L11
GFDL_R15	GFDL	4,5 × 7,5 L9	4,5 × 3,7 L12
HadCM2	UKMO	2,5 × 3,75 L19	2,5 × 3,75 L20
HadCM3	UKMO	2,5 × 3,75 L19	1,25 × 1,25 L20

Adaptado de IPCC (2001). Resolução Atmosférica e Oceânica: A resolução horizontal é expressa em latitude × longitude em graus, enquanto a resolução vertical é expressa como “Lmm”, onde *mm* é o número de camadas verticais.

ESTUDO DE CASO

O município de Recife, capital do Estado de Pernambuco, é uma das grandes metrópoles do País. Com uma área de 217 km², e com uma população estimada, em 2005, de 1,5 milhão de habitantes (IBGE, 2006), é uma cidade litorânea, fortemente urbanizada, e que é constantemente acometida por inundações provocadas pelas águas pluviais.

Segundo o Plano Diretor de Recife (2006), as características peculiares da cidade quanto à sua geomorfologia, aliadas a um processo de urbanização realizado à custa da ocupação do espaço natural das águas, apontam para uma crescente dificuldade de escoamento das águas pluviais no território municipal e em seus arredores. Esta circunstância sobrecarrega as estruturas do sistema de drenagem e provoca, em muitos casos, inundações indesejáveis, às vezes com longa duração, nas áreas mais baixas. Bairros situados em áreas baixas como Setúbal, Imbiribeira, Santo Amaro, Madalena e Mustardinha, além de todas as ocupações ribeirinhas, exemplificam bem o que se afirmou acima. Além do mais, a efetividade desse sistema de macrodrenagem ainda é diminuída pela deficiência do sistema de microdrenagem a montante, pelos problemas de assoreamento e deslizamento dos morros e pelas naturais condições da cidade situada ao nível do mar.

O Estado de Pernambuco, e mais especificamente a Região Metropolitana do Recife (RMR), apresenta um significativo histórico de grandes enchentes, como historia em seu site, Pernambuco de A/Z (2006), o jornalista Marcos Cirano. Visando a redução dos danos causados por alagamentos de grandes proporções, as equipes técnicas do Programa Guarda-Chuva, plano permanente de Defesa Civil da cidade, elaboraram um diagnóstico dos pontos críticos de possíveis alagamentos na cidade.

Como dito anteriormente, trata-se de uma região situada ao nível do mar, o que acentua sua vulnerabilidade a inundações. Essa vulnerabilidade do município e de sua região metropolitana, e a possibilidade de isto vir a ser mais acentuado diante de alterações climáticas na região, motivam este trabalho, que busca, num primeiro momento, neste artigo, analisar as previsões de chuva e temperatura simuladas por bem-conceituados MCGs para a região, tentando detectar tendências no comportamento dessas variáveis, a partir da comparação entre resultados de modelos diferentes.

Os resultados das simulações dos MCGs considerados neste estudo foram adaptados à mesma malha de resolução do modelo *HadCM2*, gerando células – segundo a

abordagem espacial (Skelly e Henderson-Sellers, 1996) – de $2,5^\circ \times 3,75^\circ$ de latitude-longitude. Esta abordagem espacial diz respeito à natureza dos resultados produzidos por um MCG. Nesta hipótese, assume-se que os dados gerados nos nós da malha do modelo são tomados como médias de áreas cujos centros geométricos correspondem aos respectivos nós, encontrando suporte na concepção e parametrização do modelo, que usa como valores de entrada dados calculados como médias espaciais.

Apenas uma célula da malha de resolução considerada contém toda a Região Metropolitana do Recife. Esta célula se estende de $6,25^\circ\text{S}$ a $8,75^\circ\text{S}$ e de $31,875^\circ\text{W}$ a $35,625^\circ\text{W}$, e corresponde ao nó da malha que possui as coordenadas de $7,50^\circ\text{S}$ e $33,75^\circ\text{W}$.

RESULTADOS

Os dados de chuva e temperatura aqui considerados foram resultados das simulações dos modelos expostos no Quadro 1, que são disponibilizadas pelo *Data Distribution Centre* (DDC) do IPCC. Os resultados foram compatibilizados através de um modelo para leitura de dados – de mudança climática – distribuídos pelo IPCC-DDC.

A base de dados históricos considerada nas simulações são médias mensais que correspondem ao período de 1961 a 1990. Os MCGs foram executados gerando conjuntos de previsões para três cenários diferentes, que representam períodos de 30 anos: 2010-2039, 2040-2069, e 2070-2099.

Com exceção do modelo HadCM3, todos os demais foram simulados em duas condições: ora considerando apenas a atuação dos gases do efeito estufa, ora considerando, além destes, o efeito dos aerossóis (sulfatos, orgânicos, poeira, aerossol marinho, fuligem etc.). O modelo HadCM3 foi simulado nos cenários A2 e B2 (IPCC, 2000), onde o primeiro consiste em um cenário mais pessimista do que o segundo, com um crescimento populacional mais elevado, desenvolvimento econômico e tecnológico mais lentos, e um nível baixo de “preocupação ambiental” (Dessai e Trigo, 2006).

Diante das condições a que foram expostos durante as simulações, os MCGs receberam outras nomenclaturas, de acordo com cada situação (Quadro 2).

Quadro 2 – Nomenclatura atribuída aos MCGs de acordo com as condições de simulação (IPCC-DDC, 2006)

Modelo	
CGCM1	CCCMA-GG-A1
	CCCMA-GS-A1
CSIRO Mk2	CSIRO-GG-A1
	CSIRO-GS-A1
ECHAM4/OPYC3	ECHAM4-GG-A1
	ECHAM4-GS-A1
GFDL_R15	GFDL-GG-A1
	GFDL-GS-A1
HadCM2	HadCM2-GG-A1
	HadCM2-GS-A1
HadCM3	HadCM3-GS-A2
	HadCM3-GS-B2

GG = Greenhouse Gas; GS = Greenhouse Gas and Aerosols
A = 1% de acréscimo dos gases do efeito estufa ao ano

Temperatura

Os resultados das previsões de variação de temperatura dos MCGs para a célula sobre a Região Metropolitana do Recife, para os cenários futuros – 2010-2039, 2040-2069 e 2070-2099, estão expostos, respectivamente, nas Figuras 1, 2 e 3.

Os resultados foram expressos em acréscimos ou reduções da temperatura média mensal (em °C), do período considerado, em torno da média da base histórica (1961-1990).

Comparando-se os resultados fornecidos pelos MCGs, constata-se que os mesmos apresentam comportamentos semelhantes. No entanto, apesar de próximas, as variações médias mensais de temperatura previstas pelos MCGs sobre a RMR, em cada cenário considerado, apresentaram diferenças que aumentam ou diminuem conforme o mês analisado. As diferenças entre o maior resultado (maior variação prevista) e o resultado mais conservador podem passar de cerca de 1°C, no primeiro cenário, a algo em torno de 3,5°C, no último cenário.

Como esperado, constatou-se, também, que os resultados das simulações dos MCGs onde foi considerado o efeito dos aerossóis foram mais conservadores do que sem o

efeito deste, visto que os aerossóis atenuam os efeitos dos gases de efeito estufa, funcionando com uma proteção para o aquecimento causado por esses gases.

Confirmando a expectativa do meio científico, verificam-se, nos gráficos adiantes, tendências de variação positiva da temperatura para os cenários futuros. Ao se considerar médias entre os resultados dos modelos, prevê-se uma elevação da temperatura em torno de 1°C com relação à média da base histórica (1961-1990), para o período de 2010 a 2039. Essa variação sobe para cerca de 2°C quando o período de referência é o de 2040 a 2069, e estima-se uma elevação ainda maior na temperatura média mensal, de aproximadamente 3°C, quando o cenário considerado é o de 2070-2099.

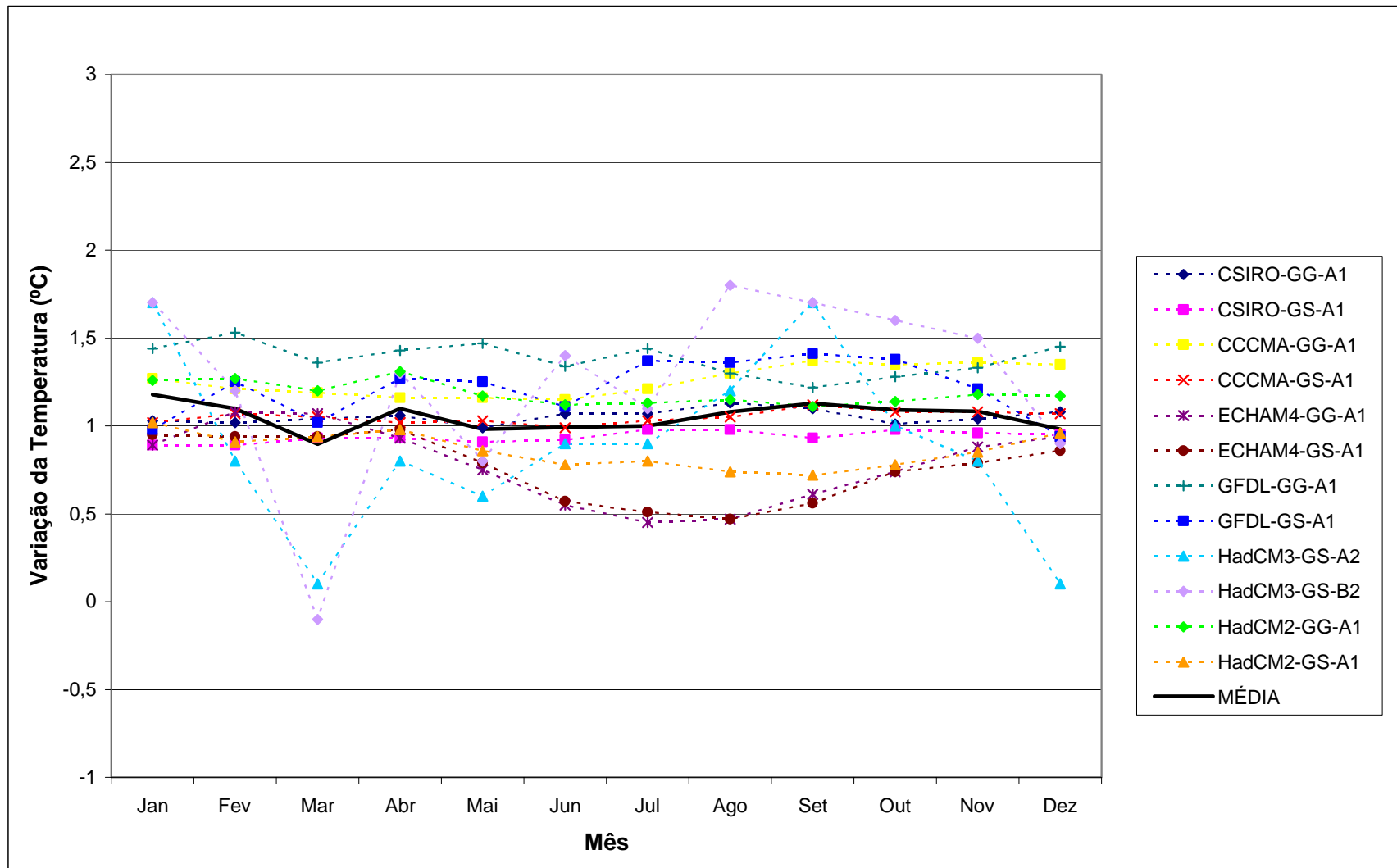


Figura 1 – Variações médias mensais de temperatura simuladas por MCGs para a célula sobre a Região Metropolitana do Recife, para o período de 2010 a 2039 (em °C).

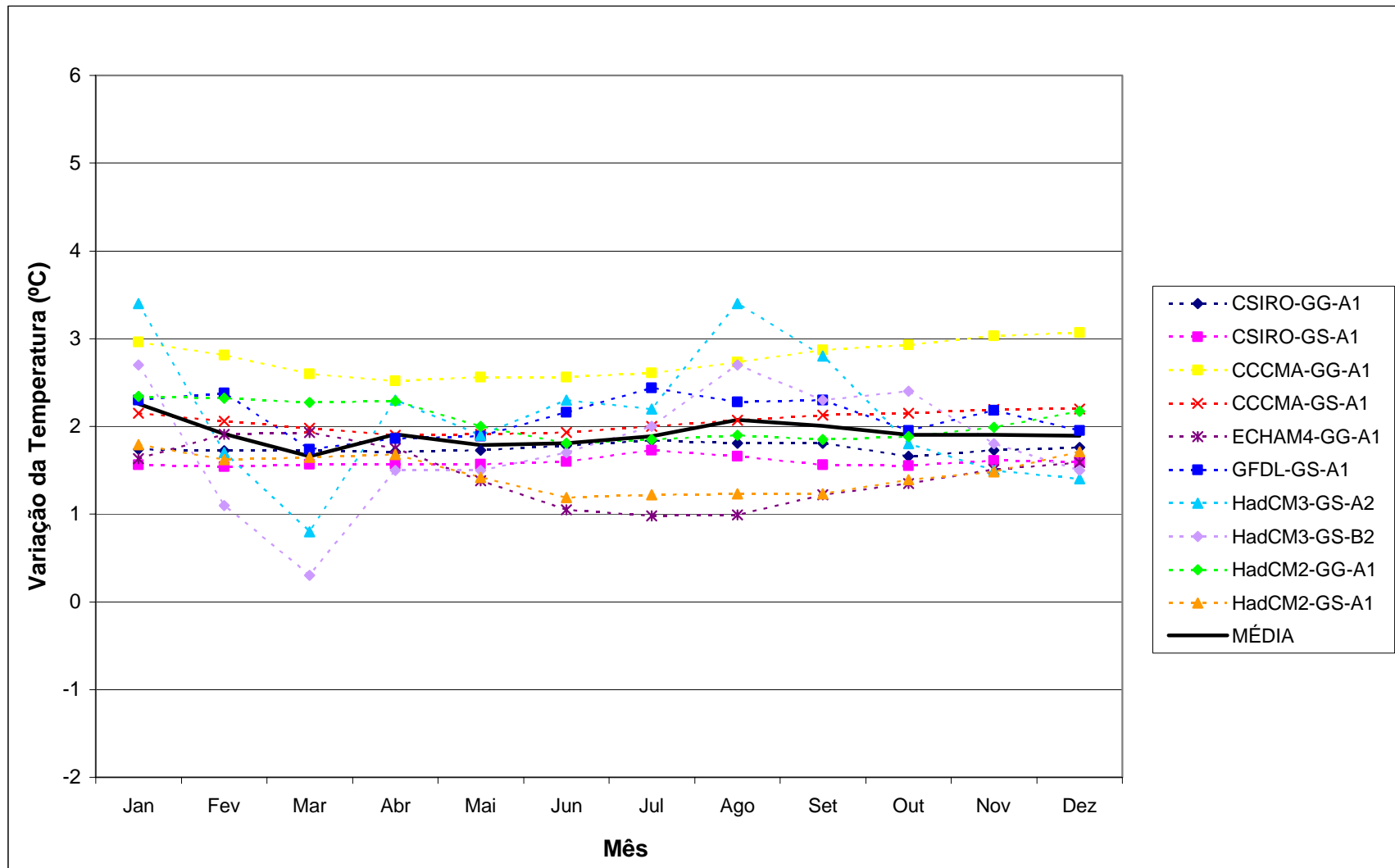


Figura 2 – Variações médias mensais de temperatura simuladas por MCGs para a célula sobre a Região Metropolitana do Recife, para o período de 2040 a 2069 (em °C).

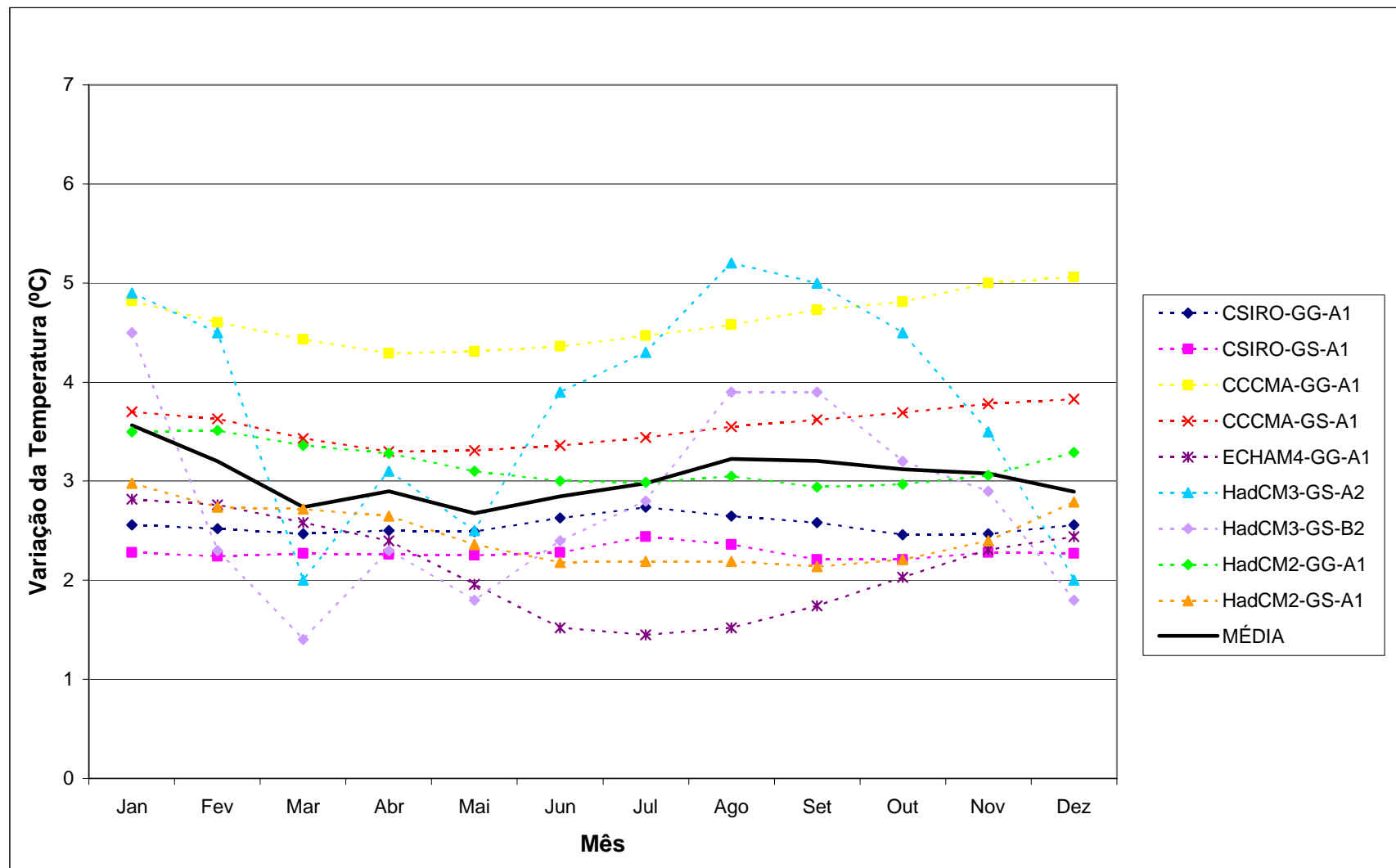


Figura 3 – Variações médias mensais de temperatura simuladas por MCGs para a célula sobre a Região Metropolitana do Recife, para o período de 2070 a 2099 (em °C).

Precipitação

Os resultados das previsões de variação de precipitação dos MCGs para a célula sobre a Região Metropolitana do Recife, para os cenários futuros – 2010-2039, 2040-2069 e 2070-2099, estão expostos, respectivamente, nas Figuras 4, 5 e 6.

Os resultados foram expressos em percentuais de variação em torno da média de chuva da base histórica (1961-1990).

Diferentemente do que acontece com a previsão de temperatura pelos MCGs, os resultados fornecidos por esses modelos relativos à precipitação, como podem ser observados nas figuras, são bastante distintos. O mesmo modelo simulado com ou sem considerar os aerossóis, pode fornecer resultados completamente diferentes, como é o caso, por exemplo, do modelo GFDL, para o cenário de 2010 a 2039.

Os resultados são totalmente discordantes. Não existe um padrão entre eles. Observe-se as variações médias previstas para o mês de abril, para o período de 2010-2039. Para um mesmo mês, de um mesmo cenário, estão previstas variações que oscilam de uma redução da precipitação de 57,52%, a uma elevação de 23,26%, passando por outros resultados completamente diferentes.

Entretanto, apesar de tudo o que foi exposto, constata-se que, em muitas das situações, previu-se elevações da precipitação média mensal superiores a 10%, o que poderiam causar transtornos se ocorressem em épocas úmidas. Portanto, apesar dessas previsões não serem totalmente confiáveis, é necessário que se previna de situações como essa, onde o sistema de drenagem existente não comportaria a vazão gerada.

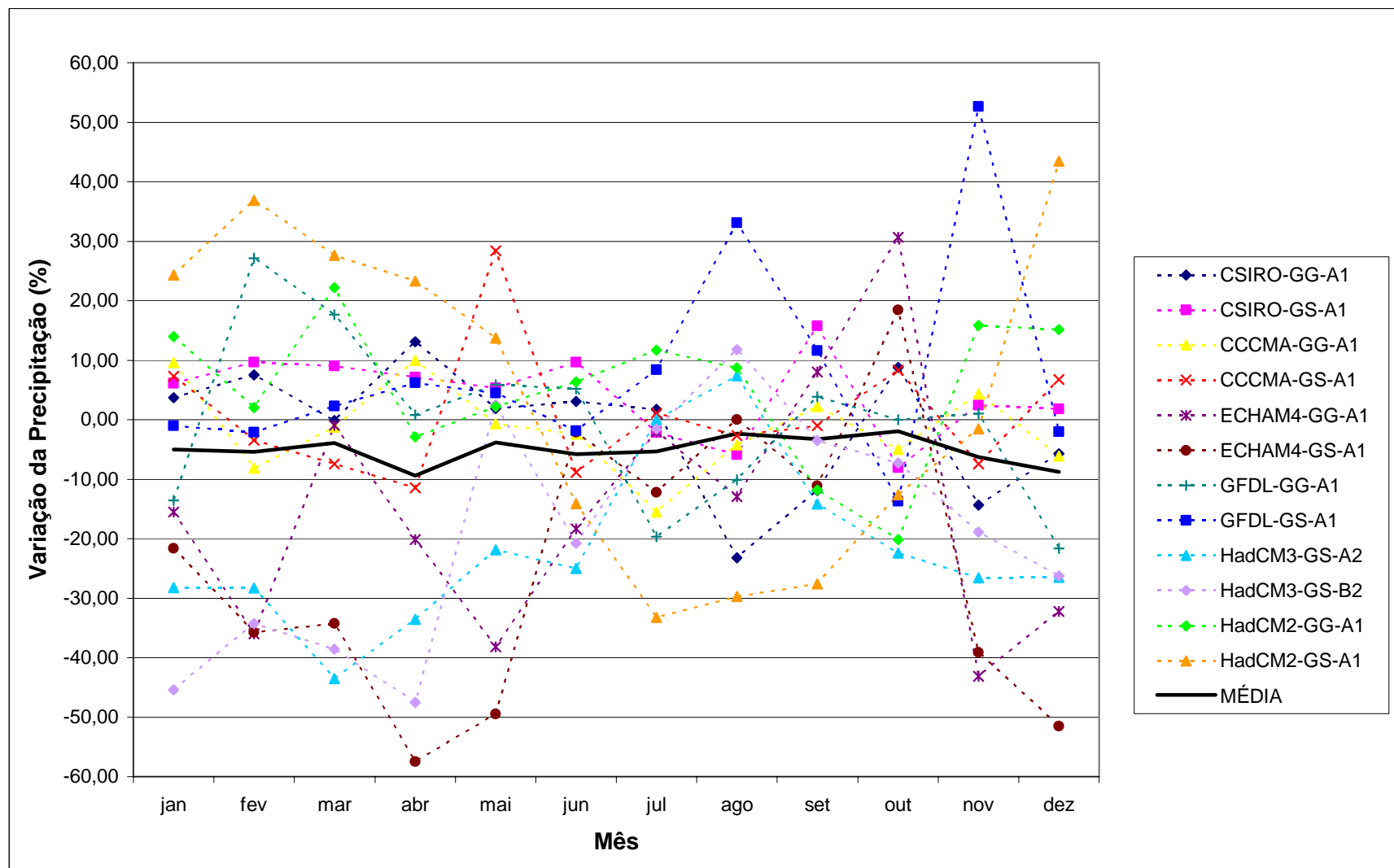


Figura 4 – Variações médias mensais de precipitação simuladas por MCGs para a célula sobre a Região Metropolitana do Recife, para o período de 2010 a 2039 (em %).

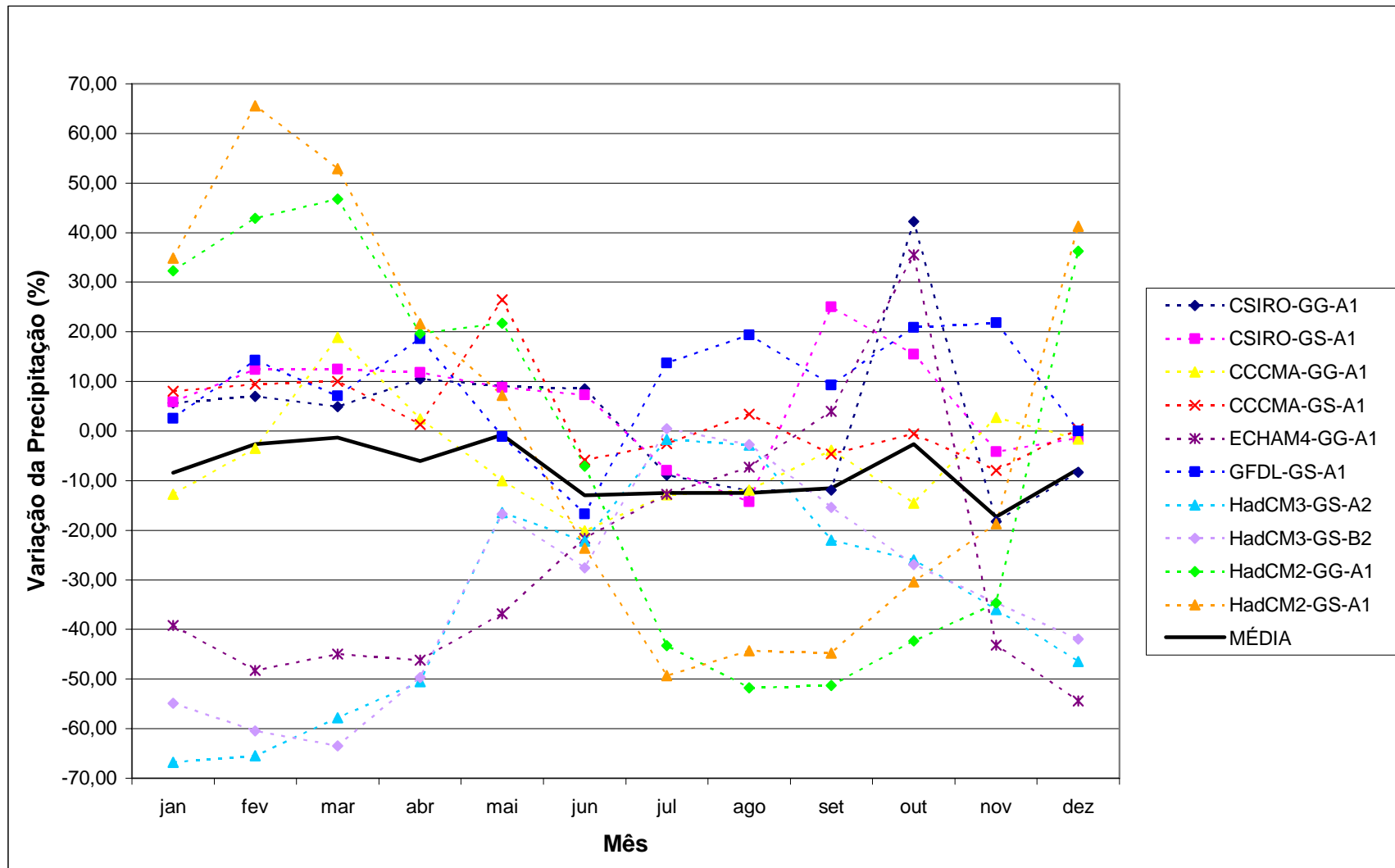


Figura 5 – Variações médias mensais de precipitação simuladas por MCGs para a célula sobre a Região Metropolitana do Recife, para o período de 2040 a 2069 (em %).

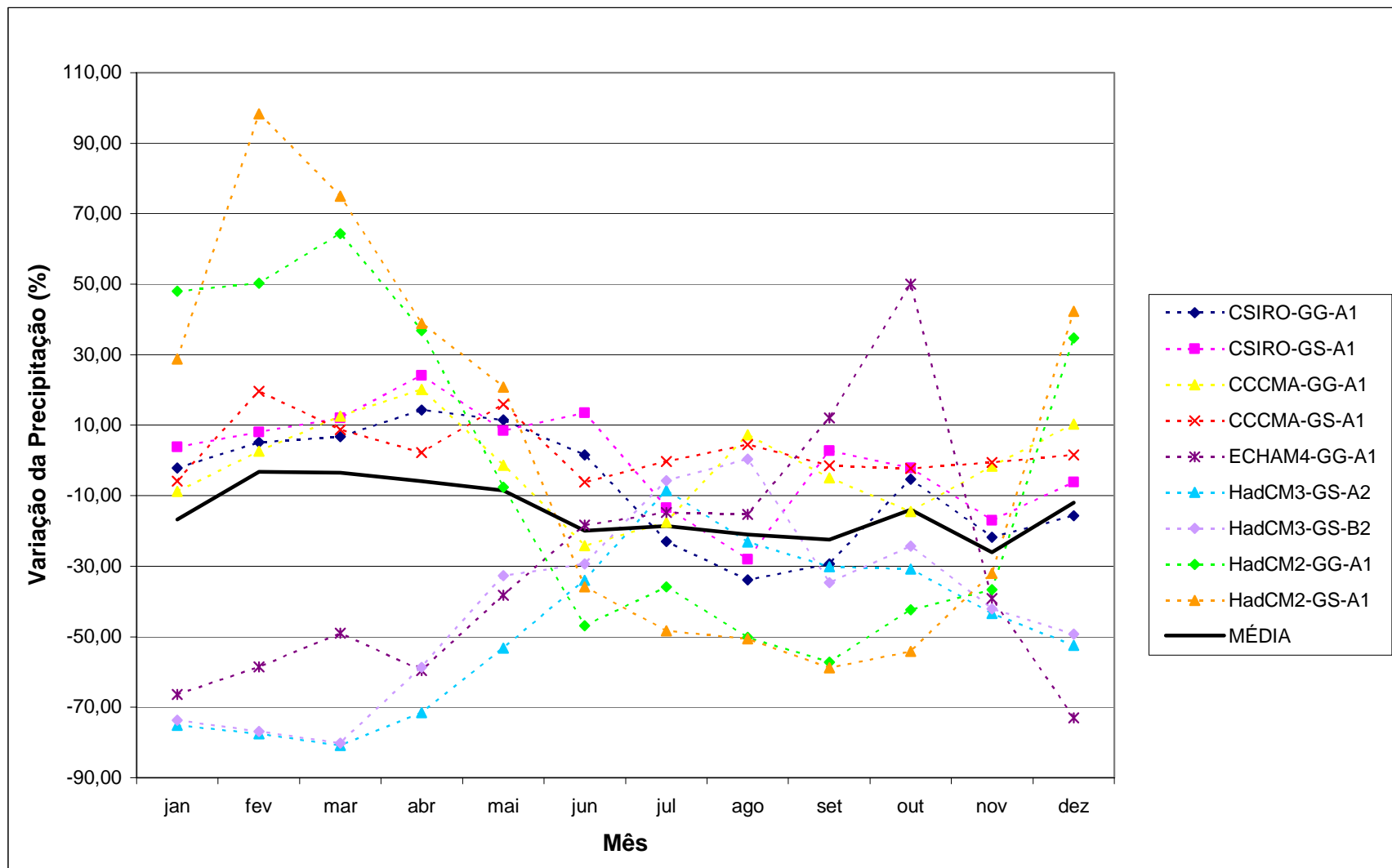


Figura 6 – Variações médias mensais de precipitação simuladas por MCGs para a célula sobre a Região Metropolitana do Recife, para o período de 2070 a 2099 (em %).

CONCLUSÕES

A fase do estudo que compõe este artigo consistiu em analisar os resultados de simulações de temperatura e precipitação realizadas por alguns modelos de circulação global (MCGs), para a célula sobre a Região Metropolitana do Recife.

Os resultados das previsões de temperatura dos MCGs apresentaram comportamentos semelhantes, e confirmaram diagnósticos já alardeados no meio científico de tendências de variação positiva da temperatura para os cenários futuros.

Diferentemente do que aconteceu com a previsão de temperatura, os resultados fornecidos pelos MCGs para a precipitação foram bastante distintos. Juntos, eles não ditam uma tendência. No entanto, apesar disto, constatou-se que, em muitas das situações, previu-se elevações da precipitação média mensal superiores a 10%, o que poderiam causar transtornos se ocorressem em épocas úmidas. Portanto, apesar dessas previsões de chuva não serem totalmente confiáveis, é necessário que se previna de situações como essa, onde o sistema de drenagem existente não comportaria a vazão gerada.

Estudos evidenciam uma tendência geral para um acréscimo da precipitação na época úmida, como decorrência de alterações climáticas. O regime de escoamento deverá, normalmente, seguir esta tendência geral, sendo assim de se esperar uma intensificação das cheias em consequência das alterações climáticas. Essas alterações não determinam apenas modificações dos valores médios do escoamento, mas também dos seus valores extremos, provocando alterações dos regimes de cheias e secas. É de se esperar ainda que as inundações provocadas pelas cheias, nos trechos dos rios, nas regiões costeiras, possam ser agravadas pela subida do nível do mar, associada às alterações climáticas.

Enquanto muitas seções dos sistemas de drenagem existentes poderiam acomodar um acréscimo de precipitação, em outras, conduziria a falhas no sistema e possíveis danos. As reduções das intensidades de chuva, esperadas em outras épocas do ano, não teriam sérios impactos, mas reduziriam essencialmente a eficiência econômica dos existentes, ou daqueles sistemas de drenagem que serão projetados.

Diante deste cenário, o presente artigo vem realçar a importância de se considerar previsões de chuva, em um cenário iminente de alterações climáticas, para que se possa estudar os possíveis efeitos de acréscimos de precipitação sobre os sistemas de drenagem urbana de cidades como Recife, que já possuem problemas com o sistema existente, buscando, com isso, fornecer subsídios para dimensionamentos mais efetivos das redes de

drenagem urbana. Entretanto, com base nos resultados divergentes dos modelos para a precipitação expostos neste artigo, constata-se que para a continuação deste estudo não é recomendada a escolha de nenhum modelo em particular. Ao invés de se utilizar os resultados desses MCGs, deverão ser criados cenários sintéticos onde a precipitação será exposta a variações positivas e negativas (20%, por exemplo), e uma análise sobre os efeitos disto poderá ser então realizada.

BIBLIOGRAFIA

- BECKER, B. D. (1997). “*The ECMWF ensemble simulation CD-ROMs*”. Reading: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. CD-ROM.
- DESSAI, S.; TRIGO, R. (2006) *Ciências das Alterações Climáticas*. Disponível em: <http://www.cgul.ul.pt/Ricardo/pdf/flad1.pdf> . Acesso em 03 de agosto de 2006.
- GALVÃO, C. O.; TRIGO, R. M. (1999). “*Downscaling da precipitação e temperatura de modelos de circulação global para a escala de bacia hidrográfica*”. In: IV Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Coimbra: Portugal, 1999. Em CD-ROM.
- IBGE (2006). *INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE Cidades@*. Disponível em: <http://www.ibge.com.br/cidadesat/default.php>. Acesso em 07 de março de 2006.
- IEO (2006a). *INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK 2004*. Energy Information Administration. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/download.do?attachmentId=3708&download>. Acesso em 06 de março de 2006.
- IEO (2006b). *INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK 2005*. Energy Information Administration. Disponível em: [www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484\(2005\).pdf](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484(2005).pdf). Acesso em 06 de março de 2006.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K.

Maskell, and C.A. Johnson (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.

IPCC (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*. N. Nakicenovic (ed.), Cambridge, Cambridge University Press.

IPCC (1997). *IPCC Technical Paper II: An introduction to simple climate models used in the IPCC*. Second Assessment Report [J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, D.J. Griggs and K. Maskell (eds.)]

IPCC-DDC (2006). *The IPCC Data Distribution Centre. Data File Format*. Disponível em: http://ipcc-ddc.cptec.inpe.br/ipccddcbr/html/cru_data/datadownload/fileformat.html. Acesso no dia 24 de julho de 2006.

PERNAMBUCO DE A/Z (2006). *Fenômenos Naturais: Enchentes*. Disponível em: http://www.pe-az.com.br/fenomenos_naturais/enchentes.htm. Acesso em 08 de março de 2006.

PLANO DIRETOR DE RECIFE (2006). Disponível em: <http://www.recife.pe.gov.br/pr/secplanejamento/planodiretor/>. Acesso em 07 de março de 2006.

ROSSI, F.; KRÜGER, E. L. (2003). “Atualização do ano climático de referência para Curitiba. In: *II Semana de Tecnologia: Tecnologia para quê e para quem?*”. Atas da II Semana de Tecnologia: Tecnologia para quê e para quem?. Curitiba - PPGTE/CEFET-PR : PPGTE/CEFET-PR, v. 1. p. 1-4.

SKELLY, W. C.; HENDERSON-SELLERS, A. (1996). “Grid box ou grid point: what type of data do GCMs deliver to climate impacts researchers?” *International Journal of Climatology*. Chichester, v.16, p.1079-1086.

B. PROJETO DE DRENAGEM URBANA

1. Apresentação

O presente trabalho consistiu em uma das atividades de avaliação da disciplina *Drenagem Urbana*, cursada em paralelo ao desenvolvimento desta tese, e teve por objetivo a realização do dimensionamento de uma rede de drenagem para o Bairro Vermelho, localizado no município de Recife, considerando-se que este é um bairro residencial, ocupado por casas com jardins e quintais.

2. Memória de Cálculo

Um croqui da região onde está situado o Bairro Vermelho pode ser visualizado na Figura 1, adiante, em escala 1:12.500.

Tendo em vista a aparente imprecisão dos traçados deste croqui, algumas simplificações foram adotadas para o dimensionamento da rede de drenagem a ser implantada. A primeira e mais importante destas é de que as quadras Q_{11} , Q_{21} , Q_{31} , Q_{41} , Q_{22} , Q_{23} , Q_{14} e Q_{24} foram consideradas como tendo as mesmas dimensões, ou seja, 250metros \times 200metros. As quadras Q_{32} e Q_{33} foram consideradas como tendo formato triangular e com “catetos” possuindo as mesmas dimensões das quadras supracitadas.

Uma outra simplificação adotada, também devido à aparência do croqui, foi a de não considerar as áreas das ruas como contribuição, visto que influenciariam de modo irreal ao sistema de drenagem do bairro, por se tratar de vias que teriam 100 metros de largura.

Como se trata de um bairro que possui uma área inferior a 2 km², adotou-se o Método Racional para a determinação da vazão máxima de projeto, cuja equação é dada por:

$$Q = 0,278 \times C \times i \times A$$

onde Q é obtido em m³/s; C é o coeficiente médio de escoamento superficial; i é a intensidade de precipitação, em mm/h; e A é a área da bacia, em km². A hipótese central do método é que a duração da chuva é igual ao tempo de concentração da bacia (Porto, 1995).

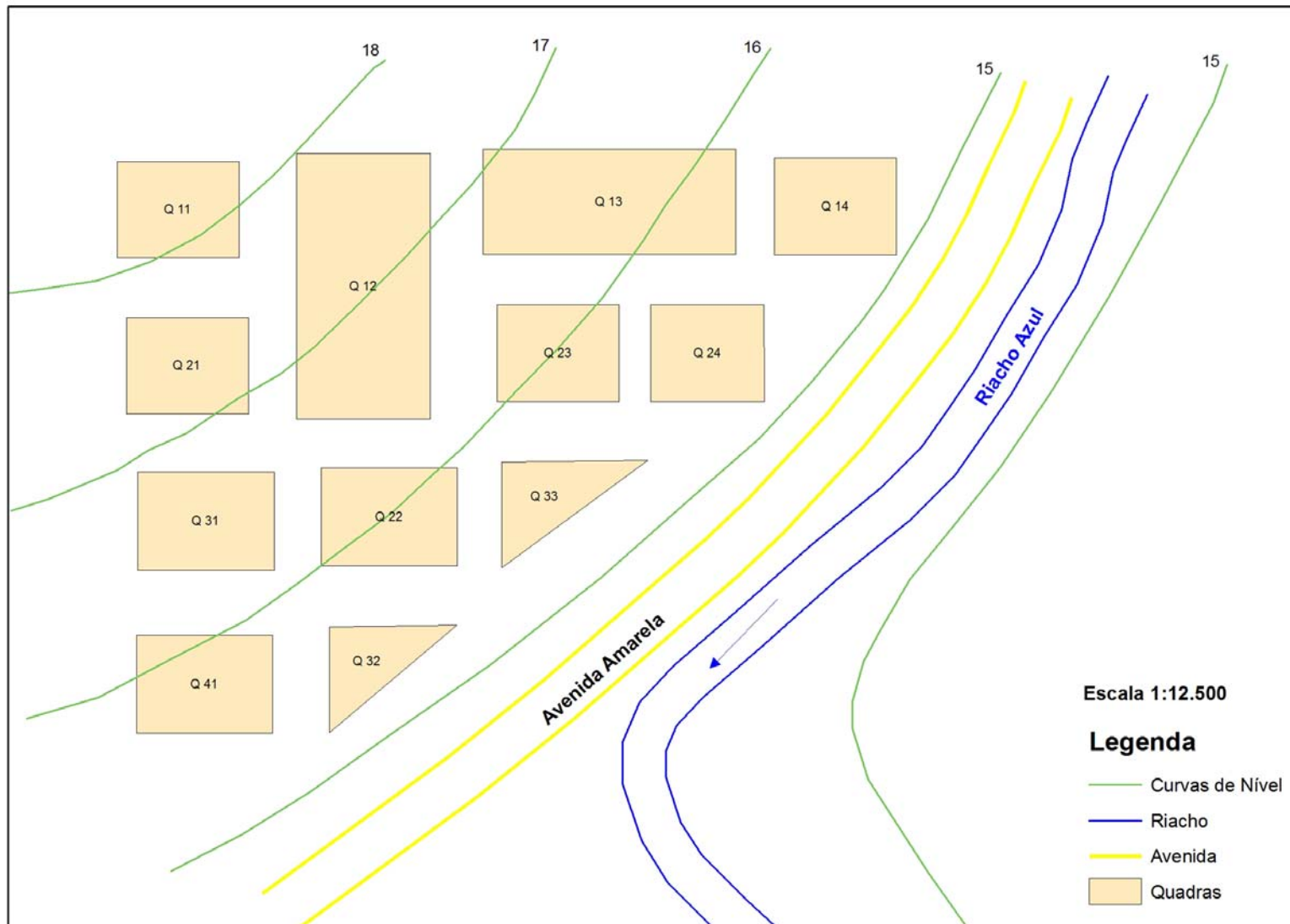


Figura 1 – Croqui do Bairro Vermelho

A intensidade de precipitação na área em estudo pôde ser obtida através das equações de chuvas desenvolvidas pela Acquaplan, no contexto do Plano Diretor de Macrodrenagem da Região Metropolitana do Recife (FIDEM, 1979). Para se obter a intensidade de precipitação para uma determinada duração e período de retorno, considera-se o maior valor fornecido entre as duas equações expostas a seguir:

$$i_1 = \frac{456,768 \times (T - 1,5)^{0,117} \times (1 - 4,54 \times 10^{-21} \times t^8)}{(t + 6)^{0,58111}}$$

$$i_2 = \frac{72,153 \times (T - 1,75)^{0,173}}{\left(\frac{t}{60} + 1\right)^{0,74826}}$$

onde:

T = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (minutos);

i_1, i_2 = intensidade da chuva (mm/hora)

Até a duração de chuva de 120 minutos, para o período de retorno de 2 anos, os maiores valores de intensidade de chuva são obtidos através da Equação i_1 .

De acordo com Bidone e Tucci (1995), o tempo de concentração em bacias urbanas é determinado pela soma dos tempos de concentração dos diferentes trechos, e o tempo inicial nos trechos de cabeceira de rede é muitas vezes adotado como sendo de dez minutos. Portanto, este foi o tempo adotado para o presente estudo.

Por se tratar de uma área residencial, o tempo de retorno adotado foi o de dois anos, conforme DAEE/CETESB (1980), *apud* Bidone e Tucci (1995).

O bairro é composto por casas com jardins e quintais, correspondendo a local de “edificação com muitas superfícies livres”, ou seja, “partes residenciais com ruas pavimentadas, mas com muitas áreas verdes” (Porto, 1995), o que origina um coeficiente médio de escoamento superficial (C) que pode variar de 0,25 a 0,50. Diante disto, adotou-se o valor intermediário de 0,38 para a região neste estudo.

Antes de se iniciar o dimensionamento propriamente dito das galerias, verificou-se a capacidade hidráulica das sarjetas das ruas do bairro em questão. Utilizou-se para isto a fórmula de Manning, que com a definição de alguns parâmetros – uma altura da guia de 15 cm, um enchimento máximo de 13 cm, uma declividade transversal da via pública de 3%, e

com um n de 0,016 (concreto rústico) – resulta em uma equação que depende apenas da declividade longitudinal da rua (S) (Azevedo Netto *et al.*, 1998):

$$Q = \frac{0,280}{0,016} \times 0,063^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

Foi adotada uma declividade longitudinal média de 0,0022 para as ruas do bairro. A comparação entre a capacidade hidráulica da sarjeta e a vazão gerada por áreas de contribuição das quadras definiu o local necessário para a inserção de cada boca-de-lobo. Esses cálculos foram realizados em planilhas do Excel, no formato exposto na Figura 2.

Capacidade hidráulica da sarjeta (Eq de Manning):	
$I = 0,0022$	m/m <i>declividade média</i>
Q = 0,1300 m³/s	
Adotando-se:	
Tempo de concentração de partida (inicial) =	10 min
Tempo de Retorno =	2 anos
Equação IDF:	$i_1 = \frac{456,768 \times (T - 1,5)^{0,117} \times (1 - 4,54 \times 10^{-21} \times t^8)}{(t + 6)^{0,58111}}$
$i = 84,09$	mm/h
$C = 0,38$	<i>Edificação c/ muitas superfícies livres</i>
Área de contribuição de $Q_{II} =$	25.000 m ²
Método Racional:	
Q = 0,278 * C * i * A	
Q = 0,2221 m³/s	
CONCLUSÃO:	
A drenagem do primeiro quarteirão não pode ser realizada apenas através da sarjeta, com duas bocas de lobo para a coleta da água no final do quarteirão.	

Figura 2 - Exemplo de planilha utilizada para cálculo da capacidade hidráulica da sarjeta e da vazão gerada pelas áreas de contribuição

Uma vez que a sarjeta não comporta a vazão gerada em sua área de contribuição, procedeu-se à locação da boca-de-lobo e ao conseqüente dimensionamento da galeria.

O croqui do bairro e todo o traçado da rede de drenagem de águas pluviais estão expostos na Figura 3 adiante.

Os cálculos para o dimensionamento das galerias também foram realizados em planilha do Excel, e os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Com base nas curvas do nível, os percursos da rede foram estabelecidos, e com a locação das bocas-de-lobo, as áreas de contribuição para cada trecho foram delimitadas. O comprimento de cada trecho foi obtido em planta.

Como já foi mencionado, o tempo de concentração em bacias urbanas é determinado pela soma dos tempos de concentração dos diferentes trechos, partindo-se de um tempo de concentração inicial, neste caso, de 10 minutos. No caso em que vários trechos de rede afluíram a um determinado trecho, utilizou-se o maior tempo de concentração dos trechos de montante.

As cotas de montante e de jusante do terreno para cada trecho foram obtidas em planta, de modo impreciso. As declividades dos trechos foram obtidas com base no comprimento destes e nas cotas consideradas. Em momento algum foi necessário modificar a declividade de um trecho. Diante disso, o recobrimento da rede (profundidade) foi sempre considerado como 1 metro.

O diâmetro de cada galeria foi calculado através da fórmula de Manning, que com a equação da continuidade, resultaram na seguinte expressão:

$$D_{calc} = 1,55 \times \left(\frac{Q \times n}{S^{1/2}} \right)^{3/8}$$

onde D_{calc} é o diâmetro, em m; Q é a vazão na seção de interesse, em m³/s; n é o coeficiente de Manning; e S é a declividade do terreno, em m/m. Adotou-se o diâmetro comercial igual ou imediatamente superior ao calculado. O diâmetro mínimo utilizado para cada trecho foi de 0,40 m. O coeficiente de Manning adotado foi de 0,013 (para tubos de concreto).

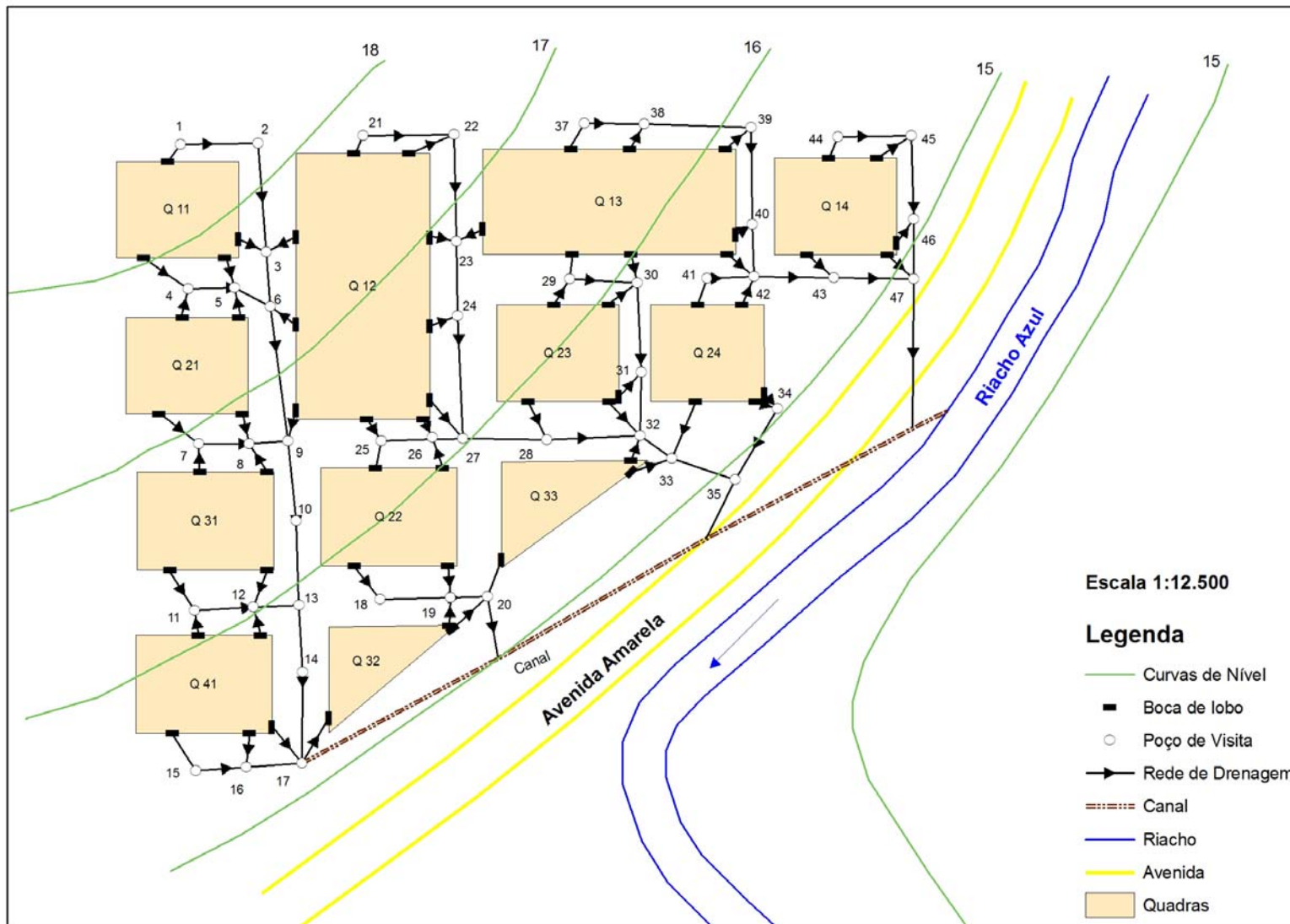


Figura 3 – Croqui do Bairro Vermelho com o traçado da rede de drenagem urbana

Tabela 1 - Planilha de cálculo da rede de drenagem do Bairro Vermelho

Trecho	L (m)	Áreas (ha)		Tc (min)	C	Tr (anos)	i (mm/h)	Q (l/s)	S (m/m)	Dcalc (m)	Dadot (m)	V (m/s)	te (min)	Cotas do terreno (m)	
		trecho	acum.											mont.	jus
PV1-PV2	170	0,875	0,875	10,00	0,38	2	84,09	77,73	0,0018	0,38	0,40	0,70	4,07	18,5	18,2
PV2-PV3	230	0,875	1,750	14,07	0,38	2	73,71	136,27	0,0022	0,45	0,50	0,90	4,28	18,2	17,7
PV3-PV6	110	2,063	3,813	18,35	0,38	2	65,89	265,36	0,0027	0,56	0,60	1,13	1,62	17,7	17,4
PV4-PV5	100	2,000	2,000	10,00	0,38	2	84,09	177,67	0,0020	0,51	0,60	0,97	1,72	17,8	17,6
PV5-PV6	80	2,250	4,250	11,72	0,38	2	79,26	355,83	0,0025	0,63	0,80	1,31	1,01	17,6	17,4
PV6-PV9	280	1,063	9,125	19,96	0,38	2	63,47	611,82	0,0029	0,76	0,80	1,41	3,32	17,4	16,6
PV7-PV8	100	2,000	2,000	10,00	0,38	2	84,09	177,67	0,0015	0,54	0,60	0,84	1,98	16,9	16,75
PV8-PV9	100	2,250	4,250	11,98	0,38	2	78,57	352,77	0,0015	0,70	0,80	1,02	1,64	16,75	16,6
PV9-PV10	170	2,063	15,438	23,28	0,38	2	59,18	965,17	0,0018	0,99	1,00	1,28	2,21	16,6	16,3
PV10-PV13	170	0,000	15,438	25,49	0,38	2	56,73	925,22	0,0024	0,92	1,00	1,48	1,91	16,3	15,9
PV11-PV12	100	2,000	2,000	10,00	0,38	2	84,09	177,67	0,0010	0,58	0,60	0,69	2,43	16,2	16,1
PV12-PV13	100	2,250	4,250	12,43	0,38	2	77,46	347,79	0,0020	0,66	0,80	1,18	1,42	16,1	15,9
PV13-PV14	170	0,750	20,438	27,41	0,38	2	54,82	1183,60	0,0018	1,06	1,20	1,45	1,96	15,9	15,6
PV14-PV17	170	0,000	20,438	29,37	0,38	2	53,04	1145,08	0,0024	1,00	1,00	1,48	1,91	15,6	15,2
PV15-PV16	100	1,125	1,125	10,00	0,38	2	84,09	99,94	0,0010	0,47	0,50	0,61	2,74	15,4	15,3
PV16-PV17	100	1,375	2,500	12,74	0,38	2	76,71	202,58	0,0010	0,61	0,80	0,83	2,00	15,3	15,2
PV18-PV19	140	1,125	1,125	10,00	0,38	2	84,09	99,94	0,0014	0,44	0,50	0,73	3,21	15,6	15,4
PV19-PV20	90	2,125	3,250	13,21	0,38	2	75,61	259,60	0,0011	0,66	0,80	0,88	1,71	15,4	15,3
PV20-Canal	110	2,500	5,750	14,92	0,38	2	71,95	437,07	0,0027	0,67	0,80	1,37	1,33	15,3	15
PV21-PV22	180	0,938	0,938	10,00	0,38	2	84,09	83,28	0,0028	0,36	0,40	0,87	3,44	17,8	17,3
PV22-PV23	200	0,938	1,875	13,44	0,38	2	75,10	148,76	0,0023	0,47	0,50	0,91	3,66	17,3	16,85
PV23-PV24	150	2,313	4,188	17,09	0,38	2	67,95	300,57	0,0023	0,60	0,60	1,05	2,38	16,85	16,5
PV24-PV27	240	1,063	5,250	19,47	0,38	2	64,18	355,92	0,0019	0,67	0,80	1,14	3,51	16,5	16,05
PV25-PV26	110	1,813	1,813	10,00	0,38	2	84,09	161,01	0,0018	0,50	0,50	0,82	2,24	16,4	16,2
PV26-PV27	80	1,813	3,625	12,24	0,38	2	77,93	298,45	0,0019	0,63	0,80	1,14	1,17	16,2	16,05
PV27-PV28	170	1,313	10,188	22,99	0,38	2	59,53	640,72	0,0021	0,82	1,00	1,38	2,05	16,05	15,7
PV28-PV32	180	1,125	11,313	25,03	0,38	2	57,22	683,82	0,0017	0,88	1,00	1,25	2,41	15,7	15,4
PV29-PV30	140	2,275	2,275	10,00	0,38	2	84,09	202,10	0,0021	0,53	0,60	1,00	2,32	16,2	15,9
PV30-PV31	180	2,075	4,350	12,32	0,38	2	77,72	357,17	0,0014	0,71	0,80	0,98	3,06	15,9	15,65
PV31-PV32	140	0,750	5,100	15,38	0,38	2	71,05	382,79	0,0018	0,69	0,80	1,11	2,10	15,65	15,4
PV32-PV33	80	2,125	18,538	27,44	0,38	2	54,79	1072,94	0,0025	0,96	1,00	1,53	0,87	15,4	15,2
PV33-PV35	140	2,075	20,613	28,32	0,38	2	53,97	1175,30	0,0021	1,02	1,00	1,41	1,65	15,2	14,9
PV34-PV35	150	2,125	2,125	10,00	0,38	2	84,09	188,77	0,0013	0,56	0,60	0,79	3,15	15,1	14,9
PV35-Canal	140	0,000	22,738	29,97	0,38	2	52,52	1261,52	0,0014	1,13	1,20	1,30	1,79	14,9	14,7
PV37-PV38	130	1,400	1,400	10,00	0,38	2	84,09	124,37	0,0023	0,43	0,50	0,92	2,35	16,7	16,4
PV38-PV39	200	1,200	2,600	12,35	0,38	2	77,66	213,31	0,0025	0,52	0,60	1,09	3,07	16,4	15,9
PV39-PV40	180	1,400	4,000	15,42	0,38	2	70,98	299,95	0,0014	0,66	0,80	0,98	3,06	15,9	15,65
PV40-PV42	120	1,000	5,000	18,48	0,38	2	65,68	346,93	0,0013	0,72	0,80	0,93	2,15	15,65	15,5
PV41-PV42	120	0,875	0,875	10,00	0,38	2	84,09	77,73	0,0017	0,39	0,40	0,68	2,96	15,7	15,5
PV42-PV43	170	2,275	8,150	20,63	0,38	2	62,54	538,49	0,0018	0,79	0,80	1,10	2,56	15,5	15,2
PV43-PV47	170	1,125	9,275	23,19	0,38	2	59,29	580,93	0,0024	0,77	0,80	1,28	2,22	15,2	14,8
PV44-PV45	140	0,875	0,875	10,00	0,38	2	84,09	77,73	0,0018	0,38	0,40	0,70	3,33	15,55	15,3
PV45-PV46	180	0,875	1,750	13,33	0,38	2	75,33	139,27	0,0011	0,52	0,60	0,72	4,15	15,3	15,1
PV46-PV47	120	0,750	2,500	17,48	0,38	2	67,29	177,72	0,0025	0,49	0,50	0,96	2,08	15,1	14,8
PV47-Canal	290	1,375	13,150	25,41	0,38	2	56,82	789,29	0,0014	0,96	1,00	1,13	4,26	14,8	14,4

Com o diâmetro adotado, procedeu-se ao cálculo da velocidade na tubulação, tomando-se por base os valores de 5,0 m/s para a velocidade máxima admissível, e de 0,60 m/s para a velocidade mínima admissível (Bidone e Tucci, 1995), condições que foram plenamente satisfeitas no dimensionamento da rede.

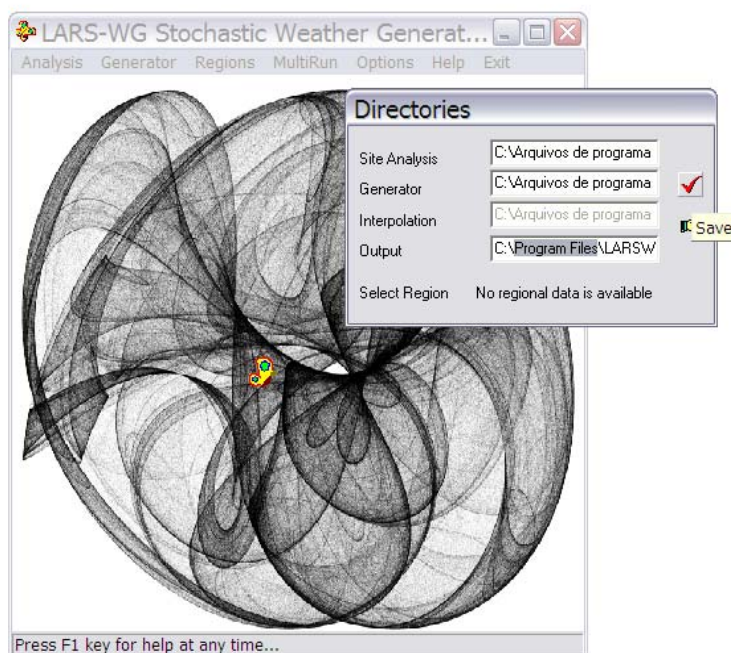
Para a condução final das águas pluviais coletadas pelo sistema aqui dimensionado até o Riacho Azul, sugere-se a construção de um canal, que por hora não foi dimensionado por não se ter informações básicas para tal.

Referências Bibliográficas

- AZEVEDO NETTO, J. M., FERNANDEZ Y FERNANDEZ, M., ARAUJO, R. de, ITO, A. E. Sistemas Urbanos de Hidráulica Aplicada. In: *Manual de Hidráulica*. 8ª Edição. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1998.
- BIDONE, F. e TUCCI, C. E. M. Microdrenagem. In: Tucci, C. E. M., Porto R. L, Barros, M. T. (Org.). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995.
- FERNANDES, C. *Microdrenagem, um estudo inicial*. Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Drenagem.html?submit=%CDndice+Drenagem>. Acesso em 30 de agosto de 2006.
- PORTO, R. Escoamento Superficial Direto. In: Tucci, C. E. M., Porto R. L, Barros, M. T. (Org.). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995.

C. PASSOS PARA A UTILIZAÇÃO DO LARS-WG (VERSÃO 5.11)

- 1º passo: Criar uma pasta com o nome do posto ou do local dentro da pasta *C:\Arquivos de programas\LARSWG5\data* (por exemplo, *aeroporto*).
- 2º passo: Copiar os arquivos com a série histórica (*.dat) e com as informações do posto (*.st) para a pasta criada.
- 3º passo: Adequar o programa, clicando em *Options* e renomeando os diretórios onde os arquivos estão ou estarão armazenados (trocar o nome da pasta *Program Files* por *Arquivos de programas*, quando necessário).

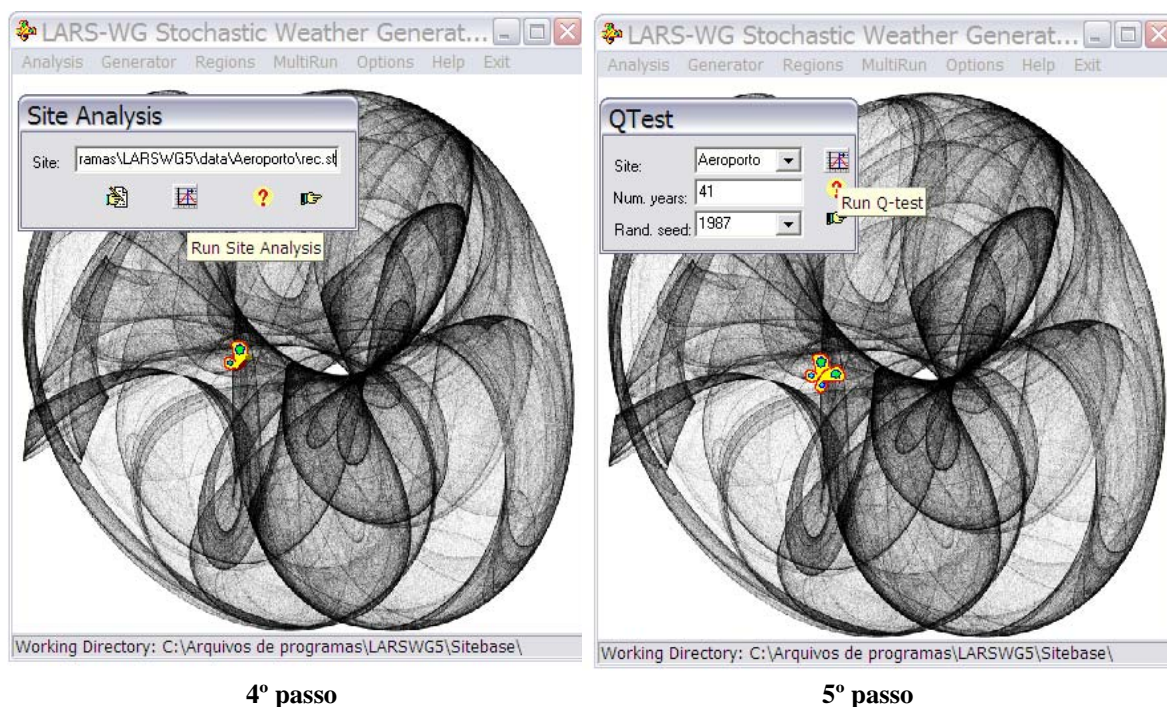


3º passo

- 4º passo: Dentro de *Analysis*, clicar em *Site Analysis* e indicar a pasta onde foi inserido o arquivo *.st, em que estão armazenadas as informações sobre o posto (nome, coordenadas, nome do arquivo que possui a série histórica e o formato). Em seguida, clicar no ícone *Run Site Analysis* (gráfico). Esta ação, que consiste na calibração do modelo, resultará nos arquivos *.wgx e *.stx dentro da pasta

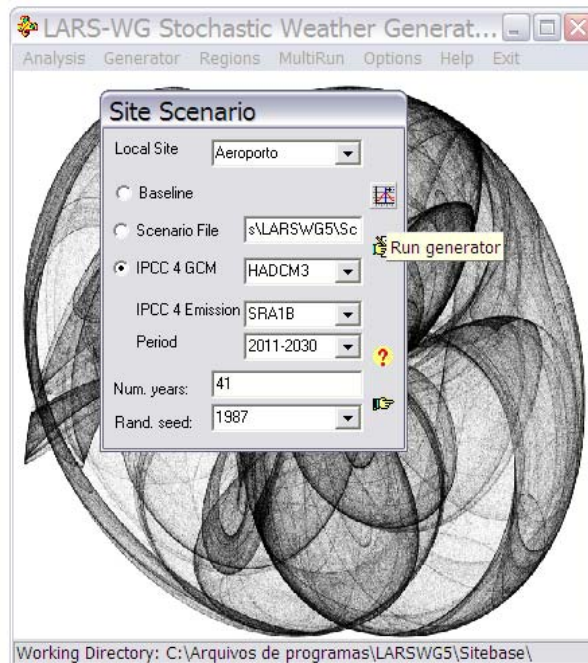
C:\Arquivos de programas\LARSWG5\Sitebase. Estes arquivos conterão os parâmetros estatísticos derivados dos dados observados, necessários para o LARS-WG produzir suas séries sintéticas.

5º passo: Dentro de *Analysis*, clicar em *Qtest*, selecionando o local do arquivo. Indicar o número de anos da série que se deseja obter, e uma das opções para o *random seed*. Em seguida, clicar no ícone *Run Q-test* (gráfico). Esta ação resulta no arquivo *.tst dentro da pasta *C:\Arquivos de programas\LARSWG5\Sitebase*, que contém a aplicação do teste Kolmogorov-Smirnov para a verificação do ajuste entre os dados gerados e observados. Outros dois arquivos são gerados na pasta *C:\Arquivos de programas\LARSWG5\Output*: *.wgx e *.stx. Estes arquivos conterão os parâmetros estatísticos derivados dos dados sintéticos.



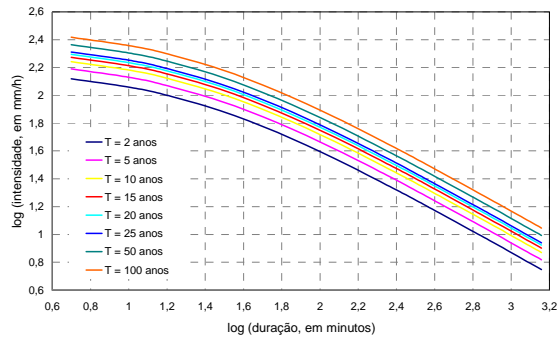
6º passo: Dentro de *Generator*, clicar em *Site*, selecionando o local do arquivo. Indicar o cenário que se quer para gerar as séries sintéticas: o cenário atual (*Baseline*), um cenário modificado manualmente (*Scenario File*) e cenários fornecidos por MCGs. Indicar, também, o número de anos da série que se deseja obter, e uma das opções para o *random seed*. Em seguida, clicar no ícone *Run Generator*

(gráfico). Qualquer que seja o cenário escolhido, este passo resultará em dois arquivos na pasta *C:\Arquivos de programas\LARSWG5\Output*: **WG.st*, com informações e localização; e **WG.dat*, com a série sintética gerada.

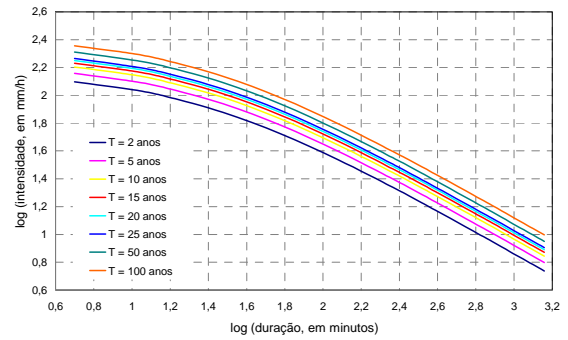


6º passo

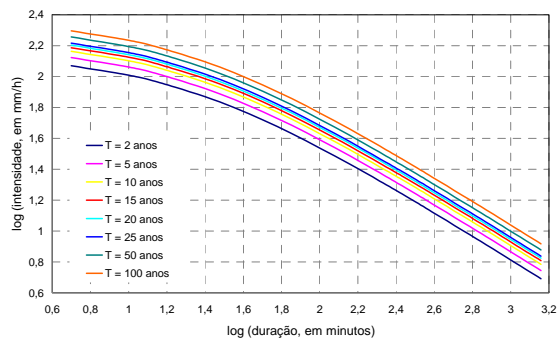
D. CURVAS INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA PARA CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS



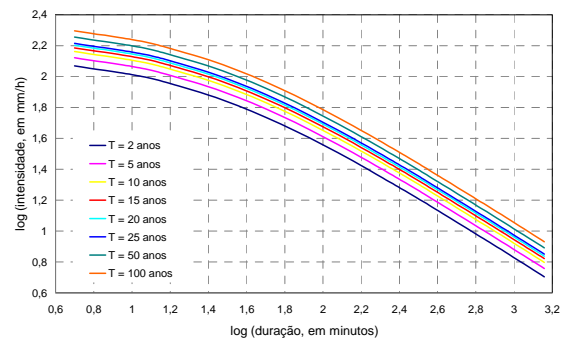
HADCM3 A1B 2011-2030



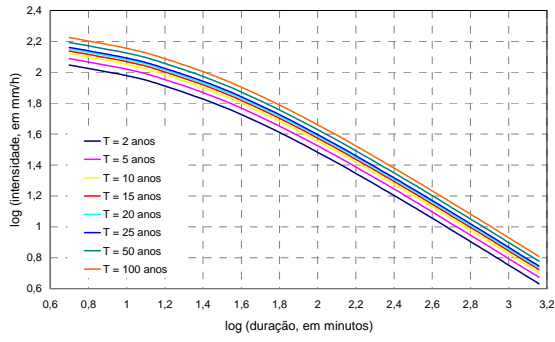
IPCM4 A1B 2011-2030



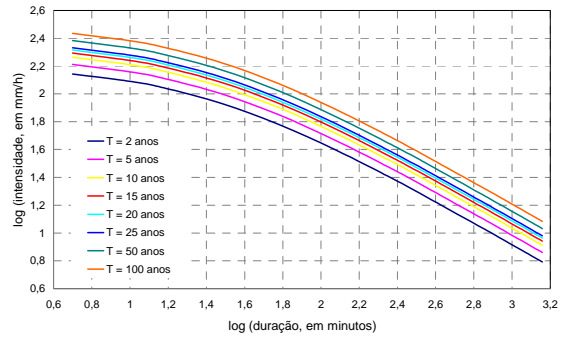
MPEH5 A1B 2011-2030



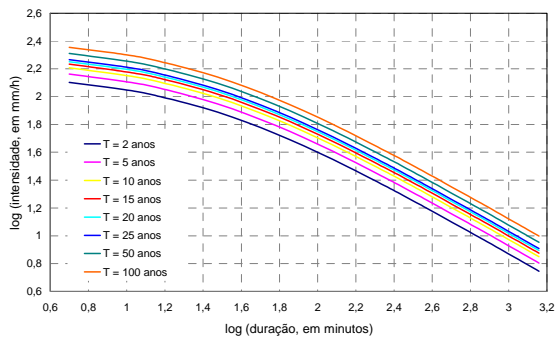
NCCCSM A1B 2011-2030



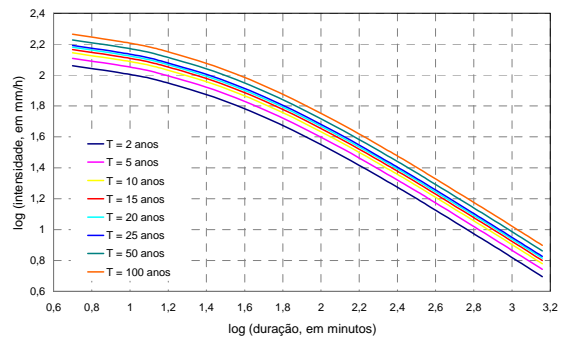
HADCM3 A1B 2046-2065



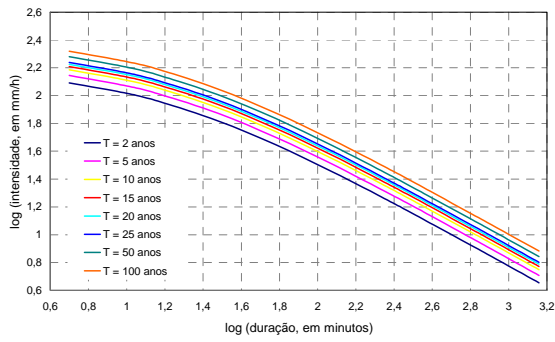
IPCM4 A1B 2046-2065



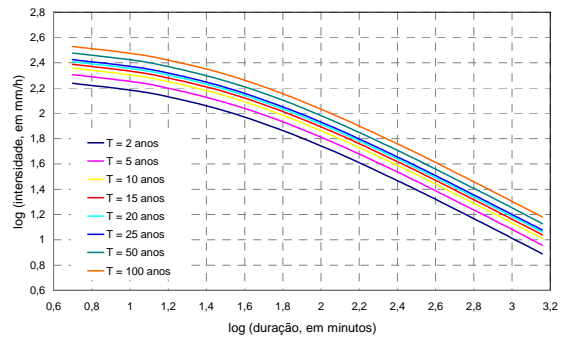
MPEH5 A1B 2046-2065



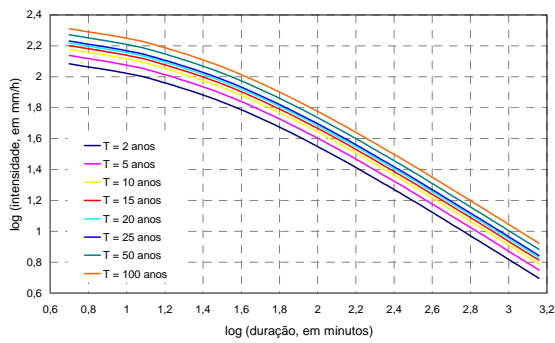
NCCCSM A1B 2046-2065



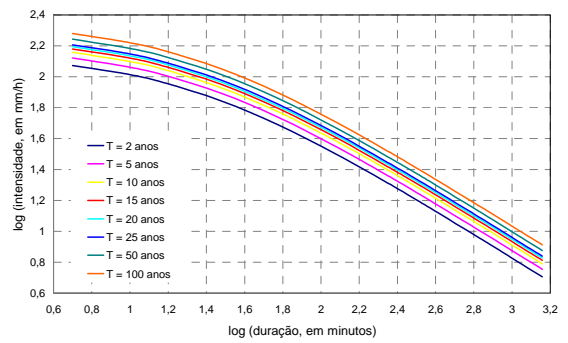
HADCM3 A1B 2080-2099



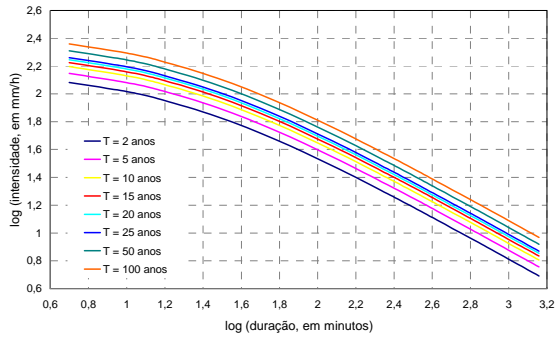
IPCM4 A1B 2080-2099



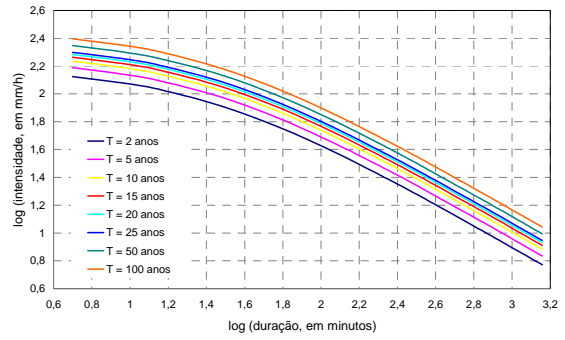
MPEH5 A1B 2080-2099



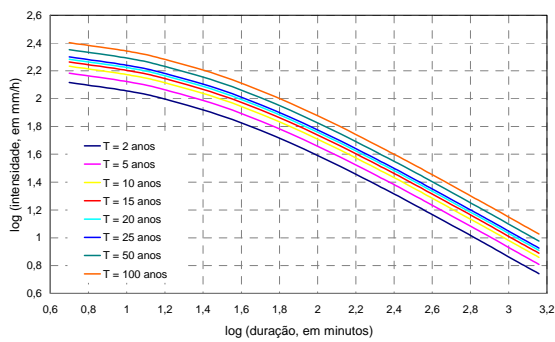
NCCCSM A1B 2080-2099



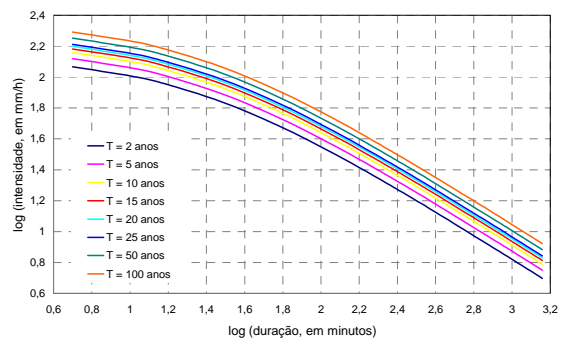
HADCM3 A2 2011-2030



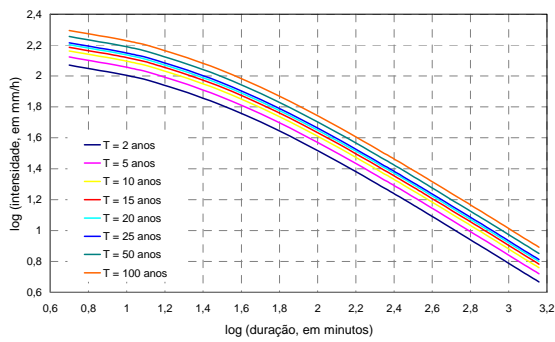
IPCM4 A2 2011-2030



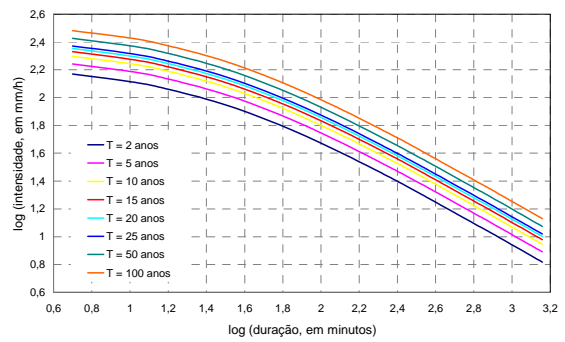
MPEH5 A2 2011-2030



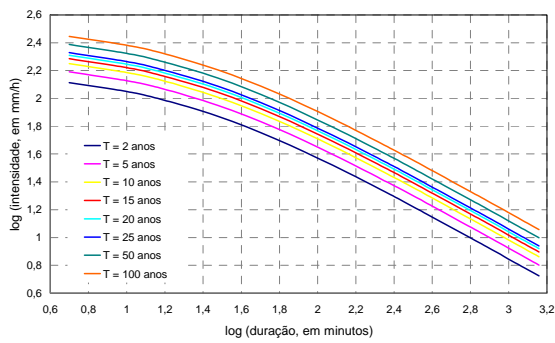
NCCCSM A2 2011-2030



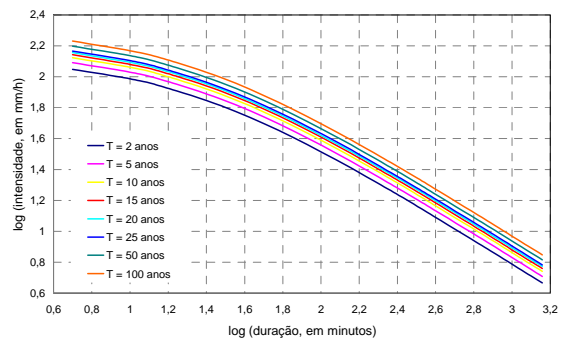
HADCM3 A2 2046-2065



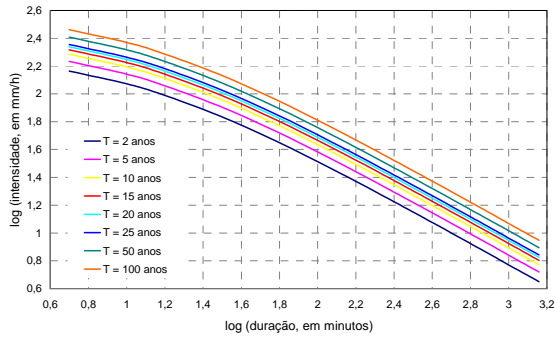
IPCM4 A2 2046-2065



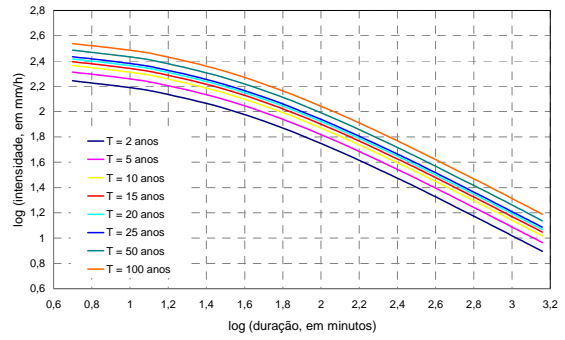
MPEH5 A2 2046-2065



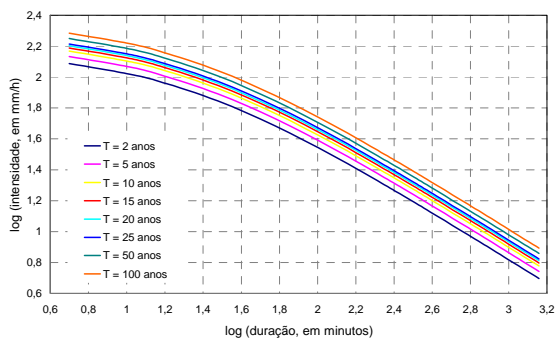
NCCCSM A2 2046-2065



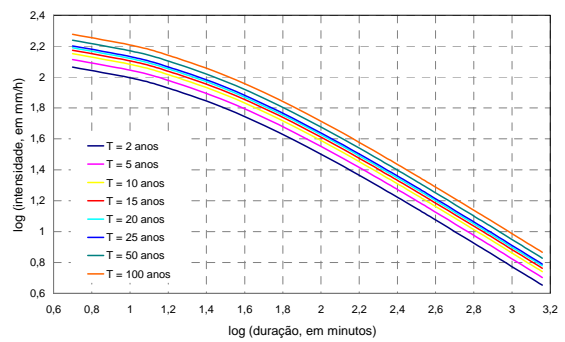
HADCM3 A2 2080-2099



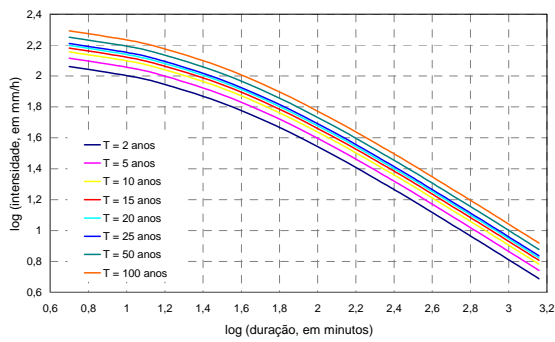
IPCM4 A2 2080-2099



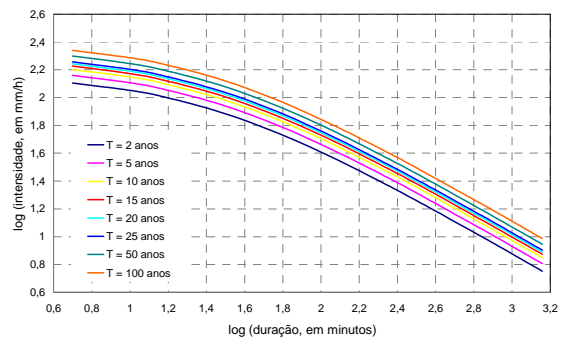
MPEH5 A2 2080-2099



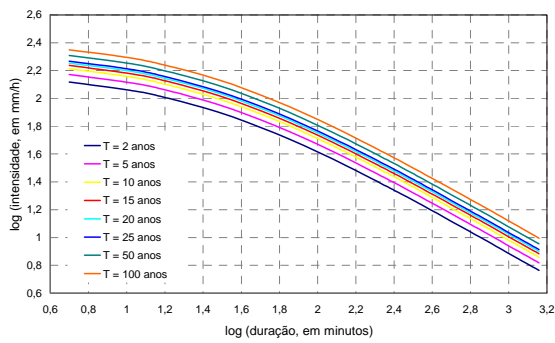
NCCCSM A2 2080-2099



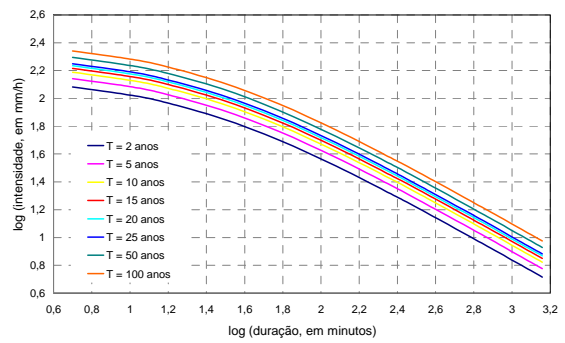
HADCM3 B1 2011-2030



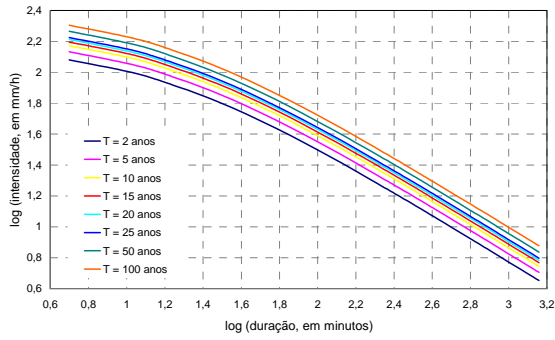
IPCM4 B1 2011-2030



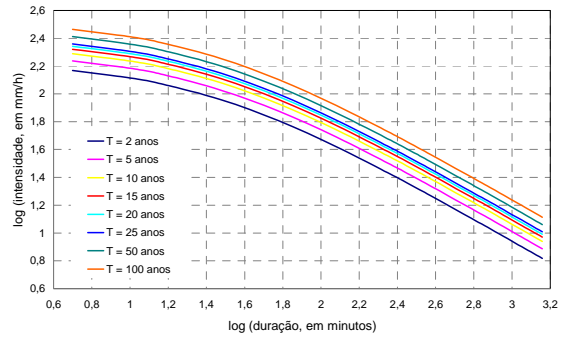
MPEH5 B1 2011-2030



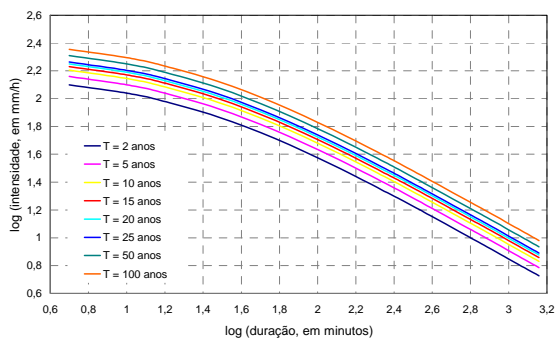
NCCCSM B1 2011-2030



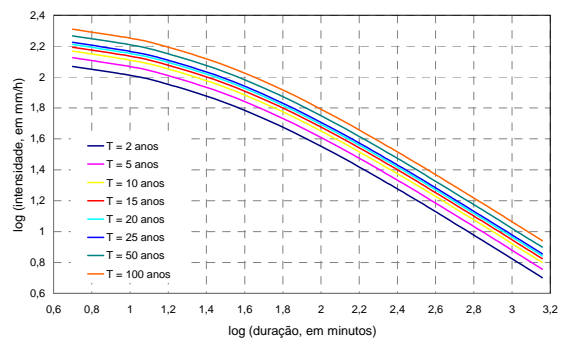
HADCM3 B1 2046-2065



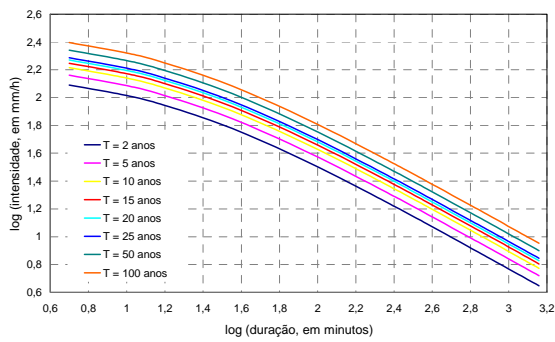
IPCM4 B1 2046-2065



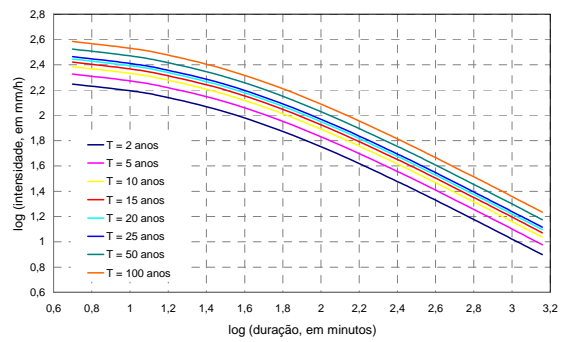
MPEH5 B1 2046-2065



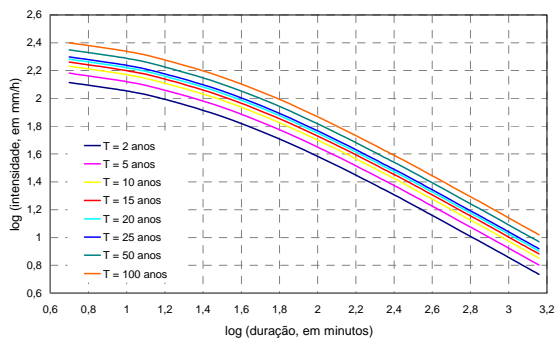
NCCCSM B1 2046-2065



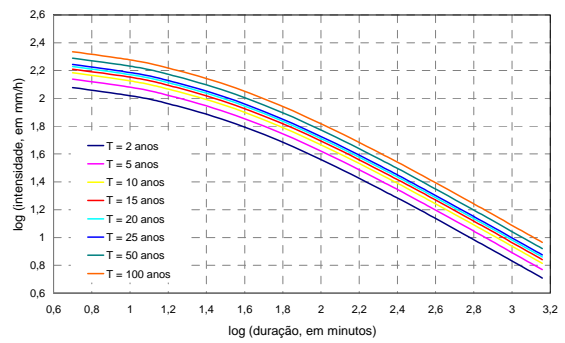
HADCM3 B1 2080-2099



IPCM4 B1 2080-2099



MPEH5 B1 2080-2099



NCCCSM B1 2080-2099

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)